

621.38

8.66

**X.Aripov, A.Abdullayev, N.Alimova,
N.Bustanov, X. Toshmatov**

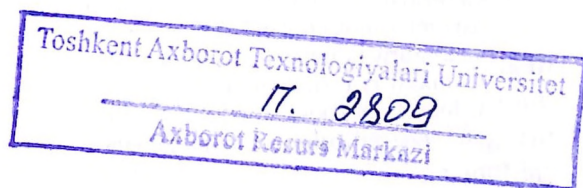
SXEMOTEXNIKA

Toshkent – 2013

621.38
586 O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

SXEMOTEXNIKA

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan darslik sifatida tavsiya etilgan*



«TAFAKKUR BO'STONI»
TOSHKENT — 2013

O'QUV ZALI

UO'K: 004(075)
KBK 32.844
A-75

Mualliflar: X.K. Aripov, A.M. Abdullayev, N.B. Alimova,
X.X. Bustanov, Sh.T. Toshmatov.

Professor X.K. Aripov umumiy tahriri ostida.

Taqrizchilar: T.D. Radjabov, Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
«Radioaloqa qurilmalari va tizimlari» kafedrası mudiri,
fizika-matematika fanlari doktori. O'zFA akademigi;
M.K. Boxodirxonov, Toshkent davlat texnika universiteti
«Elektronika va mikroelektronika» kafedrası mudiri,
fizika-matematika fanlari doktori, professor;
A.A. Abduazizov, Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
«Radiotexnika, radioaloqa va teleradioeshittirish» fakulteti
dekani, texnika fanlari nomzodi, dotsent.

A-75 Aripov X.K.

Sxemotexnika: Oliy o'quv yurtlari uchun darslik / X.K. Aripov,
A.M. Abdullayev, N.B. Alimova, X.X. Bustanov, Sh.T. Toshmatov;
O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi.
— T.: «Tafakkur Bo'stoni», 2013. —448 b.

ISBN 978-9943-4238-5-5

KBK 32.844ya73

Darslikda integral mikrosxemalar (IMS), analog va raqamli IMSlarning negiz texnik yechimlari, keng qo'llaniladigan IMSlar asosidagi analog va raqamli qurilmalar, kombinatsion va ketma-ketli mantiqiy qurilmalarning xarakteristikallari va parametrlari, yarim-o'tkazgichli xotira qurilmalari, mikroprotsektorlar, raqamli sxemotexnikaning istiqbolli yo'nalishlari haqida ma'lumotlar yoritilgan.

Darslikda laboratoriya ishlariga ham katta e'tibor qaratilgan bo'lib, unda LabVIEW amaliy dasturi paketiga asoslangan ko'pfunksional NI ELVIS laboratoriya stansiyasi yordamida bajarilishi mumkin bo'lgan laboratoriya ishlari majmuyi berilgan.

Darslik 5311300 — «Telekommunikatsiya», 5311200 — «Televideniye, radio-aloqa va radioeshittirish», 5311400 — «Mobil aloqa tizimlari», 5320700 — «Maxsus yoritish texnologiyalari», 5320600 — «Audio-video texnologiyalar», 5330400 — «Kompyuter grafikasi va dizayn», 5620300 — «Pochta aloqasi va texnologiyasi», 5330200 — «Informatika va axborot texnologiyalari (tarmoqlar bo'yicha)», 5330100 — «Axborot tizimlarining matematik va dasturiy ta'minoti», 5330300 — «Axborot xavfsizligi», 5610600 — «Xizmat ko'rsatish texnikasi va texnologiyasi (xizmat ko'rsatish tarmoqlari bo'yicha)», 5111000 — «Kasb ta'limi (Informatika va axborot texnologiyalari (tarmoqlar bo'yicha))» yo'nalishlarida ta'lim olayotgan talabalar uchun mo'ljallangan.

UO'K: 004(075)
KBK 32.844ya73

ISBN 978-9943-4238-5-5

© X.K. Aripov, A.M. Abdullayev, N.B. Alimova,
X.X. Bustanov, Sh.T. Toshmatov, 2013.
© «Tafakkur-Bo'stoni», 2013.

KIRISH

Sxemotexnika va uning zamonaviy ilm-fanda tutgan o'ri. Hozirgi kunda telekommunikatsiya va axborotlashtirish tizimining rivojlanish darajasi tom ma'noda mikroelektronika va nanoelektronika mahsulotlarining ularda qo'llanilish darajasiga bog'liq.

Birinchi integral mikrosxemalar (IMSlar) 1958-yilda yaratildi. IMSlarning hajmi kichkina, og'irligi kam, energiya sarfi kichik, ishonchlilik yuqori bo'lib, hozirgi kunda ular uch konstruktiv-texnologik variantlarda yaratilmoqda: qalin va yupqa pardali, yarimo'tkazgichli va gibrid.

1965-yildan boshlab mikroelektronikaning rivoji G. Mur qonuniga muvofiq tarzda rivojlanmoqda, ya'ni har ikki yilda zamonaviy IMSlardagi elementlar soni ikki marta ortmoqda. Hozirgi kunda elementlar soni 10^6 – 10^9 ta bo'lgan o'ta yuqori (O'YuIS) va giga yuqori (GYuIS) IMSlar ishlab chiqarilmoqda.

Mikroelektronikaning qariyb yarim asrlik rivojlanish davri mobaynida IMSlarning keng nomenklaturasi ishlab chiqildi. Telekomunikatsiya va axborot-kommunikatsiya tizimlarini loyihalovchi va ekspluatatsiya qiluvchi mutaxassislar uchun zamonaviy mikroelektron element bazasining imkoniyatlari haqidagi bilimlarga ega bo'lish muhim hisoblanadi.

Integral mikroelektronika rivojining fizik chegaralari mavjudligi sababli, hozirgi kunda an'anaviy mikroelektronika bilan bir qatorda elektronikaning yangi yo'nalishi – nanoelektronika ham jadal rivojlanmoqda.

Nanoelektronika o'lchamlari 0,1 nm dan 100 nm gacha bo'lgan yarimo'tkazgich tuzilmalar elektronikasi bo'lib, mikroelektronikaning mikrominiaturalash yo'lidagi mantiqiy davomi hisoblanadi. U qattiq jism fizikasi, kvant elektronikasi, fizikaviy kimyo va yarimo'tkazgichlar elektronikasining so'nggi yutuqlari asosidagi qattiq jisimli texnologiya-ning bir qismini tashkil etadi.

So'nggi yillarda nanoelektronikada muhim amaliy natijalarga erishildi, ya'ni zamonaviy telekommunikatsiya va axborot tizimlarning

asos elementlarini tashkil etuvchi: geterotuzilmalar asosida yuqori samaradorlikka ega lazerlar va nurlanuvchi diodlar; fotoqabulqilgichlar, o'ta yuqori chastotali tranzistorlar, bir elektronli tranzistorlar, turli xil sensorlar hamda boshqalar yaratildi; nanoelektron O'YuIS va GYuIS mikroprotseessorlarni ishlab chiqarish yo'lga qo'yildi.

Shvetsiya Qirolligi Fanlar akademiyasi ilmiy ishlarida tezkor tranzistorlar, lazerlar, integral mikrosxemalar (chiplar) va boshqalarni ishlab chiqish bilan zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalariga asos solgan olimlar J.I. Alferov, G. Kremer, Dj.S. Kilbini Nobel mukofoti bilan taqdirladi.

Integral mikroelektronika va nanoelektronika bilan bir vaqtda **funksional elektronika** ham rivojlanmoqda. Elektronikaning bu yo'nalishi an'anaviy elementlar (tranzistorlar, diodlar, rezistorlar va kondensatorlar)dan voz kechish va qattiq jismdagi turli fizik hodisa (optik, magnit, akustik va h.k.)lardan foydalanish bilan bog'liq. Funkisonal elektronika asboblari akustoelektron, magnitoelektron, kriogen asboblari va boshqalar kiradi.

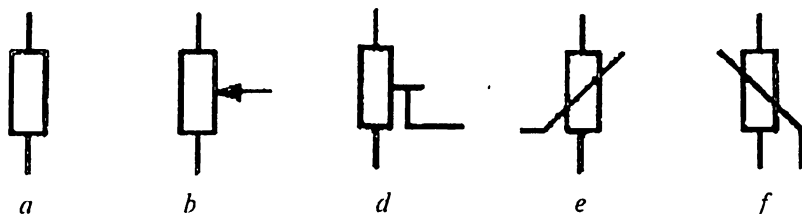
I BOB. ANALOG SXEMOTEXNIKA

1.1. Sxemotexnikaning asos elementlari

Rezistorlar. Rezistorlarning ishlash prinsipi materiallarning ulardan o'tayotgan elektr tokiga qarshilik qilish xususiyatiga asoslangan.

Rezistorlar vazifasiga ko'ra umumiy, pretsizion, yuqori chastotali, yuqori megaomli, yuqori voltli va maxsus, ishlatilish xususiyatlariga ko'ra esa harorat va namlikka bardoshli, vibratsiyaga va zarbga chidamli, yuqori darajada ishonchli bo'lishi mumkin.

Rezistorlar qarshilikning o'zgarish xarakteriga ko'ra, o'zgarmas yoki o'zgaruvchan, shu jumladan, sozlanuvchi bo'ladi (1.1-rasm).

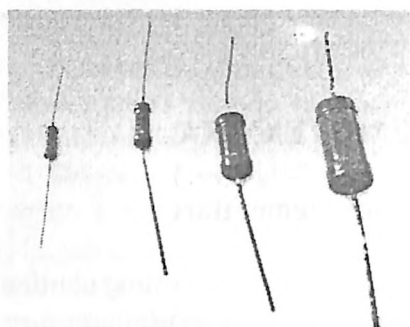


1.1-rasm. Rezistorlarning elektr sxemalarda shartli belgilanishi: o'zgarmas (*a*), o'zgaruvchan (*b*), sozlanuvchi (*d*), termistor (*e*) va varistor (*f*).

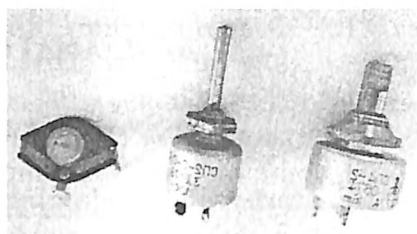
O'zgarmas rezistorlar radioelektron apparat (REA)larni yig'ish, sozlash va ishlatishda o'z qarshiligini o'zgartirmaydi, o'zgaruvchi va sozlanuvchi qarshilikli rezistorlarda esa, mos ravishda, maxsus moslama (burama yoki chervyakli o'qqa mahkamlangan kontakt surilgich)lari bo'ladi.

IMSlar rezistorlarini yasashda ularning geometrik o'lchamlarining kichikligi sababli mo'ljallangan qarshilikni olish imkoniyati bo'lmaydi. Shuning uchun mexanik usullar bilan yoki lazer nuri yordamida uning geometrik o'lchamlarini qisqartirib, rezistor qarshiligi talab etilgan nominalga keltiriladi.

Yarimo'tkazgichli integral sxemalarning barcha elementlari (transistorlar, diodlar, rezistorlar va kondensatorlar) kremniy, arsenid



1.2-rasm. Umumiy maqsadlarda qo'llaniladigan o'zgarmas rezistorlar.

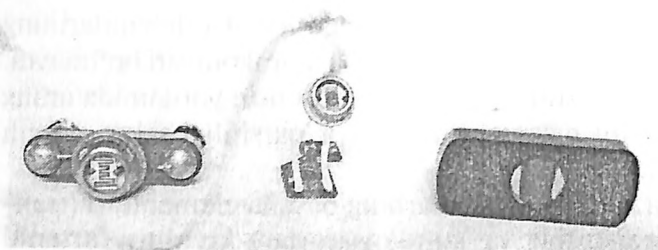
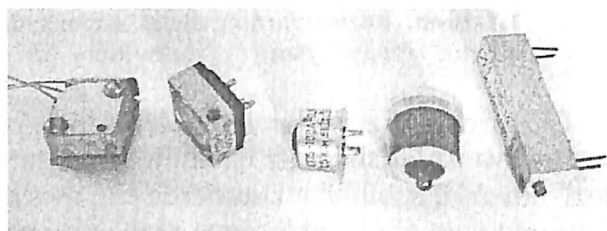


1.3-rasm. Umumiy maqsadlarda qo'llaniladigan o'zgaruvchan simsiz rezistorlar.



1.4-rasm. Pretsizion rezistorlar.

1.5-rasm. O'zgaruvchan (sozlanuvchi) pretsizion rezistorlar.



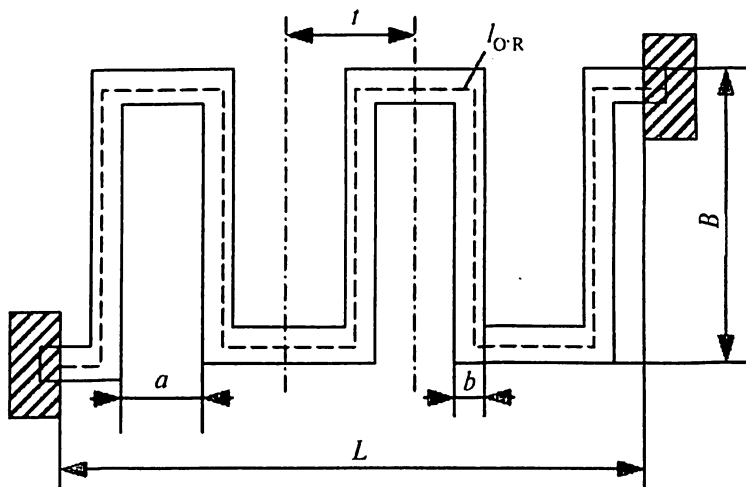
1.6-rasm. Yuqori chastotali, yuqori omli, yuqori voltli va maxsus rezistorlar.

galliyning p - n o'tishlari bazasida epitaksiya va diffuziya usuli bilan yaratiladi. Yarimo'tkazgichli sxemalar rezistorlari baza sohasida hosil qilinadi va ularning qarshiligi soha qarshiligi bilan belgilanadi hamda 25 Om dan bir necha kiloomlarga bo'lgan oraliqda bo'ladi.

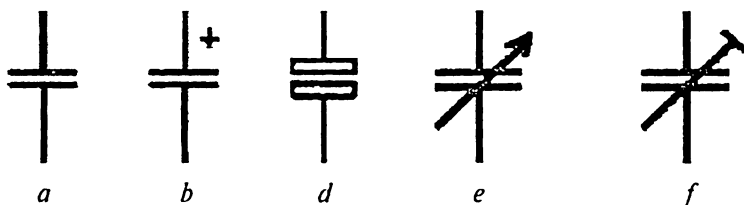
Maxsus ishlarga mo'ljallangan yupqa pardali mikrosxemalar mikroelektron texnikada keng qo'llaniladi. Hozirda ular asosida yirik gibril integral sxemalar yaratilmoqda. Bunga sababi shuki, yupqa pardali texnologiya elementlarning nominal qiymati chegaralarini kengaytirishga va yanada yuqori aniqlikka, barqarorlikka va ishonchlilikka erishishga imkon beradi.

Yupqa pardali rezistorlar tasma yoki meandr shaklida (1.7-rasm) bo'lishi mumkin va yarimo'tkazgichlarga nisbatan qator afzalliklarga ega: ular barqarorroq ($\pm 10^{-4} 1/^{\circ}\text{C}$), juda aniq ishlaydi ($\pm 5\%$ gacha) va nominal qarshilik diapazoni 100 kOm gacha bo'lib, odatda, u 50 Om–50 kOm oraliqda chegaralangan.

Kondensatorlar. Kondensatorlarning ishlash prinsipi ularning qoplamalariga potentsiallar farqi berilganda, ularda elektr zaryad to'planish xususiyatiga asoslanadi.



1.7-rasm. Meandr turidagi yupqa pardali rezistor geometriyasi:
 $l_{O'R}$ va b – rezistorning o'rta uzunligi va kengligi; t , a , L va B – mos ravishda, meandrning qadami, bo'g'inlari orasidagi masofa, uzunligi va kengligi.



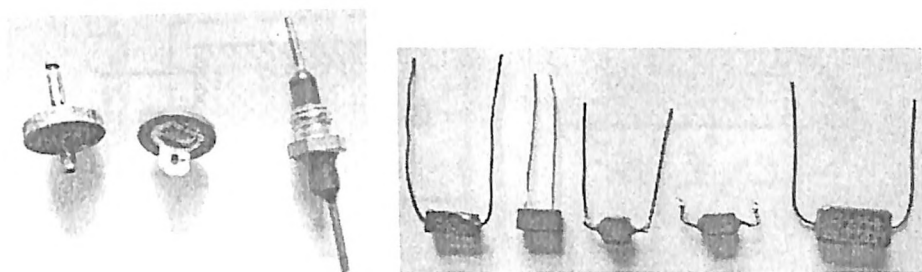
1.8-rasm. Kondensatorlarning elektr sxemalarda shartli belgilanishi: o'zgarmas (*a*), qutbli (*b*), qutbsiz (*d*), o'zgaruvchan (*e*) va sozlovchi (*f*).

Vazifasiga ko'ra, kondensatorlar konturli, blokirovka qiluvchi, ajratuvchi, filtrli, termokompensatsiyalovchi va sozlovchi; sig'iminining o'zgarish xarakteriga ko'ra esa o'zgarmas, o'zgaruvchan va yarim-o'zgaruvchan bo'ladi (1.8-rasm).

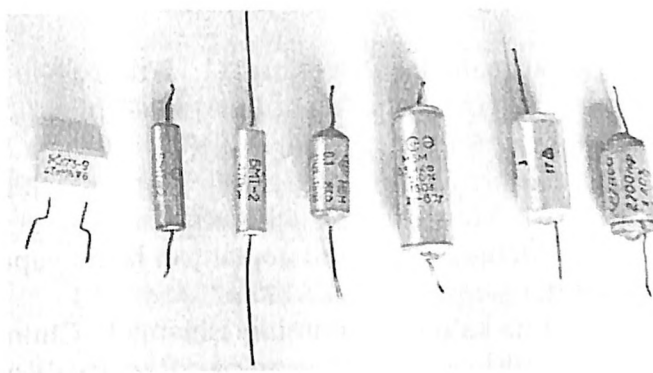
Dielektrik materialiga ko'ra, kondensatorlar uch turga bo'linadi: gazsimon, suyuq va qattiq dielektrikli. Birinchi turga o'zgaruvchan va yarimo'zgaruvchan havo kondensatorlari va gaz to'ldirilgan o'zgar-mas kondensatorlar, ikkinchi turga esa radioapparatlarda cheklangan holda ishlatiluvchi moy to'ldirilgan va sintetik suyuqlikli kondensatorlar kiradi.

Kondensatorlar dielektriklarining materiali ularning: nominal sig'imlarining keng diapazoni, shuningdek, chastota va temperatura jihatdan qo'llanish sohalari, elektrga chidamlilik, massasi va o'lcham-ning kichik bo'lishi, yuqori ishonchliligi, tayyorlashda avtomatlashtirish imkoniyati va ommaviy ishlab chiqarishda narxining past bo'lishi kabi elektrik, konstruktiv va texnologik ko'rsatkichlarining yuqori bo'lishini ta'minlashi kerak. Silyudali, shishali va shisha-keramik kon-densatorlar ishonchsizroq hisoblanib, ularni tayyorlashni avtomat-lashtirish deyarli mumkin emas; qog'ozli va metall-qog'ozli konden-satorlar pardalilariga nisbatan pastroq chastotali bo'lib, o'lchami va massasi elektrolitik va oksid-yarimo'tkazgichlinikiga qaraganda katta. Shuning uchun hozirgi zamon ishlab chiqarishida, asosan, keramik pardali, elektrolitik va oksid-yarimo'tkazgichli kondensatorlar ishlab chiqariladi.

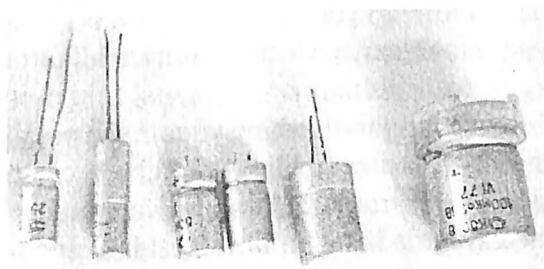
Yarimo'tkazgichli IMS monokristallida kondensatorlar hosil qilish uchun *p-n* o'tishlar sig'imidan foydalaniladi. Ammo bunday konden-satorlar sig'imlari cheklangan diapazonga (20–200 pF), past tem-peratura barqarorligiga (10^{-3} 1/°C) va parametrlarning texnologik tarqoqligiga (± 30 %) ega.



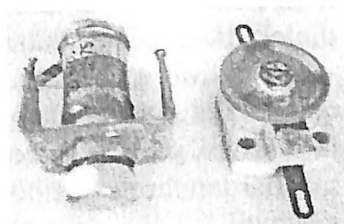
1.9-rasm. Yuqori chastotali kondensatorlar.



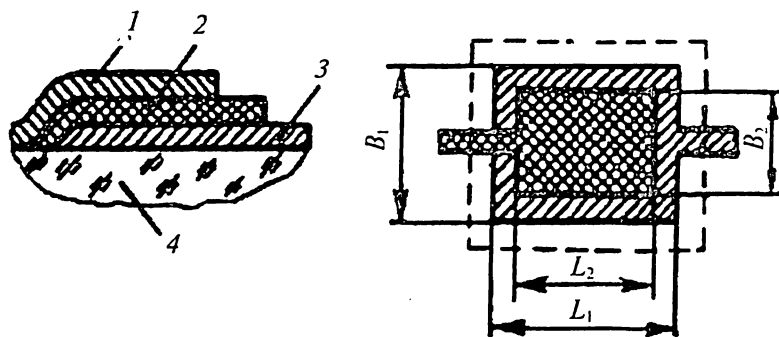
1.10-rasm. Qog'ozli, metall-qog'ozli va yupqa pardali kondensatorlar.



1.11-rasm. Elektrolitik va oksid-yarimo'tkazgichli kondensatorlar.



1.12-rasm. Yarim-o'zgaruvchan (sozlovchi) kondensatorlar.



1.13-rasm. Yupqa pardali kondensatorlar:
1, 3 – yuqori va pastki qoplamalar; 2 – dielektrik; 4 – asos.

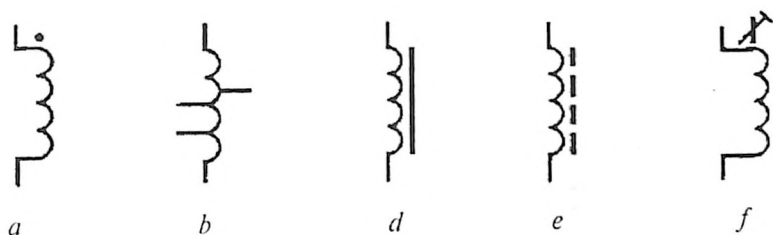
IMS larning yupqa pardali kondensatori (1.13-rasm) bundan yuqoriroq xossalarga ega: sig‘imlari diapazoni 1 dan 10000 pF gacha bo‘lgan oraliqda yotadi, temperatura barqarorligi $\pm 2 \cdot 10^{-4} 1/^{\circ}\text{C}$ ni tashkil etadi, parametrlarning texnologik tarqoqligi $\pm 10\%$ ga teng. Bunday kondensatorlar dielektrik ko‘rinishdagi uch qatlamli struktura va unga purkash yo‘li bilan kichik omli metall qoplangan ikkita yupqa pardali qoplamadan iborat.

Qoplamalar sifatida ko‘pincha aluminiy ishlatiladi. Chunki boshqa metallar (masalan, oltin)ga nisbatan uning atomlari sustroq harakatlanadi. Bu hol metallning yupqa dielektrik qatlami orqali diffuziyasi yuz beruvchi qoplamalar orasidagi qisqa tutashuvlar sonini kamaytiradi. Bundan tashqari, aluminiy nisbatan texnologiyabop va arzon metallidir.

Yupqa pardali kondensatorning dielektrigi sifatida olinadigan materialning elektrga nisbatan chidamliligi yuqori va sarfi kam bo‘lishi kerak. Bundan tashqari, u yuqori adgeziya va, iloji boricha, katta dielektrik singdiruvchanlikka ega bo‘lishi lozim.

Induktivlik g‘altaklari. Radiotexnik apparaturaning yuqori chastotali qismlari va zanjirlarida qo‘llanilish sohasi va tuzilishi turlicha bo‘lgan induktivlik g‘altaklari qo‘llaniladi (1.14-rasm). Qarshilik va kondensatorlardan farqli ravishda, ular sanoatda keng ko‘lamda ishlab chiqarilmaydi.

Qo‘llanilish sohasiga ko‘ra, g‘altaklarning o‘lchamlari, shakli, o‘rash usuli, sim izolatsiyasining qalinligi, karkas materiallari turlicha bo‘lishi mumkin.



1.14-rasm. Induktivlik g'altaklarining elektr sxemalarda shartli belgilanishi: yuqoridagi nuqta g'altakning boshlanish joyini bildiradi (a), tarmoqlangan drossel (b), magnit o'zakli (c), ferrit o'zakli (d) va sozlovchi o'zakli g'altak (f).



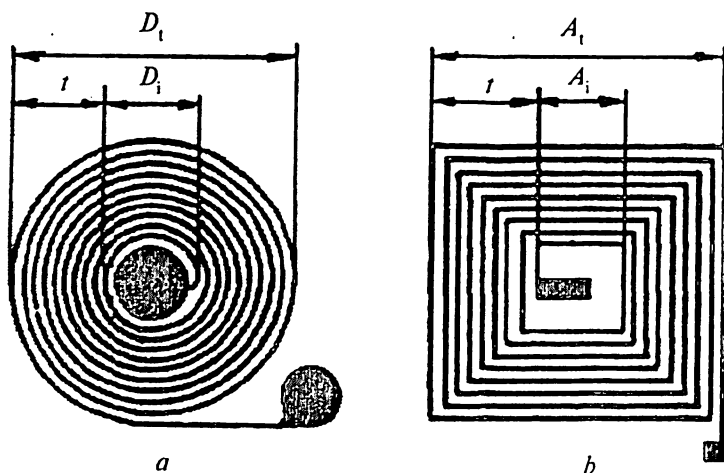
1.15-rasm. Induktivlik g'altaklarining turlari.

Induktivlik g'altaklari konstruksiyalari qaysi chastota diapazonida va qanday quvvatli tebranma konturlarda qo'llanilishiga ham bog'liq bo'ladi. Tebranma konturning ishchi diapazoni ortgan sari, odatda, g'altak induktivlik qiymati shuncha kamayadi.

Induktivlik g'altagining asosiy elementlari bo'lib, karkas, o'ram va ekran hisoblanadi.

IMSlar uchun induktivlik g'altaklariga nisbatan qo'yiladigan asosiy talab ular konstruksiyalarining planarlighi (yassiligi)dir. Toroidal g'altaklarda katta μ li ferritlar qo'llanilganligi uchun ular o'n minglab mikrogenri induktivlikka ega bo'lishi va yuzlab kilogersdan o'nlab megagersgacha bo'lgan chastotalar diapazonida ishlatilishi mumkin.

Yupqa pardali induktivlik g'altaklari cheklangan chastota diapazoniga (10–100 MGs) ega. Bu holat ish chastotasining kamayishi natijasida g'altakning asosda olgan o'rnining keskin ko'payishi, uning ko'payishi esa asllikni tebranish konturlari uchun mumkin bo'lmagan qiymatgacha kamaytirishi bilan tushuntiriladi. G'altak egallagan



1.16-rasm. Doiraviy (a) va kvadrat (b) shakldagi yupqa pardali induktivlik g'altagi.

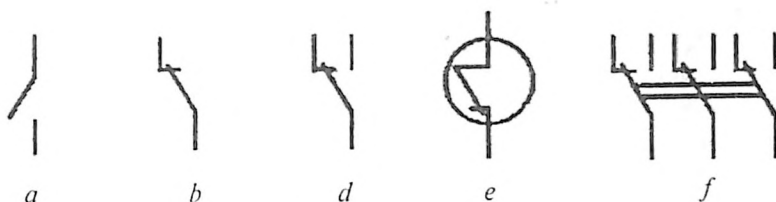
maydonni kamaytirish uchun o'ramlar enini va ular orasidagi masofani kamaytirish kerak. Biroq bu ish texnologiyaning imkoniyatlari, masalan, fotolitografiyaning hal etish qobiliyati bilan cheklangan chegaragacha bajarilishi mumkin.

Shuning uchun yupqa pardali g'altaklar 1 sm^2 yuzada, odatda, 19 tadan ko'p bo'lmagan o'ramga ega aylana yoki kvadrat spiral shaklida ishlanadi (1.16, a, b-rasm).

Almashlab ulagichlar. Almashlab ulagichlarning asosiy vazifasi radioapparatlarda elektr zanjirini u yoki bu rejimda ishlashini ta'minlash uchun kommutatsiya qilishdan iborat.

Almashlab ulagichlar ikkita asosiy element: kontakt juftlari va uni ulash-uzish mexanizmidan tashkil topgan. Kontaktlar platina, oltin, kumush va ularning ba'zi qotishmalaridan, shuningdek, bronza, mis yoki volframdan tayyorlanadi. Kontaktlar yassi konus, yassi sfera, silindr shaklida bo'lishi mumkin. Ular qisib turuvchi va suriluvchi bo'ladi (1.17-rasm).

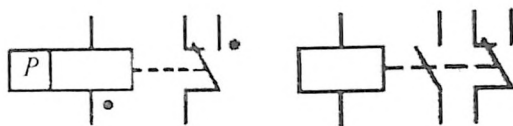
Kontaktlarning ulash-uzish mexanizmining ishlash usuliga ko'ra, almashlab ulagichlar bosiladigan (knopkalar va klavishli), tashlama (tumblerlar) va gaeqli, vazifasiga ko'ra esa yuqori chastotali va past chastotali, katta tokli va kichik tokli bo'ladi (1.18-rasm).



1.17-rasm. Kommutatsiya elementlarining sxemalarda shartli belgilanishi: ulovchi (a), uzuvchi (b), almashlab ulovchi (d) kontaktlar, gerkon (e) va almashlab ulagich (f).



1.18-rasm. Galetli almashlab ulagich.

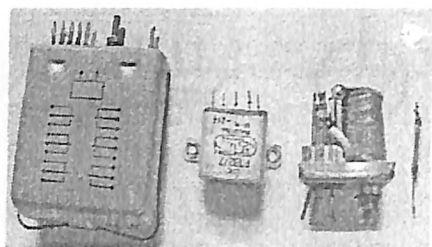


1.19-rasm. Relarning sxemalarda shartli belgilanishi: elektromagnit (a) ba qutbli (b).

Almashlab ulagichlar kabi rele ham radioqurilmalarning elektr zanjirlarini kommutatsiya qilishda ishlatiladi. Biroq almashlab ulagichda bu kommutatsiya knopkalarni, klavishlarni mexanik bosish bilan, tumbler richagining galetli ulagich tutgichining vaziyatini o'zgartirish bilan amalga oshirilsa, relede magnit yoki temperatura maydoni ta'sirida kontakt juftlarini bir vaqtda uzish (ulash) yuz beradi.

Ishlash prinsipiga ko'ra, relelar elektromagnit, magnitoelektrik, elektrodinamik, induksiyali, elektroissiqlik, elektron va boshqa turlarga bo'linadi (1.19-rasm). Ulardan eng ko'p tarqalgani elektromagnit relelardir. Ular kontakt juftlari, yakor cho'lg'am, o'zak va ularni mexanik yig'ish elementlaridan tashkil topgan.

Kommutatsiyalanuvchi tokning turiga ko'ra, o'zgarmas va o'zgaruvchan tok relelari bo'lishi mumkin. O'zgarmas tok relelari, o'z navbatida, neytral va qutblangan relelarga ajraladi. Neytral relelar cho'lg'amda o'zgarmas tok borligida ishlaydi, qutblanganlari esa kontakt plastinalari orasida joylashgan yakorga ega bo'lib, rele ishlaganda yakor cho'lg'amdan o'tayotgan tokning yo'nalishiga qarab u yoki bu tomonga siljiydi.



1.20-rasm. Elektromagnit relelar va gerkon.

Konstruksiyasiga ko'ra, bu relelar elektromagnit (buruvchi yoki tortuvchi yakor bilan) va gerkon (germetik kontakt)li bo'lishi mumkin (1.20-rasm).

Ishlay boshlash vaqtiga ko'ra, relelar tez ishlovchi (kontakti bilan 0,005 s da), normal (0,005 s dan 0,015 s gacha) va sekin ishlovchi (0,015 s dan ortiq) turlarga bo'linadi.

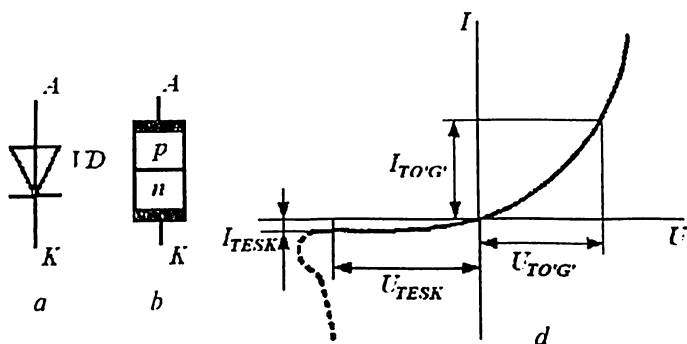
Relening asosiy parametrlari: ishlay boshlash va qo'yib yuborish toki (kuchlanish); ishlay boshlash va qo'yib yuborish vaqti; ishlay boshlash quvvati; massa va o'lchamlari; ishlatish tavsiflari.

Yarimo'tkazgich diod deb, bir (yoki bir necha) elektr o'tishlarga ega ikki elektrodli elektron asbobga aytiladi. Diodlar radioelektron qurilmalarda ishlatilishi va bajaradigan vazifasiga muvofiq tasniflanadi.

Barcha yarimo'tkazgich diodlarni ikki guruhga ajratish mumkin: to'g'rilovchi va maxsus vazifalarni bajaruvchi. **To'g'rilovchi diodlar** o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka o'zgartirish uchun qo'llanadi. To'g'rilanuvchi tok shakli va chastotasiga bog'liq holda ular past chastotali, yuqori chastotali va impuls diodlarga ajratiladi. **Maxsus vazifalarni bajaruvchi diodlarda** p - n o'tishlarning turli elektrofizik xususiyatlaridan, masalan, teshilish hodisalaridan, fotoelektrik hodisalaridan, manfiy qarshilikka ega sohalari mavjudligidan va boshqalardan foydalaniladi. Maxsus vazifalarni bajaruvchi diodlar, xususan, o'zgarmas kuchlanishni barqarorlash, optik nurlanishni qayd etish, elektr sxemalarda signallarni shakllantirish va boshqa vazifalarni amalga oshirish uchun qo'llanadi.

Yarimo'tkazgich diodlarning elektr sxemalarda shartli belgilanishi 1.21, *a*-rasm, uning tuzilmasi ko'rinishi 1.21, *b*-rasm, keltirilgan. Rasmlarda diodning chiqishlari *A* va *K* ko'rsatilgan bo'lib, ular **diodning elektrodleri** deb ataladi. Diodning p tomoniga ulangan elektrod **anod** deb, n tomoniga ulangan elektrod esa **katod** deb ataladi. Diodning statik VAXi 1.21, *d*-rasm, keltirilgan.

Yarimo'tkazgich diodning to'g'ri va teskari yo'nalishlaridagi qarshiliklari bir-biridan keskin farq qiladi: to'g'ri yo'nalishda siljirilgan diod-



1.21-rasm. Yarimo'tkazgich diodning shartli belgilanishi (a), tuzilmasi ko'rinishi (b) va statik VAXi (d).

ning qarshiligi qiymati kichik, teskari siljirilgan diodniki esa katta bo'ladi. Shu sababdan, diod bir tomonga elektr tokini yaxshi o'tkazadi, ikkinchi tomonga esa yomon o'tkazadi.

Stabilitron deb, sxemalarda kuchlanish qiymatini barqaror (stabil) saqlab turuvchi yarimo'tkazgich asbobga aytiladi. Stabilitron sifatida VAXida tok qiymati keskin o'zgarganda kuchlanish deyarli o'zgar-maydigan soha mavjud bo'lgan elektron asboblardan foydalaniladi. Bunday soha kremniyli yarimo'tkazgich diod elektr teshilish rejimida ishlaganda kuzatiladi. Shuning uchun yarimo'tkazgich stabilitron sifatida kremniyli diodlardan foydalaniladi.

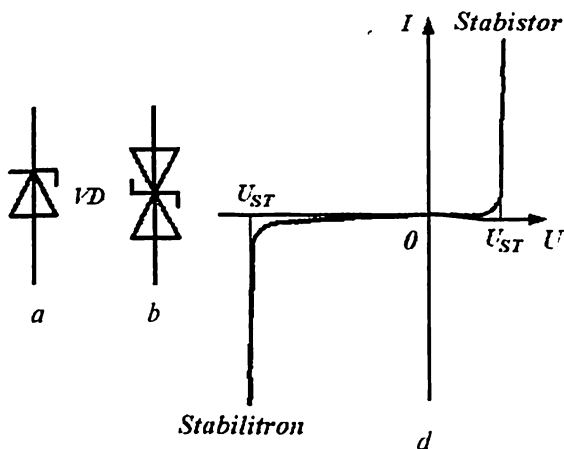
Stabilitronlarning sxemada shartli belgilanishi 1.22, *a*, *b*-rasmlarda, VAXi esa 1.22, *d*-rasmda keltirilgan.

Bipolyar tranzistor (BT) deb, o'zaro ta'sirlashuvchi ikkita *p-n* o'tishdan tashkil topgan va signallarni tok, kuchlanish yoki quvvat bo'yicha kuchaytiruvchi uch elektrodli yarimo'tkazgich asbobga aytiladi. BTda tok hosil bo'lishida ikki xil (bipolyar) zaryad tashuvchilar — elektronlar va kovaklar ishtirok etadi.

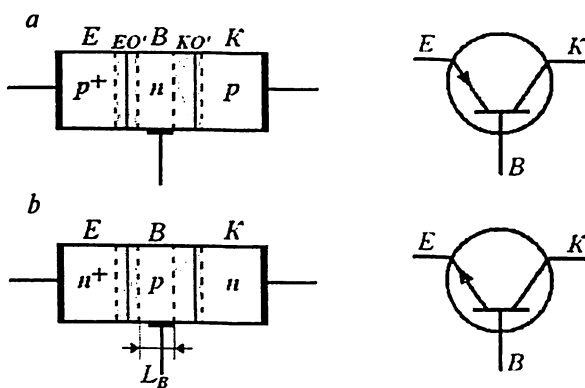
BT *p*- va *n*- o'tkazuvchanlik turi takrorlanuvchi uchta (emitter, baza va kollektor) yarimo'tkazgich sohaga ega (1.23, *a*, *b*-rasmlar).

Yarimo'tkazgich sohalarni belgilashda asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi yuqori bo'lgan soha *p*⁺ yoki *n*⁺ belgisi qo'yilishi bilan boshqa sohalardan farqlanishi qabul qilingan.

Tranzistorning sohalari ichida eng yuqori konsentratsiyaga ega bo'lgan chekka soha (*n*⁺-soha) *n*⁺-*p*-*n* yoki (*p*⁺-soha) *p*⁺-*n*-*p* turli



1.22-rasm. Bir tomonlama (a) va ikki tomonlama (b) stabilitronlarning sxemada shartli belgilanishi hamda VAXi (d).

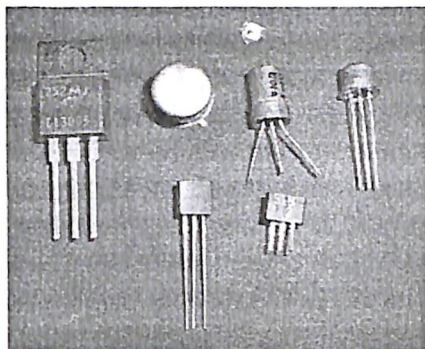


1.23-rasm. *p-n-p* (a) va *n-p-n* (b) turli BT lar tuzilmasi va ularning sxemada shartli belgilanishi.

tranzistorlarda **emitter** (E) deb ataladi. Emittorning vazifasi tranzistorning **baza** (B) sohasi deb ataluvchi o'rta (p - yoki n - turli) sohasiga zaryad tashuvchilarni injeksiyalashdan iborat. Tranzistor tuzilmasining boshqa chekkasida joylashgan n -soha (n^+-p-n) yoki p -soha (p^+-n-p) **kollektor** (K) deb ataladi. Uning vazifasi baza sohasidagi noasosiy zaryad tashuvchilarni ekstraksiyalashdan iborat. Emitter bilan baza

orasidagi p - n o'tish **emitter o'tish** (EO'), kollektor bilan baza orasidagi p - n esa o'tish **kollektor o'tish** (KO') deb ataladi.

Baza sohasi emitter va kollektor o'tishlarning o'zaro ta'sirlashuvini ta'minlashi kerakligi sababli, BTning baza sohasi kengligi L_B bazadagi noasosiy zaryad tashuvchilar diffuziya uzunligidan kichik ($p^+ - n - p$ BT uchun $L_B \ll L_n$, $n^+ - p - n$ BT uchun $L_B \ll L_p$) bo'lishi shart. Aks holda, emitterdan bazaga injeksiyalangan asosiy zaryad tashuvchilar KO'gacha yetib bormaydilar va BT samara-dorligi pasayadi. Odatda, baza sohasi kengligi $L_B \approx 0,01 \div 1$ mkm ni tashkil etadi.



1.24-rasm. Zamonaviy bipolyar tranzistorlar.

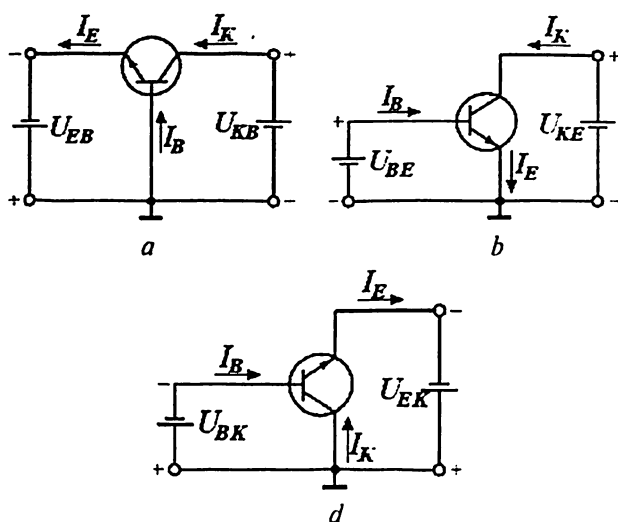
Tuzilish xususiyatlariga va tayyorlash texnologiyasiga ko'ra, BTlar **eritib tayyorlangan, planar va planar-epitaksial tranzistorlarga** ajratiladi. Qotishmali tranzistorlarning baza sohasida kiritmalar taqsimlanishi bir jinsli (tekis) bo'lganligi sababli, unda elektr maydon hosil bo'lmaydi. Shuning uchun EZNlar bazadan kollektorga diffuziya hisobiga ko'chadilar.

Planar va planar-epitaksial tranzistorlarning baza sohasida kiritmalar konsentratsiyasi taqsimoti bir jinsli bo'lmay (notekis), u kollektorga siljigan sari kamayib boradi. Bunday BTlar **dreyfli tranzistorlar** deb ataladi. Kiritmalar konsentratsiyasi gradiyenti ichki elektr maydon hosil bo'lishiga olib keladi va EZNlar bazadan kollektorga dreyf va diffuziya jarayonlari hisobiga ko'chadilar. Demak, dreyfli BTlarning tezkorligi yuqori bo'ladi.

BTlar asosan chastotalarning keng diapazonida ($0 \div 10$ GGs) va quvvat bo'yicha ($0,01 \div 100$ Vt) elektr signallarni o'zgartuvchi, generator va kuchaytirgich sxemalarni hosil qilish uchun ishlatiladi.

BTlar chastota bo'yicha: past chastotali — 3 MGs gacha; o'rta chastotali — $0,3 \div 30$ MGs; yuqori chastotali — $30 \div 300$ MGs; o'ta yuqori chastotali — 300 MGs dan yuqori guruhlariga bo'linadi.

Quvvat bo'yicha: kam quvvatli — 0,3 Vt gacha; o'rta quvvatli — $0,3 \div 1,5$ Vt; katta quvvatli — 1,5 Vt dan yuqori guruhlariga ajratiladi.



1.25-rasm. BTning statik rejimda umumiy baza (a), umumiy emitter (b) va umumiy kollektor (d)ning ulanish sxemalari.

Nanosekund diapazonida katta quvvatli impulsolni hosil qilishga mo'ljallangan **ko'chkili** tranzistorlar BTlarning yana bir turini tashkil etadi.

Tuzilishi bo'yicha BTlar **ko'p emitterli (KET)**, **ko'p kollektorli (KKT)** va **tarkibiy** (Darlington va Shiklai) tranzistorlari bo'ladi.

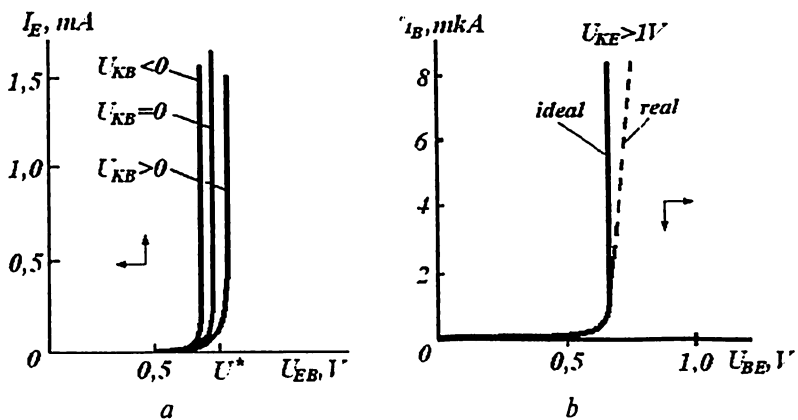
BTda elektrodlar uchta bo'lgani sababli, uch xil ulanish sxemalari mavjud: **umumiy baza (UB)**; **umumiy emitter (UE)**; **umumiy kollektor (UK)** (1.25-rasm). Bunda BT elektrodlaridan biri sxemaning kirish va chiqish zanjirlari uchun umumiy, uning o'zgaruvchan tok (signal) bo'yicha potentsiali esa nolga teng qilib olinadi. BTning 1.25-rasmda keltirilgan ulanish sxemalari faol rejimga mos keladi.

BT statik kirish xarakteristikalar (1.26, 1.27-rasmlar).

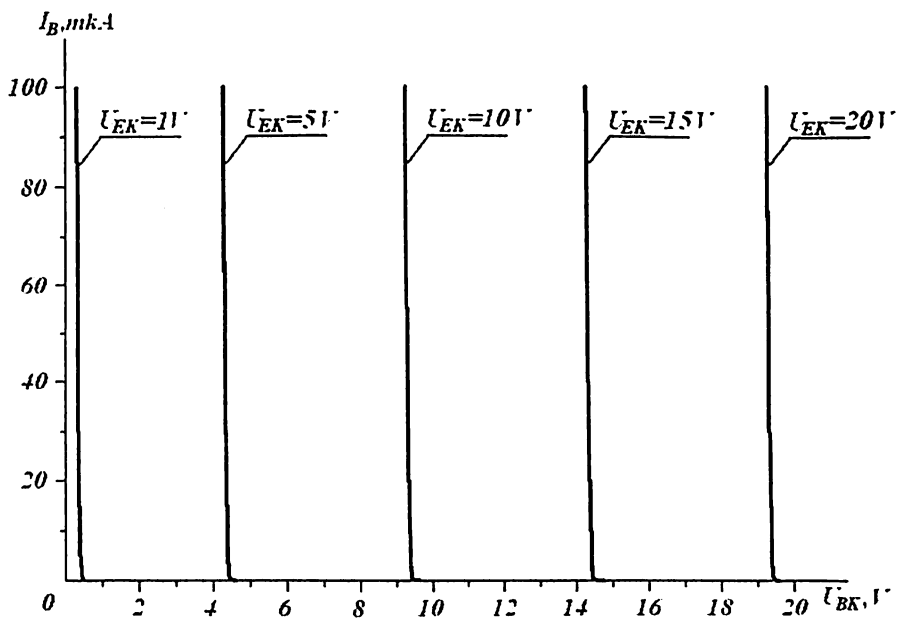
Kirish xarakteristikasi deb, chiqish kuchlanishining berilgan va o'zgarmas qiymatlarida, kirish tokining kirish kuchlanishiga bog'liqligini ko'rsatuvchi grafikka aytiladi.

Bipolyar tranzistorning statik chiqish xarakteristikalar (1.28, 1.29-rasmlar).

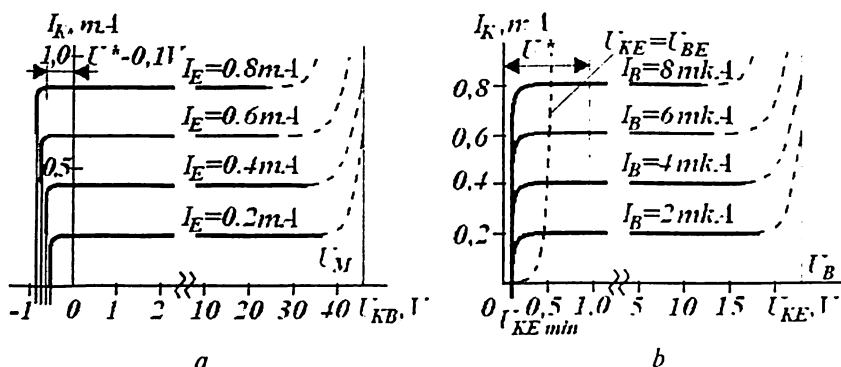
Chiqish xarakteristikasi deb, kirish tokining berilgan, o'zgarmas qiymatlarida chiqish toki bilan chiqish kuchlanishi orasidagi bog'liqlikka aytiladi.



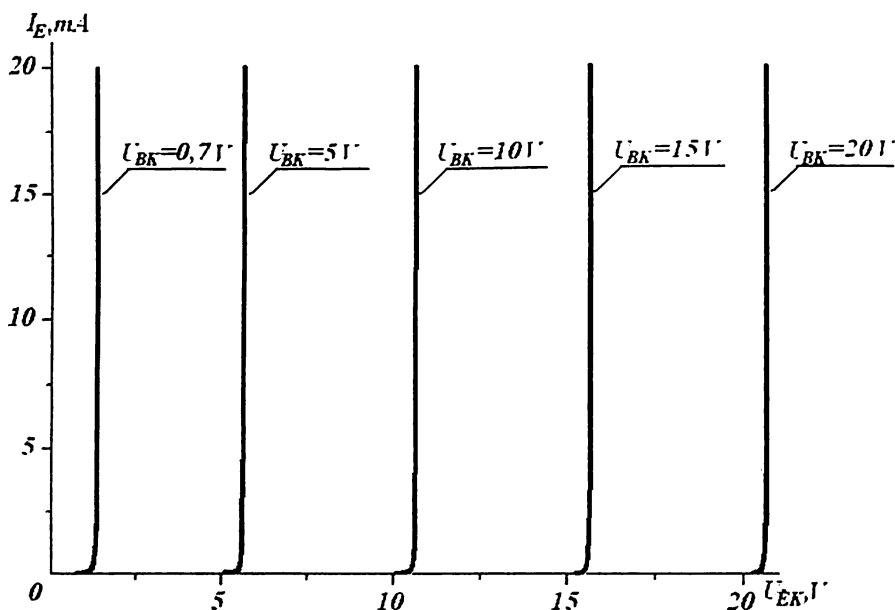
1.26-rasm. UB (a) va UE (b) ulangan BTning kirish xarakteristikalar oilasi.



1.27-rasm. BTning UK ulanishdagi kirish xarakteristikalari.



1.28-rasm. UB (a) va UE (b) ulangan BTning chiqish xarakteristikalari.



1.29-rasm. UK sxemada ulangan BT chiqish xarakteristikalari.

Maydoniy tranzistorlar. Elektrod toklari asosiy zaryad tashuvchilarning kristall hajmidagi elektr maydon ta'sirida dreyf harakatlantirishiga asoslangan uch elektrodli, kuchlanish bilan boshqariladigan yarimo'tkazgich asbob **maydoniy tranzistor** (MT) deyiladi. MTlarda tok hosil bo'lishida faqat bir turdagi asosiy zaryad tashuvchilar (elektronlar yoki kovaklar) qatnashgani sababli, ular ba'zan **unipolyar**

tranzistorlar deb ataladi. MTlarda BTlardagi kabi tezkorlikka ta'sir etuvchi injeksiya va ekstraktsiya natijasida noasosiy zaryad tashuvchilarning to'planish jarayonlari mavjud emas.

MTlarda tok bo'yлама elektr maydon ta'sirida erkin zaryad tashuvchilarning dreyf harakati tufayli hosil bo'ladi. Tok hosil qiluvchi o'tkazgich qatlam **kanal** deb ataladi va u n -kanalli va p -kanalli bo'lishi mumkin. Kanal chekkalariga elektrodlar o'rnatilgan bo'lib, ularning biri istok, ikkinchisi esa stok deb ataladi. Elektrodlardan qay biri istok, qaysinisi stok deb olinishining ahamiyati yo'q. Zaryad tashuvchilar qaysi elektroddan kanalga oqsa, o'sha elektrod **istok** deb, zaryad tashuvchilarni kanaldan o'ziga qabul qiluvchi elektrod esa **stok** deb belgilanadi. Uchinchi elektrod — **zatvor** yordamida kanaldagi tok qiymati ko'ndalang elektr maydon bilan boshqariladi.

Tuzilmasi va kanal sohasi o'tkazuvchanligini boshqarish usuliga ko'ra, MTlarning bir-biridan farqlanuvchi ikki turi bor.

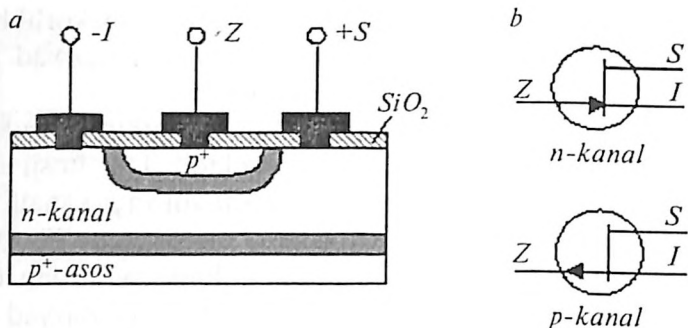
1. **p - n o'tish bilan boshqariluvchi MT**larda (1.30-rasm) zatvor sifatida kanal o'tkazuvchanligiga nisbatan teskari o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgichdan foydalaniladi. Natijada ular orasida p - n o'tish hosil bo'lib, ishchi rejimda ushbu p - n o'tish teskari siljiriladi. Bunda zatvordagi kuchlanish boshqaruvchi p - n o'tishning kambag'al-lashgan sohasi kengligini va shu bilan tok o'tkazuvchi kanal sohasining ko'ndalang kesimini, undagi zaryadlar sonini o'zgartiradi va natijada kanaldagi tok qiymati o'zgaradi. p - n o'tish kambag'allashgan sohasi kengligining o'zgarishi, Shottki baryer balandligi va ikkala tranzistorlarning asosiy xususiyatlari bir xil bo'lgani sababli, bundan keyin zatvor sifatida faqat p - n o'tishdan foydalanadigan MTlarni o'rganamiz.

Elektr sxemalarda MTning zatvori kirish elektrodi bo'lib xizmat qiladi va kanaldan teskari ulangan p - n o'tish yoki dielektrik bilan izolatsiyalanadi. Shuning uchun MTlar BTlardan farqli ravishda, o'zgarmas tokda katta kirish qarshiligiga ($10^8 \div 10^{10}$ Om) ega.

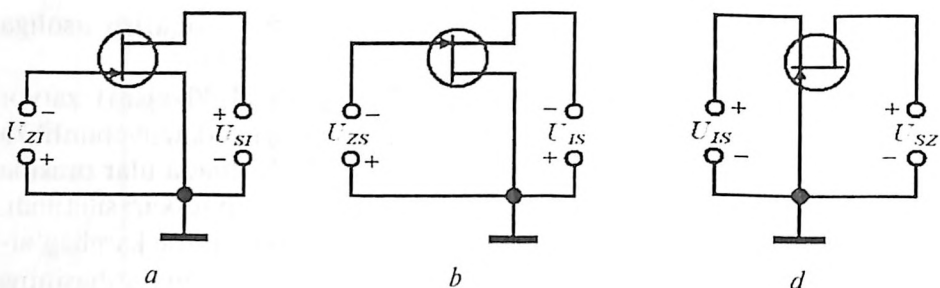
MTlarning ulanish sxemalari 1.31-rasmda ko'rsatilgan: **umumiy istok (UI)**, **umumiy stok (US)** va **umumiy zatvor (UZ)** ulanish. Asosiy ulanish sxemasi bo'lib, UI ulanish xizmat qiladi.

MT statik xarakteristikallari.

Statik stok xarakteristikalar oilasi deb, zatvor-istok kuchlanishi U_{ZI} ning o'zgarmas qiymatlarida stok toki I_S ning stok-istok kuchlanish U_{SI} ga bog'liqliklari $I_S = f(U_{SI})$ ga aytiladi.



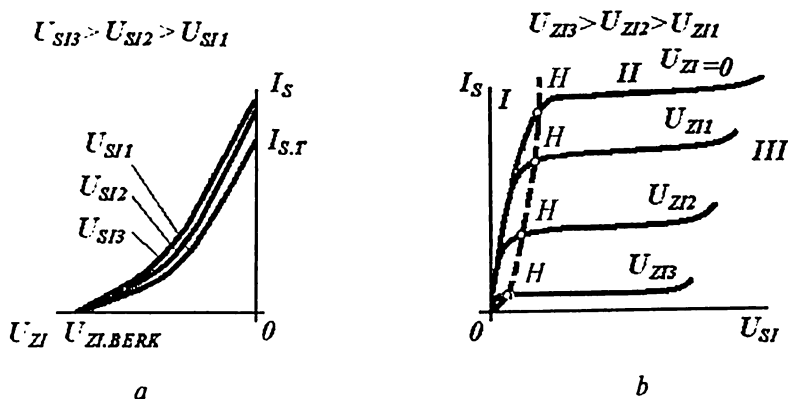
1.30-rasm. *n*-kanali *p*-*n* o'tish bilan boshqariluvchi MT tuzilmasining ko'ndalang kesimi (a) va tranzistorlarni shartli belgilanishi (b) .



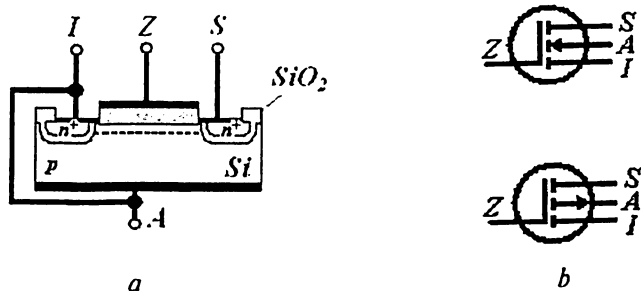
1.31-rasm. MTlarning ulanish sxemalari: UI (a), US (b) va UZ (d).

MTning statik stok-zatvor xarakteristikalar oilasi yoki o'tish xarakteristikasi deb, stok-istok kuchlanishi U_{SI} ning o'zgarmas qiymatlarida stok toki I_S ning zatvor istok kuchlanish U_{ZI} ga bog'liqliklari $I_S = f(U_{ZI})$ ga aytiladi. Stok-zatvor xarakteristikalarni stok xarakteristikalardan foydalangan holda hosil qilish mumkin. Buning uchun U_{SI} kuchlanishning biror qiymatida zatvor-istok kuchlanishi U_{ZI} ning turli qiymatlari uchun stok toki I_S ning qiymatlarini stok xarakteristikalardan aniqlash yetarli bo'ladi.

2. **Zatvori izolatsiyalangan MTlarda** metall zatvor va kanal orasida yupqa dielektrik qatlam mavjud. Bunday MT metall-dielektrik-yarimo'tkazgich (MDYA) tuzilmaga egaligi sababli, **MDYA-tranzistor** deb ham ataladi. Uning **kanali qurilgan** va **kanali induksiyalangan** turlari mavjud bo'lib, birinchi turdagi tranzistorlarda kanal sohasi



1.32-rasm. n -kanalli MTning stok-zatvor (a) va stok (b) VAXlari oilasi.

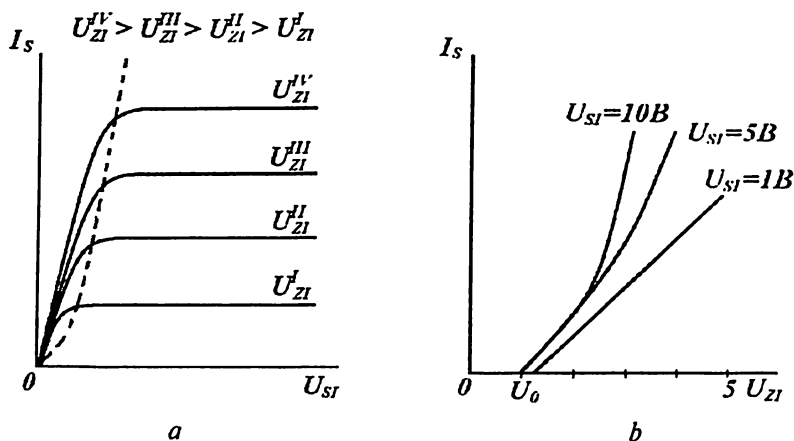


1.33-rasm. n -kanali induksiyalangan MDYA-tranzistor tuzilmasi (a) va n - hamda p -MDYA tranzistorlarning grafik shartli belgilanishi (b).

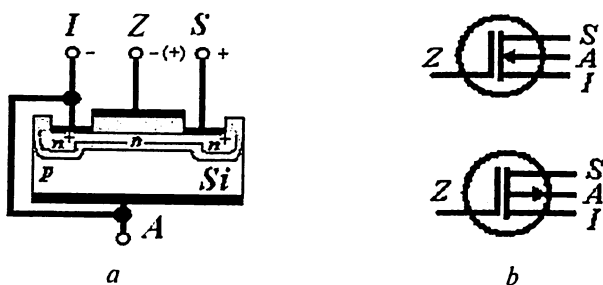
texnologik usul bilan hosil qilinadi, ikkinchisida esa kanal sohasi zatvorga ma'lum qutbli va qiymatli kuchlanish berilganda hosil bo'ladi (induksiyalanadi). Ko'ndalang elektr maydon yupqa dielektrik orqali o'tib, kanaldagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini boshqaradi.

Statik stok xarakteristikalar oilasi. n -kanali induksiyalangan MDYA-tranzistorning stok xarakteristikalar oilasi, ya'ni $U_{ZI} = \text{const}$ bo'lgandagi $I_s = f(U_{SI})$ bog'liqlik grafigi 1.34, a -rasmda keltirilgan.

Stok-zatvor xarakteristikalar oilasi. Tranzistorning stok xarakteristikalaridan tashqari, uning stok-zatvor (uzatish) $U_{SI} = \text{const}$ bo'lgandagi $I_s = f(U_{ZI})$ xarakteristikalari keng ishlatiladi (1.34, b -rasm).

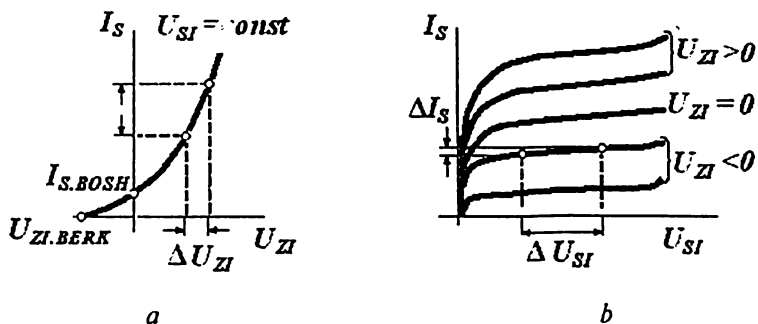


1.34-rasm. n -kanali induksiyalangan MDYA-tranzistorning stok (a) va stok-zatvor (b) xarakteristikalar oilasi.



1.35-rasm. n -kanali qurilgan MDYA-tranzistor tuzilmasi (a), bunday tranzistorlarning shartli grafik belgilanishi (b).

MDYA-tranzistorlar integral mikrosxemalarning, ayniqsa, O'KIS-larning asosiy elementini tashkil etadi. Ular mikroprotsessorlar, mikrokontrollerlar, axborot sig'imi katta xotira qurilmalari, elektron soatlar, tibbiyot elektronikasi qurilmalari va boshqalarda qo'llaniladi. Katta quvvatli MDYA-tranzistor qayta ulovchi sxemalarda keng qo'llaniladi. Boshqaruvchi elektrodi metall-yarimo'tkazgich o'tishdan tashkil topgan arsenid galliy asosida tayyorlangan tranzistorlar o'ta tez ishlovchi raqamli IMSlarni va O'YuCHli qurilmalarni yaratish uchun ishlatiladi. Kremniy asosidagi p - n o'tish bilan boshqariluvchi MTlar past chastotali diskret elektron asbob sifatida qo'llaniladi.



1.36-rasm. n -kanali qurilgan MDYA-tranzistorning stok-zatvor (a) va stok (b) xarakteristikalari.

1.2. Sxemotexnika qurilmalarning tasniflanishi

Fan, texnika va ishlab chiqarishning axborotlarni qayta ishlash va o'zgartirish uchun xizmat qiluvchi elektron qurilmalarni ishlab chiqish hamda tatbiq etish bilan shug'ullanuvchi sohasi **elektronika** deb ataladi.

Elektron qurilmalarni tasniflashda axborotlarni to'plash, uzatish va qabul qilish usuli eng muhim belgilardan hisoblanadi. Elektron qurilmalar (EQ) **analog** va **diskret (raqamli)** qurilmalarga ajratiladi.

Analog sxemotexnika uzluksiz o'zgaruvchi elektr signallarni uzatish, qayta ishlash, qabul qilish uchun xizmat qiluvchi EQLarni ishlab chiqish va o'rganish bilan shug'ullanadi. Bu, analog EQ (AEQ)larda signal qiymati minimaldan maksimalgacha o'zgarganda, uni qayd qilish va uzatish uzluksiz amalga oshirilishini anglatadi.

AEQLarning asosiy afzalligi uning tezkor ishlashi va soddaligidan iborat. Kamchiliklari sifatida temperatura va boshqa omillar ta'sirida parametrlarining barqarorsizligini va xalaqitbardoshligining kichikligini, axborotni uzoq vaqt saqlashning qiyinligini aytib o'tish kerak.

Analog qurilmalar asosini sodda, kuchaytirgich kaskadlar tashkil etadi. Ular asosida murakkabroq kuchaytirgichlar, tok va kuchlanish stabilizatorlari, chastota o'zgartgichlar, sinusoidal tebranishlar generatorlari va boshqa qator sxemalar yaratiladi.

Raqamli sxemotexnika qiymati bo'yicha kvantlangan elektr signallarni uzatish, qayta ishlash va qabul qilishga mo'ljallangan diskret EQ (DEQ)larni ishlab chiqish bilan shug'ullanadi. **Kvantlash** deb,

uzluksiz signa^lni uning alohida nuqtalardagi qiymatlari bilan almash-tirish jarayoniga aytiladi. Natijada, DEQlar signallarning bir-biridan keskin farqlanuvchi ikkita sath bilan ish ko'radi.

DEQlarning afzalliklari: qurilmada sochiluvchi quvvatning kichik-ligi, elementlar parametrlarining barqarorsizlikka nisbatan sust bog'lan-ganligi, xalaqitbardoshligining yuqoriligi, axborot saqlash, uzatish va qayta ishlash kanallarida bir turdagi elementlarning qo'llanishi, shu bilan birga, yuqori ishonchlik, kichik o'lchamlik va arzonlikni ta'min-laydi.

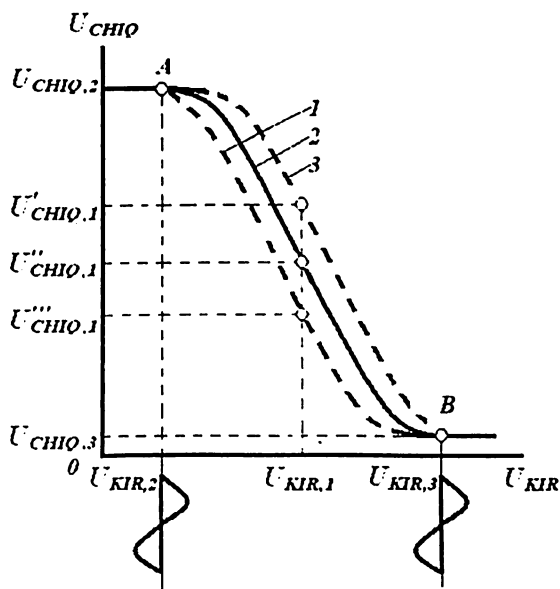
Raqamli qurilmalar asosini ikkita turg'un (ochiq va berk) holatda ishlashi mumkin bo'lgan tranzistorli elektron kalitlar tashkil etadi. Sodda kalitlar asosida murakkabroq: mantiqiy, bistabil, triggerli va boshqa sxemalar yaratiladi.

Raqamli va analog qurilmalar xususiyatlarini chiqish kattaligining kirish kattaligiga bog'liqligini ifodalovchi **uzatish xarakteristikalaridan** o'rganish qulaydir. Aniqlik uchun bunday kattalik kuchlanishdan iborat deb qabul qilingan.

Analog sxemalar inverslaydigan yoki inverslamaydigan bo'lishi mumkin. **Inverslaydigan** sxemalarda kirish kuchlanishining kichik qiymatlariga o'girilgan katta chiqish kuchlanishlari to'g'ri keladi, **inverslamaydigan**larda esa kichik kirish kuchlanishlariga kichik chiqish kuchlanishlari to'g'ri keladi.

Inverslaydigan sxemalarning an'anaviy uzatish xarakteristikasi 1.37-rasmda ko'rsatilgan. Elektron sxema elementlari parametrlarining tarqoqligi, temperaturaga bog'liqligi yoki eskirishi hisobiga uzatish xarakteristika deformatsiyalanadi va u uch xil ko'rinishdan biriga ega bo'ladi (1.37-rasmdagi 1, 2, 3-egri chiziqlar).

Kuchaytirgich kaskadlarda uzatish xarakteristikasining A va B nuq-talari orasidagi uzluksiz kvazichiziqli ishchi soha ishlatiladi. Kirish va chiqish signallari ko'rsatilgan soha chegarasida ixtiyoriy qiymatlarni qabul qilishi mumkin. Kirish signalining ma'lum bir qiymatida, masa-lan, U_{KIRI} da deformatsiya hisobiga chiqish signali uch xil qiymatga ega bo'lishi mumkin: U'_{CHIQL} , U''_{CHIQL} yoki U'''_{CHIQL} . Demak, kuchay-tirgich kaskadi, ya'ni analog sxemalar ham parametrlar tarqoqligiga, ularning temperatura ta'sirida o'zgarishiga va vaqt hisobiga eskirishi natijasida shovqinlarga va xalaqitlarga sezgir bo'ladi. **Shovqinlar** deb,

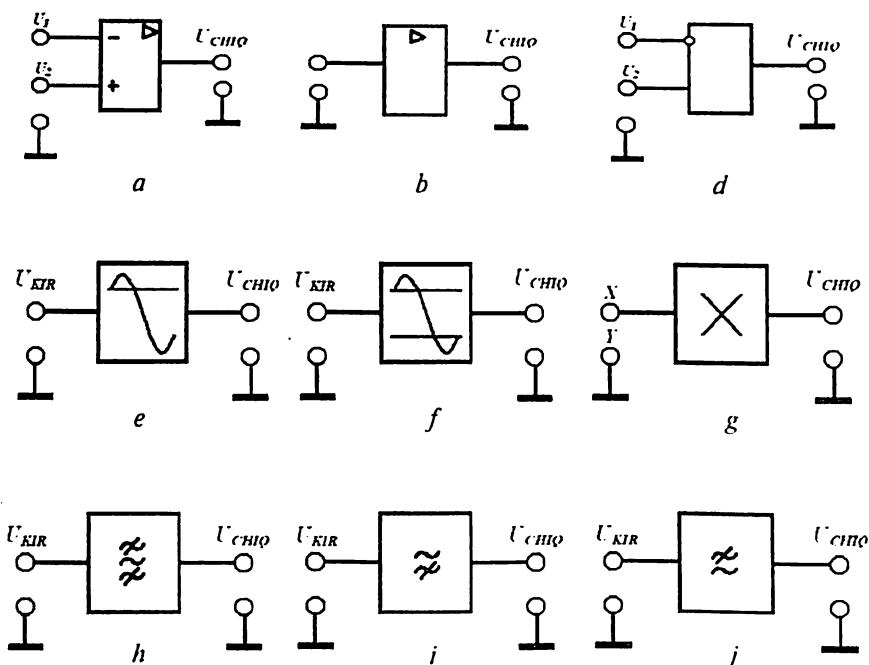


1.37-rasm. Inverslaydigan sxemaning uzatish xarakteristikasi.

elektron asboblarda tok va kuchlanishning tasodifiy o'zgarishlari tushuniladi. Shovqinlar barcha radioelektron asboblarga xos va ularni butunlay yo'qotib bo'lmaydi. Shovqinlar tebranishlarning amplituda va chastota fluktuatsiyalariga sabab bo'ladi (tasodifiy o'zgarishlar), axborot uzatishda xatoliklarga olib keladi va elektron asbobning sezgirligini belgilaydi. **Tashqi xalaqitlar** (kuchlanish manbai pulsatsiyalari va elektromagnit maydon) ham shunday natijaga olib keladi.

Tranzistorli elektron kalitlarda kirish va chiqish signallari (kuchlanish) faqat ikkita qiymatga ega bo'ladi: yoki U_{KIR2} va U_{CHIQ2} yoki U_{KIR3} va U_{CHIQ3} . Uzatish xarakteristikasining A va B nuqtalar orasidagi turli ko'rinishlarida chiqish signallari amalda o'zgarimas qoladi. Demak, kalitlar va ular asosidagi raqamli sxemalar parametrlar tarqoqligiga, ularning temperatura ta'sirida o'zgarishiga va eskirishiga, shuningdek, shovqin va xalaqitlarga sezgir emas. Shovqin yoki xalaqitlar 1.37-rasmda U_{KIR2} va U_{KIR3} nuqtalar atrofida sinusoidal orttirmalar ko'rinishida ko'rsatilgan.

Shuning uchun zamonaviy elektronika integral mikroelektronika bo'lib, unda raqamli integral elektron tizimlarga hal qiluvchi o'rin berilgan.



1.38-rasm. Analog o'zgartichlarning belgilanishi:

a – operatsion kuchaytirgich ; *b* – bir kirishli kuchaytirgich; *d* – komparator;
e – cheklagich; *f* – ikki tomonlama cheklagich; *g* – ko'paytirgich; *h* – polosali
 filtri; *i* – yuqori chastotalar filtri; *j* – past chastotalar filtri.

Shunday bo'lishiga qaramasdan, raqamli elektron tizimlar analog tizimlar o'rnini butunlay egallay olmaydi, chunki tabiatda kechadigan jarayonlar (birlamchi axborot) uzluksiz qonuniyat bo'yicha sodir bo'ladi va insonning axborot qabul qiluvchi, retseptor apparati analog o'zgartich kabi ishlaydi. Demak, signallarni o'zgartirishning boshlang'ich va oxirgi bosqichlari analog bo'lmasligining iloji yo'q. Ushbu axborotga ishlov berishni raqamli ko'rinishda olib borish ma'qulroq. Natijada, axborotga ishlov berishda raqamli usullardan foydalanuvchi har qanday tizim analog va raqamli signallarni o'zaro o'zgartiruvchi tizimlarga ega bo'lishi shart. Ular **analog-raqamli (ARO)** va **raqamli-analog o'zgartirgichlar (RAO)** deb ataladi. Nihoyat, shunday masalalar borki, ularda qurilmaning tezkorligi va uni amalga oshirishning soddaligi hal qiluvchi ahamiyat kasb etib, signallarni o'zgartirishda

yuqori aniqlik ham talab etilmaydi. Bunday hollarda analog qurilmalarsiz masalani hal etib bo'lmaydi.

Signalni o'zgartirish turlari. Analog signallarga ishlov berilganda ular kuchaytirilishi, ko'paytirilishi, solishtirilishi, qiymati chegaralanishi, chastotasi filtrlanishi va boshqa o'zgartirishlarga uchrashi mumkin.

Kuchaytirish, solishtirish, ko'paytirish kabi signal o'zgartirishlar keng ko'lamda ishlatiladigan, sanoatda seriyali ishlab chiqariladigan analog integral mikrosxemalar (AIS) yordamida amalga oshiriladi.

Kuchaytirish deganda, signal (kuchlanish yoki tok) amplitudasi, kuchlanish manbayi energiyasini chiqish signali energiyasiga o'zgartirilishi hisobiga chastotalarning chegaralanmagan oralig'ida nohiziqli buzilishlarsiz K_y marta ko'paytirish tushuniladi. Signallarni kuchaytirish operatsion kuchaytirgich (OK)lar, videochastotalarning keng polosali va YuCH kuchaytirgichlar yordamida amalga oshiriladi.

Chiziqli analog o'zgartirishlarni amalga oshirishda OK asos qurilma bo'lib xizmat qiladi. **Nohiziqli** analog o'zgartirishlarni amalga oshiruvchi asosiy qurilma sifatida signallarni analog **ko'paytirgich** xizmat qiladi. U ikkita kirishga ega bo'lgan o'zgartirgichdan iborat bo'lib, X va Y analog kattaliklar ko'paytmasi U_{CHIQ} ni aniqlaydi:

$$U_{CHIQ} = KXY,$$

bu yerda: K — masshtablovchi koeffitsiyent bo'lib, X va Y ga bog'liq emas.

Signallarni analog ko'paytirgich universal qurilma bo'lib, u ko'paytirish, bo'lish, darajaga ko'tarish, ildiz chiqarish kabi amallarni bajarish uchun ishlatiladi. Ko'paytirgichlar asosida barcha turdagi detektorlar, modulator-demodulatorlar, aktiv filtrlar, boshqaruvchi generatorlar va boshqalar hosil qilinadi.

Komparator ikkita analog kattalik U_1 va U_2 ni ma'lum aniqlik Δ bilan **solishtirish** funksiyasini bajaradi. Komparator OK asosida yaratilgan nohiziqli TA bilan qamrab olingan maxsus qurilmadir. U istalgan shakl va davomiylkdagi signallarni hosil qilish, o'lchash va analog axborotni raqamliga o'zgartirish uchun ishlatiladi.

Ba'zi kuchaytirgichlarda kirish va chiqish kuchlanishlari bog'liqligi chiziqli bo'ladi. Qator hollarda ortib boruvchi yoki kamayuvchi uzatish koeffitsiyentli kuchaytirish zarur bo'ladi. Bunda OKlarning TA

zanjirlari chiziqli (rezistor) va nochiziqli (diod, stabilizator) elementlardan tuzilgan murakkab bo'lgichlar ko'rinishida yaratiladi. Bunday qurilmalarda chiqish signali kirish signalining ma'lum qiymatidan boshlab o'zgarmas bo'lib qoladi.

Aktiv filtrlar o'zgartirilayotgan to'liq spektrdan zarur chastotalar diapazonini ajratib olish uchun ishlatiladi. Diskret elektronikada asosan *LC*- yoki *RC*-konturlar ko'rinishidagi passiv elementlardan tashkil topgan an'anaviy filtrlar ishlatiladi. Mikroelektronikada filtrlarning asosiy elementi bo'lib, chiziqli TAGa ega bo'lgan operatsion kuchaytirgich xizmat qiladi.

1.3. Analog qurilmalar sxemotexnikasi

Elektronikaning elektron asboblari VAXlari xususiyatlarini e'tiborga olgan holda axborotga ishlov berish usullarini ishlab chiquvchi bo'limi **sxemotexnika** deb ataladi.

Mikrosxemotexnika deb, elektronikaning IMSlarda va ular asosidagi REAlarda ishlatiladigan elektr va tuzilma sxemalarini ishlab chiqish, tadqiq etish bilan shug'ullanadigan bo'limiga aytiladi.

Zamonaviy IMSlar murakkab elektron qurilmadir, shuning uchun ularni sxemotexnik ifodalashning ikki usuli mavjud:

- **elektr sxema** ko'rinishida ifodalanish, u o'zaro ulangan alohida komponentlar (tranzistorlar, diodlar, rezistorlar va boshqalar)dan tashkil topadi.

- **tizim sxema** ko'rinishida ifodalanish, u AISlarda analog kaskadlarning ulanishidan yoki RISlarda alohida mantiqiy elementlar va triggerlarning ulanishidan iborat. Ushbu kaskadlar va elementlar analog (kuchaytirish, filtrlash va boshqa) yoki elementar mantiqiy (HAM-EMAS, YOKI-EMAS va boshqa) operatsiyalarni bajaradi. Bu operatsiyalar yordamida har qanday analog, analog-raqamli va raqamli funksiyalarni amalga oshirish mumkin.

Diskret sxemotexnikaga elektr sxemalar uchun sxemotexnik yechimlarning soddaligi va qimmat aktiv elementlarni minimal ishlatish, ajratuvchi kondensator, transformator va boshqalardan keng foydalanish xosdir.

Integral sxemotexnikada barcha elementlar yagona kristallda shakllantirilgani sababli, ularning qiymati elementlar narxi bilan emas,

balki kristall narxi bilan belgilanadi. Shuning uchun kristallda iloji boricha ko'proq elementlarni joylashtirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Kristalldagi aktiv elementlar — tranzistorlar, diodlar minimal yuzaga, passiv elementlar esa maksimal yuzaga ega bo'ladi. Shuning uchun ISlarda rezistorlarning soni minimal bo'lishiga intilinadi, katta yuzani egallovchi kondensatorlar qo'llanilmay, ularning o'rniga kaskadlarni muvofiqlashtiruvchi kaskadlardan foydalaniladi.

ISlarning boshqa xususiyati — murakkab elementlarning bir-biriga juda yaqin (< 10 mkm) joylashganligi sababli, ularning parametrlari ham bir-biridan deyarli farq qilmaydi (egizaklik prinsipi). Elementlar eskirganda, kuchlanish manbayi va temperatura o'zgarganda ularning parametrlari ham bir xilda o'zgarib, parametrlar korrelatsiyasi saqlanadi. ISlarning ushbu xususiyati diskret tranzistorli tuzilmalarda amalga oshirib bo'linmaydigan yuqori aniqlikdagi differensial kaskadlar, barqaror tok va kuchlanish generatorlarini yaratish imkonini berdi.

AI mahsulotlarining turlari ko'p bo'lishiga qaramasdan, ularning barchasida, sxemotexnik umumlashtirish va loyihalashni yengillash-tirish maqsadida, chegaralangan sonli asos elementlar: sodda kuchay-tirgich kaskadi, differensial kuchaytirgich, barqaror tok generatori, o'zgarmas kuchlanish sathini siljituvchi qurilma, chiqish kaskadi va boshqalardan foydalaniladi. Ular asosida integral mikrosxemo-texni-kaning OKlari va analog ko'paytirgichlari yaratilgan bo'lib, ular yordamida istalgan analog funksional masala amalda hal qilinishi mumkin.

1.4. Analog kuchaytirgich qurilmalarining asosiy xususiyatlari

Umumiy ma'lumotlar. Signal manbayi quvvati yetarli bo'lmaganda, **yuklama** R_{yu} deb ataluvchi bajaruvchi qurilma normal ishlashi uchun kuchaytirgich qurilmalardan foydalanish zarurati tug'iladi. Akustik tizimlar, elektron-nur trubkalar, keyingi kuchaytirgich kaskadning kirishi va boshqalar yuklama bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Kirish signali manbayi yoki datchik turli noelektr kattaliklarni elektr signalga birlamchi o'zgartiradi. Mikrofon, detektor, fotoqabulqilgich, avvalgi kuchaytirgich qurilma chiqishi va boshqalar kirish signallari

manʼhayi boʻlib xizmat qiladi. Yuklama^{da} hosil qilinishi zarur boʻlgan quvvat yordamchi kuchlanish manbayidan (toʻgʻrilagich, akkumulator, batareya) olinadi. Energiyani kuchlanish manbayidan yuklamaga uzatishda kuchaytirgich qurilma yoki kuchaytirgich vositachilik qiladi.

Ideal kuchaytirgichning eng umumiy xususiyati kirish quvvati R_{KIR} ni R_{CHIQ} ga quyidagicha koʻrinishda oʻzgartirishdan iborat:

$$P_{CHIQ} = K \cdot P_{KIR}$$

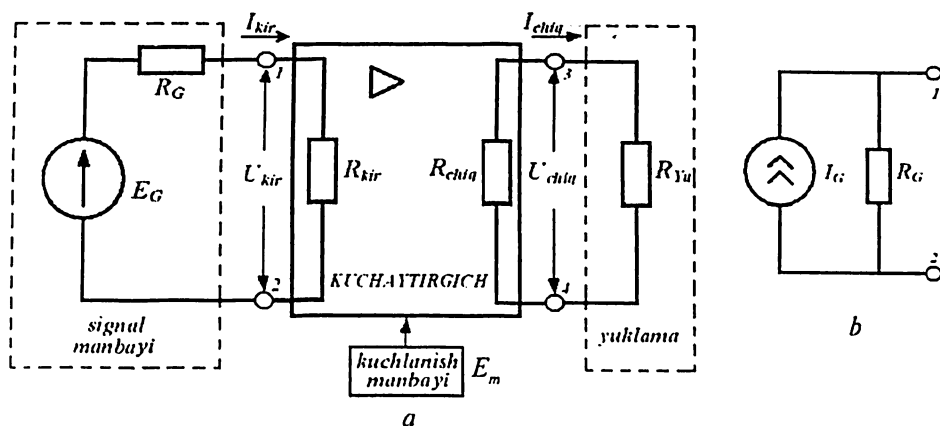
Yaʼni chiqish kuchlanishi qiymati kuchaytirgich ishlayotgan sharoitga, xususan, yuklama qarshiligi va kirish signali manbayining ichki qarshiligiga bogʻliq boʻlmasligi kerak.

Bu shart ideal kuchaytirgichlardagina bajariladi. Ularning chiqishida cheksiz quvvat ajraladi va kirishida mutlaqo energiya sarflanmaydi. Real kuchaytirgich xususiyatlari esa ideal kuchaytirgich xususiyatlariga biroz yaqinlashadi.

Kuchaytirgich deb, manba energiyasini kirish signali qonuniyatiga mos ravishda chiqish signali energiyasiga oʻzgartiruvchi qurilmaga aytiladi.

Kuchaytirishni taʼminlash uchun ideal kuchaytirgich oʻz tarkibida kirish signali taʼsirida qarshiligini chiziqli oʻzgartiruvchi elementga ega boʻlishi zarur. Lekin hozirgi kungacha qarshiligini chiziqli oʻzgartiruvchi kuchaytirgich elementlar mavjud emas. Shuning uchun kuchaytirishni amalga oshirishi mumkin boʻlgan boshqariluvchi element sifatida BT va MTlar ishlatiladi. Nochiziqli VAXga ega boʻlgan holda, tranzistor amalda boshqariladigan qarshilikni ifodalaydi. Qarshilik qiymati tranzistorning ulanish usuli, boshqaruvchi signal qiymati va ishorasiga bogʻliq boʻladi. Tranzistorlarning asosiy kamchiliklari boʻlib VAXning nochiziqligi va temperaturaga bogʻliqligi hisoblanadi.

Kuchaytirgichning tuzilish sxemasi 1.39-rasmda koʻrsatilgan boʻlib, u kirish R_{KIR} va chiqish R_{CHIQ} qarshiliklari hamda kuchlanish manbayi E_m dan tashkil topgan. Kuchaytirish kaskadi, koʻp kaskadli kuchaytirgich yoki OK kuchaytirgich boʻlib xizmat qilishi mumkin. Kuchaytirgichning 1 va 2 kirish elektrodlariga kuchaytirilishi zarur boʻlgan signal manbayi (datchik) ulanadi. Datchik EYUK generatorli E_G ekvivalent ikki qutblilik (1.39, *a*-rasm) yoki ichki qarshiligi R_G boʻlgan tok generatori I_G (1.39, *b*-rasm) sifatida koʻrsatiladi.



1.39-rasm. Kuchaytirgichning tuzilish sxemasi.

Agar $R_{KIR} \gg R_G$ bo'lsa, kuchaytirgichni **boshqarish kuchlanish bilan** amalga oshiriladi. Bu holda kirish toki e'tiborga olmasa bo'ladigan darajada kam va kuchaytirgich kirishida U_{KIR} signal E_G ga yaqin bo'ladi. $R_{KIR} \ll R_G$ bo'lganda esa E_G/R_G ga yaqin kirish toki I_{KIR} bilan ifodalanadi, bu vaqtda kirish kuchlanishini e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Bu holda kuchaytirgichni **boshqarish tok bilan** $R_{KIR} \approx R_G$ bo'lganda esa **boshqarish quvvat bilan** amalga oshiriladi.

Yuklama 3 va 4 elektrodlanga ulanadi. Agar $R_{yu} \gg R_{CHIQ}$ bo'lsa, kuchaytirgich yuklamada kuchlanish manbayi EYUK E_m ga qadar U_{CHIQ} kuchlanish hosil qiladi, bunda chiqish toki e'tiborga olinmaydigan darajada kam bo'ladi. Bunday rejim **potensial chiqish** deb ataladi. $R_{yu} \ll R_{CHIQ}$ bajarilganda esa chiqishda kuchaytirgich qisqa tutashuvga yaqin rejimda ishlaydi va chiqish toki E_m/R_{CHIQ} ga qadar, chiqish kuchlanishi esa e'tiborga olmasa bo'ladigan darajada kichik bo'ladi. Bu rejim **tokli chiqish** deb ataladi.

Kuchaytirgichlarning tasniflanishi. Kuchaytirgichlar turli belgilariga ko'ra tasniflanadi: kuchaytirish koeffitsiyentlari, kirish va chiqish qarshiliklari, o'tkazish polosasi (ishchi chastotalar diapazoni), kuchaytirilgan signal buzilish darajasi va boshqalar.

Har qanday kuchaytirgich pirovardida quvvat kuchaytirgich bo'lishiga qaramasdan, kuchaytiriladigan kattaliklari turiga ko'ra, kuchlanish, tok va quvvat kuchaytirgichlariga ajratiladi.

Kuchaytiriladigan kattaliklari turiga ko'ra, kuchaytirish koef-fitsiyentlari quyidagicha bo'ladi:

kuchlanish bo'yicha: $K_U = \frac{U_{CHIQ}}{U_{KIR}} ;$

tok bo'yicha: $K_I = \frac{I_{CHIQ}}{I_{KIR}} ;$

quvvat bo'yicha: $K_P = \frac{P_{CHIQ}}{P_{KIR}} = K_U K_I .$

Har bir kuchaytirgichning **kirish** va **chiqish differensial qarshiligi**

$$R_{KIR} = \frac{U_{KIR}}{I_{KIR}} , \quad R_{CHIQ} = \frac{U_{CHIQ}}{I_{CHIQ}}$$

bilan ifodalanadi.

Kirish qarshiligi signal manbayiga nisbatan yuklama vazifasini bajaradi. Shuning uchun R_{KIR} qanchalik katta bo'lsa, signal manbayi shunchalik kam yuklatilgan bo'ladi va uning kuchlanishi kuchaytirgich kirishiga yaxshiroq uzatiladi.

Chiqish qarshiligi kuchaytirgichning yuklatilishga qodirligini ifodalaydi: u qanchalik kichik bo'lsa, tashqi yuklama shunchalik katta tok olishi va uning qarshiligi shunchalik kichik bo'lishi mumkin.

Yuqoridagi ifodalarda kirish va chiqish toklari, kuchlanishlari o'zlarining o'zgaruvchan tashkil etuvchilari bilan ko'rsatilgan. Signallar sinusoidal ko'rinishida bo'lgan holda ularning ta'sir etuvchi qiymatlari $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} , \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ ga teng bo'ladi, bu yerda, U_m va I_m — ularning amplitudalari.

Agar kaskad kuchlanish bilan boshqarilsa va potensial chiqishga ega bo'lsa, kuchaytirgich **kuchlanish kuchaytirgich** deb ataladi va u kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefitsiyenti K_U bilan ifodalanadi.

Agar kaskad tok bilan boshqarilsa va tokli chiqishga ega bo'lsa, kuchaytirgich **tok kuchaytirgich** deb ataladi va u tok kuchaytirish koefitsiyenti K_I bilan ifodalanadi.

Agar $R_{KIR} = R_G$, $R_{CHIQ} = R_{yu}$ bo'lsa, kuchaytirgich **quvvat kuchaytirgich** deb ataladi va u quvvat bo'yicha kuchaytirish koefitsiyenti K_P bilan ifodalanadi. Bu holda kirish signali manbayi

$$P_{KIR} = \frac{E_G^2}{2(R_G + R_{KIR})} = \frac{E_G^2}{4R_G}$$

ga teng maksimal quvvat uzatadi, kuchaytirgich esa yuklamada bo'lishi mumkin maksimal quvvatni hosil qiladi

$$P_{CHIQ} = \frac{E_M^2}{4R_{CHIQ}}.$$

Bundan maksimal quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti

$$K_{pm.max} = \frac{E_M^2}{E_G^2} \cdot \frac{R_G}{R_{CHIQ}}.$$

Amalda ushbu kattaliklarning logarifmlari bilan ishlash qulaydir.

Detsibellarda ifodalangan kuchaytirish koeffitsiyenti K_p uchun quyidagi ifoda o'rinli:

$$K_p (dB) = 10 \lg K_p.$$

Elektr quvvat tok yoki kuchlanish kvadratiga proporsional bo'lgani sababli, kuchlanish va tok kuchaytirish koeffitsiyentlari uchun, mos ravishda, quyidagilarni yozish mumkin:

$$K_U (dB) = 20 \lg K_U \text{ va } K_I (dB) = 20 \lg K_I.$$

Agar alohida kaskadning kuchaytirish koeffitsiyenti detsibellarda ifodalangan bo'lsa, ko'p kaskadli kuchaytirgichning umumiy kuchaytirish koeffitsiyenti alohida kaskadlar kuchaytirish koeffitsiyentlari yig'indisiga teng bo'ladi. K_U ning detsibellarda va nisbiy birliklardagi qiyosiy qiymatlari 1.1-jadvalda keltirilgan.

1.1-jadval

K_U, dB	0	1	2	3	10	20	40	60	80
K_U	1	1,12	1,26	1,41	3,16	10	100	10^3	10^4

Kuchaytirilayotgan chastotalar diapazoniga ko'ra, kuchaytirgichlar o'zgaras va o'zgaruvchan tok kuchaytirgichlariga bo'linadi. Ular kuchaytirgichning o'tkazish polosasiga ko'ra farqlanadi. Har bir kuchaytirgich uchun past f_p va yuqori f_{yu} chegaraviy chastotalar kiritiladi. Bu chastotalarda kuchaytirish koeffitsiyenti 3 dBga pasayadi.

O'zgarmas tok kuchaytirgich kirish signalini nolinchi chastotadan yuqori chegaraviy chastotagacha bo'lgan diapazonda kuchaytiradi ($0 \leq f \leq f_m$).

O'zgaruvchan tok kuchaytirgichlar quyidagi guruhlariga ajratiladi:

- **past chastota kuchaytirgichlar (PCHK)** – kuchaytiriladigan chastotalar diapazoni bir necha gersdan yuzlarcha kilogersgacha;

- **yuqori chastota kuchaytirgichlar (YuCHK)** – kuchaytiriladigan chastotalar diapazoni yuzlarcha kilogersdan megagersgacha;

- **keng polosali kuchaytirgichlar** – kuchaytirish diapazoni o'nlar-cha gersdan yuzlarcha megagersgacha;

- **tanlovchi (rezonans) kuchaytirgichlar** juda tor chastotalar diapazonida kuchaytiradi.

Bitta kaskadning kuchaytirish koeffitsiyenti, odatda, 30 dBdan oshmaydi. Kuchaytirishni kattalashtirish uchun ko'p kaskadli kuchaytirgichdan foydalaniladi. U ketma-ket ulangan bir necha kaskaddan tashkil topgan bo'ladi.

Kaskadlarni raqamlash kirishdan boshlanadi. Birinchi kaskad **kirish kaskadi** bo'lib, u kuchaytirgichni kirish signali manbayi bilan muvofiqlashtiradi. Kirish signalini minimal so'ndirish uchun u katta kirish qarshiligiga ega bo'lmog'i lozim. **Oraliq kaskad** kirish kaskadiga yuklama bo'lib, kirish kaskadini chiqish kaskadi bilan muvofiqlashtirish uchun xizmat qiladi. **Chiqish kaskadi** aksariyat hollarda quvvat kuchaytirgichni tashkil etadi.

Ulanish zanjirlariga muvofiq, ko'p kaskadli kuchaytirgichlar quyidagi turlarga ajratiladi:

- **galvanik (bevosita) ulanishli kuchaytirgichlar** – ham o'zgaruvchan, ham o'zgarmas signallarni kaskadlararo uzatish imkonini beradi;

- **RC-ulanishli kuchaytirgichlar** – ilgarigi kaskad chiqishini keyingi kaskad kirishi bilan rezistor-sig'imli zanjir orqali bog'laydi;

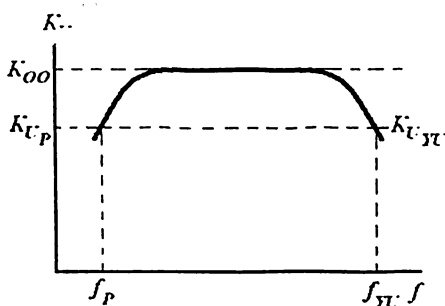
- **induktiv (transformatorli) ulanishli kuchaytirgichlar** – kaskadlar orasiga transformator ulanadi.

Integral ko'rinishda yaratilgan kuchaytirgich qurilmalarida faqat galvanik ulanishdan foydalaniladi.

Kuchaytirgichda signallar buzilishi. Kuchaytirgichda signal kuchaytirilishi bilan shakl o'zgarماسligi kerak. Chiqish signali shaklining

kirish signali shaklidan farqlanishi **signal buzilishi** deb ataladi. Buzilishlar ikki xil bo'ladi: chiziqli va nochiziqli.

Chiziqli buzilishlar tranzistor va kuchaytirgich qurilmasining boshqa elementlari parametrlarining chastotaga bog'liqligi sababli yuzaga keladi. Elektr signallar turli chastotaga ega bo'lishi mumkinligi sababli, kuchaytirish koef-fitsiyentlari chastota o'zgarishi bilan qanday o'zgarishini bilish muhim-dir. Kuchaytirgichning **amplituda-chastota xarakteristikasi (ACHX)** deb, K_U ning kuchlanish bo'yicha kuchaytirilayotgan signal chasto-tasiga bog'liqligiga ataladi. ACHX yordamida (1.40-rasm), kuchaytir-gich ishlaydigan chastotalar diapazonining pastki va yuqorigi chastota-larida chastota buzilish koefitsiyentlari M_p va M_{yu} ni aniqlash mumkin:



1.40-rasm. Kuchaytirgich ACHXsi.

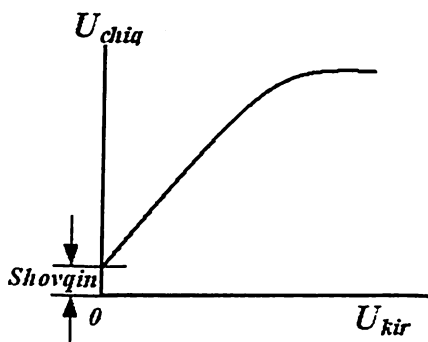
$$K_U(f_P) = K_{U0} / M_P, \quad K_U(f_{YU}) = K_{U0} / M_{YU},$$

bu yerda: K_{U0} – nominal kuchaytirish koefitsiyenti, ya'ni K_U o'zgarmas bo'lgan chastotalar oralig'idagi kuchaytirish koefitsiyenti.

Kuchaytirgichga qo'yiladigan talablarga mos ravishda M_P va M_{YU} qiymatlari 1,4 dan 3÷5 gacha olinadi. Agar M_P va M_{YU} qiymatlari berilmagan bo'lsa, $M_P = M_{YU} = \sqrt{2} = 1,4$ bo'ladi (agar kuchaytirish koefitsiyenti detsibellarda ifodalansa, kuchaytirish 3 dBga pasayishini anglatadi).

Nochiziqli buzilishlar kuchaytirgichlarda ishlatilgan tranzistorlar VAXlarining nochiziqliligi hisobiga yuzaga keladi. Shuning uchun kuchaytirgich kirishiga sinusoidal signal berilganda, chiqish signali yangi garmonikalarga ega bo'lib, toza sinusoidalni takrorlamaydi.

Nochiziqli buzilishlar garmonik buzilishlar koefitsiyenti bilan baho-lanadi. Kuchaytirgich chiqishidagi yuqori garmonikalar ($U_2, U_3, \dots$) amplitudalarining o'rta kvadrat qiymatlarini asosiy tebranishlar ampli-tudasiga (U_1) nisbatining foizlarda ifodalangan qiymati garmonik buzi-lishlar koefitsiyenti deb ataladi va quyidagicha topiladi:



1.41-rasm. Kuchaytirgich amplituda xarakteristikasi.

$$K_G = 100 \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{\infty} U_i^2}}{U_1} . \quad (1.1)$$

Nochiziqli buzilishlarni baholash uchun kuchaytirgichning amplituda xarakteristikasi – chiqishdagi kuchlanish (tok) birinchi garmonikasi amplitudasining kirish kuchlanishi (tok) amplitudasiga bog‘liqligidan foydalanish mumkin (1.41-rasm). U_{KIR} ning

katta bo‘lmagan qiymatlarida amplituda xarakteristikasi amalda chiziqli bo‘ladi. Uning og‘ish burchagi kuchaytirish koeffitsiyenti bilan aniqlanadi. U_{KIR} qiymati ortib borgan sari to‘g‘ri proporsionallik buziladi, ya’ni kuchaytirish koeffitsiyenti kuchaytiriladigan signal qiymatiga bog‘liq bo‘la boshlaydi.

Kuchaytirgich **nolning dreyfi** deb ataluvchi parametr bilan ham ifodalanadi. Nolning dreyfi yuz berganda kuchaytirgich chiqishidagi kuchlanish yoki tok o‘z-o‘zidan siljiydi. Nolning siljishi chiqish signalining o‘zgarishi kabi bo‘lgani sababli, uni signaldan ajratib bo‘lmaydi. Natijada dreyf qiymati o‘zgarmas tok kuchaytirgichlar sezgirligini cheklaydi.

1.5. Kuchaytirgich kaskadlarning kuchaytirish sinflari

Kuchaytiriladigan signal sinusoidal yoki impuls ko‘rinishida bo‘lishi mumkin. **Impuls** deb, kuchlanish yoki tokning biror o‘rnatilgan U_0 yoki I_0 qiymatidan qisqa vaqtli chetlashishlariga aytiladi. Chiqish signali shakli kirish signali shakli bilan bir xil (signal buzilmagan) yoki farqli (signal buzilgan) bo‘lishi mumkin. Signal buzilishlari uning amplitudasiga hamda kuchaytirgich sokinlik nuqtasi (rejimi)ning tanlanishiga bog‘liq.

Kuchaytirgichning sokinlik rejimi deb, kirish kuchlanishi U_{KIR} va kuchlanish manbayi qiymati E_G o‘garmas bo‘lgan holatga aytiladi.

Ko'rinib turibdiki, sokinlik rejimida tranzistor toklari qiymatlari ham o'zgarmas bo'ladi.

Kirish signalining berilgan shaklida sokinlik rejimi qanday tanlanishiga bog'liq holda signal buzilishlari qiymatidan tashqari, kuchaytirgichning foydali ish koeffitsiyenti (FIK) ham o'zgaradi. Gap shundaki, kirish signali bor yoki yo'qligidan qat'iy nazar, tranzistorlarda kuchlanish manbayi energiyasi sarf bo'ladi va shunga mos quvvat sochiladi. Chiqish signali quvvatining kuchlanish manbayidan olinayotgan quvvatga nisbati orqali FIK aniqlanadi:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} U_{CHI.Q.m} I_{CHI.Q.m}}{E_M I_{O.RT}}, \quad (1.2)$$

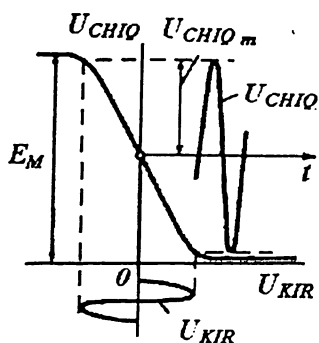
bu yerda: $I_{CHI.Q.m}$, $U_{CHI.Q.m}$ – chiqish kattaliklar amplitudasi; E_M – kuchlanish manbayi kuchlanishi; $I_{O.RT}$ – o'rtacha tok.

Kuchaytirgich kaskadlar nochiziqli buzilishlari FIKi ularning statik uzatish xarakteristikalarini asosida baholanishi mumkin. Ishchi nuqtaning joylashgan o'rniga bog'liq holda, kuchaytirish sinflari **A**, **B**, **AB** va boshqa sinflarga ajratiladi. Ushbu sinflar FIKlarining maksimal qiymatlari va nochiziqli buzilishlar qiymatlari bilan bir-biridan farq qiladi.

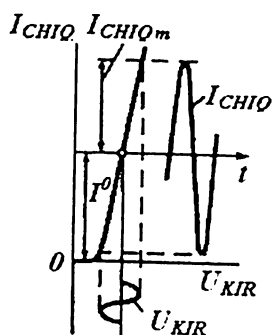
A sinf kuchaytirgichlar. A sinf kuchaytirgichlarda sokinlik rejimida ishchi nuqta uzatish xarakteristikasining kvazichiziqli sohasi o'rtasida joylashadi (1.42, *a* va *b*-rasmlar). Ushbu rejimda kirish signalining to'liq davri davomida tranzistor chiqish zanjiridan tok oqadi. Nochiziqli buzilishlar minimal ($K_G = 1\%$), chunki kirish signalining ikkala yarim davri uzatish xarakteristikasining kvazichiziqli sohasida yotadi. Agar (1.2) formulaga $U_{CHI.Q.m} = 1/2 E_M$; $I_{CHI.Q.m} = I_{O.RT}$ qo'yilsa, FIK qiymati $\eta = 1/4$, ya'ni 25% ni tashkil etadi.

A rejim kuchaytirgichlarda η qiymati kichik bo'lgani sababli, u kichik quvvatli kirish kaskadlarda ishlatiladi. Bunday kuchaytirgichlar uchun η hal qiluvchi ahamiyatga ega emas, ularda K_G muhim hisoblanadi.

B sinf kuchaytirgichlar. Ushbu rejimda ishchi nuqta tranzistorning berk holatiga mos keluvchi kvazichiziqli soha chegarasida joylashadi. Bunda tranzistor berk rejimda bo'ladi (1.43, *a* va *b*-rasmlar). Tranzistor

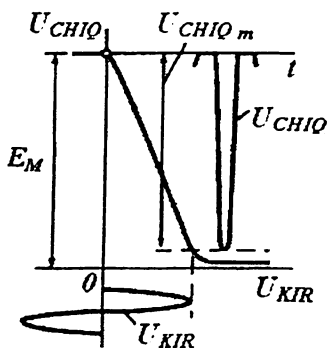


a

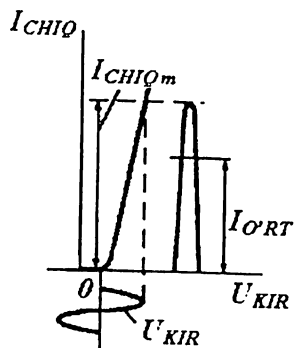


b

1.42-rasm. A sinf kuchaytirgichlarning uzatish (a) va o'tish (b) xarakteristikalarini.



a



b

1.43-rasm. B sinf kuchaytirgichlarning uzatish (a) va o'tish (b) xarakteristikalarini.

chiqish zanjiridan tok faqat kirish signali o'zgarishining yarim davrida oqadi. Shuning uchun chiqish kuchlanishi sinusoidadan keskin farq qiladi, ya'ni ko'p sonli garmonik tashkil etuvchilarga ega bo'ladi.

Hisoblashlarning ko'rsatishicha, B sinf kuchaytirgichlarda signal amplitudasiga bog'liq bo'lmagan holda K_G 70% ga yaqin bo'ladi, kaskadning FIK ini 0,7 gacha olib chiqish mumkin. Shuning uchun o'rta va katta quvvatli kuchaytirgichlarda ishlatish uchun B sinf kuchaytirgichlar afzalroq hisoblanadi.

Kirish signalining musbat va manfiy yarim davrlarini kuchaytirish uchun ikki taktli sxemalardan foydalaniladi. Ikki taktli sxema har biri B sinfda ishlovchi ikkita kuchaytirgichdan iborat bo'ladi. B sinf kuchaytirgichlarning kuchaytirilgan signallarida signal buzilishlari katta bo'lgani sababli, kuchaytirgichlarda B sinf amalda ishlatilmaydi.

AB sinf kuchaytirgichlar. AB kuchaytirish rejimida ishchi nuqta berkitish chegarasida emas, balki EO' to'g'ri (zatvor-istok o'tishga teskari) siljirilgan sohada, A sinfdagiga qaraganda ancha kichik toklarda bo'ladi.

A sinf FIKi kichik bo'lgani sababli, mikroelektronikada kam ishlatiladi. B va AB sinflarning ikki taktli kuchaytirgichlari keng tarqalgan.

D sinf kuchaytirgichlari. Ular impulsli quvvat kuchaytirgichlarda ishlatiladi. D sinf, shuningdek, kalit rejim deb ham nomlanadi. Ushbu ishchi rejimda tranzistor faqat ochiq yoki berk holatda bo'lishi mumkin. Shuning uchun bunday kuchaytirgich kaskadning FIKi birga yaqin bo'ladi.

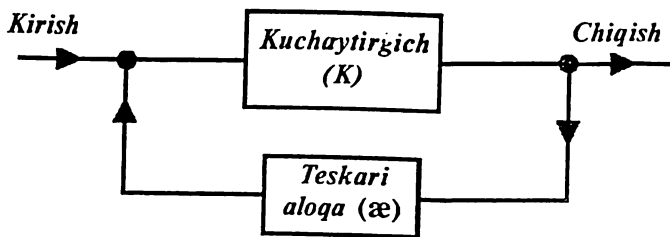
D sinfda ishlayotgan kuchaytirgichning chiqish kuchlanishi hamma vaqt to'g'ri burchakli impuls ko'rinishiga ega bo'ladi va kirish signalining kuchaytirilishi uning davomiyligi yoki fazasi o'zgarishi hisobiga amalga oshadi.

1.6. Kuchaytirgichlarda teskari aloqa

Teskari aloqa (TA) deb, kuchaytirgich chiqish zanjiridan kirish zanjiriga energiya uzatishga aytiladi. Chiqish signali kuchaytirgichning kirish zanjiriga to'liq yoki qisman uzatilishi mumkin. Bitta kaskadni egallagan TA **mahalliy**, ko'p kaskadli kuchaytirgichni butunlay egallagan TA esa **umumiy** deb ataladi.

Umumiy holda TA signali kirish signaliga qo'shilishi yoki ayirilishi mumkin. Shunga ko'ra, ular, mos ravishda, musbat va manfiy TAgga ajratiladi. Agar kuchaytirgichning kirish signali va TA signali fazalari bir xil bo'lsa, TA **musbat**, agar π burchakka farq qilsa, ya'ni fazalari teskari bo'lsa, TA **manfiy** deb ataladi.

Manfiy TAning kiritilishi, tranzistor ishlash sharoiti o'zgarganda, kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti va boshqa parametrlari



1.44-rasm. TAli kuchaytirgichning tuzilish sxemasi.

barqarorligini oshiradi. Bundan tashqari, manfiy TA kuchaytirgichning o'tkazish polosasini oshirish imkonini beradi, nochiziqli buzilishlar darajasini pasaytiradi.

Manfiy TA kuchaytirgichlarda, musbat TA esa elektr signallar generatorlarida va maxsus elektron qurilmalarda ishlatiladi.

1.44-rasmda TAli kuchaytirgichning tuzilish sxemasi keltirilgan. Bu yerda: K – kuchaytirish koeffitsiyenti, TA zanjiri TA koeffitsiyenti α bilan ifodalanadi. Chiqish signalining qanday qismi kuchaytirgich kirishiga uzatilayotganini α ko'rsatadi.

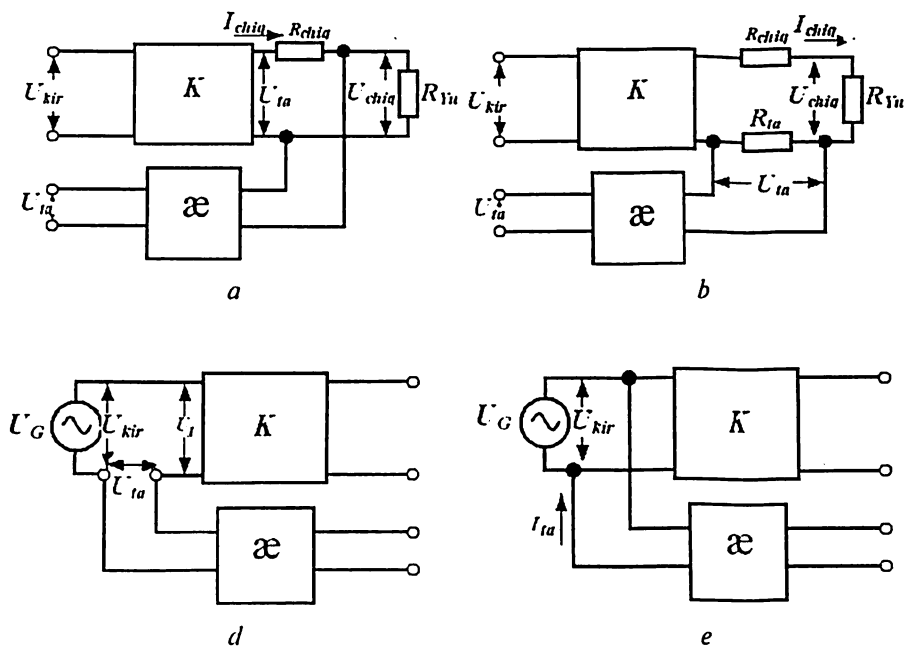
Kuchaytirgichlarda manfiy TAning turli ko'rinishlaridan foydalaniladi. TA zanjiri kuchaytirgich **chiqishiga** qanday ulanganiga mos ravishda, kuchlanish bo'yicha va tok bo'yicha TA amalga oshiriladi:

– **kuchlanish bo'yicha** TA amalga oshirilganda TA zanjiri sxema chiqishiga yuklama bilan parallel ulanadi (1.45, *a*-rasm). Bunda TA kuchlanishi kuchaytirgich R_{yu} yuklamasidagi kuchlanishga proporsional bo'ladi;

– **tok bo'yicha** TA amalga oshirilganda TA zanjiri sxema chiqishiga R_{yu} bilan ketma-ket ulanadi (1.45, *b*-rasm). Buning uchun chiqish zanjiriga maxsus R_{TA} rezistor ulanadi, bu rezistordagi kuchlanish pasayishi R_{yu} yuklamadagi chiqish tokiga proporsional bo'ladi.

TA zanjirining kuchaytirgich **kirishiga** ulanish usuliga ko'ra, ketma-ket va parallel TAlarga ajratiladi:

– **ketma-ket ulangan** TA amalga oshirilayotganda TA zanjiri kuchaytirgichning kirish tomonidan signal manbayiga ketma-ket ulanadi (1.45, *d*-rasm);



1.45-rasm. Chiqishda: kuchlanish bo'yicha (a), tok bo'yicha (b) va kirishda: ketma-ket (d) va parallel (e) ulangan manfiy TA turlari.

– **parallel ulangan TA** amalga oshirilayotganda TA zanjiri kuchaytirgichning kirish tomonidan signal manbayiga parallel ulanadi (1.45, e-rasm).

Manfiy TA signallarini kirish zanjiriga uzatish usuliga ko'ra uning turini quyidagi amaliy maslahatlar yordamida oson aniqlash mumkin: agar TA signali tranzistor emitteriga (istokiga) uzatilsa, aloqa ketma-ket, agar bazaga (zatvorga) uzatilsa, aloqa parallel amalga oshirilgan bo'ladi.

Kombinatsiyalashgan (aralash) TA da: bir vaqtda ham tok, ham kuchlanish bo'yicha TA hamda bir vaqtda ketma-ket va parallel TA bo'lishi mumkin. Turli ko'rinishdagi manfiy TAga ega kuchaytirgichlarning to'liq tuzilish sxemasi keltirilgan to'rtta sxemadan ikkitasini ishlatgan holda hosil qilinadi.

Quyida manfiy TA kuchaytirgich parametrlariga qanday ta'sir ko'rsatishini ko'rib chiqamiz.

Kuchaytirish koeffitsiyenti. Kuchaytirgichda kuchlanish bo'yicha manfiy TA mavjud bo'lsin (1.45, d-rasm). Quyidagi ifodalarda kirish va chiqish toklari hamda kuchlanishlar o'zlarining o'zgaruvchan tashkil etuvchilari bilan ko'rsatilgan.

$$U_{TA} = \varepsilon U_{CHIQ} \quad (1.3)$$

TA kuchlanishi kirish kuchlanishidan ayiriladi, shuning uchun:

$$U_1 = U_{KIR} - U_{TA} = U_{KIR} - \varepsilon U_{CHIQ} \quad (1.4)$$

$$\text{yoki } U_{KIR} = U_1 + \varepsilon U_{CHIQ} \quad (1.5)$$

Agar TA mavjud bo'lmasa, $U_{KIR} = U_1$ va kuchaytirgichning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagiga teng:

$$K_U = U_{CHIQ} / U_{KIR} \quad (1.6)$$

Manfiy TA mavjud bo'lganda (1.5)ni e'tiborga olgan holda quyidagi ifoda o'rinli bo'ladi:

$$K_{UTA} = U_{CHIQ} / U_{KIR} = U_{CHIQ} / (U_1 + \varepsilon U_{CHIQ}).$$

(1.6)ni e'tiborga olgan holda manfiy TA mavjud bo'lganda kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagicha teng:

$$K_{UTA} = K_U / (1 + \varepsilon K_U). \quad (1.7)$$

(1.7)dan kuchlanish bo'yicha manfiy TAda kuchaytirish koeffitsiyenti kamayishi ko'rinib turibdi, lekin bir vaqtning o'zida uning qiymati barqarorlashadi. $\varepsilon K_U = 100$ bo'lganda K_U ning qiymati qandaydir sabablarga ko'ra 50% ga oshsin, lekin bunda K_{UTA} boryo'g'i 0,2% ga oshadi.

$1 + \varepsilon K_U = F$ yig'indi **manfiy TAning chuqurligi** deb ataladi. Agar manfiy TAda $\varepsilon \gg 1$ bo'lsa, bunday TA **chuqur manfiy TA** deb ataladi. Chuqur MTAda kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagicha bo'ladi:

$$K_{UTA} \approx 1/\varepsilon. \quad (1.8)$$

(1.8)dan juda muhim xulosa chiqadi: $F > 10$ bo'lganda K_{UTA} **faqat TA uzatish koeffitsiyenti ε bilan aniqlanadi** va TAsiz holdagi kuchaytirish koeffitsiyenti K_U ga bog'liq bo'lmaydi. Bu K_{UTA} ga

temperatura, parametrlar tarqoqligi, radiatsion nurlanish, eskirish kabi omillar ta'sir etmasligini anglatadi. Shuning uchun manfiy TA kiritilganda kuchaytirish ko'effitsiyenti kamaysa ham, turli kuchlanish kuchaytirgichlarda keng qo'llanadi.

Tok kuchaytirgichlarda asosan tok bo'yicha parallel manfiy TA qo'llanadi (1.45, e-rasm). Bunda TA kuchlanishi U_{TA} qo'shimcha rezistor R_{TA} orqali oquvchi TA toki I_{TA} ni hosil qiladi. Kuchaytirgichning kirish zanjirida I_{TA} va kirish signali toki qo'shiladi. $U_{TA} = I_{CHIQ} \cdot R_{TA}$, tok bo'yicha teskari aloqa ko'effitsiyenti esa $\alpha_I = I_{TA} / I_{CHIQ} \approx R_{TA} / R_{yu}$. Tok bo'yicha manfiy TA chuqurligi $F_I = 1 + \alpha K_I$ ga teng.

Tok bo'yicha parallel manfiy TA asosan tok kuchaytirgichlarda qo'llanilgani sababli, uning tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti K_{ITA} ga ta'sirini ko'rib chiqamiz. (1.7) kabi

$$K_{ITA} = K_I / (1 + \alpha_I K_I) = K_I / F_I \quad (1.9)$$

ni topamiz, bu yerda K_I — manfiy TA ga ega bo'lgan kuchaytirgichning tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti.

Kuchlanish bo'yicha manfiy TA da K_{UTA} barqarorlashsa, parallel manfiy TA da K_{ITA} barqarorlashadi. Bundan tashqari, temperatura, parametrlar tarqoqligi va boshqa tashqi omillarning K_{ITA} ga ta'siri kamayadi. Chuqur parallel manfiy TA da (1.9) ifoda $K_{ITA} = 1 / \alpha_I = R_{yu} / R_{TA}$ ko'rinishga keladi, ya'ni tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti faqat ikkita rezistor qiymatlari nisbati bilan aniqlanadi.

Manfiy TA ni kuchaytirgichning **kirish qarshiligi** $R_{KIR.TA}$ TA signalini kirish zanjiriga uzatish usuli bilan aniqlanadi va TA signalining olinish usuliga bog'liq bo'lmaydi.

Kuchaytirgichga kuchlanish bo'yicha ketma-ket MTA kiritilganda uning kirishiga kirish signali bilan TA signali ayirmasiga teng signal ta'sir etadi. Bu kirish tokining amalda kamayishiga (ya'ni kuchaytirgich kirish qarshiligining ortishiga ekvivalent) olib keladi. Bunda $R_{KIR.TA}$ ni $R_{KIR.TA} = (U_{KIR} + U_{TA}) / I_{KIR}$ ko'rinishida yozish mumkin. $U_{TA} = \alpha K_U U_{KIR}$ bo'lgani uchun, o'zgartirishlardan keyin

$$R_{KIR.TA} = (U_{KIR} / I_{KIR}) (1 + \alpha K_U) = R_{KIR} F \quad (1.10)$$

ni topish mumkin. Ushbu ifodadan kuchlanish bo'yicha manfiy TA

kuchaytirgichning kirish qarshiligini F marta oshirishi ko'rinib turibdi. Kuchlanish bo'yicha chuqur manfiy TA katta ichki qarshilikka ega kirish signali manbalaridan (datchiklaridan) ishlaydigan kuchaytirgichlarning kirish kaskadlarida ishlatiladi.

Kuchaytirgichga parallel manfiy TA kiritilganda uning kirish zanjirida kirish signali manbayi va TA toklari qo'shiladi. Natijada kirish kuchlanishi manbayidan olinayotgan tok ortadi (kirish qarshiligining kamayishiga ekvivalent). Parallel manfiy TA uchun quyidagini yozish mumkin:

$$R_{KIR.TA} = R_{KIR} / F_I. \quad (1.11)$$

Shunday qilib, ketma-ket manfiy TAgaga nisbatan parallel manfiy TA $R_{KIR.TA}$ ni kamaytiradi. $R_{KIR.TA}$ tok bo'yicha manfiy TA chuqurligiga teskari proporsionaldir.

Manfiy TAli kuchaytirgich **chiqish qarshiligi** TA signali qaysi usulda olinishigagina bog'liq va ushbu signal qanday qilib uning kirish zanjiriga kiritilganiga bog'liq emas.

Avval kuchlanish bo'yicha manfiy TA zanjiri kiritilgan holni ko'rib chiqamiz. 1.45, *a*-rasmga muvofiq

$$R_{CHIQ.TA} = U_{CHIQ} / I_{CHIQ}; \quad U_{CHIQ} = U_{TA} - I_{CHIQ} R_{CHIQ};$$

$$U_{TA} = K_U U_{KIR} = K_U (-\alpha U_{CHIQ}) \text{ yoki } U_{CHIQ} = -I_{CHIQ} R_{CHIQ} / (1 + \alpha K_U).$$

Manfiylik belgisi yuklama toki I_{CHIQ} ning musbat orttirmalari kuchaytirgich kuchlanishining teskari tomonga o'zgarishiga olib keladi. Bundan, minus ishorasini tashlab yuborsak,

$$R_{CHIQ.TA} = R_{CHIQ} / (1 + \alpha K_U) = R_{CHIQ} / F \quad (1.12)$$

ni hosil qilamiz. Bundan kuchlanish bo'yicha ketma-ket manfiy TA chiqish qarshiligini F marta kamaytirishini aniqlash mumkin. Shunday qilib, MTA qanchalik chuqur bo'lsa, $R_{CHIQ.TA}$ shunchalik kichik bo'ladi. Bu chiqish kuchlanishining R_{yu} ga bog'liqligini sezilarli darajada kamaytirish imkonini bergani sababli, kuchlanish kuchaytirgichlarda muhim rol o'ynaydi.

Endi chiqish toki bo'yicha MTA kiritilgan holni ko'rib chiqamiz. 1.45, *b*-rasmga muvofiq, chiqish toki o'zgarishi bilan kuchaytirgichning

kirish kuchlanishi

$$U_{KIR} = -U_{TA} = I_{CHIQ} R_{TA} \cdot \varepsilon$$

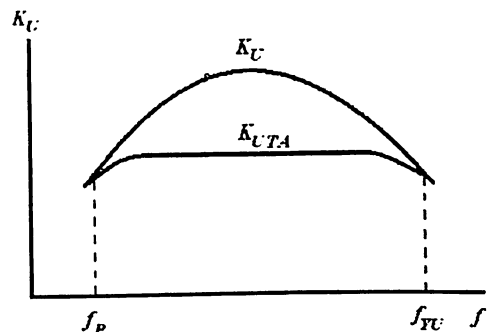
ifoda bilan aniqlanadi. Yuqoridagi o'zgartirishlar kabi o'zgartirishlarni bajarib,

$$R_{CHIQ.TA} = R_{TA} K_U \varepsilon + R_{CHIQ} \quad (1.13)$$

ni topamiz. Shunday qilib, chiqish toki bo'yicha manfiy TA zanjiri kiritilishi kuchaytirgich chiqish qarshiligini oshiradi.

Manfiy TA kuchaytirgich ACHXsini kengaytirish uchun keng ishlatiladi. Manfiy TAgaga ega bo'lmagan kuchaytirgichning K_U va $K_{U.TA}$ uchun ACHXsi 1.46-rasmda ko'rsatilgan. $K_{U.TA}$ hisobi (1.11) yordamida amalga oshirilgan. $\varepsilon = \text{const}$ bo'lgani uchun $K_{U.TA}$ qiymati K_U bilan aniqlanadi. Signal chastotasi og'ishganda, ya'ni $f_{yu} < f < f_p$ bo'lganda, K_U kamayadi. K_U ning kamayishi kuchaytirgich chiqish kuchlanishining kamayishiga olib keladi. Lekin bunda TA kuchlanishi $U_{TA} = K_U U_{CHIQ}$ qiymati ham kamayadi. Bu kuchaytirgich kirish kuchlanishining o'zgarish qiyamatlarida chiqish kuchlanishining real qiyamatlarini oshiradi. Natijada chastotaning biror qiyamatigacha $K_{U.TA}$ qiymati sekin o'zgaradi va keng o'tkazish polosali ACHX yuzaga keladi.

Manfiy TA yordamida kuchaytirgichdagi **nochiqliq buzilishlar va xalaqitlar kamaytiriladi**. Gap shundaki, hosil bo'lish tabiatidan qat'iy nazar, kuchaytirgich chiqishidagi har qanday signal F marta kamayadi. Natijada tranzistor ishlashi aktiv element VAXining kichik sohasida amalga oshadi va garmonikalar koeffitsiyentining kamayishiga olib keladi. Fizik tomondan bu, manfiy TA kuchaytirgich VAXi nochiqliqligining kichik sohalarida ishlashini ta'minlashini anglatadi. Manfiy TAli kuchaytirgich uchun nochiqliq buzilishlar koeffitsiyenti $K_{G.TA}$ uchun $K_{G.TA} \approx K_G / F$ ifoda o'rinli.



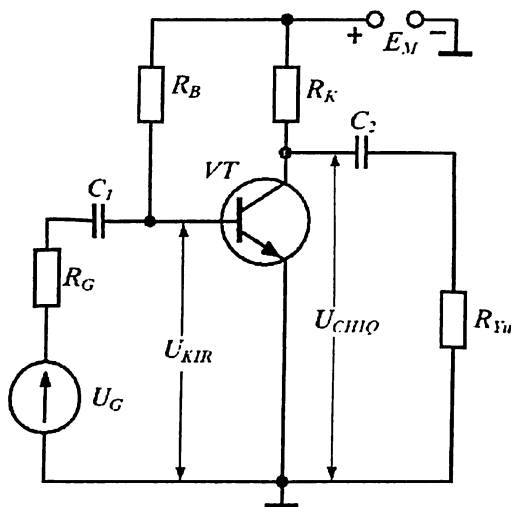
1.46-rasm. MTAsiz (K_U) va MTAli ($K_{U.TA}$) kuchaytirgich ACHXlari.

1.7. Bipolar tranzistorlar asosidagi kuchaytirgich kaskadlari

Kuchaytirgich kaskadlarining ishlatiladigan sxema turlari har xil bo'lishi mumkin. Bunda tranzistor umumiy emitter (UE), umumiy kollektor (UK) yoki umumiy baza (UB) sxemasida ulangan bo'lishi mumkin. UE sxemada ulangan kaskadlar keng tarqalgan. UK sxemada ulangan kaskadlar ko'p kaskadli kuchaytirgichlarda asosan chiqish kaskadi sifatida ishlatiladi. UB sxemada ulangan kaskadlar ultraqisqa to'lqinli (UQT) va o'ta yuqori chastota (O'YuCH) to'lqin diapazonida ishlovchi generator va kuchaytirgichlarda keng qo'llaniladi.

UE sxemada ulangan bipolar tranzistor asosidagi kuchaytirgich kaskadining prinsipial sxemasi 1.47-rasmda keltirilgan. UE sxemada ulangan BT asosidagi sodda kuchaytirgichni hisoblaymiz.

Kirish signali manbayi R_G ichki qarshilikka ega kuchlanish generatori U_G sifatida ko'rsatilgan. Signal manbayi va yuklama R_{Yu} kuchaytirgichni kaskadga ajratuvchi C_1 va C_2 kondensatorlar orqali ulangan. Kondensatorlar, kuchaytirgichning sokinlik rejimini buzmag holida, kirish va chiqish signallarining faqat o'zgaruvchan tashkil etuvchilari o'tishini



1.47-rasm. UE sxemada ulangan BT asosidagi kuchaytirgich sxemasi.

ta'minlaydi. R_B rezistor yordamida, kuchaytirishning berilgan sinfi uchun, bazaning I_{B0} sokinlik toki qiymati belgilanadi.

Ushbu kaskad uchun aytib o'tilganlarning barchasi $p-n-p$ tranzistor asosidagi kaskadlar uchun ham o'rinli bo'ladi. Bunda kuchlanish manbayining qutbini va toklar yo'nalishini o'zgartirish yetarli bo'ladi.

Kuchaytirgich kaskadning kirish kuchlanishi ΔU_{KIR} miqdorga o'zgardi, deb faraz qilaylik. Bu baza tokining ortishiga olib keladi. Tranzistorning emitter va kollektor toklari hamda kaskadning chiqish kuchlanishi ΔU_{CHIQ} orttirma oladi. Shunday qilib, kirish kuchlanishi (toki)ning har qanday o'zgarishi chiqish kuchlanishi (toki)ning proporsional o'zgarishiga olib keladi. Qiymat jihatdan ushbu o'zgarishlar kaskadning kuchaytirish koeffitsiyenti bilan aniqlanadi.

Kichik signal rejimida kuchaytirgich kaskad kirish va chiqish qarshiliklarini, kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblash uchun ekvivalent sxemalardan foydalanish qulay. Bunda tranzistorlar ekvivalent modellari orqali ifodalanadi. Elektr modellarning qulayligi shundaki, tranzistorlar kuchaytirish xususiyatlari tahlili, ayniqsa, kichik signal rejimida, elektr zanjirlar nazariyasi qonuniyatlari asosida o'tkazilishi mumkin. Tranzistorlar uchun bir qancha ekvivalent modellar va parametrlar tizimi taklif etilgan. Ularning har biri o'zining afzallik va kamchiliklariga ega.

Barcha parametrlarni xususiy (yoki birlamchi) va ikkilamchilarga ajratish mumkin. Xususiy parametrlar tranzistorning ulanish usulidan qat'iy nazar fizik xususiyatlarini xarakterlaydi. Ikkilamchi parametrlar tranzistorning fizik tuzilmasi bilan bevosita bog'lanmagan va turli ulanish sxemalar uchun turlicha bo'ladi.

Birlamchi asosiy parametrlar sifatida tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti α , emitterning r_E , kollektorning r_K va bazaning r_B o'zgaruvchan tokka qarshiliklari, ya'ni ularning differensial qiymatlari xizmat qiladi. r_E qarshilik EO' qarshiligi va emitter soha qarshiligidan, r_K qarshilik esa KO' qarshiligi va kollektor soha qarshiligi yig'indisidan iborat bo'ladi. Emitter va kollektor sohalar qarshiligi o'tishlar qarshiligiga nisbatan juda kichik qiymatga ega bo'lgani sababli ular e'tiborga olinmaydi.

Ikkilamchi parametrlar (h va y -parametrlar)ning barcha tizimi tranzistorni to'rt qutblik sifatida ifodalashga asoslanadi.

K_I	K_U	K_P	R_{KIR}	R_{CHIQ}
$10 \div 100$	$10 \div 100$	$10^2 \div 10^4$	$0,1 \div 10 \text{ kOm}$	$1 \div 10 \text{ kOm}$

UE sxemada ulangan kuchaytirgich kaskadining eng muhim parametrlarining qiymatlari 1.2-jadvalda keltirilgan.

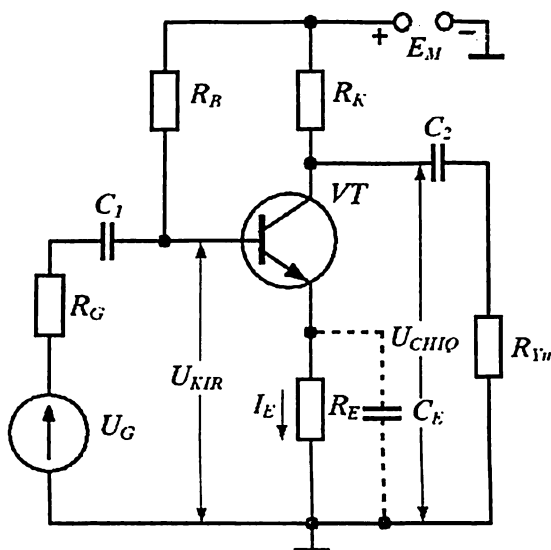
Kaskadning kuchaytirish koeffitsiyenti va boshqa parametrlari faqat temperatura o'zgarishlarigagina emas, balki boshqa uyg'otuvchi ta'sirlarga ham bog'liq. Bunday ta'sirlarga kuchlanish manbayi, yuklama qarshiligining o'zgarishi va shu kabilar kiradi. Bu o'zgarishlarni kuchaytirgich nolining o'zgarishi tushunchasi bilan ifodalash qabul qilingan.

Tashqi ta'sirlar sokinlik tokini o'zgartirib kuchaytirgichni berilgan ish rejimdan chiqaradi. Bu ayniqsa, A sinf rejimi uchun xavfli, chunki tranzistor xarakteristikalarini nochiziqli sohasiga chiqarishi mumkin, bu esa nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentining oshishiga olib keladi. Shu sababli kuchaytirichlarni loyihalashda sokinlik rejimini barqarorlash eng muhim masalalardan biri hisoblanadi.

Kaskad sokinlik rejimini barqarorlashning uchta asosiy usuli mavjud. **Termokompensatsiya** va **parametrik barqarorlash** usullari barqarorlikni buzuvchi omillardan faqat birini kompensatsiyalaydi. Bir kaskadli yoki ko'p kaskadli kuchaytirgich parametrlarini barqarorlashning universal usuli **teskari aloqa zanjirlarini kiritishdan** iborat.

Kuchaytirgich xarakteristika va parametrlarini yaxshilash uchun ataylab teskari aloqa kiritiladi.

Yuklama toki bo'yicha manfiy TAga ega kuchaytirgich kaskad sxemasi 1.48-rasmda keltirilgan bo'lib, u mahalliy manfiy TAga ega. Temperatura o'zgarganda tranzistorning sokinlik rejimini ta'minlovchi manfiy TA kuchaytirgichning emitter zanjiriga R_E rezistor kiritilishi bilan tashkil etilgan. Emitter toki rezistor orqali oqib, $U_E = I_E R_E$ kuchlanish pasayishini hosil qiladi. Bu kuchlanish kirish U_{KIR} kuchlanishiga teskari ta'sir etadi. Shu sababli, EO'ga ta'sir etayotgan kuchlanish kamayib $U_{BE} = U_{KIR} - I_E R_E$ ga teng bo'lib qoladi. Natijada ushbu kaskadning yuklama toki bo'yicha ketma-ket manfiy TA bilan ta'minlanganiga ishonch hosil qilamiz.



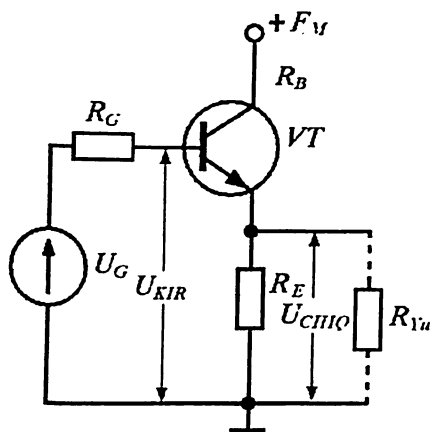
1.48-rasm. Mahalliy manfiy TAli kuchaytirgich kaskad sxemasi.

Diskret komponentlar asosida tayyorlangan kuchaytirgichlarda K_U ning kamayishining oldini olish uchun C_E kondensator kiritiladi. Bu kondensator o'zgaruvchan tok bo'yicha (ya'ni signal bo'yicha) R_E ni shuntlab, manfiy TAni yo'qotadi. Bunda kaskad parametrlari avval ko'rilgan ekvivalent sxemalar va formulalar asosida topiladi.

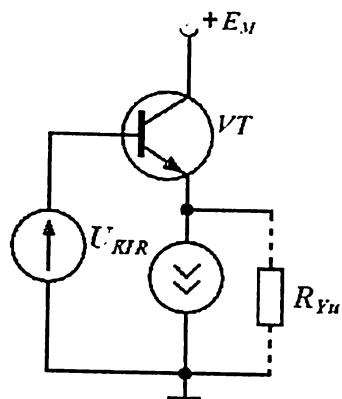
Umumiy kollektor ulangan kuchaytirgich kaskad (emitter qaytargich). Emitter qaytargichning prinsipial sxemasi 1.49-rasmda keltirilgan. Emitter qaytargichda chiqish signali TA signaliga teng bo'lgani uchun u chuqur (100% li) ketma-ket manfiy TAli kaskad hisoblanadi.

Kuchaytirgich kaskadda tranzistorning kollektori o'zgaruvchan tok bo'yicha qarshiligi juda kichik kuchlanish manbai E_M orqali yerga ulangan bo'ladi. Bunda kirish kuchlanishi baza bilan kollektorga ulangan bo'lib, chiqish kuchlanishi esa tranzistorning emitteridan olinadi. Shunday qilib, kollektor elektrodi kirish va chiqish zanjirlari uchun umumiy nuqta bo'lib qoladi, sxemani esa UK bo'yicha ulangan sxema deb hisoblash mumkin.

UK ulangan kaskadda chiqish kuchlanishi fazasi kirish kuchlanishi-niki kabi bo'ladi. Kirish kuchlanishi musbat ortirma olganda, baza



1.49-rasm. Emitter qaytargichning prinsipial sxemasi.



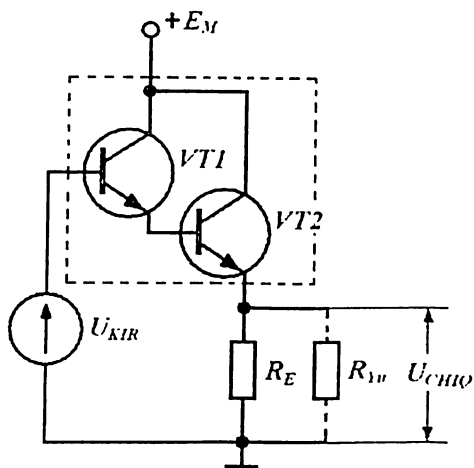
1.50-rasm. BTGLI emitter qaytargich sxemasi.

toki ortib, emitter tokining ortishiga olib keladi. U, o'z navbatida, R_E qarshilikdan olingani uchun uning qiymati ham ortadi. Kirish kuchlanishiga manfiy orttirma berilganda chiqish kuchlanishi ham manfiy orttirma oladi.

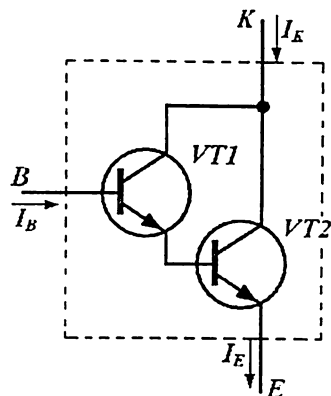
Shunday qilib, chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishini ham amplituda, ham faza bo'yicha qaytaradi. Shu sababli, UK ulangan kuchaytirgich kaskad **emitter qaytargich** deb ataladi. Bu kaskadning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti qiymat jihatidan birga yaqin bo'lishiga qaramasdan, qaytargich kuchaytirgichlar oilasiga kiritiladi.

Emitter qaytargich kaskad yuqori qarshilikli signal manbalarini kichik omli yuklama bilan moslashtirish uchun eng qulay qurilma hisoblanadi (R_{KIR} yuqori, R_{CHIQ} kichik, K_f yuqori qiymatlarga ega).

Ko'p hollarda kirish qarshiligi R_{KIR} ni kattalashtirish masalasi turadi. Diskret sxemotexnikada bu masala R_E rezistorning qiymatini oshirish yoki β ning qiymati katta bo'lgan tranzistordan foydalanish bilan hal etiladi. Lekin bu usullarning birinchisi, sokinlik rejimida ilgari tok qiymatini saqlab qolish uchun kuchlanish manbayi E_M ning kuchlanishini orttirish zarurligi bilan cheklangan. Integral sxemotexnikada R_E rezistor o'rniga emitter zanjirdagi I_0 barqaror tok generatoridan



1.51-rasm. Tarkibiy tranzistorlarda bajarilgan emitter qaytargich sxemasi.



1.52-rasm. Darlington juftligi.

(1.50-rasm) yoki Darlington sxemasi asosida tuzilgan (1.51-rasm) tarkibiy tranzistorlardan foydalaniladi.

Tarkibiy tranzistorlar. Kaskadlarning kuchaytirish koeffitsiyentlari va kirish qarshiliklari uchun ifodalarni tahlil qilib, ularning maksimal qiymatlari UE ulangan sxemada tranzistorning differensial tok uzatish koeffitsiyenti $h_{21E} = \beta$ bilan aniqlanadi, deb xulosa qilish mumkin. h_{21E} ning real qiymatlari tranzistor tuzilmasi va tayyorlanish texnologiyasi bilan aniqlanadi va, odatda, bir necha yuzdan oshmaydi. Bundan asosan operatsion kuchaytirgichlarning kirish kaskadlarida qo'llaniladigan maxsus superbeta tranzistorlar mustasnodir.

Bir nechta (odatda, ikkita) tranzistorni o'zaro ulab h_{21E} qiymatini oshirish muammosini hal qilish mumkin. Ulanishlar shunday amalga oshirilishi kerakki, tranzistorlarni yagona tranzistor deb qarash mumkin bo'lsin. Bir turdagi tranzistorga nisbatan sxemalar birinchi marta Darlington tomonidan taklif etilgan edi, shuning uchun u **Darlington juftligi** yoki **tarkibiy tranzistori** deb ataladi.

Ikkita $n-p-n$ tranzistor asosidagi Darlington tranzistorining sxemasi 1.52-rasmda keltirilgan bo'lib, bunda B , E , K – ekvivalent tranzistor elektrodlaridir.

Tarkibiy tranzistorda natijaviy tok uzatish ko'effitsiyenti alohida tranzistorlar tok uzatish ko'effitsiyentlarining ko'paytmasiga teng. Agar β_1 va β_2 lar bir xil qiymatga ega bo'lsa, masalan, 100 ga, hisoblab topilgan ko'effitsiyent $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 = 10^4$ bo'ladi. Lekin bir xil VT1 va VT2 larda β_1 va β_2 ko'effitsiyentlar I_{K1} va I_{K2} kollektor toklari bir xil bo'lgandagina bir-biriga teng bo'ladi. $I_{E1} \gg I_{B1} = I_{E2}$ bo'lgani uchun $I_{K2} \gg I_{K1}$. Shuning uchun $\beta_1 \ll \beta_2$ va $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$ ning qiymati amalda bir necha mingdan oshmaydi.

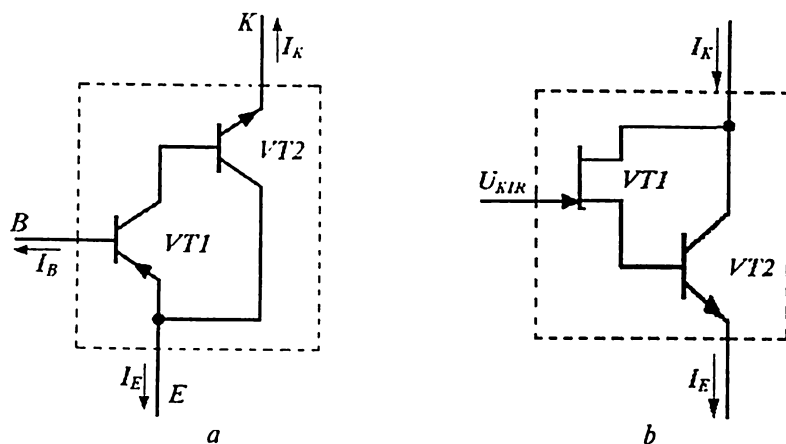
Tarkibiy tranzistorlar turli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan tranzistorlar asosida ham hosil qilinishi mumkin. Bunday tuzilmalar **qo'shimcha simmetriyaga ega bo'lgan tarkibiy tranzistorlar** deb ataladi. Komplementar BTlar asosidagi **Shiklai tarkibiy tranzistori** deb ataluvchi sxemaning tuzilishi 1.53, *a*-rasmda keltirilgan.

Bunda kirish tranzistori sifatida *p-n-p* o'tkazuvchanlikka ega tranzistor, chiqish tranzistori sifatida esa *n-p-n* o'tkazuvchanlikka ega tranzistor ishlatiladi. Natijaviy toklar yo'nalishlari, rasmdan ko'rinishicha, *p-n-p* tranzistorning toklari yo'nalishiga mos keladi. Tok uzatish ko'effitsiyenti $\beta = \beta_1 + \beta_1 \cdot \beta_2$ ga teng bo'ladi va amalda Darlington tranzistorining β sig'a teng bo'ladi.

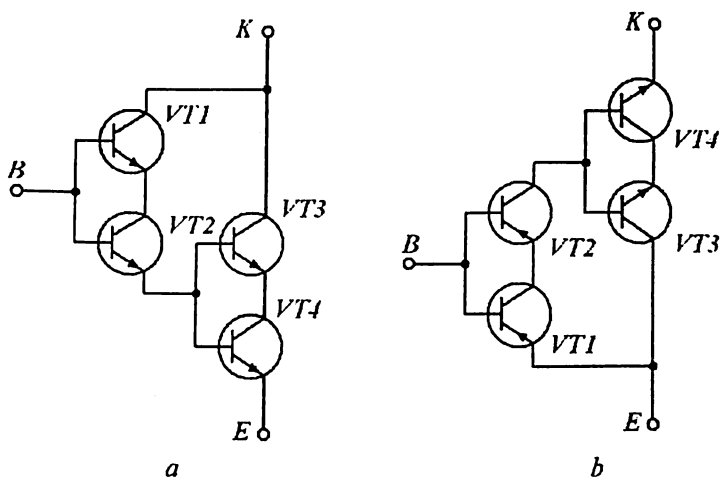
Umuman, tarkibiy tranzistor maydoniy va bipolar tranzistorlar asosida hosil qilinishi mumkin. 1.53, *b*-rasmda *n*-kanali *p-n* o'tish bilan boshqariluvchi MT va *n-p-n* tuzilmali BT asosida hosil qilingan tarkibiy tranzistor sxemasi keltirilgan. Ushbu sxema maydoniy va bipolyar tranzistorlarning xususiyatlarini o'zida mujassamlashtirgan — bu tranzistor juda katta kirish qarshiligiga va tok bo'yicha, demak, quvvat bo'yicha ham, juda katta kuchaytirish ko'effitsiyentiga ega.

Injeksion-voltaik tranzistor asosidagi tarkibiy tranzistor sxemasi 1.54, *a* va *b*-rasmlarda keltirilgan. Ular temperatura va kuchlanish manbayi qiymatlari o'zgarishiga nisbatan yuqori barqarorlikka ega.

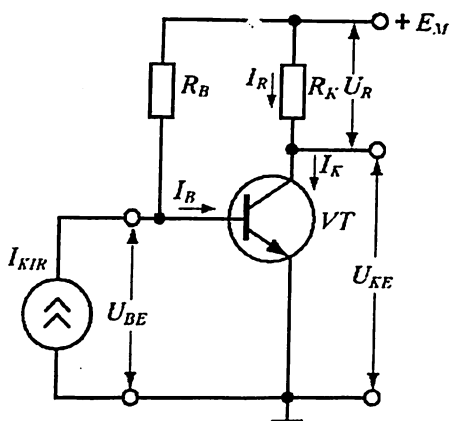
BT asosidagi kuchaytirgich kaskadni katta signal rejimida grafo-analitik usulda hisoblash. Katta signal rejimida tok va kuchlanishlarning o'zgaruvchan tashkil etuvchilari qiymatlari signallarning o'zgarmas tashkil etuvchilari qiymatlariga yaqin bo'ladi. Shuning uchun kuchaytirgich xususiyatlariga tranzistor parametrlarining ish rejimlariga bog'liqligi va asosiy xarakteristikalarining nohizizligi ta'sir eta boshlaydi. Shu sababli kuchaytirgich hisobi, tranzistorning kichik



1.53-rasm. Komplementar BTlar (a), BT va MTlar asosidagi (b) tarkibiy tranzistorlar sxemalari.



1.54-rasm. Injeksion-voltaik tranzistor asosidagi tarkibiy tranzistorning Darlington (a) va Shiklai (b) juftligi sxemalari.



1.55-rasm. UE sxemada ulangan kuchaytirgich sxemasi.

Sxemada R_B rezistor sokinlik rejimida (ishchi nuqta) baza toki qiymatini, ya'ni kuchaytirgichning kuchaytirish sinfini belgilaydi. R_K rezistor (bundan keyin uni yuklama deb ataymiz) tranzistorning kollektor-emitter oralig'i va kuchlanish manbayi E_M bilan ketma-ket ulangan bo'lib, yuklamadagi U_R va U_{KE} kuchlanishlar o'zaro quyidagi munosabat orqali bog'langan:

$$U_{KE} + U_R = E_M. \quad (1.14)$$

Sxemadan rezistor orqali oqayotgan tok $I_R = I_K$ ligi ko'rinib turibdi, natijada kollektor toki quyidagi tenglamalar sistemasini qanoatlantirishi kerak:

$$\begin{cases} I_K = f_1(U_{KE}), \end{cases} \quad (1.15)$$

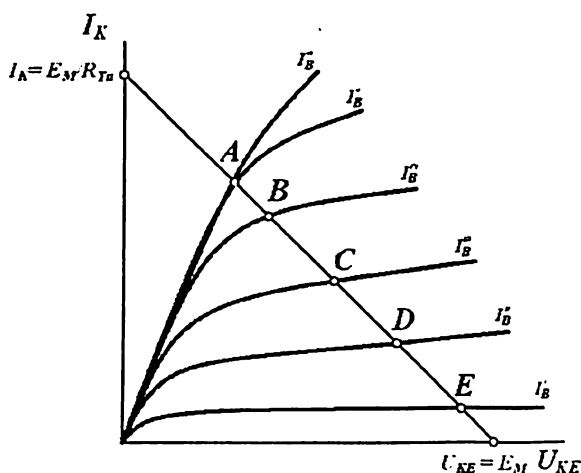
$$\begin{cases} I_K = f_2(U_R), \end{cases} \quad (1.16)$$

bu yerda: $f_1(U_{KE})$ — berilgan baza toki I_B da tranzistor chiqish xarakteristikasini aniqlovchi funksiya, $f_2(U_R)$ — yuklama chizig'i.

Kaskadning kuchaytirish koeffitsiyenti va boshqa parametrlarini hisoblash uchun kirish toki (kuchlanishi)ning berilgan qiymatlarida kollektor toki (kuchaytirgich chiqish toki) va kollektor kuchlanishi (chiqish kuchlanishi U_{KE}) qiymatlarini topish uchun (1.15) va (1.16) ifodalarni grafik usulda yechamiz.

signal modellaridan foydalanmagan holda, tranzistorning aniq elektrod xarakteristikalari bo'yicha bevosita analitik yoki grafoanalitik usulda amalga oshiriladi. Ushbu usullarning tranzistorning noxiziqli xususiyatlarini e'tiborga olganligi tufayli aniqligi yuqoridir. Grafoanalitik usul uzatish xarakteristikalarini chizishga asoslanadi.

UE sxemada ulangan kuchaytirgich kaskad sxemasi 1.55-rasmida keltirilgan bo'lib, uning grafoanalitik hisobini ko'rib chiqamiz.



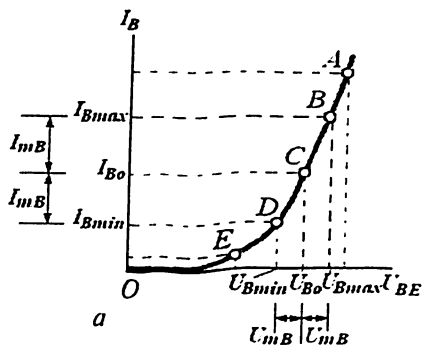
1.56-rasm. BT chiqish VAXi va yuklama chizig'i.

Foydalanilayotgan tranzistorning chiqish xarakteristikallari oilasi (1.15) tenglamaga mos keladi (1.56-rasm).

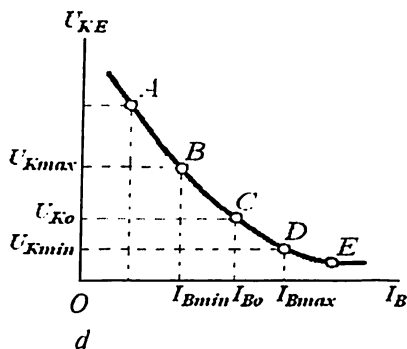
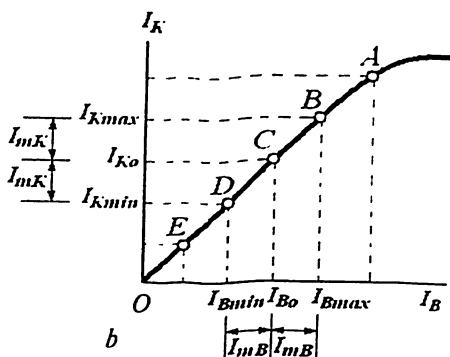
Yuklama chizig'i (1.16) tenglamaning grafigini ifodalaydi. Yuklama chizig'i koordinatalar tizimining toklar o'qida $U_{KE} = 0$ bo'lganda $I_K = E_M / R_K$ va kuchlanishlar o'qida $I_K = 0$ bo'lganda $U_{KE} = E_M$ bo'lgandagi nuqtalarni tutashtiruvchi kesmalarni kesadi. Yuklama chizig'ining tranzistor chiqish xarakteristikallari bilan kesishgan nuqtalari (1.15) va (1.16) tenglamalar sistemasining yechimlariga mos keladi va kuchaytirgichning ikkita muhim uzatish xarakteristikalarini: tokni to'g'ri uzatish $I_K = \varphi_1(I_B)$ (1.57, b-rasm) va kuchlanishni uzatish $U_{KE} = \varphi_2(I_B)$ (1.57, d-rasm) xarakteristikalarini chizish imkonini beradi.

Kuchaytirgichning statik uzatish xarakteristikallari uning asosiy xususiyatlari to'g'risida yaqqol tasavvur uyg'otadi va kuchaytirish koeffitsiyenti hamda kirish qarshiligini hisoblash imkonini beradi. Ushbu xarakteristikalar chiziqli (B0), nochiziqli (BA) kuchaytirish va to'yinish rejimi sohalarini (1.57, a-rasmda A nuqtadan o'ngroqda) aniqlash imkonini beradi.

Kuchaytirgichning statik kirish xarakteristikasi tranzistorning U_{KE} kuchlanishini o'zgartirganda o'ziga nisbatan parallel siljuvchi, statik kirish xarakteristikalaridan farq qiladi. Lekin $U_{KE} > 0$ bo'lganda siljish



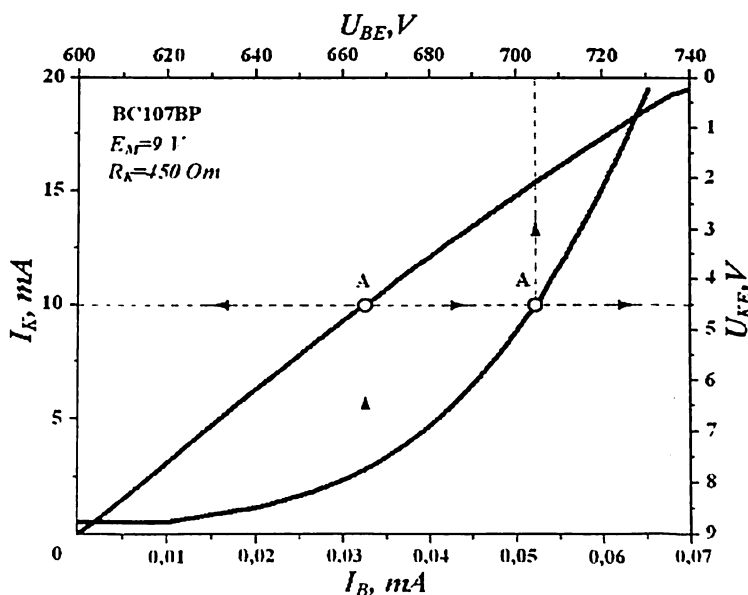
1.57-rasm. Kuchaytirgichning statik uzatish xarakteristikalarini: kirish xarakteristikasi $I_B = \varphi_1(U_{BE})$ (a), tokni to'g'ri uzatish $I_K = \varphi_1(U_B)$ (b) va kuchlanishni to'g'ri uzatish $U_{KE} = \varphi_2(I_B)$ (d).



katta bo'lmaydi va amaliy hisoblashlarda kuchaytirgichning kirish xarakteristikasi sifatida tranzistorning ishchi sohasidagi U_{KE} ning o'rta qiymatiga mos keluvchi kirish xarakteristikasidan foydalaniladi (1.57, a-rasm).

Kuchaytirgichning statik uzatish xarakteristikalarini (1.57-rasm) birgalikda barcha to'rtta parametr: I_B , I_K , U_{BE} , U_{KE} ni o'zaro bog'lovchi yagona umumlashgan grafik sifatida ifodalash mumkin. BC107BP tranzistorli kaskadning parametrlari $E_M = 9$ V, $R_K = 450$ Om bo'lgandagi umumlashgan grafigi 1.58-rasmda keltirilgan. Bunda A nuqtaning koordinatalari bir vaqtning o'zida barcha to'rtta parametr: kirish va chiqish toklari hamda kuchlanishlarini aniqlaydi.

Tok generatordan kuchaytirgich kirishiga sinusoida ko'rinishidagi signal berilayotgan bo'lsin:



1.58-rasm. UE sxemada ulangan BTning umumlashgan dinamik xarakteristikalari.

$$I_B(t) = I_{B0} + I_{Bm} \sin \omega t, \quad (1.17)$$

bu yerda: I_{B0} va I_{Bm} – sokinlik rejimida berilgan baza toki qiymati (ishchi nuqta) va uning amplitudasi. Bazadagi sokinlik toki I_{B0} rezistor R_B yordamida beriladi.

Ixtiyoriy vaqt momentida I_B tokini aniqlovchi ishchi nuqta ω chastota bilan kirish xarakteristikasi bo‘ylab yuqoriga va pastga berilgan $\pm I_{Bm}$ o‘zgarish chegaralarida siljiydi. Bu vaqtda kirish kuchlanishi U_{BE} ning davriy o‘zgarishini taxminan quyidagi ifoda orqali keltirish mumkin:

$$U_{BE}(t) = U_{BE0} + U_{Bm} \sin \omega t. \quad (1.18)$$

Ishchi nuqta U_{BE0} va baza tokining oniy o‘zgarishlaridagi $\pm U_{mB}$ ning og‘ish chegaralari tranzistorning kirish xarakteristikasidan topiladi.

Sokinlik rejimida I_{B0} ning berilgan qiymatida chiqish toki I_{K0} va chiqish kuchlanishi U_{KE} qiymatlari, mos ravishda, tokni to‘g‘ri uzatish (1.57, *a*-rasm) va kuchlanishni to‘g‘ri uzatishdan (1.57, *b*-rasm) yoki

umumlashgan dinamik xarakteristikadan (1.58-rasm) topiladi. Baza tokining berilgan o'zgarishlarida (1.17) ga mos keluvchi ishchi nuqta ω chastota bilan yuqoriga va pastga uzatish xarakteristikasi bo'ylab siljiydi. Bunda kollektor toki o'zgaruvchan tashkil etuvchisi $\pm I_{km}$, chiqish kuchlanishi o'zgaruvchan tashkil etuvchisi esa $\pm U_{km}$ bo'ladi.

I_{km} , U_{km} va U_{Bm} larning o'rtacha qiymatlari quyidagi formulalar bo'yicha topiladi:

$$I_{km} = \frac{I_{K \max} - I_{K \min}}{2}; \quad U_{km} = \frac{U_{K \max} - U_{K \min}}{2};$$

$$U_{Bm} = \frac{U_{B \max} - U_{B \min}}{2}.$$

O'rta qiymatlar kuchaytirgichning quyidagi parametrlarini hisoblab topish imkonini beradi:

– kaskadning kuchlanish, tok va quvvat bo'yicha kuchaytirish koefitsiyentlari

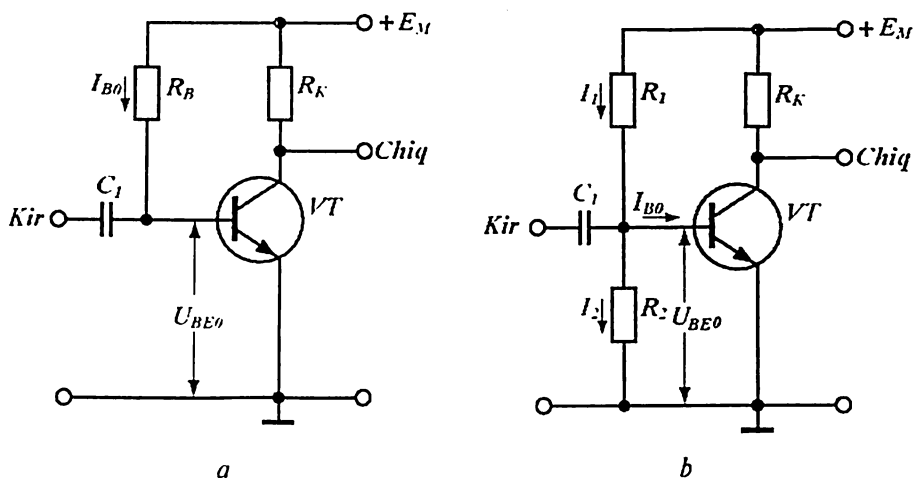
$$K_U = U_{km} / U_{Bm}; \quad K_I = I_{km} / I_{Bm}; \quad K_P = K_U \cdot K_I;$$

– kuchaytirgichning kirish va chiqish qarshiliklari:

$$R_{KIR} = U_{Bm} / I_{Bm}; \quad R_{CHIQ} \approx R_K.$$

Kuchaytirgich kaskadining sokinlik rejimini o'rnatish uchun siljitish sxemalari. Kuchaytirgich kaskadining ishchi yoki sokinlik rejimi uning kirishiga berilayotgan siljish kuchlanishi qiymati bilan aniqlanadi. Kuchaytirgich kaskadidagi tranzistorning aktiv rejimini o'rnatish uchun uning EO'ga to'g'ri, KO'ga esa teskari siljituvchi kuchlanishlarni berishini sxemotexnik usulda bitta manbadan ta'minlash kerak. Bunday sxemalar **siljituvchi sxemalar** deb ataladi. Siljituvchi o'zgarmas tokda ishlaganda yuqori barqarorlikni, ushbu rejimning tranzistor xususiyatlariga va uning ish sharoitiga kam bog'liq bo'lishini ta'minlashi zarur. Kuchaytirgich element sifatida UE sxemada ulangan BT ishlatilgan holatda ularni ko'rib chiqamiz.

Tok bilan siljitish usuli. Diskret sxemotexnikada siljituvchi tok rezistor R_B yordamida beriladi (1.59, a-rasm). Sokinlik rejimida bazadagi siljituvchi kuchlanish



1.59-rasm. Tok (a) va kuchlanish (b) bilan siljitish usuli.

$$U_{BE0} = E_M - I_{B0} \cdot R_B \quad (1.19)$$

teng bo'лади; bu yerda tok I_{B0} va kuchlanish U_{BE0} tranzistorning statik kirish xarakteristikasida boshlang'ich ishchi nuqtalarni belgilaydi. Berilgan kuchlanish manbayi qiymatida R_B quyidagicha aniqlanadi:

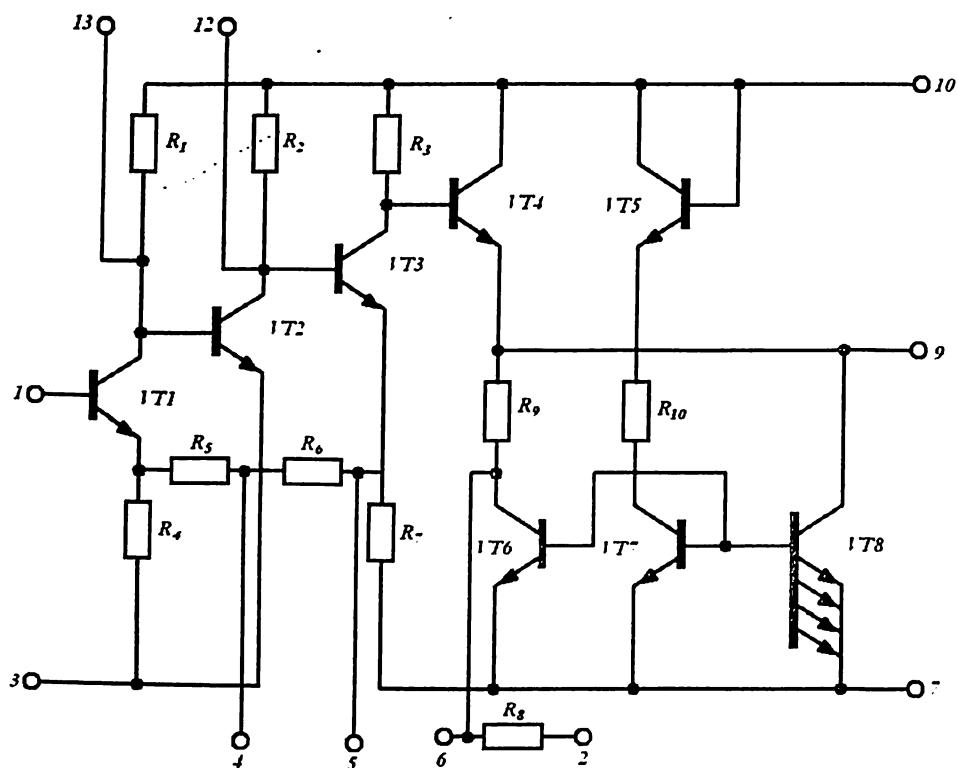
$$R_B = (E_M - U_{BE0}) / I_{B0}. \quad (1.20)$$

Odatda, R_B ning qiymati $10 \div 100$ kOmni tashkil etadi. Integral ishlab chiqarishda ushbu usul qo'llanilmaydi, chunki u sokinlik rejimida ishchi nuqta holatining aniqligi va yuqori barqarorligini ta'minlamaydi.

Kuchlanish bilan siljitish usuli. Siljituvchi kuchlanish R_1 va R_2 rezistorli kuchlanish bo'lgich (1.59, b-rasm) yordamida hosil qilinadi. Sxemaga muvofiq, $E_M = I_1 R_1 + I_2 R_2$ va $I_2 R_2 = U_{BE0}$. Ushbu tenglamalardan rezistorlar qiymatlarini aniqlash mumkin:

$$R_1 = (E_M - U_{BE0}) / I_1 \text{ va } R_2 = U_{BE0} / I_2. \quad (1.21)$$

Hisoblashlarda R_1 va R_2 rezistorlar qiymati I_1 va I_2 toklar I_{B0} tokdan $3 \div 5$ marta katta bo'ladigan qilib tanlanadi. Bunda I_{B0} baza tokining barqarorligini buzuvchi omillar hisobiga o'zgarishi U_{BE0} siljituvchi kuchlanishning sezilarli o'zgarishiga olib kelmaydi. Lekin siljituvchi



1.60-rasm. K123 UN1 IMS prinsipial sxemasi.

kuchlanish berishning bu usuli iqtisod jihatdan samarasizdir. Bundan tashqari, R_2 rezistor tranzistor kirishiga parallel ulangani sababli kaskadning kirish qarshiligini kamaytiradi va nihoyat, signal manbayining chiqish qarshiligi ishlash jarayonida o'zgaras qoladi, deb hisoblanadi. Agar u o'zgaruvchan bo'lsa, uning o'zgarishlarini kuchaytirgich signal sifatida qabul qiladi.

Ko'p kaskadli kuchaytirgichlar. Odatda, manfiy TA hisobiga kuchaytirgich kaskadining kuchaytirish ko'effitsiyenti $K_v \leq 10$ bo'ladi. Katta kuchaytirish ko'effitsiyentiga erishish uchun bir nechta kaskad o'zaro ketma-ket ulangan ko'p kaskadli kuchaytirgichlardan foydalaniladi. Har bir kaskadda o'zgaras tok bo'yicha optimal ish rejimi saqlangan bo'lishi lozim.

Ko'p kaskadli kuchaytirgich sifatida K123 UN1 (sinusoidal kuchlanish kuchaytirgich) IMS dastlabki kuchaytirgich kaskadlarini ko'rib chiqamiz (1.60-rasm).

Sxemaga ikkita mahalliy ($VT1$ va $VT3$ tranzistorlar, mos ravishda, $R4$ va $R7$ rezistorlar yordamida) va umumiy (uchala kaskad $R5+R6= R_{TA}$ rezistor yordamida) manfiy TA kiritilib, nolning dreyfi minimalashtiriladi. Ikkinchi kaskad manfiy TAsiz hosil qilingan bo'ladi.

1.8. Maydoniy tranzistorlar asosidagi kuchaytirgich kaskadlari

p - n o'tish bilan boshqariladigan MT yoki kanali qurilgan MDYA-tranzistorlar asosidagi kuchaytirgichlar asosan kirish kaskadlari sifatida qo'llaniladi. Bu hol MTlarning quyidagi xususiyatlari bilan bog'liq:

- katta kirish qarshiligiga egaligi yuqori omli signal manbayi bilan moslashtirishni osonlashtiradi;

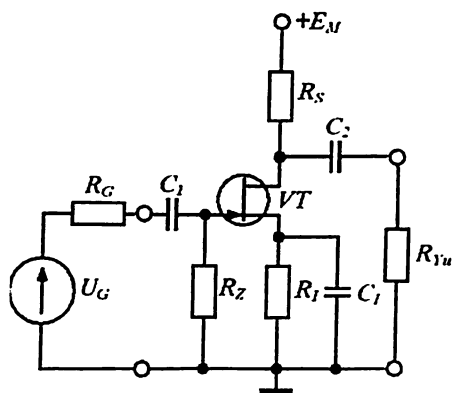
- shovqin koeffitsiyentining kichikligi kuchsiz signallarni kuchaytirishda afzallik beradi;

- termobarqaror ishchi nuqtada barqarorlik yuqori.

UI sxemada ulangan kuchaytirgich kaskadi. n -kanali p - n o'tish bilan boshqariladigan UI ulangan kuchaytirgich kaskadining prinsipial sxemasi 1.61-rasmda keltirilgan.

Kirish signali manbayi U_G ajratuvchi kondensator C_1 , yuklama qarshiligi R_{yL} esa kaskadning chiqishiga C_2 ajratuvchi kondensator yordamida ulangan. Zatvorning umumiy shina bilan galvanik bog'lanishi $R_Z \approx 1$ MOmli rezistor orqali amalga oshiriladi. Bu galvanik aloqa zatvordagi manfiy siljituvchi kuchlanishni hosil qilish uchun zarur.

Bunday tranzistorning ishlash prinsipi kanal qarshiligini p - n o'tishga teskari siljitish berib o'zgartirishga asoslanadi. n -kanalli tranzistor uchun kuchlanish manbayi $+E_M$, zatvorga esa R_Z dagi manfiy kuchlanish pasayishi beriladi. Bitta kuchlanish manbayi ishlatilganda zatvordagi U_Z kuchlanishni sokinlik rejimida avtomatik siljituvchi $R_Z C_1$ ta'minlaydi. U_Z kuchlanish R_Z qarshilik orqali I_S sokinlik tokining oqib o'tishi hisobiga hosil bo'ladi: $U_Z = -I_S \cdot R_Z$. Keng dinamik



1.61-rasm. UI sxemada ulangan kuchaytirgich kaskadi.

Ko'rilayotgan sxemada R_I rezistor ikkita vazifani bajaradi. Birinchidan, u sokinlik rejimida ishchi nuqtaning boshlang'ich holatini ta'minlaydi va ikkinchidan, unga yuklama toki bo'yicha (U_E ulangan sxemada R_E kabi) ketma-ket manfiy TAni kiritadi. Bu, o'z navbatida, kaskad kuchaytirish koeffitsiyentining kamayishiga olib keladi va sokinlik rejimini temperatura bo'yicha barqarorlaydi. O'zgaruvchan tok bo'yicha manfiy TAni yo'qotish uchun R_I rezistor C_I kondensator bilan shuntlanadi.

A rejimda ishlovchi kuchaytirgichlar uchun sokinlik rejimida tranzistorning istoki va stoki orasidagi kuchlanish $U_{SI} = -I_S \cdot R_S$ qilib olinadi. Bunda $E_M = U_{SI} + I_S \cdot R_S + I_S \cdot R_I U_{SI, max}$ (pasport ko'rsatmasi) dan ortmasligi kerak.

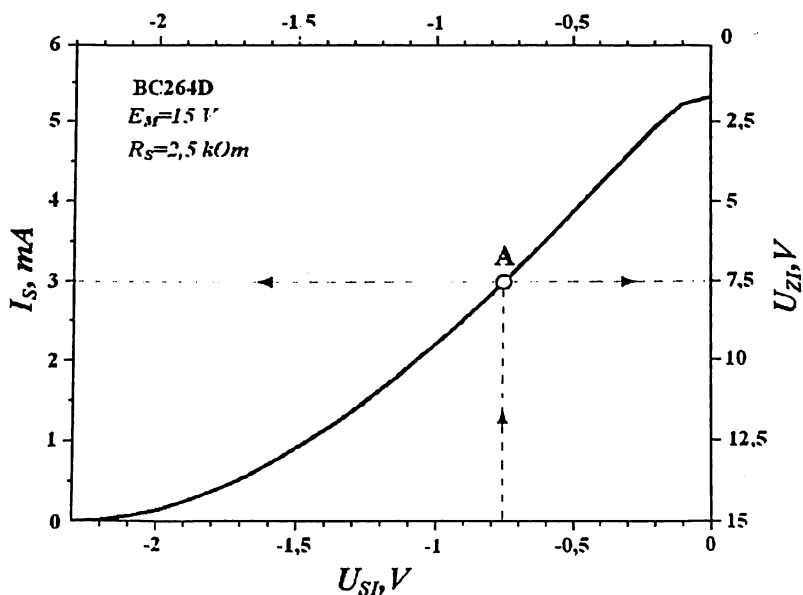
Katta signal rejimi uchun kuchaytirgichning statik uzatish xarakteristikalarini uchta paramerti: I_S , U_{ZI} , U_{SI} larni o'zaro bog'lovchi umumlashgan grafik sifatida ifodalash mumkin. VS264D tranzistorli kaskadning parametrlari $E_M = 15$ V, $R_S = 2,5$ kOm bo'lgandagi umumlashgan grafik 1.62-rasmda keltirilgan.

Bunda A nuqta koordinatalari bir vaqtning o'zida barcha uchta parametr: chiqish toki hamda kirish va chiqish kuchlanishlarini aniqlaydi. Berilgan signal amplitudasi uchun kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentini topish mumkin.

diapazonga ega bo'lgan kuchaytirgich holatida, ya'ni kirish signali amplitudasi bir necha voltga tashkil etganida, tabiiyki U_{ZI} kuchlanishning sokinlik rejimidagi qiymati $U_{ZI, BERK}$ va $U_{ZI, max}$ (tranzistor pasport ko'rsatmalari) kuchlanishlar yig'indisining yarmiga teng, ya'ni

$$U_{ZI} = 0,5(U_{ZI, BERK} + U_{ZI, max}).$$

U_{ZI} va I_S larning sokinlik rejimidagi qiymatlarini stok-zatvor xarakteristikasidan aniqlab, R_I ning qiymatini topish qiyin emas.



1.62-rasm. Ul ulangan n -kanali p - n o'tish bilan boshqariladigan MTning umumlashgan dinamik xarakteristikalari.

US sxemada ulangan kuchaytirgich kaskadi (istok qaytargich).

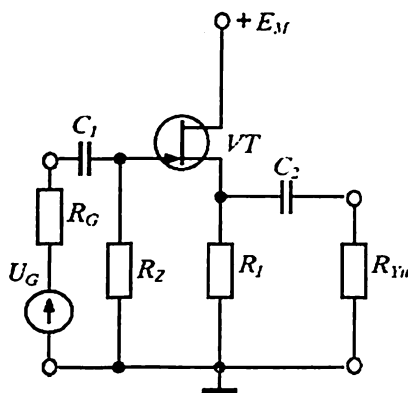
US ulangan MT asosidagi kuchaytirgich kaskadining prinsipial sxemasi 1.63-rasmda ko'rsatilgan. Sxemada n -kanali p - n o'tish bilan boshqariladigan MT qo'llanilgan.

Sxemada stok elektrodi umumiy shinaga kuchlanish manbayi E_v ning juda kichik qarshiligi orqali ulangan, ya'ni stok elektrodi kirish va chiqish zanjirlari uchun umumiydir.

Istok qaytargichda chiqish signali amplitudasi kirishdagi signal amplitudasi va fazasini qaytaradi. Bu ikki omil kaskadning kuchlanish qaytargich deb atalishiga asos bo'ladi. Kuchaytirish koeffitsiyentining birga yaqin qiymati 100% li manfiy TA hisobiga hosil bo'ladi.

p - n o'tish bilan boshqariladigan MTning kuchlanish qaytargich kirish qarshiligi teskari siljirilgan boshqaruvchi p - n o'tishning differensial qarshiligidan iborat bo'ladi.

MDYA-tranzistor asosidagi kuchlanish qaytargichning kirish qarshiligi bundan ham katta bo'ladi, chunki u zatvor ostidagi dielektrik parda qarshiligi bilan aniqlanib, ~ 100 MOmni tashkil etadi.



1.63-rasm. US ulangan MT asosidagi kuchaytirgich kaskadining sxemasi.

? Nazorat savollari

1. Elektron kuchaytirgichlar qaysi belgilariga ko'ra tasniflanadi?
2. Kuchaytirgichlarning asosiy xarakteristika va parametrlarini aytib bering. Ularning o'ziga xos xususiyatlari nimadan iborat?
3. Nima uchun kuchaytirgich A sinfda ishlaganda eng kichik FIKga ega bo'ladi?
4. Nima uchun kuchaytirgich B sinfda ishlaganda simmetrik signal shakli sezilarli buziladi?
5. AB kuchaytirgich sinfi B sinfdan nima bilan farq qiladi va u qanday qurilmalarda ishlatiladi?
6. Kuchaytirgichlarda teskari aloqa (TA) deb nimaga aytiladi?
7. Kuchaytirgich sxemasiga manfiy TA kiritilganda kuchaytirish koef-fitsiyenti qanday o'zgaradi va u kuchaytirgichning barqaror ishlashiga ta'sir etadimi?
8. Tarkibiy tranzistor nima?
9. Darlington juftligining ishlash prinsipi va xarakteristikalarini ifodalab bering.
10. BTli sodda kuchaytirgich kaskadi ishchi nuqtasini qaysi parametrlar belgilaydi?
11. MTli sodda kuchaytirgich kaskadi ishchi nuqtasini qaysi parametrlar belgilaydi?
12. Ko'p kaskadli kuchaytirgich deganda nimani tushunasiz?

II BOB. OPERATSION KUCHAYTIRGICHLAR

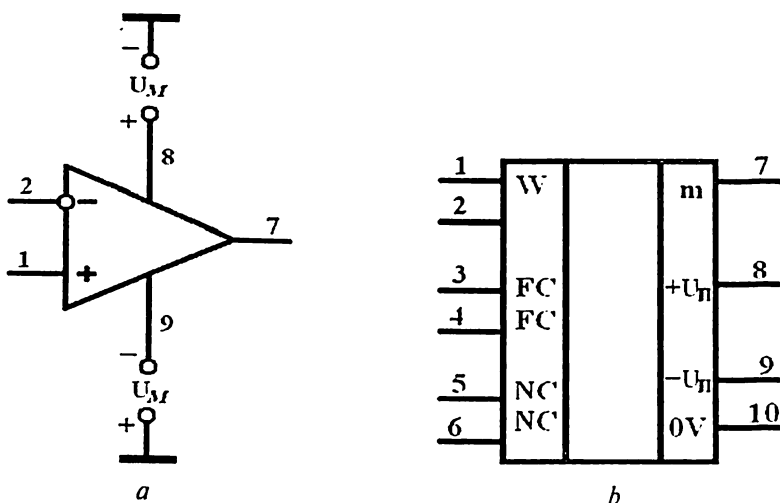
2.1. Umumiy ma'lumotlar

Operatsion kuchaytirgich (OK) deb, analog signallar ustidan turli amallarni bajarishga mo'ljallangan, differensial kuchaytirish prinsipiga asoslangan, kuchlanish bo'yicha katta kuchaytirish koeffitsiyentiga ega bo'lgan ($K_u = 10^4 \div 10^6$) integral o'zgarmas tok kuchaytirgichiga aytiladi. Bunday amallarga qo'shish, ayirish, ko'paytirish, bo'lish, integrallash, differensiallash, masshtablash kabi matematik amallar kiradi. Hozirgi kunda OKlar analog va raqamli qurilmalarda kuchaytirish, cheklash, ko'paytirish, chastotani filtrlash, generatsiyalash, signallarni barqarorlashda qo'llanilib kelinmoqda. Buning uchun OKlarga musbat va manfiy teskari aloqa (TA) zanjirlari kiritiladi. TA zanjirlari yordamida OKlar yuqorida qayd etilgan amallarni (operatsiyalarni) bajaradi. Qurilmalarning nomi ham shundan kelib chiqqan.

OKning elektr sxemalarda keltiriladigan shartli belgisi 2.1, *a*-rasmda ko'rsatilgan bo'lib, uning tarkibidagi ulanish elektrodleri, umumiy shina va tashqi tahrirlovchi elementlar ko'rsatilmaydi. OKlarning standart grafik belgilanishi 2.1, *b*-rasmda ko'rsatilgan. Sxemada kuchlanish manbayiga ulanish elektrodlaridan tashqari, kuchaytirgichning talab etilgan logarifmik ACHX ko'rinishini shakllantiruvchi chastotani korreksiyalovchi elektrodlar ham ko'rsatilgan.

OK ikkita: **inverslaydigan** (aylana yoki «—» ishora bilan belgilangan) va **inverslamaydigan** kirishga ega. Agar signal OKning inverslaydigan kirishiga berilsa, u holda chiqishdagi signal 180° ga siljigan, ya'ni inverslangan bo'ladi. Agar signal OKning inverslamaydigan kirishiga berilsa, u holda chiqishdagi signal kirish signali bilan bir xil fazada bo'ladi.

OKda ikki qutbli ($\pm 3 \text{ V} \dots \pm 20 \text{ V}$) kuchlanish manbayi qo'llaniladi. Bu manbalarning ikkinchi qutblari, odatda, kirish va chiqish signallari uchun umumiy shina bo'lib hisoblanadi va ko'p hollarda OKga ulanmaydi.



2.1-rasm. OKning shartli (a) va standart grafik (b) belgilanishi.

OKlar o'z xususiyatlariga ko'ra ideal kuchaytirgichlarga yaqin. **Ideal kuchaytirgich:** cheksiz katta kuchaytirish ko'effitsiyentiga; cheksiz katta kirish qarshiligiga; nolga teng bo'lgan chiqish qarshiligiga; inverslaydigan va inverslamaydigan kirishlarga; bir xil signal berilganda nolga teng bo'lgan chiqish kuchlanishiga; cheksiz katta keng o'tkazish polosasiga ega.

OKlar rivojlanishning uch bosqichidan o'tdilar.

Birinchi bosqichda **universal** OKlar ishlab chiqilgan. Birinchi avlod OKlari $n-p-n$ turdagi tranzistorlar asosida uch kaskadli tuzilma sxemasi bo'yicha qurilgan bo'lib, ularda yuklama sifatida rezistorlar qo'llanilgan. Bunday OKlarga K140UD1 va K140UD5 rusumli kuchaytirgichlar kiradi. Bu OKlarning asosiy kamchiligi uncha katta bo'lmagan kuchaytirish ko'effitsiyenti ($K_U = 3000 \div 4000$) va kichik kirish qarshiligiga ($R_{KIR} \approx 4 \text{ kOm}$) ega edi.

Ikkinchi bosqich OKlarida bu kamchiliklar yo'qotilgan, chunki ular ikki kaskadli sxemalardan tuzilgan. Tok bo'yicha katta kuchaytirish ko'effitsiyentiga ega bo'lgan tarkibiy tranzistorlarni qo'llash va yuklamadagi rezistorlarni dinamik yuklamalarga almashtirish yo'li bilan xarakteristikalarining yaxshilanishiga erishilgan. Barqaror tok generator-

lari dinamik yuklamalar bo'lib, ular o'zgaruvchan to'lka nisbatan katta qarshilik qiymatini ta'minlaydi. Ikkinchi avlod ba'zi OKlarida kirish kaskadi p - n o'tish bilan boshqariladigan n -kanalli MTlar asosida differensial sxema bo'yicha bajarilgan. Bu holat OK kirish qarshiligini oshirishga imkon berdi. Ikkinchi avlod integral OKlariga $K_{\nu} = 45000$ bo'lgan K140UD7 rusumli kuchaytirgich kiradi. Uning kamchiligi – tezkorligining chegaralanganligi.

Uchinchi bosqich OKlari bir vaqtning o'zida yuqori kirish qarshiligi, katta kuchaytirish ko'effitsiyenti va yuqori tezkorlikka ega. Bunday OKlarning o'ziga xosligi shundaki, ularda tok bo'yicha juda katta kuchaytirish ko'effitsiyenti ($\beta = 10^3 \div 10^4$)ga ega bo'lgan tranzistorlar qo'llanilgan. Uchinchi avlod integral OKlariga K140UD6 turdagi kuchaytirgichlar kiradi. To'rtinchi avlod (maxsus) OKlarining ba'zi parametrlari rekord qiymatlarga ega. Ularga, masalan, kuchlanish bo'yicha juda katta kuchaytirish ko'effitsiyenti ($K_{\nu} = 10^6$)ga ega bo'lgan K152UD5 turdagi, chiqish kuchlanishining ortish tezligi yuqori (75 V/mks dan katta) bo'lgan K154UD2 turdagi va kichik iste'mol tokiga (0,5 mA dan kam) ega bo'lgan K140UD12 turdagi OKlar kiradi.

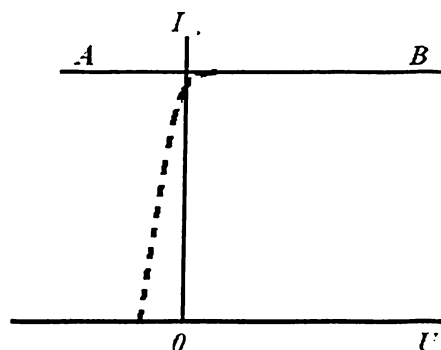
2.2. Analog integral mikrosxemalarning negiz elementlari

2.2.1. Barqaror tok generatori

Ixtiyoriy zanjirdan avvaldan belgilangan qiymatli tok oqishini ta'minlovchi elektron qurilma **barqaror tok generatori (BTG)** deb ataladi. Yuklamadan oqayotgan tokning qiymati kuchlanish manbayi, zanjir parametrlari va temperatura o'zgarishlariga bog'liq bo'lmaydi.

BTGning vazifasi kirish kuchlanishi va yuklama qiymati o'zgar-ganda chiqish toki qiymatini o'zgar-mas saqlashdan iborat bo'lib, ular turli funksional vazifalarni bajaruvchi analog va raqamli mikro-sxemalarda ishlatiladi.

O'zgar-mas tok qiymatini faqat cheksiz katta dinamik qarshilikka ega bo'lgan ideal tok manbayi ta'minlashi mumkin. Ideal tok manbayi VAXi gorizontal AB to'g'ri chiziqdan iborat (2.2-rasm). UB sxemada



2.2-rasm. Ideal BTG VAXi.

ulangan BTning chiqish xarakteristikasi ideal tok generatori VAXiga yaqin bo'ladi. Demak, UB sxemada ulangan tranzistor amalda tok generatori vazifasini bajarishi mumkin. Lekin temperaturaviy barqarorlikni va keng dinamik diapazonni ta'minlash uchun amalda ikki yoki undan ko'p tranzistor ishlatiladi.

Eng sodda BTG sxemasi 2.3-rasmda ko'rsatilgan. Sxemada I_1 tok zanjiriga to'g'ri siljirilgan diod ulanishli, tayanch tranzistor deb ataluvchi VT1 tranzistor ulangan. U juda kichik qarshilikka ega. Shuning uchun VT1 kuchlanish generatori vazifasini o'taydi. U R_{yu} boshqariluvchi zanjir bilan ketma-ket ulangan VT2 tranzistorning emitter-baza o'tishini kuchlanish bilan ta'minlaydi.

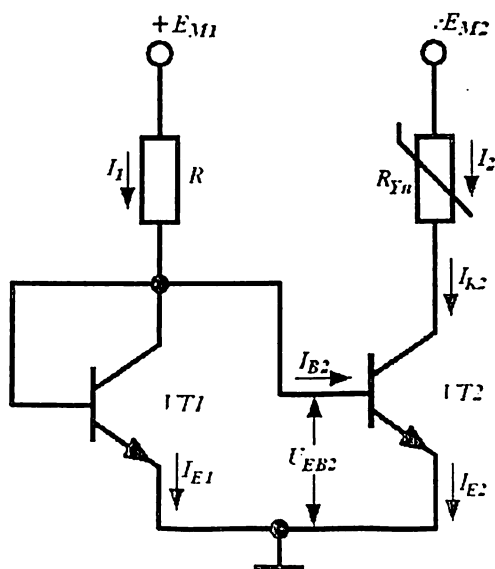
VT2 tranzistor emitter-baza kuchlanishi bilan boshqarilgani sababli, uning xususiyatlari UB sxemaning xususiyatlariga mos keladi. Ma'lumki, UB ulangan sxemada aktiv rejimda kollektor toki kollektordagi kuchlanishga deyarli bog'liq bo'lmaydi (2.3-rasm). Shuning uchun ixtiyoriy R_{yu} dan o'tayotgan tok I_2 tayanch kuchlanish U_{EB2} bilan aniqlanadi. $I_2 = I_1$ ekanligini amalda ko'rsatamiz.

I_{E1} va I_{E2} toklar yuqori aniqlikda

$$I_E = I_0 \exp(U_{BE} / \varphi_T) \quad (2.1)$$

ifoda bilan approksimatsiyalanadi, bu yerda I_0 — teskari siljirilgan EO'ning to'yinish toki. Tranzistorlarning I_{E0} va φ_T parametrlari aynan bir xil bo'lgani uchun $U_{BE1} = U_{BE2}$ shartdan

$$I_{E1} = I_{E2} \quad (2.2)$$



2.3-rasm. Sodda BTG sxemasi.

2.3-rasmdan:

$$I_1 = I_{E1} + I_{B2}, \quad I_2 = I_{K2} = I_{E2} - I_{B2}.$$

(2.2)ni e'tiborga olgan holda

$$I_2 = I_1 - 2I_{B2} \quad (2.3)$$

yo'zish mumkin. Baza toki kollektor tokidan $50 \div 100$ marta kichik bo'ladi. Shuning uchun hisoblashlarda $I_2 = I_1$ deb olish mumkin. Bunday xatolik $1 \div 2\%$ dan oshmaydi. Demak, R_{Yu} yuklama zanjiridagi chiqish toki I_2 , zanjir qanday bo'lishidan qat'iy nazar, kirish tokini ham qiymat, ham yo'nalish bo'yicha takrorlaydi. Kirish toki qiymatiga kelsak, u yetarli aniqlik bilan $I_1 = (E_{M1} - 0,6)/R$ ga teng.

I_1 tokning o'zgarmasligi barqarorlashgan kuchlanish manbai E_{M1} dan foydalanish hisobiga erishiladi. Natijada I_2 tokning zanjir parametrlari E_{M2} va R_{Yu} ga bog'liqligi yo'qotiladi.

Lekin bunday BTGda I_2 tokning temperatura bo'yicha barqarorligi ta'minlanmaydi, chunki baza toki I_{B2} temperatura o'zgarishlariga juda bog'liq bo'ladi. I_2 tokning temperatura bo'yicha barqarorligini ta'minlash uchun murakkabroq sxemalardan foydalaniladi.

Bu ifodadan 2.3-rasmda keltirilgan sxemada kirish va chiqish toklarining qaytarilishi 2.4-sxemadagiga qaraganda yuqoriroqligi ko'rinib turibdi.

Qator integral sxemalarda tayanch toki I_1 ($I_2 \ll I_1$)ning qiymati katta bo'lgan kichik tokli BTGlar talab etiladi. Ushbu hollarda sodda BTGning takomillashgan sxemasidan foydalaniladi (2.5-rasm).

Bu sxema **tok transformatori sxemasi** deb ataladi. U uchun

$$I_{E2} R_E = U_{BE1} - U_{BE2}; \quad U_{BE1} = E_M - I_1 R \quad (2.4)$$

ifoda o'rinli.

Ideallashtirilgan o'tish VAXini (2.1) dan foydalanib yozish mumkin:

$$U_{BE1} = \varphi_T \ln(I_1/I_0); \quad U_{BE2} = \varphi_T \ln(I_2/I_0). \quad (2.5)$$

(2.4) va (2.5) ifodalardan

$$I_2 = \frac{\varphi_T}{R_E} \ln \frac{E_M - U_{BE1}}{I_2 R} \quad (2.6)$$

ni hosil qilamiz. I_2 tokning berilgan qiymati asosida (2.6) dan foydalanilgan holda R_E rezistorning qarshiligini topish mumkin:

$$R_E = \frac{\varphi_T}{I_2} \ln \frac{E_M - U_{BE1}}{I_2 R}. \quad (2.7)$$

Ushbu sxema soddaligiga qaramasdan, temperatura bo'yicha barqarorlikni yaxshi ta'minlaydi, chunki R_E rezistor orqali manfiy TA ga ega. Hisoblashlardan temperatura bir gradusga o'zgarganda tokning nobarqarorligi $\Delta I_2 = 2,5$ mA ni tashkil etishi ma'lumdir. Bundan tashqari, $R_E = 1$ kOm (statik qarshilik) bo'lganda BTGning dinamik qarshiligi 1 MOmga yaqin bo'ladi.

2.2.2. O'zgarmas kuchlanish sathini siljituvchi sxema

O'zgarmas kuchlanish sathini siljituvchi sxema ko'p kaskadli o'zgarmas tok kuchaytirgichlarda kaskadlarni kuchlanish bo'yicha o'zaro muvofiqlashtirishda keng qo'llaniladi. Bunday sxemalar **sath translatorlari**

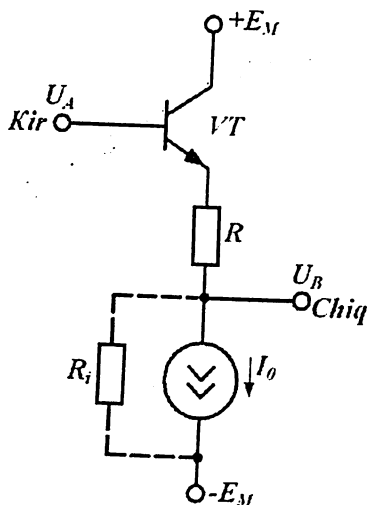
deb ham ataladi. Ular navbatdagi kaskad kirishidagi signa'ning o'zgar-
mas tashkil etuvchisini siljitishi va o'zgaruvchan tashkil etuvchisini
buzmasdan uzatishi kerak.

Eng sodda sath siljituvchi sxema bo'lib, emitter qaytargich xizmat
qiladi. Uning chiqish (emitter) potentsiali sathi baza potentsiali sathidan
 U^* kattalikka past bo'lib, signal 1 koeffitsiyent bilan uzatiladi.

U^* kattalik ochiq o'tish kuchlanishi deb ataladi. Gap shundaki,
normal tok rejimida (to'g'ri toklar $I = 10^{-3} \div 10^{-4}$ A oralig'ida bo'lgan-
ganda), kremniyli $p-n$ o'tishdagi kuchlanish $0,65 \div 0,7$ V bo'ladi.
Mikrorejimda esa (toklar $I = 10^{-5} \div 10^{-6}$ A bo'lganda) kuchlanishning
mos o'zgarishlari $0,52 \div 0,57$ V bo'ladi.

Shunday qilib, toklar diapazoniga bog'liq holda to'g'ri kuchla-
nishlar biroz farq qiladi, lekin diapazon oralig'ida ularni o'zgarmas
deb hisoblash va parametr sifatida olish mumkin. Xona tempera-
turasida uchun normal rejimda $U^* = 0,7$ V, mikrorejimda esa $U^* = 0,5$ V
deb qabul qilingan.

Agar kuchlanish sathini $2U^*$ martaga pasaytirish kerak bo'lsa, u
holda kuchlanish qaytargichining emitter zanjiriga to'g'ri siljirilgan
diod ulanadi.



2.6-rasm. Kuchlanish sathini
siljituvchi universal sxema.

Kuchlanish sathi U^* marta bo'lmagan miqdorda siljirilishi zarur
bo'lsa, BTGdan foydalanishga asos-
langan sath siljituvchi universal xse-
madan foydalaniladi. Bu sxema 2.6-
rasmda keltirilgan.

Sxemada BTG VT tranzistor emit-
ter zanjiriga ulangan bo'lib, uning
bazasi avvalgi kaskad chiqishi bilan
bevosita ulangan. VT tranzistorning
emitter potentsiali $I_0 R$ qiymatga pa-
sayadi. Natijada, A nuqtaning po-
tentsiali qanday bo'lishidan qat'iy nazar,
 B nuqtaning potentsiali

$$U_B = U_A - U_{BE} - RI_0. \quad (2.8)$$

Berilgan U_A da U_{BE} ning qiymati I_0 tok qiymatiga mos bo'ladi va natijada R ning shunday qiymatini tanlash mumkinki, U_B ning qiymati avvaldan belgilangan qiymatga mos bo'lsin.

Sxemaning chiqishidagi signal (B nuqta) kirishdagi (A nuqta) signalni qaytarishiga ishonch hosil qilish qiyin emas. (2.8) ifoda asosida $I_0 = \text{const}$ bo'lgani uchun

$$\Delta U_A = \Delta U_B - \Delta U_{BE}$$

bo'ladi. Baza potensialining o'zgarishi U_{BE} qiymatini o'zgartira olmaydi, chunki tranzistor emitteri potentsiali amalda shu ondayoq baza potentsiali o'zgarishiga mos keladi. Natijada, $\Delta U_{BE} = 0$ va $\Delta U_A = \Delta U_B$ bo'ladi. BTGning dinamik qarshiligi $R_i = \infty$ bo'lsagina, yuqoridagi ifoda o'rinli bo'ladi. R_i ning qiymati, odatda, $100 \text{ kOm} \div 1 \text{ MOm}$, R esa $1 \div 2 \text{ kOm}$ bo'ladi. Shuning uchun signal uzatish koeffitsiyenti birga yaqin bo'ladi.

2.2.3. Differensial kuchaytirgichlar

I bobda ko'rib chiqilgan manfiy TAlI kuchaytirgich kaskadlari kuchlanish bo'yicha kichik kuchaytirish koeffitsiyentiga ega bo'lgan holda yuqori barqarorlikka, nolining dreyfi kichik bo'lishiga qaramasdan, turli xalaqitlar ta'siridan himoyalangan. Natijada kirishga signal berilmaganda chiqishda yolg'on signallar paydo bo'lishi mumkin. Xalaqitlar manbai bo'lib:

- 1) yuqori chastotali tebranishlarni generatsiyalovchi turli qurilmalar, masalan, radiouzatgich, yuqori chastotali apparaturalar;
- 2) ishlaganida elektr zaryad hosil qiluvchi qurilmalar, masalan, elektr dvigatellar va generatorlar, avtomobillar dvigatellarini o't oldirish tizimlari va shu kabilar xizmat qiladi.

Elektron asbobga xalaqitlar signal sifatida ta'minot manbalari liniyalaridan yoki signal kiritish va chiqarish zanjirlaridan kirishi mumkin. Hozirgi kunda xalaqitlar bilan kurashish uchun ko'p samarali choralar ko'rilgan. Ularning hammasi xalaqit signalini so'ndirishga yo'naltirilgan bo'lib, chuqur manfiy TA kiritish shular jumlasidandir. TA foydali

signa^l kuchaytirish ko'effitsiyentining keskin kamayishiga olib keladi, chunki xalaqit signali ham, foydali signal ham, bitta kirishga beriladi. Shuning uchun, ham signal kuchaytirish ko'effitsiyentini, ham xalaqitlarni so'ndirish ko'effitsiyentini oshirish uchun kuchaytirgich:

- xalaqit uchun chuqur manfiy TAni ta'minlashi;
- bir vaqtning o'zida foydali signal uchun manfiy TAni yo'qotishi kerak.

Bu talablarga **differentensial kuchaytirgich (DK)** javob beradi. DKda chiqish kuchlanishi har bir kaskad chiqish kuchlanishlarining ayirmasi sifatida shakllanib, ko'prik sxema ko'rinishida bo'ladi. Ko'prik sxemalar o'lchashlarning turli xatoliklarini kompensatsiyalash uchun qo'llaniladi. Bu xatoliklar barqarorlikni buzuvchi omillar hisobiga hosil bo'ladi.

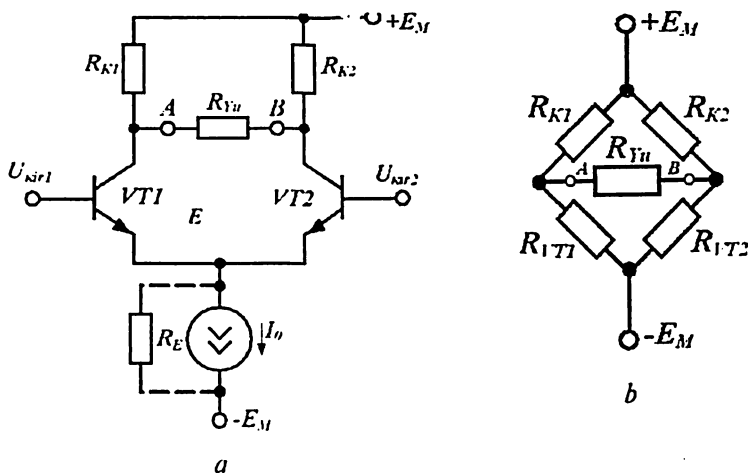
DKning an'anaviy sxemasi 2.7, *a*-rasmda keltirilgan. Kuchaytirgich ikkita simmetrik yelkadan tashkil topgan bo'lib, birinchisi *VT1* tranzistor va R_{K1} rezistordan, ikkinchisi esa *VT2* tranzistor va R_{K2} rezistordan tashkil topgan. R_E rezistor ikkala yelka uchun umumiy. Har bir yelka manfiy TAl UE ulangan kaskadni tashkil etadi. Sxemaning boshlang'ich ish rejimi I_0 tok bilan aniqlanuvchi BTG yoki uning o'rnini bosuvchi katta nominalli R_E rezistor bilan ta'minlanadi.

DK elementlari ko'prik sxema hosil qiladi (2.7, *b*-rasm). Sxema diagonallaridan biriga ikki qutbli kuchlanish manbayi $\pm E_M$, ikkinchisiga esa yuklama qarshiligi R_Y ulangan. Sxemadan foydalangan holda, ko'prik balansi sharti, ya'ni uning chiqish kuchlanishi $U_{CHIQ} = U_A - U_B$ nolga teng bo'ladi:

$$R_{VT1} \cdot R_{K2} = R_{VT2} \cdot R_{K1}. \quad (2.9)$$

Shart bajarilganda, ya'ni E_M kuchlanishlar va ko'prik yelkalari qarshiliklari o'zgarsa ham, balans buzilmaydi.

VT1 va *VT2* tranzistorlar parametrlari bir xil ($R_{VT1} = R_{VT2}$), $R_{K1} = R_{K2}$ bo'lgan ideal DK xususiyatlarini ko'rib chiqamiz. $U_{K1R1} = U_{K1R2}$ bo'lganda kollektorlar potentsiallari U_{K1} va U_{K2} bir xil, natijada yuklamadagi chiqish kuchlanishi $U_{CHIQ} = U_{K1} - U_{K2} = 0$ bo'ladi. Sxema simmetrik bo'lgani uchun kuchlanish manbayi va temperatura bir vaqtda o'zgarganda, chiqish kuchlanishi $U_{CHIQ} = 0$ qiymati saqlanib qoladi, ya'ni ideal DKda nolning dreyfi bo'lmaydi.



2.7-rasm. Differensial kuchaytirgich (a) va uning ekvivalent sxemasi (b).

DK ikkita kuchlanish manbayidan ta'minlanadi. Bu manbalarining kuchlanishlari modul bo'yicha bir-biriga teng. Ikkinchi manba ($-E_M$)ning ishlatilishi $VT1$ va $VT2$ tranzistorlarlarning emitterlari potentsiallarini (E nuqta) umumiy shina potentsialigacha kamaytirish imkonini beradi. Bu, birinchidan, DK kirishlariga signallar sathini siljitmasdan uzatish (kiritish), ikkinchidan, ham musbat, ham manfiy kirish signallari bilan ishlash imkonini beradi.

DK kirishlariga amplitudalari teng va fazalari bir xil signallar beraylik. Bunday signallar **sinfaz signallar** deb ataladi. Sinfaz signallar manbayi bo'lib xalaqitlar xizmat qiladi. Agar sinfaz signallar musbat bo'lsa, $VT1$ va $VT2$ tranzistorlarning emitter toklari qiymatlari ortadi. Natijada emitter toki ortirmasi ΔI_E hosil bo'ladi va u DK yelkalari orasida teng taqsimlanadi, kollektorlar potentsiallari bir xil qiymatga o'zgaradi. Natijada bu holda ham $U_{CHIQ} = 0$ bo'ladi.

Real DKlarda $R_{K1} \neq R_{K2}$ bo'lgani uchun chiqishda kuchlanish hosil bo'ladi. Sinfaz signallar uchun kuchaytirish koeffitsiyenti K_{USF} ni hisoblaymiz. DK da R_E rezistor tok bo'yicha ketma-ket manfiy TA hosil qiladi, tok ortirmasi esa unda manfiy TA signalini hosil qiladi. Demak, K_{USF} manfiy TAli kuchaytirgich kaskad uchun yozilgan oddiy

formula bilan hisoblanishi mumkin. DKda R_E rezistor emitter zanjirlari umumiy bo'lgani uchun R_E o'rniga $2R_E$ ni ishlatish kerak, ya'ni

$$K_{USF} = \frac{R_{K1}}{2R_E} - \frac{R_{K2}}{2R_E} = \frac{\Delta R_K}{2R_E}. \quad (2.10)$$

Amalda sinfaz signal ishchi signaldan minglarcha marta katta bo'lganligi sababli, $K_{USF} \ll 1$ bo'lishiga intiliniladi. Buning uchun R_E qiymati oshirilishi kerak. Lekin IMSlarda katta nominalli rezistorlarni hosil qilish maqsadga muvofiq emas. Shuning uchun R_E rezistor o'rniga katta nominalli rezistorning elektron ekvivalentidan foydalaniladi. Bunday ekvivalent bo'lib, o'zgaruvchan tokka qarshiligi bir necha MOmni tashkil etuvchi BTG xizmat qiladi.

Monolit IMSda kollektor qarshiliklari tarqoqligi $\Delta R_K \pm 3\%$ dan ortmaydi. Baholash uchun R_K larning qiymat bo'yicha katta va kichik tomonga og'ishi bir xil, lekin ishoralari bilan farq qiladi (eng noxush holat), deb hisoblaylik. Unda $R_K = 5 \text{ kOm}$, $R_E = 1 \text{ MOm}$ bo'lganda, $K_{USF} \approx 0,3 \cdot 10^{-3}$ ni tashkil etadi. Shunday qilib, masalan, agar sinfaz signal amplitudasi 1 V bo'lsa, berilgan K_{USF} da DK chiqishida $0,3 \text{ mV}$ ga teng yolg'on signal paydo bo'ladi. Demak, bu holda kuchaytirish haqida emas, balki sinfaz signalni so'ndirish haqida gapirish o'rinli bo'ladi.

DK simmetrik bo'lgani sababli, kirish signali U_{KIR} EO'lar orasida teng taqsimlanadi: ularning birida kuchlanish $0,5 \cdot U_{KIR}$ qiymatga ortadi, ikkinchisida esa shu qiymatga kamayadi. U_{KIR1} kuchlanishi ortsin, U_{KIR2} esa kamaysin. Bunda VT1 tranzistorning emitter va kollektor toklari musbat orttirma, VT2 tranzistorning mos toklari esa manfiy orttirma oladi. Natijada chiqish kuchlanishi hosil bo'ladi:

$$U_{CHIQ} = \Delta I_{K1} \cdot R_{K1} - (-\Delta I_{K2} \cdot R_{K2}).$$

Emitter toklarining o'zgarishi zanjirlar uchun umumiy R_E rezistorda manfiy TA signalini tashkil etuvchi

$$\Delta U_E = R_E (\Delta I_{E1} - \Delta I_{E2})$$

orttirma hosil qiladi.

Agar DK ideal simmetrik bo'lsa, $|\Delta I_{E1}| = |\Delta I_{E2}|$ va $\Delta U_E = 0$.

Natijada emitterlar potentsiali «qalqiydi» va DK uchun manfiy TA signali mavjud bo'lmaydi. Shu sababli, DKning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti T_{Asiz} UE ulangan kaskad uchun ilgari yozilgan ifoda bilan aniqlanadi:

$$K_U = \frac{\alpha R_K I_E}{\varphi_T} = - \frac{h_{21} R_K}{h_{11}}. \quad (2.11)$$

$\alpha \approx 1$, $R_K = 5 \text{ kOm}$, $I_E = 1 \text{ mA}$, $\varphi_T = 0,025 \text{ V}^{-1}$ bo'lganda, $K_U = -200$ bo'ladi.

Amalda DKning to'rt xil ulanishidan foydalaniladi: simmetrik kirish va chiqish; simmetrik kirish va nosimmetrik chiqish; nosimmetrik kirish va simmetrik chiqish; nosimmetrik kirish va chiqish.

Simmetrik kirishda signal manbayi DK kirishlari orasiga (tranzistorlar bazalari orasiga) ulanadi. Simmetrik chiqishda yuklama qarshiligi DK chiqishlari orasiga (tranzistorlar kollektorlar orasiga) ulanadi.

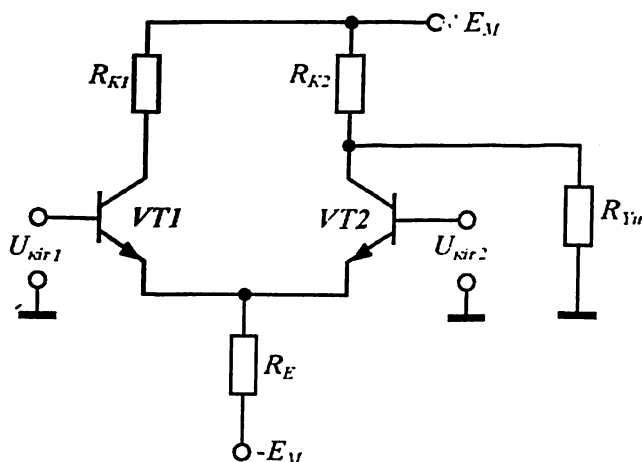
Nosimmetrik kirishda signal manbayi DKning bitta kirishi va umumiy shinasiga orasiga ulanadi. Nosimmetrik chiqishda yuklama qarshiligi tranzistorlardan birining kollektori va umumiy shina oraliqiga ulanadi.

DKning kuchaytirish ko'effitsiyenti kirish signali berish usuliga, ya'ni kirishning simmetrik yoki nosimmetrikligiga bog'liq emas.

Nosimmetrik chiqishda yuklama bir elektrodi bilan tranzistorlardan birining kollektoriga, boshqa elektrodi bilan esa umumiy shinaga ulanadi. Bu holda K_U simmetrik chiqishdagiga nisbatan 2 marta kichik bo'ladi.

Nosimmetrik kirish va chiqishda, agar kirish signali DK chiqish signali olinadigan yelka kirishiga berilgan bo'lsa, bu holda kuchaytirishga DKning faqat bir yelkasi ishlaydi. Agar kirish signali DKning bir yelkasiga berilgan bo'lsa-yu, chiqish signali boshqa yelka chiqishidan olinsa, birinchi holdagidek K_U ga ega bo'lgan, inverslanmagan signal olinadi. Agar chiqish signali har doim berilgan bitta chiqishdan olinsa, DK kirishlariga «inverslaydigan» va «inverslamaydigan» degan nom beriladi.

Nosimmetrik kirish va chiqishli kaskad namunasi 2.8-rasmda keltirilgan. Bunda foydalanilmaydigan kirish kuchlanishi o'zgarmas sathli qilib olinadi, masalan, umumiy shinaga ulanadi. Agar kirish signali



2.8-rasm. Nosimmetrik kirish va chiqishli DK.

U_{kir1} ga berilsa, chiqishda inverstanmagan signal olinadi. Demak, U_{kir1} inverslamaydigan kirish, U_{kir2} esa inverslaydigan kirish bo'ladi.

DKning asosiy parametrlaridan biri bo'lib sinfaz signallarni so'n-dirish koeffitsiyenti (**SSSK**) hisoblanadi. SSSK deb, $K_{U.DF}$ ni $K_{U.SF}$ ga $SSSK = 20 \lg(K_{U.DF} / K_{U.SF})$ nisbatining detsibellarda ifodalangan qiymati tushuniladi, ya'ni

$$SSSK = 20 \lg(K_{U.DF} / K_{U.SF}).$$

Zamonaviy DKlarda SSSKning qiymati odatda $60 \div 100$ dB orasida bo'ladi.

DKning keyingi asosiy parametri uning dinamik diapazonidir. Dinamik diapazon **deganda**, kuchaytirgich kirishidagi maksimal va minimal signallar **amplitudalari** nisbati tushuniladi:

$$D(dB) = 20 \lg(K_{KIR.max} / K_{KIR.min}).$$

Minimal signal DKning xususiy xalaqitlari bilan, maksimal signal esa signal shaklining buzilishlari bilan chegaralanadi. Nochiziqli buzi-lishlar signal ta'sirida tranzistor to'yinish yoki berk rejimga o'tganda hosil bo'ladi.

Hisoblarning ko'rsatishicha, ruxsat etilgan maksimal kirish signali $\varphi_T = r_E \cdot I_E$ dan katta bo'lishi mumkin emas. Bu yerda r_E — EO'ning

differensial qarshiligi; I_E – sokinlik rejimidagi emitter toki. $r_E = 50 \text{ Om}$ va $I_E = 12 \text{ mA}$ bo'lganda $\varphi_T = 50 \text{ mV}$. Amalda signal buzilishlari katta bo'lmashligi uchun kirish signali amplitudalari $0,5 \cdot \varphi_T$ atrofida bo'lishi kerak. Gap shundaki, φ_T ga yaqinlashgan sari, emitter toki, u bilan birgalikda, r_E qarshilik qiymati va kuchaytirish koeffitsiyenti juda sezilarli darajada o'zgaradi.

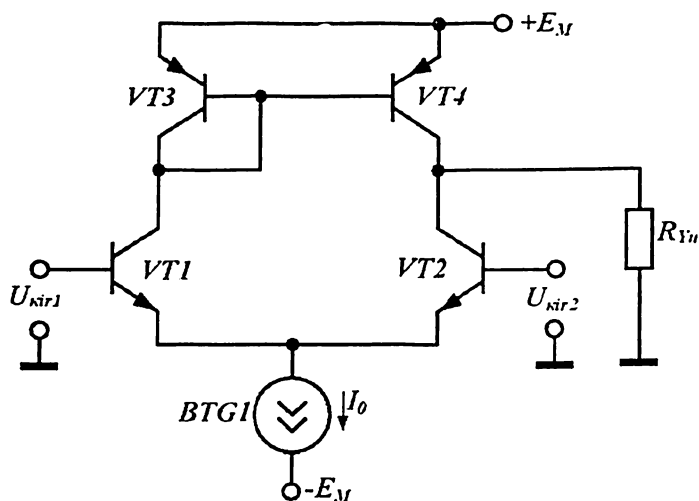
Turli modifikatsiyali DKlar o'zlarining **aniqlik parametrlari** bilan xarakterlanadi.

Shunday parametrlardan biri bo'lib, nolning siljish kuchlanishi U_{SIL} xizmat qiladi. DK chiqishida nolga teng kuchlanish olish uchun kirishga beriladigan kuchlanish qiymati siljituvchi kuchlanish deb ataladi. Gap shundaki, yelkalar assimetriyasi hisobiga kirishda signal bo'lmagan holda, chiqishda qandaydir kuchlanish paydo bo'ladi. Bu kuchlanish signal sifatida qabul qilinishi mumkin. Turli DKlarda U_{SIL} qiymati $30 \div 50 \text{ mV}$ bo'lishi mumkin. U_{SIL} ning temperaturaga bog'liqligini e'tiborga olish zarur. Bu bog'liqlik **temperatura sezgirliги** $\varepsilon_U = 0,05 - 70 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ bilan ifodalanadi.

DKning yana bir aniqlik parametri – siljitish toki ΔI_{SIL} dir. U **kirish toklari ayirmasidan** iborat. Parametrning an'anaviy qiymatlari mikro-ampereklardan nanoampereklarga ulushlarigacha bo'ladi. Siljish toki signal manbayi qarshiligi R_G orqali o'tib, unda yolg'on signal hosil qiladi. Masalan, agar $\Delta I_{SIL} = 20 \text{ nA}$ va $R_G = 100 \text{ kOm}$ bo'lsa, $\Delta I_{SIL} \cdot R_G = 2 \text{ mV}$ ni tashkil etadi.

O'rtacha kirish toki $I_{KIR.O'RT}$ ham DKning aniqlik parametrlaridan hisoblanadi. O'rtacha kirish toki siljish tokidan ancha katta qiymatga ega va turli DKlarda $1 \div 7 \cdot 10^3 \text{ nA}$ bo'ladi. O'rtacha kirish toki signal manbayi qarshiligi R_G orqali o'tib, unda kuchlanish pasayishini hosil qiladi. Bu kuchlanish o'zini kiruvchi sinfaz signaldek tutadi. $K_{U,SF}$ marta so'ndirilgan ushbu kuchlanish DK chiqishida yolg'on signal sifatida hosil bo'ladi.

DK kuchaytirish koeffitsiyenti kollektor zanjiridagi R_K yuklama qarshiligiga bog'liq bo'ladi. Integral texnologiyada R_K qiymatining ortishi bilan kristalda u egallagan yuza ortadi va tranzistorlar ish rejimlari saqlangan holda, kuchlanish manbayi qiymati ham ortadi. Shuning uchun DKlarda kuchaytirish koeffitsiyentini oshirish uchun,



2.9-rasm. Dinamik yuklamali DK sxemasi.

R_K rezistorlar o'rniga, dinamik (aktiv) yuklamadan foydalaniladi. Dinamik yuklama bipolar yoki maydoniy tranzistorlar asosida hosil qilinadi. Yuklama sifatida ikkinchi BTG ishlatilgan DK sxemasi 2.9-rasmda keltirilgan. Ikkinchi BTG $p-n-p$ turidai VT3 va VT4 tranzistorlar asosida yaratilgan. Birinchi BTG ilgariidek DK sokinlik rejimini belgilaydi va emitter qarshiligi sifatida ishlatiladi.

BTGlarning statik qarshiligi differensial qarshiligiga nisbatan ko'p marta kichik bo'ladi. Bu holda BTGdan sokinlik toki oqib o'tishi hisobiga kuchlanish pasayishi uning statik qarshiligi bilan aniqlanadi. Signal berilganda kollektor toklarining o'zgarishi hisobiga chiqish kuchlanishining o'zgarishi uning differensial qarshiligi bilan bog'liq bo'ladi. Shuning uchun (2.11) formulada R_K o'rniga R_{DIF} qo'yilishi kerak. Bunda kuchaytirish koeffitsiyentining kaskadda ruxsat etilgan maksimal qiymati topiladi. Tashqi yuklama ulanganda kuchaytirish koeffitsiyentining absolut qiymati faqat uning qarshiligi R_{YU} bilan aniqlanadi, ya'ni (2.11) formulada R_K o'rniga R_{YU} qo'yilishi kerak.

DKning asosiy parametrlariga differensial va sinfaz signallarni kuchaytirish koeffitsiyenti, sinfaz tashkil etuvchini so'ndirish koeffitsiyentidan tashqari kirish va chiqish qarshiliklari ham kiradi.

Sir metrik chiqishda yuklama qarshiligi $R_{y\kappa}$ e'tiborga olinmaganda DKning chiqish qarshiligi

$$R_{CHI\kappa} \cong R_{K1} + R_{K2}.$$

Simmetrik kirishda DKning kirish qarshiligi chap va o'ng tomonlar kirish qarshiliklari yig'indisiga teng bo'ladi va signal manbayiga nisbatan ketma-ket ulangan bo'ladi. $R_E = 0$ bo'lganda:

$$R_{KIR} = 2[(\beta + 1)r_E + r_B].$$

$\beta = 100$, $r_E = 250$ Om va $r_B = 150$ Om bo'lsin, bunda $R_{KIR} = 5,35$ kOm bo'ladi.

β ning qiymati tranzistor sokinlik toki I_{B0} ga bog'liq. Shuning uchun kirish qarshiligini oshirish uchun DKni kichik signal rejimida ishlatish kerak. Kaskad kuchaytirish koeffitsiyenti va DK kirish qarshiligini sezilarli oshirish maqsadida tarkibiy tranzistorlardan foydalaniladi. Ko'proq Darlington sxemasi ishlatiladi (2.10-rasm).

Bunday DKning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti:

$$K_I \approx h_{21E}^2 = \beta^2.$$

Tarkibiy tranzistorning kirish qarshiligi:

$$R = \frac{U_{BE}}{I_B} = \frac{U_{BE1} + U_{BE2}}{I_{B1}} = R_{KIR1} + \frac{U_{BE2}}{I_{B1}}.$$

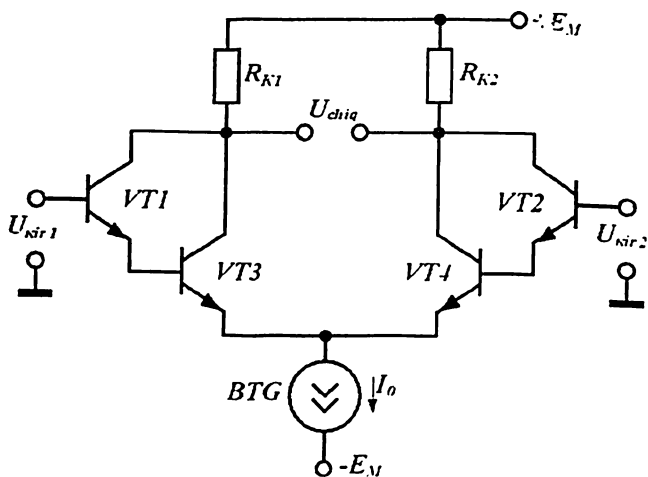
bo'ladi. O'zgartirishlarni kiritib:

$$R_{KIR} = R_{KIR1} + (\beta + 1)R_{KIR2} \approx \beta R_{KIR2}.$$

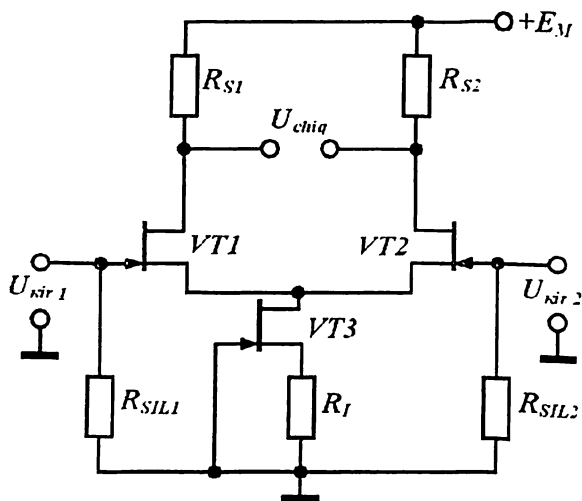
Demak, tarkibiy tranzistorlar qo'llanilganda DK kirish qarshiligi β marta ortar ekan.

DK kirish qarshiligini kichik kirish tokiga ega MTlarni qo'llab ham oshirish mumkin. Bunday sxemalarni yaratishda $p-n$ o'tish bilan boshqariluvchi MTlar afzal hisoblanadi, chunki ular xarakteristikalarining barqarorligi yuqoriroq.

Kanali $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan n -kanalli MTlar asosidagi DKning an'anaviy sxemasi 2.11-rasmda keltirilgan. Tok belgilovchi BTG VT3 tranzistor bilan R_y rezistor asosida hosil qilingan.



2.10-rasm. Tarkibiy tranzistorlar asosidagi DK sxemasi.



2.11-rasm. MTlar asosidagi DK sxemasi.

R_{SIL1} va R_{SIL2} rezistorlar $VT1$ va $VT2$ tranzistorlar zatvor'iga boshlang'ich siljitish berish uchun xizmat qiladi. DKning kirish qarshiligi teskari siljirilgan $p-n$ o'tishning differensial qarshiligidan iborat bo'ladi va $10^8 \div 10^{10}$ Om ni tashkil etadi.

Ba'zan DK kirish qarshiligini oshirish uchun n -kanalli $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan MT va $n-p-n$ tuzilmali BTlardan tashkil topgan tarkibiy tranzistorlardan foydalaniladi. DKlarning barcha ko'rilgan turlari har xil OKlarning kirish kaskadlari sifatida ishlatiladi.

2.2.4. Kuchaytirgichlarning chiqish kaskadlari

Kuchaytirgichlarning chiqish kaskadi (CHK) yuklamada $0,01 \div 10^3$ Vt bo'lgan yetarlicha katta quvvatni ta'minlashi zarur. Buning uchun CHKlar tranzistorlari tok va kuchlanishlarning katta qiymatlarida ishlashi kerak. Demak, ular kuchlanish manbayining asosiy quvvatini iste'mol qilishi kerak. Shuning uchun FIKni oshirish maqsadida sokinlik rejimida (ya'ni signal bo'lmagan holda) kaskadning toki nolga yaqin bo'lishi maqbuldir.

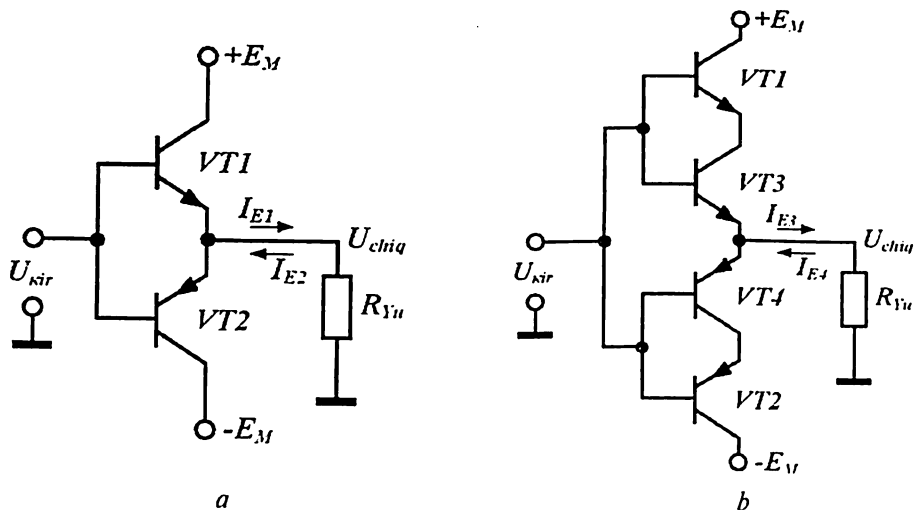
Emitter qaytargich turidagi bir taktli CHKlar A sinf rejimida va FIKning kichikligi sababli chiqish quvvatining kichik qiymatlarida ishlaydi.

Chiqish quvvati katta CHKlarda faqat ikki taktli kuchaytirgich kaskadlar ishlatiladi. Bunday kuchaytirgichlar B va AB sinf rejimlarida tranzistorlarning ketma-ket ishlashi bilan ta'minlanadi.

Komplementar BT (KBT) va injeksiya-voltaik tranzistor (IVT)lar asosidagi B sinfda ishlaydigan ikki taktli kuchaytirgich sxemasi 2.12, *a* va *b*-rasmida ko'rsatilgan: $VT1$ tranzistor $n-p-n$, $VT2$ tranzistor esa $p-n-p$ tuzilishga ega. Tranzistorlar emitter zanjiriga yuklama R_{yu} ulangan bo'lib, ular kuchlanish qaytargich (emitter qaytargich) rejimida ishlaydi.

Sxemada absolut qiymatlari teng $+E_M$ va $-E_M$ ikki qutbli kuchlanish manbalari ishlatilgan. Sokinlik rejimida EO'larda kuchlanish nolga teng bo'lgani uchun ikkala tranzistor berk bo'lib, kuchlanish manbayidan energiya sarflanmaydi.

Kirishga U_{KIR} ning musbat yarim davri berilganda $VT1$ tranzistor ochiladi va yuklama orqali I_{EI} tok oqib o'tadi. Manfiy yarim davrda



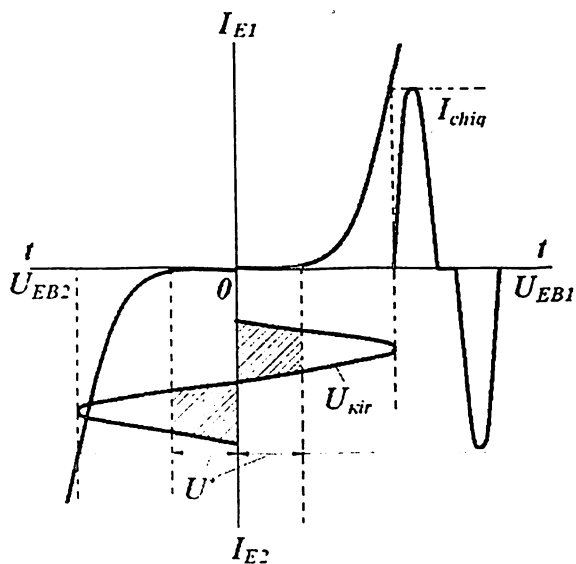
2.12-rasm. B sinfida ishlaydigan ikki taktli kuchaytirgich sxemalari: BT (a) va IVTli (b).

$VT2$ tranzistor ochiladi va I_{E2} tok yuklamadan qarshi yo‘nalishda oqib o‘tadi. Quvvat kuchaytirilishi faqat tok kuchaytirilishi hisobiga amalga oshib, emitter va baza toklari nisbatiga teng, ya’ni $\beta + 1$ bo‘ladi. Kuchaytirgichning maksimal FIKi $\eta = 78,5\%$ ni tashkil etadi.

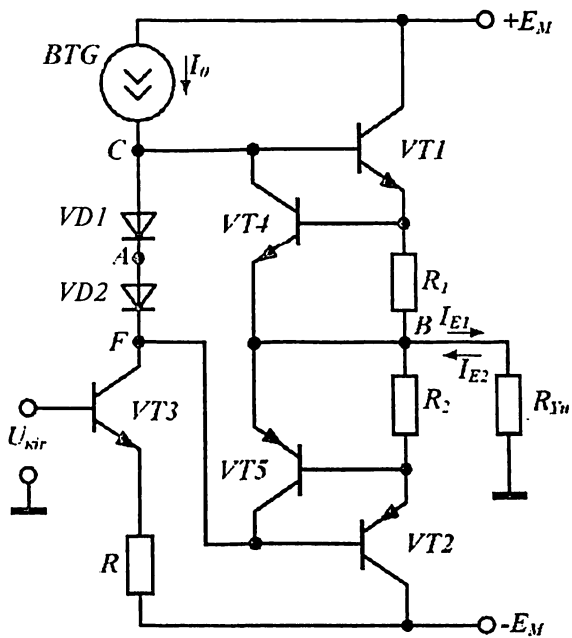
Afsuski, B sinf kuchaytirgichlar katta nochiziqli buzilishlarga ega. Buzilishlar hosil bo‘lishiga tranzistor kirish VAXi boshlang‘ich sohasining nochiziqligi sababdir. Kuchaytirgich uzatish xarakteristikasidagi chiqish signali shaklini ko‘rib chiqamiz (2.13-rasm). Ko‘rinib turibdiki, signalning shtrixlangan sohalari kuchaytirilmaydi, ya’ni signal shakli buziladi. Bunday buzilishlar, ayniqsa, kirish signali amplitudasi U^* kuchlanishga yaqin ($U_{kir} \leq 0,7$ V), ya’ni tranzistorlar amalda berik bo‘lganda sezilarli bo‘ladi.

Nochiziqli buzilishlarning oldini olish uchun tranzistorlar bazalariga sath siljituvchi sxema yordamida siljituvchi kuchlanish beriladi.

CHKning AB sinfida ishlashini ta’minlash uchun qo‘llaniladigan an’anaviy sxemalardan biri 2.14-rasmda keltirilgan. Tranzistorlar bazalari orasiga alohida siljituvchi kuchlanish beriladi. Bundan tashqari, tranzistorlar o‘ta yuklanishdan, masalan, yuklama elektrodi tasodifan kuchlanish manbayining elektrodiga ulanishdan himoyalangan.



2.13-rasm. Uzatish xarakteristikasida kuchaytirgich chiqish signalining shakli.



2.14-rasm. AB sinf rejimida ishlaydigan CHK sxemasi.

Keltirilgan sxema elementlari vazifasini ko'rib chiqamiz.

$VT1$ va $VT2$ chiqish tranzistorlarini boshqaruvchi kuchlanishni hosil qilish uchun kuchaytirgichda $VT3$ asosidagi qo'shimcha kaskad ishlatilgan. U UE sxemada ulangan. Rezistor R chiqish toki bo'yicha ketma-ket manfiy TA zanjirini hosil qiladi. U kaskad ish rejimini barqarorlaydi. Bundan tashqari, $VT3$ tranzistor butun CHK kuchaytirish koeffitsiyentini oshiradi. R qarshilik qiymati shunday tanlanadiki, A nuqta potentsiali, sokinlik rejimida nolga teng bo'lsin. $VD1$ va $VD2$ diodlar $VT1$ va $VT2$ tranzistorlar parametrlari bir xil bo'lgani uchun B nuqta potentsiali (sokinlik rejimida kaskadning CHK kuchlanishi) ham nolga teng bo'ladi.

$VT1$ va $VT2$ tranzistorlar ikki taktli tok kuchaytirgichning yelkalarini tashkil etadi. Kirish kuchlanishining har bir yarim davrida yuklama toki kuchaytirgichning o'z yelkasi bilan hosil qilinadi. $VT4$ va $VT5$ tranzistorlar $VT1$ va $VT2$ tranzistorlarni o'ta yuklanishdan saqlash uchun xizmat qiladi. $VD1$ va $VD2$ diodlar BTG bilan birgalikda AB sinf ish rejimini ta'minlash uchun siljitish zanjirlarini hosil qiladi. Siljitish zanjirlari $VT1$ va $VT2$ tranzistorlarga emitter-baza kuchlanishlarni berish uchun xizmat qiladi.

BTG toki I_0 signal mavjud bo'lmaganda, diodlardagi kuchlanish pasayishi kichik bo'ladigan qilib tanlanadi, $VT1$ va $VT2$ hamda $VT4$ va $VT5$ tranzistorlar deyarli berk holatda bo'ladi.

Kuchaytirgich kaskadning ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz. $VT3$ tranzistor kirishiga signalning musbat yarim davri berilgan bo'lsin. U emitter toki va, mos ravishda, ushbu tranzistor kollektor tokining ortishiga olib keladi. Bunda C nuqta potentsiali pasayadi, chunki bu nuqtaga keluvchi tok qiymati o'zgarmas va BTG toki I_0 ga teng, undan ketuvchi tok ($VT3$ tranzistor kollektor toki) qiymati esa ortadi. $VT1$ tranzistor bazasi bilan ulangan C nuqta potentsialining pasayishi $VT1$ ni berkitadi va uning baza toki nolga teng bo'lib qoladi. Lekin bunda $VD1$ va $VD2$ diodlardan o'tuvchi tok I_0 ga teng bo'ladi va F nuqta potentsiali, C nuqta holatidek sababga ko'ra, pasayadi. F nuqta potentsiali pasayishi ($VT2$ tranzistor baza potentsiali) $VT2$ tranzistor baza tokining ortishiga, demak, ushbu tranzistor emitter tokining ham ortishiga olib keladi. BTG mavjud bo'lgani sababli, baza tokining

o'zgarishi $VT3$ tranzistor kollektor toki o'zgarishiga teng, ya'ni

$$\Delta I_{K3} = \Delta I_{B2}. \quad (2.12)$$

$VT2$ tranzistor emitter toki ortishi yuklamada to'g'ri yo'nalishda tok paydo bo'lishiga olib keladi. $VT1$ tranzistor berk bo'lgani uchun

$$I_{Yu} = \Delta I_{E2}. \quad (2.13)$$

Tranzistor toklari orasidagi munosabatlarni e'tiborga olgan holda, (2.12) va (2.13) asosida:

$$I_{Yu} = \beta_3 (\beta_2 + 1) \Delta I_{B3}$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda: β_3, β_2 – mos tranzistorlar baza toklarini uzatish koeffitsiyentlarining qiymatlari.

Shunday qilib, kaskadning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti

$$K_I = \beta_3 (\beta_2 + 1).$$

Kirishga manfiy yarim davrli kuchlanish U_{KIR} berilganda $VT1$ tranzistor ochiladi, $VT2$ tranzistor esa berk bo'ladi. Yuklamadagi kirish toki teskari yo'nalishga ega bo'ladi.

Kaskadning chiqish qarshiligi amalda $VT2$ yoki $VT1$ tranzistorlarning to'g'ri siljigan EO'lari qarshiligiga teng, ya'ni juda kichik bo'ladi.

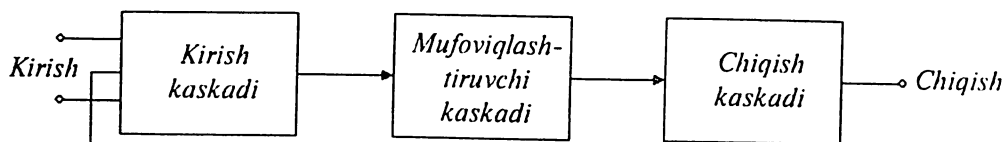
$VT4$ va $VT5$ tranzistorlarning himoyalovchi funksiyalari quyidagicha amalga oshadi. Normal ish rejimida ular berk. Katta signalda yoki chiqish tasodifan kuchlanish manbayining elektrodlaridan biriga qisqa tutashganda $VT4$ va $VT5$ tranzistorlardan biri ochiladi va natijada himoyalovchi $VT1$ yoki $VT2$ tranzistorlar baza tokining bir qismi oqadi va shu bilan $VT1$ va $VT2$ tranzistorlarning emitter-baza o'tishi shuntlanadi. Bu ularni o'ta yuklanishdan saqlaydi.

Quvvat kuchaytirgichlarda chiqish tranzistorlari sifatida tarkibiy tranzistorlardan foydalaniladi. Ushbu prinsiplar MTlar asosidagi CHKlarni loyihalashda ham ishlatiladi. BTlar asosidagi qurilmalarga nisbatan bunday sxemalar nochiziqli buzilishlarning kichikligi va temperaturaga bardoshligi bilan farq qiladi.

2.3. Operatsion kuchaytirgichlarning tuzilishi

Birinchi avlodga mansub uch kaskadli OKning funksional sxemasi 2.15-rasmda keltirilgan. U kirish, muvofiqlashtiruvchi va chiqish kuchaytirish kaskadlaridan tashkil topgan.

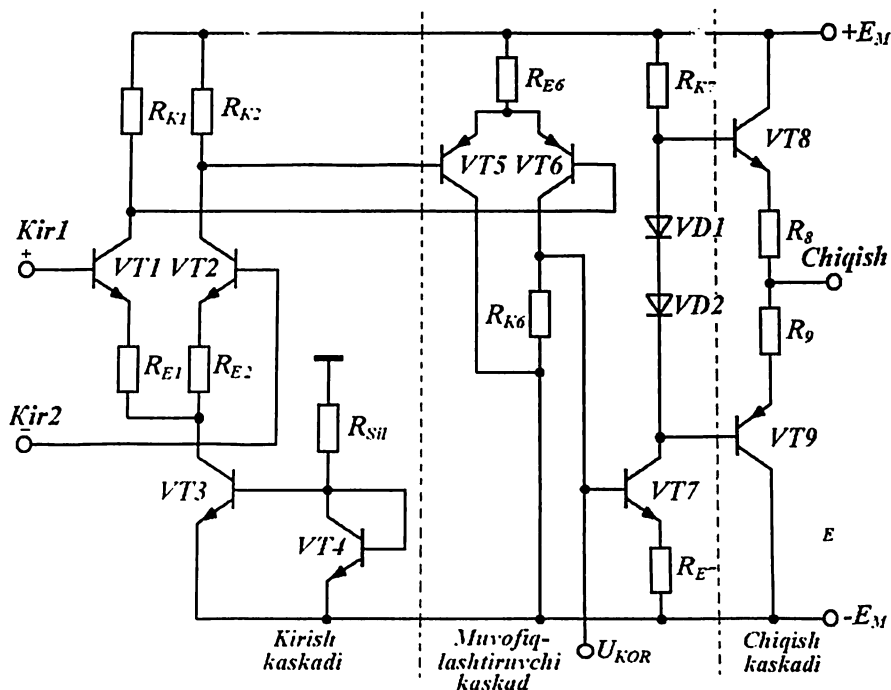
OKlarda kirish kaskadi sifatida differensial kuchaytirgich (DK) qo'llaniladi. Ma'lumki, DK chiqishdagi nol dreyfini maksimal kamaytirishga, yuqori kuchaytirish koeffitsiyentiga, maksimal yuqori kirish qarshiligiga va sinfaz tashkil etuvchilarni maksimal so'ndirishga imkon beradi. Muvofiqlashtiruvchi kaskad talab qilingan kuchaytirishni ta'minlaydi va DK chiqishidagi o'zgarmas kuchlanish sathi siljishini chiqish kaskadi uchun talab etilgan qiymatgacha kamaytiradi. Muvofiqlashtiruvchi kaskad differensial yoki bir taktli kuchaytirgich bo'lishi mumkin. Chiqish kaskadlari OKning kichik chiqish qarshiligini va lozim bo'lgan chiqish quvvatini ta'minlashi kerak. Chiqish bosqichlari sifatida, odatda, AD sinfga mansub komplementar tranzistorlar asosida hosil qilingan ikki taktli kuchaytirgich sxemalari qo'llaniladi.



2.15-rasm. Uch kaskadli OKning funksional sxemasi.

Uch kaskadli OKning soddalashtirilgan prinsipial sxemasi 2.16-rasmda keltirilgan. Sxemada quyidagi elektrodlar ko'rsatilgan: inverslamaydigan kirish $Kir1$, inverslaydigan kirish $Kir2$, chiqish, ikki qutbli kuchlanish manbayiga ulash uchun xizmat qiluvchi elektrodlar $-E_M$ va $+E_M$, sxemaga korrektsiyalovchi kuchlanish manbayi ulangan elektrod U_{KOR} .

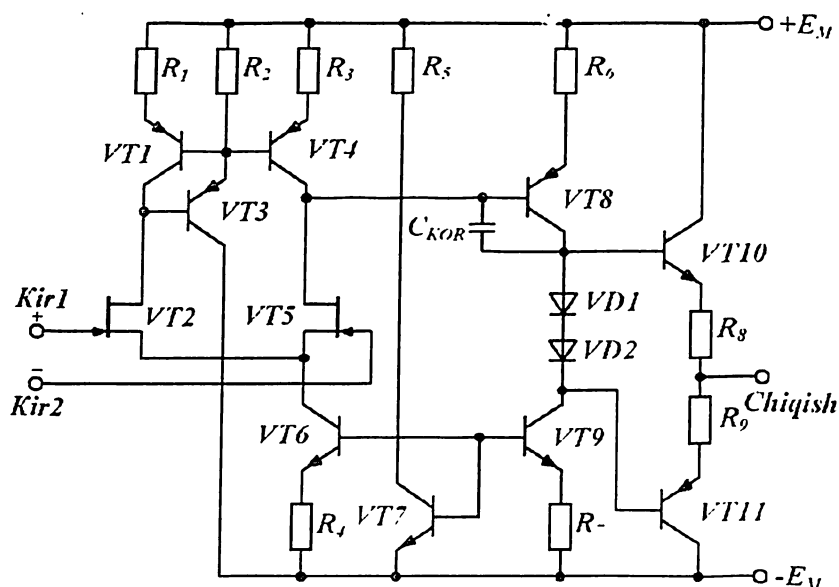
Kirish kaskadi $VT1$ va $VT2$ tranzistorlarda tuzilgan klassik DK sxemasi bo'lib, yuklama sifatida R_{K1} va R_{K2} rezistorlar qo'llanilgan. Ularning emitter toklari o'zgarmasligini $VT3$ va $VT4$ tranzistorlarda qurilgan BTG ta'minlaydi. Kuchaytirgichda sochilayotgan quvvatni



2.16-rasm. Uch kaskadli OK prinsipial sxemasi.

kamaytirish maqsadida, BTGning R_{SIL} siljitish rezistori OKning bitta kuchlanish manbayidan ($-E_M$) ta'minlanadi. R_{E1} va R_{E2} rezistorlar yuklama toki bo'yicha mahalliy ketma-ket manfiy TAni tashkil etadi va DKning kirish qarshiligini oshiradi.

Muvofiqlashtiruvchi kaskad $p-n-p$ turdagi $VT5$ va $VT6$ tranzistorlar asosidagi DKda hosil qilingan. Qarama-qarshi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan $p-n-p$ turdagi tranzistorlarning qo'llanilishi chiqish kaskadi chiqishidagi kuchlanishni deyarli nolgacha siljitish imkonini beradi. Birinchi kaskad chiqishida kirish signalining sinfaz tashkil etuvchisi deyarli mavjud bo'lmaganligi sababli, ikkinchi kaskadda uni so'ndirish talab qilinmaydi. Shuning uchun $VT5$ va $VT6$ tranzistorlarning emitter zanjirlarida BTG qo'llanilmaydi. Bu holat ikkinchi kaskad toklarini milliamper darajaga ko'tarish va kuchaytirish koeffitsiyentini yana 30 marta va undan yuqori qiymatga oshirish imkonini beradi. Ikkinchi



2.17-rasm. K544UD1 turidagi ikki kaskadli OKning prinsipial sxemasi.

kaskad nosimmetrik chiqishga ega. Buning natijasida $VT5$ tranzistor kollektor zanjirida rezistor qo'llanilmaydi.

Ikkinchi avlodga mansub K544UD1 turidagi ikki kaskadli OKning soddalashtirilgan sxemasi 2.17-rasmda keltirilgan bo'lib, unda muvoqilashtiruvchi kaskad qo'llanilmagan.

Shu sababli kuchaytirish koeffitsiyenti qiymatini yuqori qiymatda olish uchun kirish DKda rezistorli yuklama differensial yuklamaga almashtirilgan. Bunday sxemotexnik yechimga, ISning umumiy asosda bir xil xarakteristikalarga ega bo'lgan egizak $n-p-n$ va $p-n-p$ Btlarni yasash texnologiyasi o'zlashtirilgandan so'ng erishildi. Bundan tashqari, DKlarda BT o'rniga n -kanalli $VT2$ va $VT5$ MTlar ham qo'llanilgan. Ularning kuchaytirish va chastota xususiyatlari Btlarga nisbatan past bo'lishiga qaramasdan, kirish toklarini keskin kamaytirishni va kirish qarshiligi ortishini ta'minlaydi. $VT1$, $VT3$ va $VT4$ tranzistorlarda hosil qilingan BTG dinamik yuklama hisoblanadi. DKning kirish toki $VT6$ va $VT7$ tranzistorlar asosidagi tok generatori yordamida barqarorlashtirilgan.

Chiqish kaskadi ikki bosqich'dan iborat. Birinchi bosqich U'E ulangan $VT8$ tranzistor asosida hosil qilingan bo'lib, unga yuklama toki bo'yicha ketma-ket manfiy TA zanjiri kiritilgan. Ikkinchi bosqich $VT10$ va $VT11$ komplementar tranzistorlarda hosil qilingan AB sinfga mansub ikki taktli quvvat kuchaytirgichdan iborat. Yuqori chastotalarda har bir kaskad fazani siljitadi. Ma'lum chastotalarda manfiy TAl OKlarda natijaviy faza siljishi 360° ga teng bo'lib, kuchaytirgich turg'unligini yo'qotadi. Turg'unlikni oshirish uchun $VT8$ tranzistor kollektor o'tishini shuntlovchi ichki yoki tashqi C_{KOR} kondensator ulanadi.

Hozirgi kunda OKlarning turli seriyalari ikki va uch kaskadli sxemalar asosida ishlab chiqarilmoqda.

2.4. Operatsion kuchaytirgichning asosiy parametrlari va xarakteristikalar

OKlarda DK kirish kaskadi hisoblanadi. Shuning uchun OKlar DKlar parametrlari bilan xarakterlanadi. Bu parametrlar I bobda to'liq ko'rib chiqilgan. Ularga: kuchaytirish koeffitsiyenti K_v , sinfaz xalaqitlarni so'ndirish koeffitsiyenti $K_{SFSO'N}$, siljitish kuchlanishi U_{SIL} va uning temperaturaga sezgirliigi ε_v , o'rtacha kirish toki $I_{KIR.O'RT}$, siljitish toklari ΔI_{KIR} kiradi. Bundan tashqari, manba kuchlanishi E_M , iste'mol toki I_{IST} va quvvati R_{IST} , maksimal kirish va chiqish kuchlanishlari, maksimal chiqish toki va boshqalar ko'rsatiladi.

Kirish va chiqish qarshiliklari har doim ham asosiy parametrlar tarkibiga kiritilmaydi, ularni kirish va chiqish toklari qiymatlaridan aniqlash mumkin.

OK tezkorligi chiqish kuchlanishining o'sish tezligi yoki birlik kuchaytirish chastotasi f , bilan xarakterlanadi. Bu yerda f , kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti birga teng bo'ladigan chastota qiymati ($K_v(f) = 1$).

2.1-jadvalda turli avlodga mansub OK turlarining ba'zi parametrlari keltirilgan.

OKning asosiy xarakteristikalaridan biri bo'lib, uning amplituda xarakteristikasi (AX) hisoblanadi. U berilgan chastotada chiqish

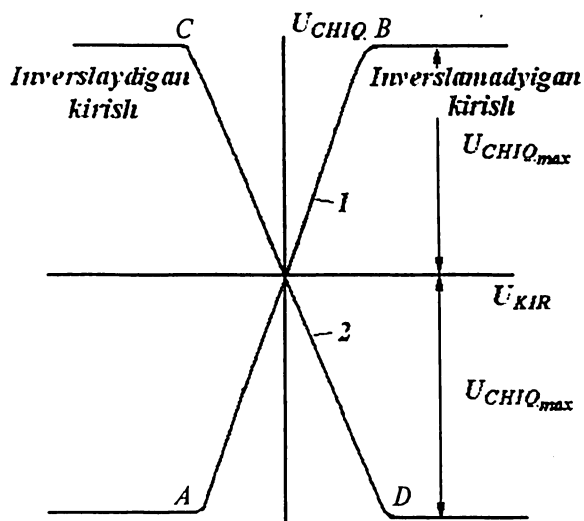
OK parametrlari

OK avlodlari	K_U , ming	I_{KIR} , nA	f_1 , MGz	v_{UCHIQ} , V/mks	U_{SIL} , V	$\Delta U_{SIL}/\Delta T$, mkV/°C
1- (K140UD1)	8	7000	8	0,4	7	20
2- (K140UD7)	45	220	0,8	0,3	4,5	50
3- (K140UD6)	60	33	1	2,5	5	20
4- (K140UD5 va K154UD21)	125 1000	100 1,1	0,3 1,0	0,005 1,5	2 0,07	10 0,0005

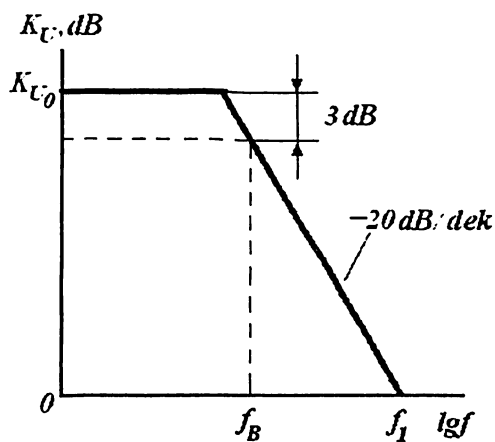
kuchlanishining kirish kuchlanishiga bog'liqligi $U_{CHIQ}=f(U_{KIR})$ ni ifodalaydi (2.18-rasm). Inverslamaydigan kirishga signal berilsa, AX 1-egri chiziq ko'rinishiga, inverslaydigan kirishga berilsa 2-egri chiziq ko'rinishiga ega bo'ladi. $U_{KIR} = 0$ bo'lganda ideal OK AXsi koordinata boshidan o'tadi. Amaliyotda OK kirishlariga siljitish kuchlanishi U_{SIL} beriladi. AX qiya va gorizontal sohalarga ega. Xarakteristikaning qiya sohalari ishchi sohalar bo'lib, uning og'ish burchagi K_U qiymati bilan belgilanadi. $U_{KIR} \geq (U_{CHIQ,max} K_U) + U_{SIL}$ bo'lganda chiqish kuchlanishi o'zgarishsiz qoladi. $U_{CHIQ,max}$ qiymati doim kuchlanish manbayi E_M qiymatidan kichik bo'ladi. AX chiziqli sohalarining kengligi kirish kaskadi dinamik diapazoni bilan aniqlanadi va $\pm\phi_T$ dan oshmaydi.

OKning chastota xossalari uning amplituda-chastota xarakteristikasida aks ettiriladi. Bu xarakteristikani qurishda K_{U0} dBlarda ifodalalanadi, chastota esa logarifm masshtabida gorizontal o'q bo'ylab o'rnatiladi (2.19-rasm).

Kuchaytirish ko'effitsiyenti K_U kirish signali chastotasiga bog'liq. Ma'lumotnomalarda keltiriladigan OK kuchaytirish ko'effitsiyentlari kirishga $\Delta f = f_{yu} - f_p$ oraliqda yotadigan o'rtacha chastotadagi sinusoidal tebranishlar berilganda haqiqiydir. Past f_p va yuqori f_{yu} chegaraviy chastotalarda kuchaytirish ma'lum darajagacha kamayadi. Agar bu darajalar alohida aytib o'tilmagan bo'lsa, u holda odatda f_p va f_{yu} qiymatlarida kuchaytirish $\sqrt{2}$ martaga (3 dB ga) kamayadi, deb hisoblanadi.



2.18-rasm. OKning amplituda xarakteristikasi.



2.19-rasm. Bitta kuchaytirish kaskadiga ega bo'lgan OKning LACHXsi.

OK chastota xususiyatlarini aniqlash uchun uning kuchaytirish koeffitsiyenti kompleks kattalik ko'rinishida ifodalanadi:

$$\dot{K}(j\omega) = K(\omega)e^{j\varphi(\omega)}.$$

Bu yerda modul $K(\omega)$ kuchaytirgich chiqish signali amplitudasini kirish signali amplitudasiga nisbatini, argument $\varphi(\omega)$ esa kuchaytirgich chiqishidagi tebranishlar fazasini kirishdagi tebranishlar fazasiga nisbatan siljishini xarakterlaydi. $K(\omega)$ ning chastotaga bog'liqligi **amplituda-chastota xarakteristikasi** (ACHX), $\varphi(\omega)$ argumentning chastotaga bog'liqligi esa **faza-chastota xarakteristikasi** (FCHX) deb ataladi. Tok va kuchlanish uchun kompleks kattalikning kiritilishi barcha hisoblarni juda soddalashtiradi.

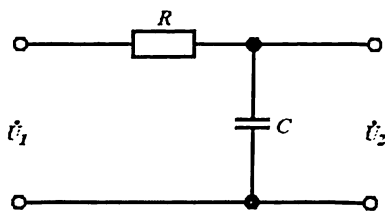
Chastota xususiyatlarini tahlil qilishda OKning barcha kuchaytirish kaskadlari uning ekvivalent RC -zanjiri bilan almashtiriladi (2.20- rasm). **Ekvivalent zanjirlar** deb, kirishlariga bir xil EYUK ta'sir ettirilganda chiqishlarida bir xil kuchlanishlar hosil bo'ladigan zanjirlarga aytiladi.

Agar kirishga kompleks amplitudasi $\dot{U}_1 = U_1 e^{j\varphi_1}$ bo'lgan garmonik EYUK ta'sir ettirilsa, u holda chiqishda kompleks amplitudasi $\dot{U}_2 = U_2 e^{j\varphi_2}$ bo'lgan kuchlanish yuzaga keladi. Umumiy holda $U_1 \neq U_2$ va $\varphi_1 \neq \varphi_2$ ($\varphi = \varphi t$).

Kuchaytirishning kompleks koeffitsiyenti deb

$$\dot{K}(j\omega) = \dot{U}_2 / \dot{U}_1$$

kattalikka aytiladi.



2.20-rasm. OKning ekvivalent sxemasi.

Amaliyotda zanjirning chastota xarakteristikasi

$$K(\omega) = U_2 / U_1$$

va uning faza xarakteristikasi

$$\psi(\omega) = \varphi_2 - \varphi_1$$

alohida ko'riladi. Bu yerda $\psi(\omega)$ — zanjirdan o'tayotgan signal chastotasi ω ning faza o'zgarishi.

RC -zanjirdan oqib o'tayotgan tokning kompleks amplitudasi, kuchlanishning kompleks amplitudasi bilan $\dot{I} = \dot{U}_1 / \dot{Z}$ munosabat yordamida bog'langan. Bu yerda $\dot{Z}$ kattaligi zanjir qarshiligi ma'nosiga ega. RC -zanjir uchun $\dot{Z} = R - (1/j\omega C)$ bo'lib, bu yerda $-(1/j\omega C)$ – kondensatorning kompleks qarshiligi. Bundan sig'imdagi (zanjir chiqishidagi) kuchlanishning kompleks amplitudasi quyidagiga teng:

$$\dot{U}_C = \dot{U}_2 = \frac{\dot{I}}{j\omega C} = \frac{\dot{U}_1}{1 + j\omega RC}.$$

$$\text{Demak, } \dot{K}(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC}.$$

Bundan zanjirning ACHXsi (moduli):

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} = \frac{1}{(1 + \omega RC)^2} \quad (2.14)$$

va faza xarakteristikasi tenglamasi:

$$\psi = -\arctg \omega RC. \quad (2.15)$$

Oxirgi tenglik $\psi = \pi/2$ bo'lgandagina haqiqiydir. RC -zanjir kirishiga garmonik EYUK ulansa, tok (kuchlanish) qiymati $\tau = RC$ vaqt doimiysi bilan eksponensial qonunga binoan kamayadi.

Kuchaytirish koeffitsiyenti uning past chastotadagi qiymatiga nisbatan $\sqrt{2}$ marta (3 dB)ga kamayadigan vaqt doimiysini τ_B deb belgilaymiz. $\tau_B = 1/\omega_B = 1/2\pi f_B$ ekanligini inobatga olgan holda (2.14) ifodani

$$K_U = \frac{1}{\sqrt{1 + (f/f_B)^2}}$$

ko'rinishda qayta yozamiz.

Chastota f_B kuchaytirish koeffitsiyentining chegaraviy chastotasi deb ataladi.

Natijada $f > f_B$ chastotalar oralig'ida OKning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti modulining chastotaga bog'liqligini

$$K_U = \frac{K_{U0}}{\sqrt{1-(f/f_B)^2}} \quad (2.16)$$

ko'rinishda yozamiz. Bu yerda $K_{U0} - f < f_B$ bo'lgandagi kuchaytirish koeffitsiyenti.

K_U va f qiymatlari katta bo'lgan hollarda, K_U ning detsibellarda ifodalangan logarifmik birligidan foydalaniladi:

$$D(dB) = 20 \lg(U_{CHIQ} / U_{KIR}) .$$

Shu sababli OK ACHXsini qurishda K_U dB da, chastota esa logarifm masshtabda gorizontall o'qda ifodalanadi. Bundan tashqari, logarifm masshtab chastota xarakteristikalarini grafik ifodalashda qulay, chunki ularni **qo'shish** imkonini beradi. Bu xarakteristika **logarifm ACHX** (LACHX) deb ataladi.

Kuchaytirish koeffitsiyenti (2.16) ni logarifmlab, bitta kuchaytirish kaskadiga ega bo'lgan OK uchun LACHX ifodasini olamiz:

$$K_U (dB) = 20 \lg K_{U0} - 20 \lg \sqrt{1 + (f/f_B)^2} . \quad (2.17)$$

2.20-rasmda LACHXga misol keltirilgan.

$f < f_B$ chastota qiymatlarida LACHX chastota o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi. Chastota ortishi bilan kuchaytirish koeffitsiyenti (2.17)ning o'ng tomonidagi ikkinchi tashkil etuvchisi hisobiga K_U kamaya boshlaydi. Ma'lum yaqinlashishlarda, $f > f_B$ chastotada K_U 20dB/dekada tezlikda pasayishi amalga oshadi, deb hisoblash mumkin. Bu chastotaning 10 martaga ortishi, K_U ning 20 dB ga kamayishiga olib keladi. Haqiqatan ham, $f \gg f_B$ shartda (2.17) ning ildizosti ifodasini soddalashtirish mumkin. Bunda

$$K_U (dB) = 20 \lg K_{U0} - 20 \lg (f/f_B)$$

hosil bo'ladi.

Shunday qilib, ($f > f_B$) yuqori chastotalar sohasida LACHX chastotalar o'qiga 20 dB/dekada og'ish to'g'ri chizig'i ko'rinishida ifodalanadi. LACHXning chastotalar bilan kesishish nuqtasi, kuchlanish

bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti 1 ga teng bo'lgan f_j chastotaga mos keladi ($K_v(f_j) = 1$). K_v ning pasayishi dB/oktavalarda ifodalanadi. Chastotaning 2 marta o'zgarishi **oktava** deyiladi. Xarakteristikaning bunday pasayishi sodda past chastota filtrlari va korreksiyalangan OKlar uchun xosdir.

Ko'p kaskadli kuchaytirgichlarda bunday xarakteristikalar har bir kaskad xarakteristikalarini algebraik qo'shish yo'li bilan hosil qilinishi mumkin. Unda ko'p kaskadli kuchaytirgichning har bir LACHXsi $n \cdot 20$ dB/dekada og'ishga ega bo'lgan to'g'ri chiziqlar bilan ifodalanadi. Bu yerda birinchi kaskad uchun $n = 1$, ikkinchi kaskad uchun $n = 2$ va h.k. bo'ladi. Turli kaskadlarda tranzistorlar xossalari va mahalliy manfiy TA chuqurligi turlicha bo'lganligi sababli, vaqt doimiylari τ_{B1} ham turlicha bo'ladi. f_{B1} chastotalar ham turlicha bo'ladi.

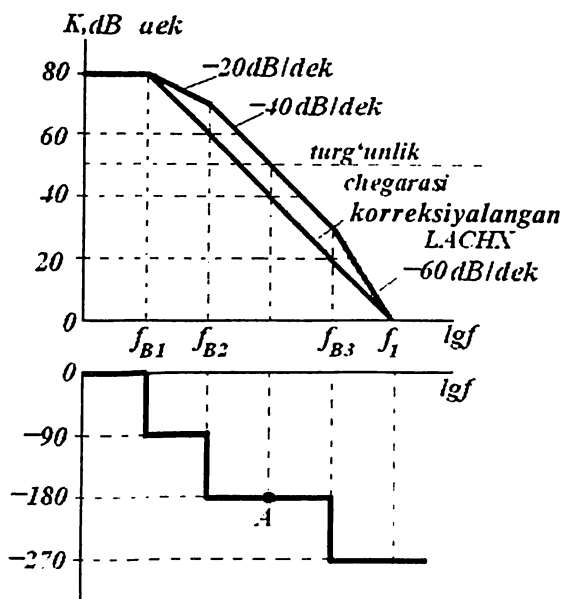
2.21-rasmda bu usul yordamida uch kaskadli OK uchun tuzilgan LACHX va FCHX keltirilgan.

$f < f_{B1}$ chastotalar uchun kuchaytirish ko'effitsiyenti o'zgarmas. Keyinchalik u 20 dB/dek tezlik bilan kamayadi. $F_{B2} \div f_{B3}$ oralig'ida pasayish tezligi ikki martaga ortadi (40 dB/dek). Keyin esa 60 dB/dek ga yetadi.

$f > f_{B1}$ chastotalarda har bir kaskad 90° ga yaqin faza siljishi kiritadi va shu sababli, kuchaytirgich FCHXsi f_{B1} , f_{B2} va f_{B3} chastotalarda fazaning keskin ortishiga ega bo'lgan zinasimon siniq chiziq bilan approksimatsiyalanadi.

Agar OKga manfiy TA kiritilgan bo'lsa, ba'zi chastotalarda natijaviy faza siljishi 360° ga teng bo'lishi mumkin. Agar kuchaytirish ko'effitsiyentining TA ko'effitsiyentiga ko'paytmasi birdan katta bo'lsa, sxema turg'unligini yo'qotadi. Bu esa manfiy TA musbat TAg aylanadi va kuchaytirgich kuchaytirish rejimidan generatsiya rejimiga o'tadi, deganidir.

2.21-rasmda FCHXning $\psi = -180^\circ$ ga mos keluvchi A nuqta, $K = 50$ dB darajadagi turg'unlik chegarasini belgilaydi. A nuqtada manfiy TAli OK turg'un bo'ladi va chastota korreksiyasi bajarilishi kerak. Faza siljishi 180° dan kichik bo'lgandagina kuchaytirgich generatsiyalanishga turg'un bo'ladi.



2.21-rasm. Uch kaskadli OKning LACHX va FCHXsi.

Turg'un ish jarayonini ta'minlash maqsadida OKlarga qo'shimcha ichki yoki tashqi korreksiya zanjiri kiritiladi. U o'z navbatida $K(f) > 1$ bo'lgan barcha chastota diapazonida 20 dB/dek ga teng bo'lgan LACHX og'ishini shakllantiradi. Bunday korreksiya kuchaytirgich o'tkazish polosasini toraytiradi. Ikki kaskadli kuchaytirgich LACHXsini korreksiyalash uchun uning sxemasiga bitta korrelyatsiyalovchi kondensator C_{KOR} kiritiladi (2.21-rasmga qarang). Uch kaskadli OK ni korreksiyalash uchun tashqi RC-zanjirlar qo'llaniladi. Buning uchun OK sxemalarida qo'shimcha elektrodlar ko'zda tutiladi.

2.5. Operatsion kuchaytirgichlar asosidagi analog signallar o'zgartgichlari

Amalda signallarni kuchaytirish uchun OKlarni bevosita qo'llab bo'lmaydi. Buning birinchi sababi, dinamik diapazonning kichikligi (I bobga qarang), ikkinchi sababi esa OKning kuchaytirish koeffitsiyenti har OK namunasidan keyingisiga o'tganda keng oraliqda o'zgaradi va shu bilan birga ishlash sharoitiga, ayniqsa, temperaturaga

kuchli ravishda bog'liq. OKlarga tashqi TA zanjirlari kiritish yo'li bilan bu sabablarning ta'siri yo'qotiladi. Inverslaydigan kirishning qo'llanilishi kirish va chiqish orasida manfiy TAni, inverslamaydigan kirishning qo'llanilishi esa musbat TAni amalga oshirishga imkon beradi. TA turi va tuzilmasini o'zgartirib, OKga turli funksional qurilmalar xossalarini berish mumkin: kuchlanish yoki tok bo'yicha barqarorligi yuqori bo'lgan kuchaytirgich, turli shakldagi tebranishlar generatori, integrator, differensiator, jamlash qurilmasi, solishtirish qurilmasi, trigger va boshqalar. Oddiy holda TA zanjiri rezistorda bajarilgan kuchlanishni hosil qiladi. Bu vaqtda OKli sxema chiziqli o'zgartgich sifatida ishlaydi. Agar TA zanjirida turli RC-zanjirlar qo'llanilsa, aktiv filtrlar yoki matematik o'zgartirishlar bajaradigan qurilmalar hosil bo'ladi. Va nihoyat, OK TA zanjiriga diod va tranzistorlarning kiritilishi signallarni nochiziqli o'zgartish imkonini beradi. Hozirgi kunda OKlarning yuzlab sxema turlari mavjud. OKning bu funksional universalligi analog integral sxemotexnikaning asosiy negiz qurilmasi bo'lishiga olib keldi.

OK sxemalari ish prinsipini tushunish va tahlilini aniqlashtirish maqsadida **ideal OK** tushunchasi kiritiladi. U quyidagi xossalarga ega:

a) cheksiz katta kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti $K_{\nu 0} = \infty$ (real OKlarda 1 mingdan 100 mln. gacha);

b) siljitish kuchlanishi U_{sIL} nolga teng, ya'ni ikkala kirishda kuchlanishlar teng bo'lsa, chiqishdagi kuchlanish ham nolga teng bo'ladi (real OKlarda $U_{sIL} = 5 \text{ mV} \div 50 \text{ mV}$ gacha);

d) chiqish toklari nolga teng (real OKlarda nA ulushlaridan bir necha mA gacha);

e) chiqish qarshiligi nolga teng (real kam quvvatli OKlarda o'nlab Omdan bir necha kOmlargacha);

f) sinfaz signallarni kuchaytirish koeffitsiyenti nolga teng;

g) OK kirishlari potentsiallari doim bir-biriga teng. Uning bu xossasi a-kirishdagi signallar farqi $U_v = U_2 - U_1 \rightarrow 0$ bo'lgan, ya'ni OK kirishidagi signal $U' = U''$ qiymatlariga bog'liq emasligidan kelib chiqadi. U_v kattalik virtual nol (*virtue* – ing. haqiqiy) deb ataladi.

OK ideal deb olingan farazlardan kelib chiqqan holda, quyida keltiriladigan formulalar va ularning isbotlari amaliyotda tasdiqlangan.

2.6. Opératsion kuchaytirgichlarga inersiyasiz rezistiv (chiziqli) teskari aloqa zanjirlarining ulanishi

Inverslaydigan kuchaytirgich. DK OKning kirish kaskadi bo'lganligi sababli, butun OK nol bo'yicha yuqori barqarorlikka ega, lekin uning kuchaytirish koeffitsiyenti temperaturaga bog'liq. Bu kamchilik manfiy TA ni qo'llash yordamida bartaraf qilinadi.

Yuqori barqarorlikka ega bo'lgan inverslaydigan kuchaytirgichning prinsipial sxemasi 2.22-rasmda keltirilgan.

Bu yerda R_j va R_{TA} rezistorlar kuchlanish bo'yicha parallel manfiy TA zanjirini hosil qiladi. OKning A inverslaydigan kirishidagi kuchlanishning oniy qiymatini U_A orqali belgilaymiz. Ko'rinib turibdiki, $U_A = -(1/K_{U0})U_{CHIQ}$, bu yerda K_{U0} — manfiy TASiz OKning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti. Kirxgof qonunidan foydalanib, A tugun uchun $I_1 + I_2 - I_{KIR} = 0$ deb yozish mumkin.

$$I_1 = \frac{U_{KIR} - U_A}{R_1} = \frac{U_{KIR} - \frac{1}{K_{U0}}U_{CHIQ}}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_{CHIQ} - U_A}{R_{TA}} = \frac{\left(1 + \frac{1}{K_{U0}}\right)U_{CHIQ}}{R_{TA}},$$

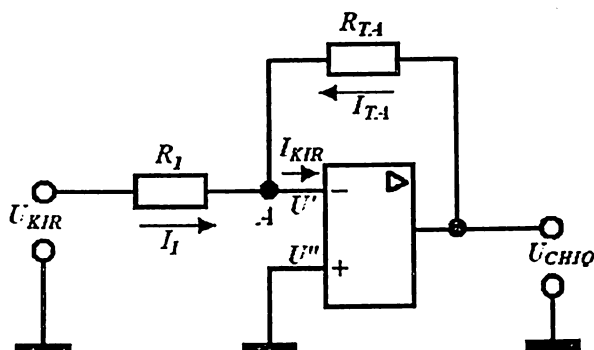
$$I_{KIR} = \frac{U_A}{R_{KIR}} = -\frac{1}{K_{U0}} \frac{U_{CHIQ}}{R_{KIR}}.$$

Bundan,

$$U_{CHIQ} = -\frac{U_{KIR}}{R_1 \left[\frac{1}{K_{U0}R_1} + \frac{1}{R_{TA}} \left(1 + \frac{1}{K_{U0}} \right) - \frac{1}{K_{U0}R_{KIR}} \right]}. \quad (2.18)$$

Formuladagi manfiy ishora, chiqishdagi signal fazasi kirishidagiga nisbatan 180° ga farqlanishini (inverslanishini) bildiradi.

K140UD7 turdagi OK asosida yaratilgan bunday qurilmaning kuchaytirish koeffitsiyenti K_U ni hisoblaymiz ($K_{U0} = 45000$, $I_{KIR} = 220$ nA). $R_{TA} = 100$ kOm, $R_j = 1$ kOm bo'lsin. Bu OK kirish qarshiligi $R_{KIR} = U_A/I_{KIR}$. $E_M = 5$ V bo'lganda chiqish kuchlanishi $U_{CHIQ} \leq 5$ V. Bundan $U_A = U_{CHIQ}/K_{U0} = 0,11 \cdot 10^{-3}$ V, $R_{KIR} = 0,5 \cdot 10^3$ Om ekanligi kelib



2.22-rasm. Yuqori barqarorlikka ega bo'lgan inverslaydigan kuchaytirgich.

chiqadi. Bundan (2.18) ga asosan qurilmaning kuchaytirish koef-fitsiyenti

$$K_U = \frac{U_{CHIQ}}{U_{KIR}} = -100,2.$$

Endi ideal OK xossalaridan foydalanib, qurilmaning kuchaytirish koefitsiyentini hisoblaymiz. Avvalgidek, Kirxgof qonunidan $I_1 + I_2 - I_{KIR} = 0$;

d) ideal OK kirish toki $I_{KIR} = 0$ va f) umumiy shinaga ulangan inverslamaydigan kirish potentsiali nolga teng bo'lganligi sababli, A nuqta potentsiali nolga teng bo'lgan xossalariga asosan

$$I_1 = \frac{U_{KIR}}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_{CHIQ}}{R_{TA}}.$$

Demak,
$$K_U = \frac{U_{CHIQ}}{U_{KIR}} = -\frac{R_{TA}}{R_1}. \quad (2.19)$$

R_1 va R_{TA} larning avvalgi qiymatlarida qurilmaning kuchaytirish koefitsiyenti $K_U = -100$.

Bundan juda muhim xulosa kelib chiqadi, ya'ni: OK ideal deb faraz qilingan aniq va taqribiy ifodalarda yuzaga keladigan xatoliklar juda kichik. Demak, OKning uncha katta bo'lmagan xususiy kuchay-

tirish koeffitsiyentlarida ham taqribiy ifoda yetarli darajada aniq hisoblarni berar ekan.

Kuchaytirgichning kirish qarshiligi R_i rezistor qarshiligiga teng va odatda katta emas. Sxemaning afzalligi — manfiy TASiz OKga nisbatan chiqish qarshiligining ancha kichikligidir.

$F > 10$ bo'lgandagi inverslaydigan kuchaytirgich chiqish qarshiligi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

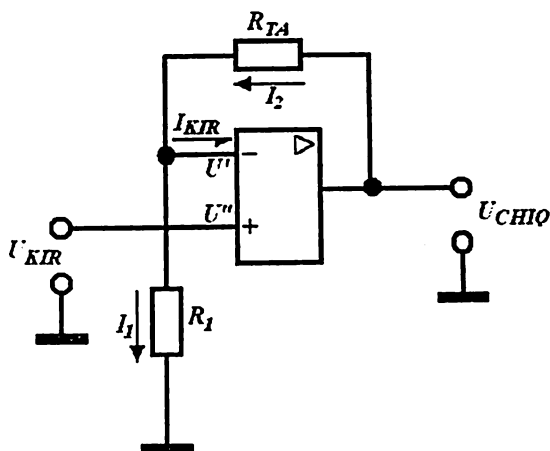
$$R_{CHI Q} = \frac{R_{CHI Q, TA}}{F} = \frac{R_{CHI Q, TA} \cdot K_U}{K_{U0}}. \quad (2.20)$$

(2.19) ifodadan qurilmaning kuchaytirish koeffitsiyenti aniq barqaror va faqat TA qarshiligi R_{TA} qiymatining qo'shimcha qarshilik R_i qiymatiga nisbati bilan aniqlanishi kelib chiqadi. Ammo bu natija OK kuchaytirish koeffitsiyenti keskin kamayib ketishi evaziga sodir bo'ladi ($R_{TA}/R_i \ll K_U$). Qarshiliklar nisbati kuchaytirish masshtabini beradi. Shu sababli, bu kuchaytirgich **inverslaydigan masshtablovchi kuchaytirgich** nomini olgan.

Kuchaytirish koeffitsiyentlarini barqarorlash bilan birga manfiy TA kuchaytirgich dinamik diapazonini ham bir necha ming martaga kengaytiradi. Masalan, K140UD7 turdagi OKda maksimal kirish signali mVlarning o'n ulushlaridan oshmaydi, berilgan manfiy TAda esa u o'nlab voltni tashkil etadi. Keyingi OK asosidagi qurilmalarni hisoblashlarda ideal OK xossalardan kelib chiqqan taqribiy ifodalardan foydalanamiz.

Inverslamaydigan kuchaytirgich. Inverslamaydigan kuchaytirgichning prinsipial sxemasi 2.23-rasmda keltirilgan. Kirish signali OKning inverslamaydigan kirishiga beriladi, inverslaydigan kirishga esa TA signali beriladi. Bu TA kuchlanish bo'yicha ketma-ket manfiy TA ekanligi ko'rinib turibdi.

Inverslamaydigan OK uchun kirish toki $I_{KIR} = 0$, shuning uchun inverslaydigan kirish potentsiali $U' = U_{CHI Q} R_1 / (R_1 + R_{TA})$. Boshqa tomondan, ideal OK uchun kirishdagi potentsiallar bir-biriga teng bo'ladi: $U' = U''$. Demak, $U_{KIR} = U_{CHI Q} R_1 / (R_1 + R_{TA})$, bundan inverslamaydigan kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyenti



2.23-rasm. Inverslamaydigan kuchaytirgich sxemasi.

$$K_U = 1 + \frac{R_{TA}}{R_I}. \quad (2.21)$$

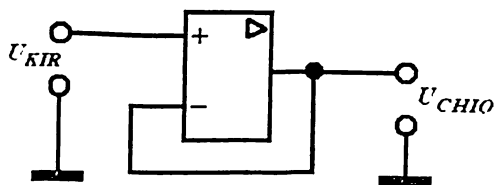
Yetarli chuqur manfiy TA amalga oshirilganda ($F > 10$ bo'lganda) (2.21) ifoda 4% xatolik bilan to'g'ri bo'ladi. Odatda, $R_{TA} + R_I = 50 \text{ kOm} \div 1 \text{ MOm}$.

Inverslamaydigan kuchaytirgichning kirish qarshiligi qiymati OKning katta kirish qarshiligi ($1 \div 10 \text{ GOm}$) va chuqur manfiy TA bilan belgilanadi. Inverslamaydigan kuchaytirgich chiqish qarshiligini hisoblash uchun (2.20) formuladan foydalanamiz.

OKning inverslamaydigan ulanishi, katta ichki qarshilikka ega signal manbayini kirish qarshiligi kichik bo'lgan signalni qayta ishlovchi qurilma bilan muvofiqlashtirish talab etilganda qo'llaniladi. Bunda signal fazasi saqlanadi.

Manfiy TA chuqurligi ortsa ($R_{TA} \rightarrow 0$, $R_I \rightarrow \infty$) kuchaytirish koefitsiyenti K_U kamayadi va birga tenglashadi ($K_U = 1$).

Bunday kuchaytirgich **kuchlanish qaytargichi** deyiladi. Kuchlanish qaytargichining sxemasi 2.24-rasmda keltirilgan. Qaytargichda maksimal kirish va minimal chiqish qarshiligi ta'minladi. OK asosidagi qaytargich boshqa (emitter va istok) qaytargichlar, muvofiqlashtiruvchi kaskad sifatida qo'llaniladi.



2.24-rasm. Kuchlanish qaytargichi sxemasi.

Inverslaydigan jamlovchi qurilma. Jamlash qurilmasi bir nechta kuchaytirilgan kirish signallarining algebraik yig'indisiga teng bo'ladigan kuchlanishni shakllantirish uchun xizmat qiladi, ya'ni matematik qo'shish amalini bajaradi. Bunda kirish signali inverslanadi. Misol tariqasida, 2.25-rasmda uchta kirishga ega bo'lgan inverslaydigan jamlash qurilmasi sxemasi keltirilgan.

OKni ideal deb hisoblab ($I_{KIR}=0$, $U' = U''$), inverslaydigan kirish uchun Kirxgofning birinchi qonuniga binoan

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_{TA} = 0, \quad \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} = -\frac{U_{CHIQ}}{R_{TA}}$$

ni yozish mumkin. Bundan chiqish kuchlanishi

$$U_{CHIQ} = -\frac{R_{TA}}{R_1} U_1 - \frac{R_{TA}}{R_2} U_2 - \frac{R_{TA}}{R_3} U_3 \quad (2.22)$$

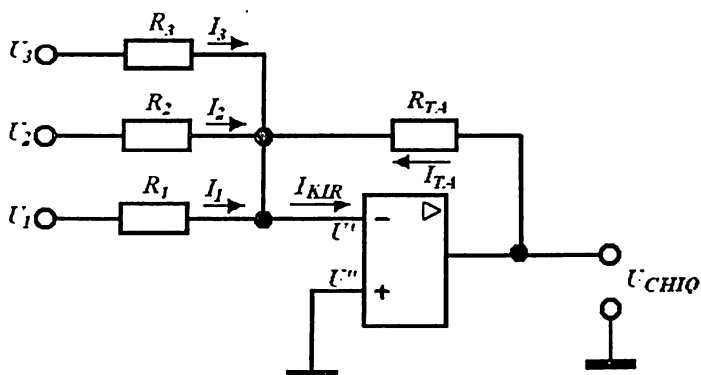
ekanligi kelib chiqadi, ya'ni chiqishdagi signal o'zining masshtab koeffitsiyenti bilan olingan kirishdagi signallarning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.

$R_1 = R_2 = R_3 = R_{TA} = R$ bo'lgan xususiy holda

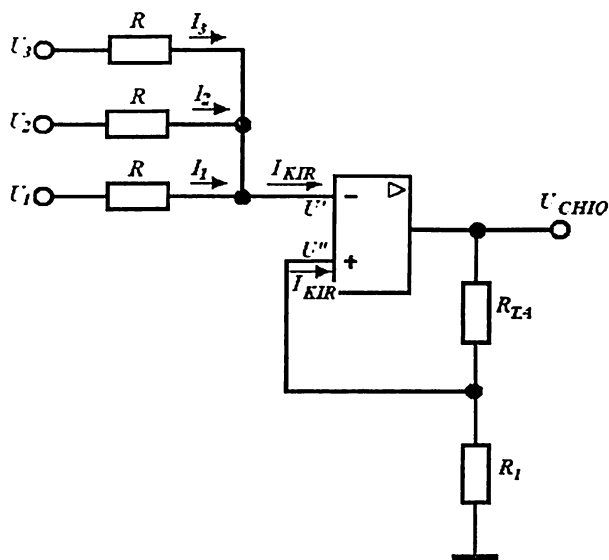
$$U_{CHIQ} = -(U_1 + U_2 + U_3)$$

bo'ladi. (2.22) ifoda ixtiyoriy ko'rinishdagi istalgan sonli kirish signallari uchun haqiqiydir.

Inverslamaydigan jamlovchi qurilma. Uchta kirishga ega bo'lgan mazkur qurilma sxemasi 2.26-rasmda keltirilgan. Kirish signallari inverslamaydigan kirishga, manfiy TA signali esa R_{TA} orqali invers-



2.25-rasm. Uchta kirishli inverslaydigan jamlash qurilmasi sxemasi.



2.26-rasm. Inverslamaydigan jamlovchi qurilma sxemasi.

laydigan kirishga beriladi. Kirxgofning birinchi qonuniga binoan $I_1 + I_2 + I_3 = 0$, chunki ideal OK da $I_{KIR} = 0$.

Demak,

$$\frac{U_1 - U'}{R} + \frac{U_2 - U'}{R} + \frac{U_3 - U'}{R} = 0.$$

OK kirishlari potentsiallari bir-biriga teng, degan shartdan kelib chiqqan holda U' kirish potentsialini aniqlaymiz, ya'ni

$$U' = U'' = \frac{U_{CHIQ} \cdot R_1}{R_{TA} + R_1}.$$

Bundan,
$$U_{CHIQ} = K(U_1 + U_2 + U_3),$$

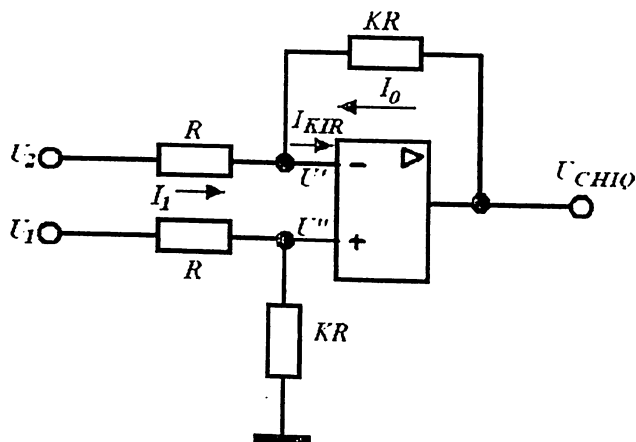
bu yerda uchta kirishli jamlovchi qurilma uchun $K = \frac{1 + R_{TA}/R_1}{3}$ va

n ta kirishli jamlovchi qurilma uchun esa $K = \frac{1 + R_{TA}/R_1}{n}$.

Ayiruvchi-kuchaytirgich. Chiqishida ikkita kirishdagi signallarning farqiga teng kuchlanish olish imkonini beruvchi qurilma sxemasi 2.27-rasmda keltirilgan.

Kirxgofning birinchi qonuniga binoan $I_1 + I_0 = 0$, chunki ideal Okda $I_{KIR} = 0$.

$$I_1 = \frac{U_1 - U'}{R}; \quad I_0 = \frac{U_{CHIQ} - U'}{KR}.$$



2.27-rasm. Ayiruvchi-kuchaytirgich sxemasi.

Idéal OKda kirish potentsiallari teng $U' = U''$. Inverslamaydigan kirish potentsiali

$$U'' = \frac{U_2 \cdot KR}{R + KR}.$$

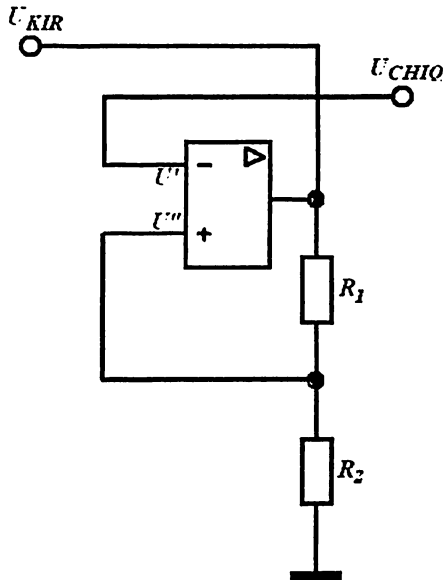
Bundan $\frac{U_1 - U''}{R} = \frac{U'' - U_{CHIQ}}{KR}$ yoki $KU_1 - U''(K + 1) = -U_{CHIQ}$.

Demak, natijaviy $U_{CHIQ} = K(U_2 - U_1)$.

Pretsizion attenuator. Attenuator (so'ndirgich) kuchlanishni talab qilingan marta susaytirish uchun xizmat qiladi. Asosan yuqori chastota o'lchov apparatlarida, masalan, standart signallar generatorlari va komparatorlarda qo'llaniladi. Pretsizion (o'ta aniq) attenuator sxemasi 2.28-rasmda keltirilgan.

Ideal OK holda $U' = U''$. Shuning uchun

$$U_{KIR} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_{CHIQ} \quad \text{yoki} \quad U_{CHIQ} = U_{KIR} \frac{1}{1 + R_1/R_2}.$$



2.28-rasm. Pretsizion attenuator.

2.7. Operatsion kuchaytirgichlarga inersiyali teskari aloqa zanjirlarining ulanishi

Impuls qurilmalarda generator ma'lum davomiylik va amplitudaga ega to'g'ri to'rtburchak shakldagi impulslar ishlab chiqaradi. Bu impulslar raqamlarni aks ettirish va hisoblash qurilmalarida, axborotlarni qayta ishlash va boshqa qurilmalar elementlarini boshqarish uchun mo'ljallangan. Ammo elementlar to'g'ri ishlashi uchun umumiy holda to'g'ri burchak shaklidan farq qiluvchi shakldagi, ma'lum davomiylik va amplitudaga ega bo'lgan impulslar talab qilinadi.

Generator ishlab chiqarayotgan impulslarni passiv va aktiv bo'lishi mumkin bo'lgan to'rt qutbliliklar yordamida o'zgartirish mumkin. Turli to'rt qutbliliklardan foydalanib, differensiallash, integrallash, impulslarni qisqartirish, amplituda hamda ishorani o'zgartirish kabi va boshqa o'zgartirishlarni amalga oshirish mumkin. Differensiallash va integrallash amallari, mos ravishda, differensiallovchi va integrallovchi zanjirlar yordamida bajariladi.

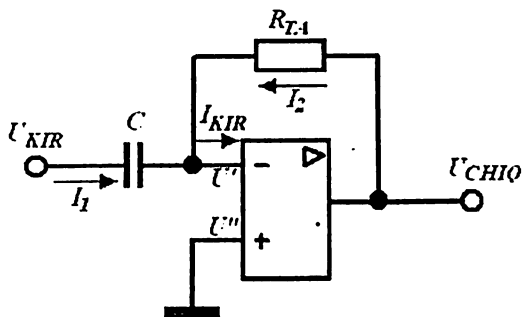
Passiv integrallovchi va differensiallovchi zanjirlar quyidagi kamchiliklarga ega: ikkala matematik amal ma'lum xatoliklar bilan amalga oshiriladi. Ularni korrektsiyalash uchun chiqish signali amplitudasini kuchli ravishda pasaytiruvchi, korrektsiyalovchi zanjirlar kiritish zarur.

OK asosidagi aktiv differensiallovchi va integrallovchi qurilmalar bu kamchiliklardan xoli. Quyida ularni o'rganishga o'tamiz.

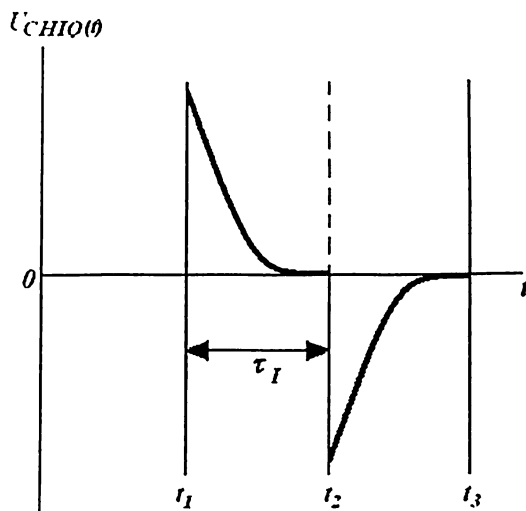
Differensiallovchi qurilma. OK asosida bajarilgan sodda differentsiator sxemasi 2.29-rasmda keltirilgan. Sxema TA zanjiriga RC element kiritilgan inverslaydigan kuchaytirgich hisoblanadi. Kirxgofning birinchi qonuniga binoan $I_1 + I_2 = 0$. $U' = U'' = 0$ bo'lganligi sababli, kondensator zaryadining oniy qiymati $Q(t) = CU_{KIR}$, tok esa $I_1 = dQ/dt = C(dU_{KIR}/dt)$. O'z navbatida, tok $I_2 = U_{CHIQ}(t)/R_{TA}$.

$$\text{Bundan } C \frac{dU_{KIR}}{dt} + \frac{U_{CHIQ}}{R_{TA}} = 0 \text{ yoki } U_{CHIQ}(t) = -R_{TA}C \frac{dU_{KIR}}{dt}.$$

Shunday qilib, mazkur qurilma kirish signalini differensiallash — uni vaqt doimiysi $\tau = R_{TA}C$ ga teng bo'lgan proporsionallik koeffitsi-



2.29-rasm. Differensiallovchi qurilma sxemasi.



2.30-rasm. Differensiallovchi qurilma chiqishidagi kuchlanishning vaqt diagrammasi.

yentiga ko‘paytirish amalini bajaradi. Kirishga to‘g‘ri burchak shakldagi impuls berilganda chiqishda hosil bo‘ladigan kuchlanish shakli 2.30-rasmda keltirilgan.

Chiqishdagi impulslar davomiyligi $\tau_I \approx (3 \div 4) \tau = (3 \div 4) R_{TA} C$ dan aniqlanadi.

Umumiy holda chiqishdagi kuchlanish shakli τ_I va τ nisbatiga bog‘liq bo‘ladi. t_I vaqt momentida R_{TA} rezistorga kirish kuchlanishi

qō'yilgan, chunki kondensatordagi kuchlanish keskin o'zgara olmaydi. So'ngra kondensatordagi kuchlanish eksponensial qonun bo'yicha ortadi, rezistordagi kuchlanish esa, ya'ni chiqish kuchlanishi eksponensial qonunga binoan pasayadi va kondensator zaryadlanishi tugaganda, t_2 vaqt momenti nolga teng bo'ladi. Kirish kuchlanishi nolga teng bo'lganda, kondensator rezistor orqali razryadlana boshlaydi. Shunday qilib, teskari ishorali impuls shakllanadi.

Integrallovchi qurilma. OK asosidagi sodda integrallovchi qurilma sxemasi 2.31-rasmda keltirilgan. Ushbu sxema inverslaydigan kuchaytirgich hisoblanadi, uning TA zanjiriga kondensator C ulangan.

Avvalgidek $I_{KIR} = 0$, $U' = U'' = 0$, $I_1 + I_2 = 0$.

$I_2 = dQ/dt = C(dU_{CHIQ}/dt)$; $I_1 = U_{KIR}(t)/R$.

$C \frac{dU_{CHIQ}}{dt} = -\frac{U_{KIR}}{R}$. Bundan $U_{CHIQ} = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{KIR} dt$.

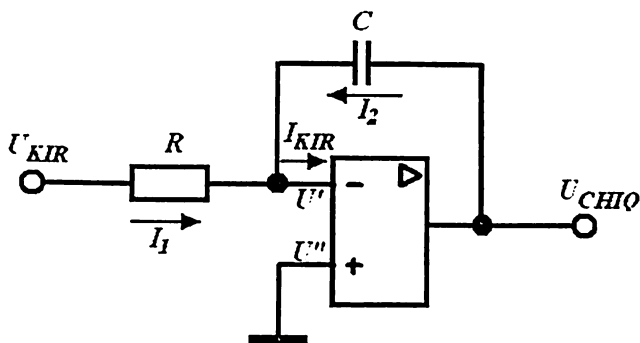
Shunday qilib, OK kiruvchi signal fazasini chiqishda π burchakka o'zgartiradi, chiqish kuchlanishi esa kirish kuchlanishining vaqt bo'yicha integralini $1/\tau = 1/RC$ ko'effitsiyentga ko'paytirilganiga teng.

Kirishga τ , davomiylikdagi to'g'ri burchakli impulslar ketma-ketligi berilganda chiqish kuchlanishining diagrammasi 2.32-rasmda keltirilgan.

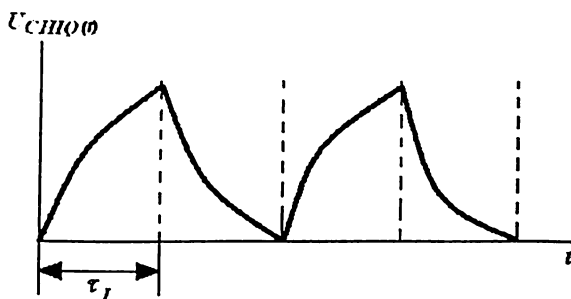
Aktiv filtrlar. Elektronikada ko'p hollarda qurilma kirishiga berilayotgan axborot va parazit signallar majmuyidan berilgan chastotadagi signalni ajratib olish talab qilinadi. Bu maqsadda turli chastotali — tanlov sxemalar ishlatiladi va ular **filtrlar** deb ataladi.

Filtrlar so'ndirmasdan o'tkazayotgan tebranishlar chastotasi filtrlarning **o'tkazish polosasi (shafolik polosasi)**ni hosil qiladi. O'tkazish polosasi filtrning asosiy parametri hisoblanadi. Kuchaytigichlardagi kabi, ular $K(f)$ uzatish ko'effitsiyentini $\sqrt{2}$ marta (3 dBga) pasayish darajasi bilan aniqlanadi. Filtr so'ndirayotgan tebranishlar chastotasi **shaffofmaslik polosasini** tashkil etadi. O'tkazish polosasini shaffof emaslik polosasidan ajratuvchi chastota **chegaraviy chastota** yoki f_{KES} **kesish chastotasi** deb ataladi.

Chastotalar polosasida o'tkazish polosasining joylashishiga ko'ra, filtrlar quyidagi turlarga ajratiladi:



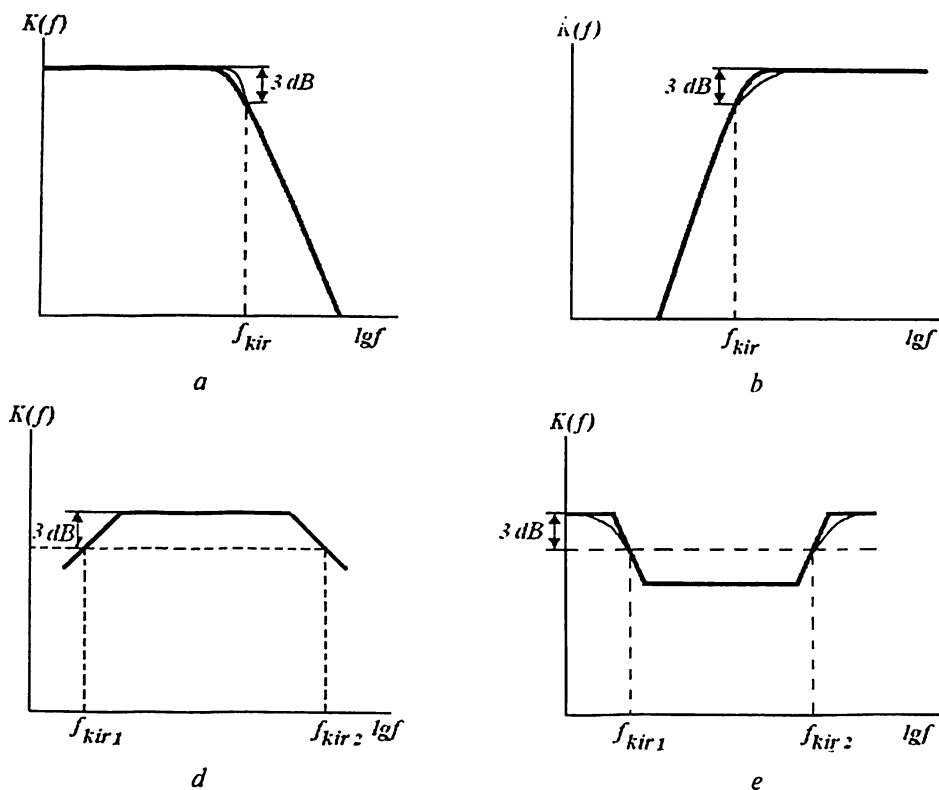
2.31-rasm. Integrallovchi qurilma sxemasi.



2.32-rasm. Integrallovchi qurilma chiqishidagi kuchlanishning vaqt diagrammasi.

- **past chastota filtrlari** – noldan f_{KES} gacha bo‘lgan oraliqdagi tebranishlarni o‘tkazadi va yuqori chastotali tebranishlarni so‘ndiradi;
- **yuqori chastota filtrlari** – f_{KES} dan yuqori bo‘lgan tebranishlar chastotasini o‘tkazadi va undan past tebranishlarni so‘ndiradi;
- **polosa filtrlari** – f_1 dan f_2 gacha bo‘lgan oraliqdagi tebranishlar chastotasini o‘tkazadi va bu polosadan tashqaridagi tebranishlarni so‘ndiradi;
- **rejektorli (chegaralovchi) filtrlar** – f_1 dan f_2 gacha bo‘lgan tor oraliqdagi tebranishlar chastotasini o‘tkazmaydi.

Sanab o‘tilgan filtrlarning LACHXlari 2.33-rasmda keltirilgan.



2.33-rasm. Past chastota (a), yuqori chastota (b), polosa (d) va rejektorli (e) filtrlar LACHXlari.

Ixtiyoriy filtr asosini elektron qurilma passiv qismini tashkil etuvchi RC - yoki LC -zanjirlar, ya'ni passiv filrlar tashkil etadi. Aynan passiv filtr butun spektrdan berilgan chastotadagi signallarni ajratib oladi, elektron qurilmaning boshqa qismlari esa bu signalni kuchaytirish yoki generatsiyalash bo'yicha analogik amalni bajaradi.

Past chastotali sodda filtr (PCHF) bir bosqichli RC -zanjirdan tashkil topadi. Demak, filtr LACHXsi kuchaytirish koeffitsiyenti K_u ni uzatish koeffitsiyenti $K(f)$ ga almashtirilgan kuchaytirgich kaskadi LACHXsiga o'xshaydi. Bir bosqichli RC -zanjiri **birinchi darajali filtr** deb ataladi. U 20 dB/dek tezlikdagi LACHXning pasayishi bilan ifodalanadi. Bundan yuqori pasayish tezligiga ega bo'lgan filtr hosil

qilish uchun bir nechta RC -zanjirlar ketma-ket ulanadi. Ikki bosqichli filtrda (**ikkinchi darajali filtr**) LACHX pasayish tezligi 40 dB/dek, uch bosqichli filtrda (**uchinchi darajali filtr**) esa 60 dB/dek bo'ladi. Har bir filtr darajasiga bitta kondensator to'g'ri keladi. Ammo ko'p bosqichli passiv filtrlarda signallar yo'qotilishi ko'p bo'lganligi tufayli ularning qo'llanilishi cheklangan. Bundan tashqari, passiv filtrlar katta massa va o'lchamlarga ega (ayniqsa, past chastotali sohalarda ishlaganda).

Aktiv filtrlar yoki **tanlovchi kuchaytirgichlar** ham passiv (asosan rezistorlar va kondensatorlar), ham aktiv (odatda, OKlar) elementlardan tashkil topadi. Aktiv filtrlar, passiv filtrlardan farqli ravishda, foydali signalni kuchaytiradi, kichik massa va hajmga ega, integral texnologiya usullari asosida yasaladi, kaskadlar ulanishlarida ham sozlanishi qulay. Aktiv filtrlar kamchiliklarga ham ega: manbadan energiya iste'mol qiladi va o'nlab MGsdan yuqori chastotalarda (OKning f , chegaraviy chastotasi bilan aniqlanadigan) ishlatib bo'lmaydi.

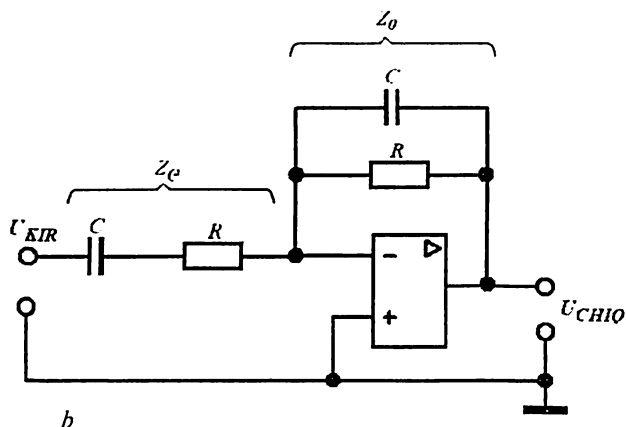
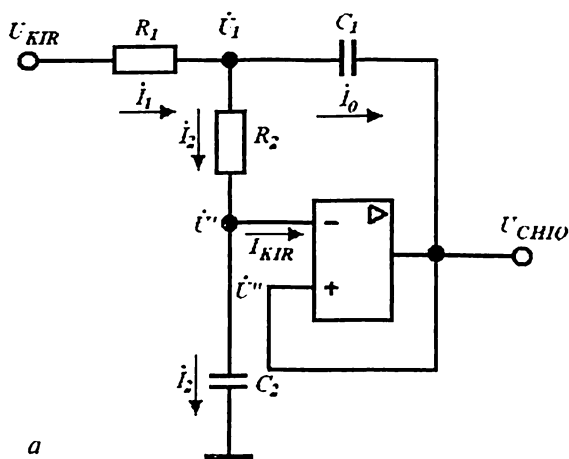
Inverslaydigan OK asosidagi ikkinchi darajali aktiv RC -past chastota filtrining prinsipial sxemasi 2.34, a -rasmda tarsvirlangan. Kirishga sinusoidal signal berilganda filtrning uzatish koeffitsiyentini aniqlaymiz. Sxemaning barcha elementlari chiziqli bo'lgani, tok va kuchlanishlar sinusoidal bo'yicha o'zgargani sababli, barcha tok va kuchlanishlarni kompleks son ko'rinishida ifodalaymiz.

OKni ideal deb hisoblab ($I_{KIR} = 0$, $\dot{U}' = \dot{U}''$), Kirxgofning birinchi qonuniga binoan inverslaydigan kirish uchun $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_0$ ni hosil qilamiz. Bu yerda:

$$\dot{I}_1 = \frac{U_{KIR} - \dot{U}_1}{R_1}, \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_1 - \dot{U}''}{R_2}, \quad \dot{I}_0 = (\dot{U}_1 - \dot{U}_{CHIQ}) j\omega C_1.$$

$\frac{\dot{U}_1 - \dot{U}''}{R_2} = \dot{U}' j\omega C_2$ ekanligini inobatga olgan holda, sxemaning uzatish koeffitsiyenti

$$\dot{K}(p) = \frac{\dot{U}_{CHIQ}}{U_{KIR}} = \frac{1}{p^2 + p \frac{C_2(R_1 + R_2)}{R_1 R_2 C_1 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.23)$$

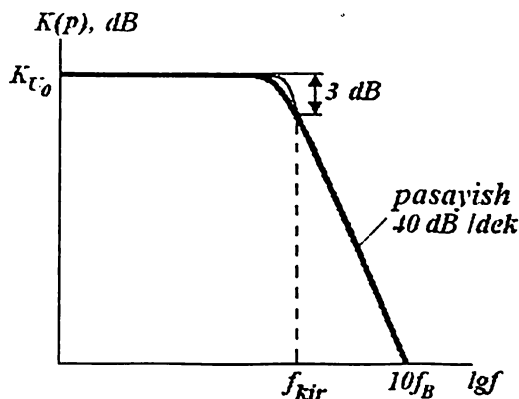


2.34-rasm. Aktiv RC (a) va polosasi filtri (b) sxemasi.

bo'lad. Bu yerda $p = j\omega$. Filtrning darajasi mazkur ifodadagi maksimal p darajasi bilan aniqlanadi. Bunday filtrlarni tuzishda odatda $C_1 = C_2 = C$, $R_1 = R_2 = R$ tanlanadi. U holda (2.23) ifoda quyidagicha yoziladi:

$$K(p) = \frac{1}{(1 + p\tau)^2},$$

bu yerda, $\tau = RC$. Ushbu qurilmada τ qiymatini o'zgartirib, uning o'tkazish polosasi kengligini o'zgartirish mumkin. Bunda o'tkazish



2.35-rasm. Ikkinchi darajali PCHF LACHXsi.

polosasida uzatish koeffitsiyenti o'zgarmas va K_{τ_0} ga teng bo'ladi (2.35-rasm), chunki sig'imgar qarshiligi katta va ular PCHF ishiga ta'sir ko'rsatmaydilar.

Filtrning o'tkazish polosa $\Delta f = 0 \div f_B$ bo'lib, $f_B = 1/2\pi RC$. Chastota f_B kesish chastotasi f_{KES} deb ataladi. Chastota qiymati f_B dan katta bo'lganda kirish signalining bir qismi kichik sig'imli C_1 kondensator qarshiligi bilan shuntlanadi. Juda katta chastotalarda ($f \geq 10f_B$) signallar minimal sig'imli C_2 kondensator qarshiligi bilan butkul shuntlanib OK chiqishiga o'tmaydilar.

Aktiv polosa filtrining sodda sxemasi 2.33, b-rasmda keltirilgan. Kirish zanjiri kompleks qarshiligi (impedansi)ni Z_0 , TA zanjiri impedansini esa Z_0 orqali ifodalaymiz. Natijada, 2.22-rasmda keltirilgan inverslaydigan kuchaytirgichga o'xshash polosa filtri sxemasiga ega bo'lamiz. Ammo kirish zanjiri ham, ketma-ket manfiy TA zanjiri ham chastotaga bog'liq. U holda ((2.18)ga asosan filtrning kompleks kuchaytirish koeffitsiyenti)

$$K_U = -\frac{Z_0}{Z_r} = -\frac{R}{(1+j\omega\tau)R\left(1+\frac{1}{j\omega\tau}\right)}$$

ga teng bo'ladi. Bundan uzatish koeffitsiyenti

$$K(p) = -\frac{p\tau}{(1+p\tau)^2}$$

ekanligi kelib chiqadi, bu yerda $\tau = RC$.

Polosa filtri LACHXsi 2.33, d -rasmda keltirilgan. Kesish chastotasi $f_{KE}=1/2\pi RC$ bo'lganda TA koeffitsiyenti $\alpha = 0$, kesish chastotasidan farqli chastotalarda esa $\alpha \approx 1$. $K_{UTA} = K_U/(1+\alpha K_U)$ nisbatan kelib chiqadiki, $\alpha = 1$ bo'lganda aktiv filtr uchun $K_U \approx 1$. Kesish chastotasiga yaqinlashgan sari signal uzatish koeffitsiyenti kamayadi, bu esa manfiy TAning susayishiga olib keladi, ya'ni α , natijada filtr K_U si ortadi. Kesish chastotasi f_{KES} da manfiy TA mavjud bo'lmaydi va $K(f) = K_{UO}$. Polosali o'tkazuvchi filtrda faqat manfiy TA qo'llaniladi, bu esa uning ishini barqarorlaydi. Katta kuchaytirish koeffitsiyenti hisobiga u **chastota-tanlovchi kuchaytirgich** deb ataladi.

2.8. Operatsion kuchaytirgichlarga inersiyasiz nochiziqli zanjirlarning ulanishi

Logarifmik kuchaytirgich. Bunday kuchaytirgichda chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishi logarifmiga proporsional bo'ladi.

Logarifmik xarakteristika hosil qilish uchun OK manfiy TA zanjiriga diod yoki UB sxemadagi BT ulanadi. Diodli va BTli logarifmik kuchaytirgich sxemalari mos ravishda 2.36, a va b -rasmlarda ko'rsatilgan.

Avvalgidek, OKning ideallik xossalaridan $I_{KIR} = 0$ va $U' = U'' = 0$ kelib chiqadi. Shu sababli $I_1 = I_2$. 2.36, a -rasmdagi sxema uchun

$$I_1 = U_{KIR}/R, \quad I_2 = I_0 [\exp(U/\varphi_T) - 1] \approx I_0 [\exp(U/\varphi_T)],$$

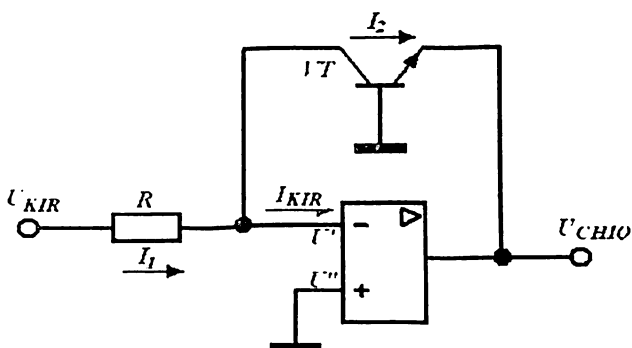
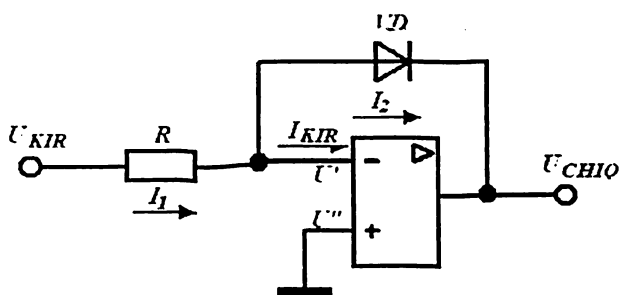
bu yerda: $\varphi_T = kT/q$, U – dioddagi kuchlanish. Bu sxema uchun $U = U_{CHIQ}$ ekanligi ravshan. Bundan

$$U_{CHIQ} = -\varphi_T [\ln(U_{KIR}/R) - \ln I_0] = -\varphi_T \ln[U_{KIR}/(RI_0)].$$

Yuqoridagi sxema kabi, 2.36, b -rasmdagi sxema uchun ham

$$I_1 = U_{KIR}/R,$$

$$I_2 = I_K = I_{E0} [\exp(U_{BE}/\varphi_T) - 1] \approx I_{E0} \exp(U_{BE}/\varphi_T).$$



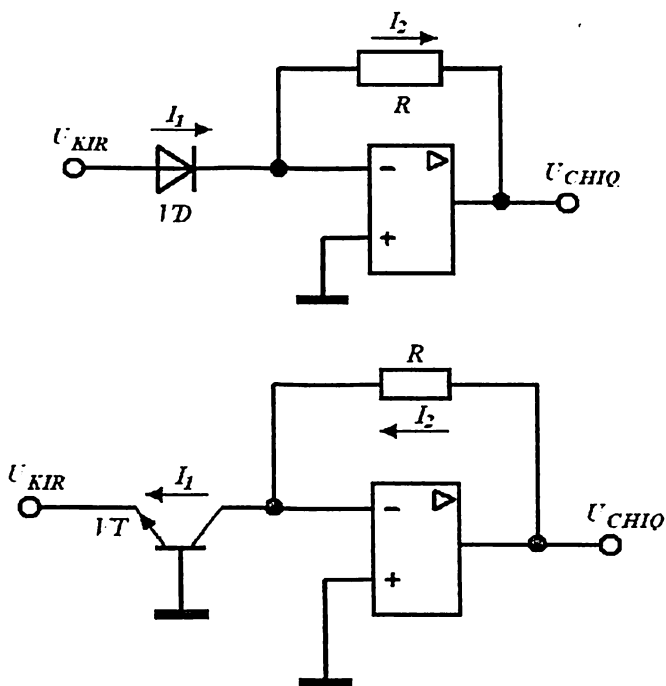
2.36-rasm. Diodli (a) va BTli (b) logarifmik kuchaytirgich sxemasi.

Bundan $I_2 = I_0 [\exp(U/\varphi_T) - 1] \approx I_0 [\exp(U/\varphi_T)]$.

Keltirilgan sxemalar uchun maksimal chiqish kuchlanishi 0,6 V dan oshmaydi. Logarifmik kuchaytirgichlar chiqishida faqat bir qutbli kuchlanish shakllanadi. Musbat kirish kuchlanishida chiqishda manfiy kuchlanish shakllanadi. Chiqishda musbat kuchlanish olish uchun 2.36, *a*-rasmdagi sxemaga teskari yo‘nalishda diod ulash va kirish kuchlanishi qutbini o‘zgartirish kerak. 2.36, *b*-rasmda *p-n-p* turdagi tranzistor qo‘llash usuli bilan shunday natijaga erishish mumkin.

Antilogarifmik (eksponensial) kuchaytirgich. Antilogarifmik kuchaytirgich hosil qilish uchun yuqorida ko‘rib o‘tilgan sxemalarda diod (tranzistor) bilan rezistor o‘rnini almashtirish kerak (2.37, *a* va *b*-rasmlar).

2.37, *a* va *b*-rasmlardagi sxemalar kabi, 2.37, *a*-rasmdagi sxema uchun



2.37-rasm. Antilogarifmik kuchaytigichlar.

$$U_{CHIQ} = -RI_0 \exp(U_{KIR}/\varphi_T),$$

va 2.37, b-rasmdagi sxema uchun esa

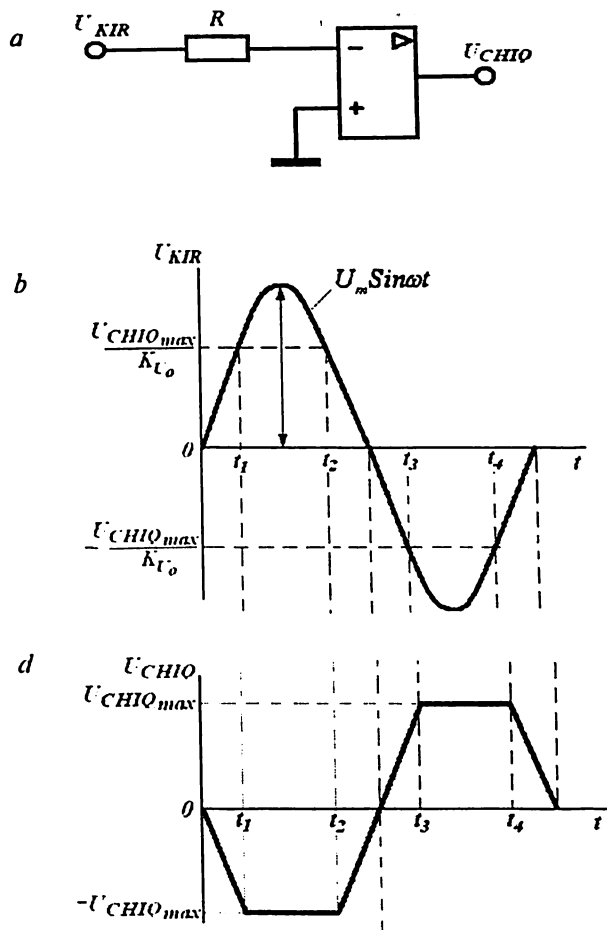
$$U_{CHIQ} = -RI_{E0} \exp(U_{KIR}/\varphi_T)$$

deb yozish mumkin.

Logarifmik va antilogarifmik kuchaytirgichlar ko'paytirish va bo'lish matematik amallarini bajarish uchun qo'llaniladi.

Haqiqatan, sonlarni ko'paytirish uchun ularning logarifmlarini qo'shish yetarlidir. Uchta sonni ko'paytirish uchun ularning har birini avval o'zining logarifmik kuchaytirgichi kirishiga berish, so'ngra uchta kirishli jamlovchi qurilma kirishiga uzatish lozim (2.35-rasm).

Kuchlanish komparatori. Komparator ikki va undan ortiq signallarni o'zaro yoki bir kirish signalini biror berilgan etalon kuchlanish sathi bilan solishtirish amalini bajaradi.



2.38-rasm. Nol detektori sxemasi (a) va uning vaqt digrammalari (b, d).

Berilgan kirish signallarini nolga teng bo'lgan etalon kuchlanish sathi bilan solishtiradigan komparator sxemasi 2.38-rasmda ko'rsatilgan. Buning uchun OK inverslaydigan kirishi potentsiali nolga teng bo'lgan umumiy shina bilan tutashtiriladi. Shu sababli bunday qurilma **nol detektori** yoki **nol indikator** deb ataladi.

Kuchaytirgichning inverslaydigan kirishiga amplitudasi $|U_m| > |U_{CHIQ_{max}}|/K_{UO}$ bo'lgan $U_{KIR} = U_m \sin \omega t$ o'zgaruvchan kuchlanish berilgan bo'lsin (katta signal rejimi).

Komparator ishini ifodalovchi vaqt diagrammalari 2.38, *b* va *d* - rasmlarda ko'rsatilgan. Diagrammalardan ko'rinib turibdiki, kirish kuchlanishi $|U_m \sin \omega t| < |U_{CHIQ, \max}| / K_{U0}$ shartga javob bersa, chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishiga proporsional bo'ladi, ya'ni $|U_{CHIQ}| = K_{U0} |U_{KIR}|$. Kirish kuchlanishi $|U_{CHIQ, \max}| / K_{U0}$ qiymatidan oshsa, komparator chiqish signali o'zgarishsiz qoladi va $|U_{CHIQ}| = |U_{CHIQ, \max}|$.

Shunday qilib, musbat kirish kuchlanishida chiqish signali standart va $-U_{CHIQ, \max}$ ga teng, manfiy kirish kuchlanishida esa yana standart va $+U_{CHIQ, \max}$ ga teng bo'ladi, degan xulosaga kelamiz.

Kirish signali analog, chiqish signali esa raqamli bo'lgani uchun ($-U_{CHIQ, \max}$ - mantiqiy 0, $+U_{CHIQ, \max}$ - mantiqiy 1), komparator analog va raqamli qurilmalar orasidagi aloqa elementi rolini bajaradi, ya'ni sodda **analog-raqamli o'zgartirgich** hisoblanadi.

Kirish signali shakli ixtiyoriy bo'lishi mumkin. Ammo $|U_{KIR}| < |U_{CHIQ, \max} / K_{U0}|$ (kichik signal rejimi) bo'lganda, ishlashning ixtiyoriy vaqt momentida chiqish signali kirish signaliga proporsional bo'ladi, ya'ni $|U_{CHIQ}| = K_{U0} |U_{KIR}|$. Bu yerda $-U_{CHIQ, \max}$ va K_{U0} aniq OKning pasport ma'lumotnomalarida keltirilgan parametrlari.

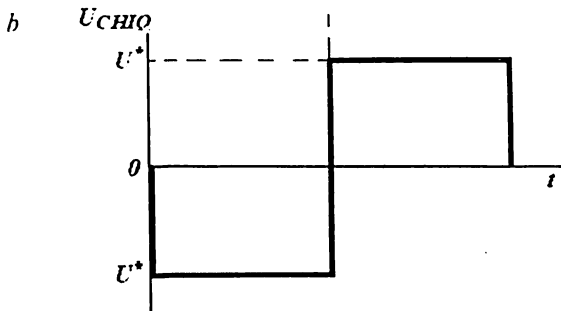
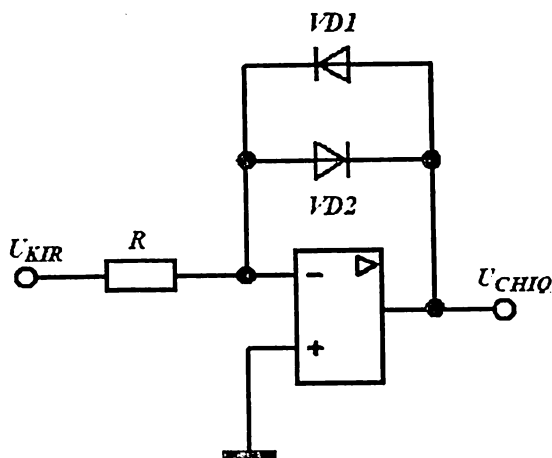
Katta signal rejimida, kirish signali qiymati $|U_{CHIQ, \max} / K_{U0}|$ bo'lgan vaqt intervallarida komparator chiqish signali o'zgarishsiz qoladi va $|U_{CHIQ}| = |U_{CHIQ, \max}|$ bo'ladi.

Chiqish kuchlanishi $\pm U_{CHIQ, \max}$ darajalarda qayd qilinadigan $U_{KIR} = |U_{CHIQ, \max} / K_{U0}|$ kattaligi **komparator sezgirliigi** Δ deb ataladi. Uni chiqish kuchlanishi $U_{CHIQ, \max}$ ni kuchaytirish koeffitsiyenti K_{U0} ga bo'lib, oson baholash mumkin:

$$\Delta = U_{CHIQ, \max} / K_{U0}.$$

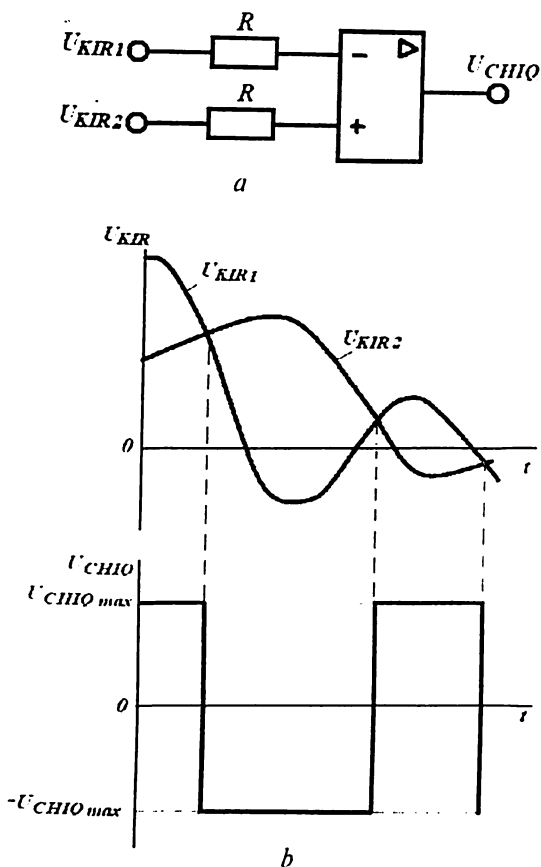
Masalan, $U_{CHIQ, \max} = 10$ V, $K_{U0} = 10^5$ bo'lsa, u holda $\Delta = 10^{-4}$ V. Bu kirish kuchlanishi etalon kuchlanishidan atigi 10^{-4} V ga og'ganda chiqish kuchlanishi $\pm U_{CHIQ, \max}$ sathlarda qayd qilinishini bildiradi (mazkur holatda noldan).

a



2.39-rasm. Komparator sxemasi (a) va uning vaqt diagrammasi (b).

Chiqishda kichik standart kuchlanishlar $|U_{CHIQ.\max}|$ ni olish talab qilingan holatlarda, 2.39, a-rasmda ko'rsatilgan komparator sxemasi ishlatiladi. Musbat kirish kuchlanishida chiqishda manfiy kuchlanish paydo bo'ladi. Bunda $VD2$ diod ochiladi. Ma'lumki, ochiq dioddagi kuchlanish $-U^*$ ga teng, deyarli o'zgarmas kattalik. Demak, chiqishdagi kuchlanish U_{KIR} ga bog'liq bo'lmagan ravishda U^* ga teng. Kremniyli diodlar uchun $U^* = 0,7 \text{ V}$ ekanini eslatib o'tamiz. Manfiy kirish kuchlanishida $VD1$ diod ochiladi, chiqish kuchlanishi esa $+U^*$ ga teng bo'ladi va u ham U_{KIR} ga bog'liq bo'lmaydi. Ushbu komparatorning vaqt diagrammalari 2.39-b rasmda ko'rsatilgan. Komparator



2.40-rasm. Bir bo'sag'ali ikki kuchlanishni solishtirish sxemasi (a) va uning vaqt diagrammalari (b).

sezgirligiga kelsak, u ham $K_{\text{uo}} = 10^5$ qiymatlarda keskin ortadi va $\Delta \approx 7$ mVni tashkil etadi.

Agar yakka $VD1$ va $VD2$ diodlar o'rniga ketma-ket diodlar zanjiri ulansa, komparatorning chiqish kuchlanishlari, mos ravishda, katta bo'ladi. Ikki (va undan ortiq) kuchlanishlari solishtirilganda ular turli kirishlarga beriladi. Bunday komparator sxemasi va uning ishini izohlovchi vaqt diagrammalari 2.40-rasmda ko'rsatilgan.

Nolga teng bo'lgan momentlarda, ya'ni kirishlar orasidagi kuchlanishlar $U_{KIR1} = U_{KIR2}$ bo'lganda chiqish kuchlanishi nolga teng bo'ladi.

$U_{KIR1} > U_{KIR2}$ bo'lgan vaqt oraliqlarida chiqish kuchlanishi ishorasi musbat va standart $+U_{CHIQ.max}$ qiymatiga teng bo'ladi. $U_{KIR1} < U_{KIR2}$ bo'lgan vaqt oraliqlarida OK qayta ulanadi va uning chiqishida $-U_{CHIQ.max}$ standart kuchlanish o'rnatiladi.

Yuqorida ko'rib o'tilgan standart OK asosidagi komparatorlar kirish signallari sekin o'zgaruvchi, yuqori aniqlikdagi solishtiruvchi sxemalarda ishlatiladi. Gap shundaki, katta amplitudali kuchlanishlarni solishtirish rejimida OK tranzistorlari to'yinish rejimiga o'tadilar. To'yinish rejimi bazada noasosiy zaryad tashuvchilarning to'planishiga olib keladi. Bu zaryadlarni bazadan chiqarib yuborish uchun ma'lum vaqt talab qilinadi, bu esa komparatorlarning tezkorligini pasaytiradi.

Shuning uchun raqamli texnikada tezkorligi $15 \div 200$ ns gacha bo'lgan 521SA1-521SA4 turdagi integral komparatorlar qo'llaniladi. Ularni loyihalashda tranzistorlar to'yinish rejimiga o'tmaydigan maxsus sxemotexnik yechimlar qo'llaniladi.

? Nazorat savollari

1. OK deb nimaga aytiladi?
2. OKning asosiy funksional qismlari nimalardan iborat?
3. Real DK qanday parametrlar bilan xarakterlanadi? Kirish signalining sinfaz va parafaz tashkil etuvchilari nima?
4. Emitter qaytargichlar qanday maqsadlarda qo'llaniladi? Ularning kirish va chiqish qarshiliklari nisbatlari qanday?
5. Ko'p kaskadli kuchaytirgichlarda sathni siljitish qurilmalari qanday amalga oshiriladi?
6. Kuchaytirish CHK sxemalari, ularning ishlash prinsiplari, rejimlari va asosiy xarakteristikalar haqida ma'lumot bering.
7. BT va MTli BTG ish prinsipi va xarakteristikalar haqida ma'lumot bering.
8. Ideal OKga ta'rif bering.
9. OK ulanish sxemalarini keltiring.
10. Ideal OK parametrlariga qanday talablar qo'yiladi?
11. OKning asosiy parametrlari va xarakteristikalarini aytib bering.
12. Nima sababdan OKlar chastota korreksiyasiz ishlay olmaydi?
13. OK siljitish kuchlanishi parametri ma'nosini tushuntiring.
14. OKning o'rtacha kirish toki va kirish toklari farqi kabi parametrlarining fizik ma'nosini tushuntiring. Ular qanday kirish kuchlanishlarida o'lchanadilar?

15. Chiqish kuchlanishi o'sish tezligi parametri fizik ma'nosini tushuntiring. OKning ACHXsidan uni aniqlash mumkinmi?
16. Yuqori barqarorlikka ega bo'lgan inverslaydigan kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyenti nima bilan aniqlanadi?
17. Inverslamaydigan kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyenti nima bilan aniqlanadi?
18. Kuchlanish qaytarigichida qanday amal bajariladi?
19. Uchta kirishga ega bo'lgan jamlash qurilmasi chiqish kuchlanishi nimaga teng?
20. Ayiruvchining chiqish kuchlanishi nimaga teng?
21. Pretsizion attenuator nima uchun xizmat qiladi?
22. Passiv integrallovchi va differensiallovchi zanjirlar qanday kamchiliklarga ega?
23. OK asosidagi differensiallovchi qurilma qanday amalga oshiriladi?
24. OK asosidagi integrallovchi qurilma qanday amalga oshiriladi?
25. Filtrlar turlarini sanab bering.
26. Aktiv filtrlar passivlardan nimasi bilan farqlanadi?
27. OK asosidagi logarifmik kuchaytirgich qanday xossalarga ega?
28. OK asosidagi antilogarifmik kuchaytirgich qanday xossalarga ega?
29. Kuchlanish komparatori qanday amalni bajaradi?

III BOB. RAQAMLI TEXNIKA ASOSLARI

3.1. Umumiy ma'lumotlar

Elektron qurilmalar, jumladan, komputarlarda qayta ishlanayotgan ma'lumotlar, natijalar va boshqa axborotlar ko'p hollarda elektr signal-lar ko'rinishida ifodalanadi.

Axborot (fizik kattaliklar)ni ikki usulda ifodalash mumkin: analog (uzluksiz) va raqamli (diskret). Birinchi usulda ifodalanayotgan kattalik, unga proporsional bo'lgan **bir signal ko'rinishida**, ikkinchi usulda esa har biri berilgan kattalikning bitta raqamiga mos keluvchi **bir nechta signallar ketma-ketligi ko'rinishida** ifodalanadi.

Analog ko'rinishdagi signallarni qabul qilish, o'zgartirish va uzatish uchun mo'ljallangan elektron qurilmalar **analog elektron qurilmalar** (AEQ) deb ataladi. Signalning nazariy tomondan shakllanishi va uzatilishi mumkin qadar aniqlik va tezkorlik bilan amalga oshiriladi. AEQlar nisbatan sodda tuzilishga egaligiga qaramasdan, signalni ixtiyoriy funksional o'zgartirishga qodirdir.

AEQlar quyidagi kamchiliklarga ega:

- xalaqitbardoshlikning kichikligi. Bunda signalga turli shovqinlar qo'shilishi yoki temperatura va boshqa omillar ta'sirida qurilma parametrlarining o'zgarishi natijasida signal boshlang'ich ko'rinishidan farqlanadi;

- uzoq masofalarga uzatilganda signalning kuchli buzilishi;
- axborotlarni uzoq muddat saqlashning murakkabligi;
- FIK qiymatining kichikligi.

Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda kichik vaqt oraliqlarida katta hajmdagi axborotlarni saqlash va qayta ishlash talab qilinganda AEQlardan foydalaniladi. Bunda AEQda axborot differensial tengla-malar tizimi bilan ifodalanishini alohida ta'kidlab o'tish joiz.

Hozirgi kunda axborotlarni raqamli usullarda qayta ishlash muhim o'rin egallamoqda. Buning uchun analog ko'rinishdagi birlamchi axborot ustida ikkita muhim amal bajariladi: kvantlash va kodlash.

Uzluksiz signal $x(t)$ ni ma'lum nuqtalardagi qiymatlari bilan almashtirishga **kvantlash** deyiladi. Kvantlash vaqt yoki sathlar bo'yicha amalga oshirilishi mumkin. Kvantlash natijasida elektron qurilmadagi analog ko'rinishdagi birlamchi signal turli shakldagi elektr **impulslar ketma-ketligi** ko'rinishida ifodalanadi. Kuchlanish $U(t)$ yoki tok $I(t)$ qiymatlarining, mos ravishda, o'rnatilgan U_0 va I_0 qiymatlardan qisqa vaqtlarga og'ishi **elektr impuls** deb ataladi. Kvantlash natijasida signal ixtiyoriy emas, balki aniq, **diskret** deb ataluvchi qiymatlarni oladi.

Uzluksiz kattalikdan farqli ravishda, diskret kattalikning qiymati cheklangan bo'lib, unda axborotning ma'lum qismi yo'qolishi mumkin. Analog signallarni kvantlash natijasida hosil bo'lgan elektr signallarni qabul qilish, qayta ishlash va uzatish uchun mo'ljallangan qurilmalar **diskret elektron qurilmalar** (DEQ) deb ataladi. Shu sababli, DEQlarda kvantlangan signallar uchun elektron kalit sifatida tranzistorlardan (tranzistorning to'yinish yoki berk rejimlari) foydalaniladi. Natijada ularda sochiluvchi quvvat eng kichik bo'ladi, issiqlik uzatilishining kichikligi sababli tranzistorlar qizishi kamayadi. Natijada ular parametrlarining nobarqarorligi ham kamayadi. Impulslarni uzatishda signalga ta'sir ko'rsatuvchi xalaqit yuzaga kelishi mumkin bo'lgan vaqt qisqa bo'lganligi sababli, DEQlarning xalaqitbardoshligi AEQlarga nisbatan yuqori bo'ladi.

Kvantlash turiga ko'ra DEQlar uch guruhga bo'linadi: **impulsli, releyli va raqamli**.

Impulsli elektron qurilmalar (IEQ)da birlamchi signal vaqt bo'yicha kvantlanadi va odatda o'zgarmas chastotadagi impulslar ketma-ketligiga o'zgartiriladi. Bu jarayon **impulsli modulatsiyalash** deb ataladi. Impulslar ketma-ketligi to'rtta parametrga ega: impuls amplitudasi, impuls uzunligi, impuls chastotasi va impuls fazasi (impulslar vaqt momentlari taktiga nisbatan olinadi). Shu sababli modulatsiyaning to'rtta turi mavjud:

- amplituda-impulsli modulatsiya (AIM);
- kenglik-impulsli modulatsiya (KIM);
- chastota-impulsli modulatsiya (CHIM);
- faza-impulsli modulatsiya (FIM).

Amaliyotda ko'p hollarda AIM, KIM va FIM kombinatsiyalari ishlatiladi. Impulsli modulatsiyalarning bu turlari haqidagi ma'lumotlar 3.1-rasmda keltirilgan.

IEQlarning aniqligi va tezkorligi AEQlarnikiga nisbatan kichik hamda impulsli modulatorlarni ishlab chiqish mushkuldir.

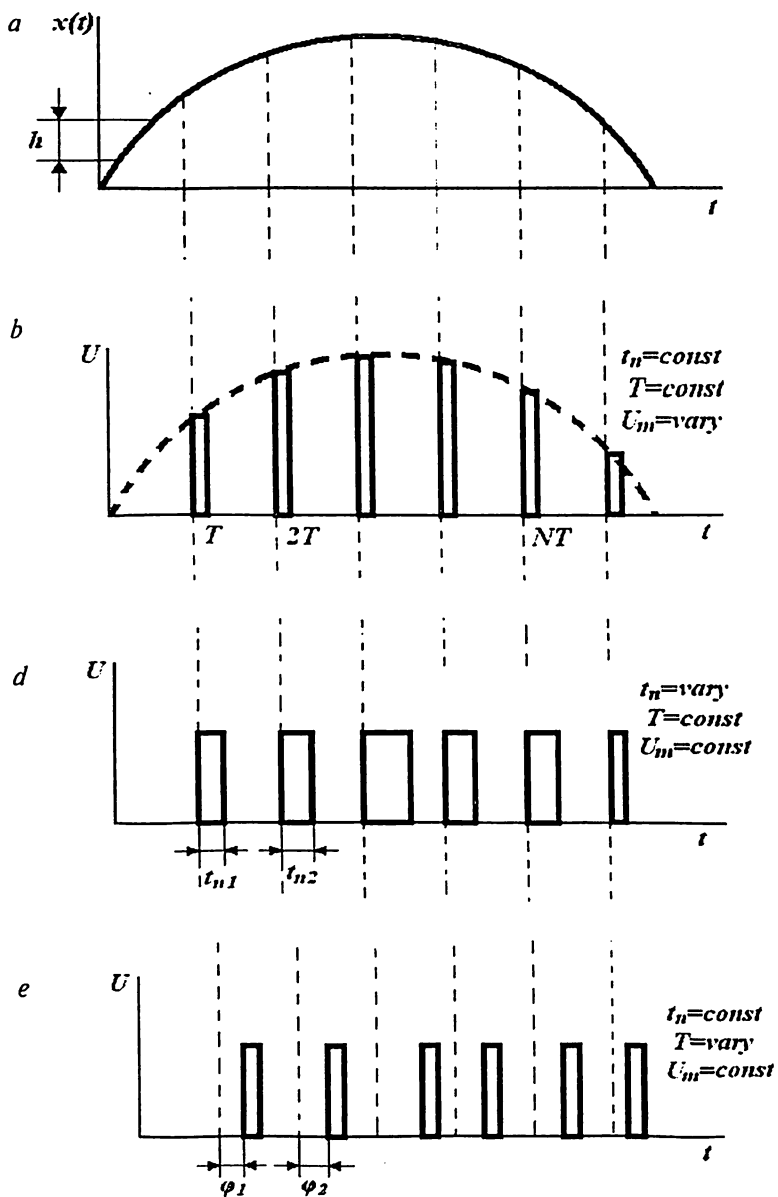
Releyli elektron qurilmalar (REQ) birlamchi analog signalni zinasimon funksiyaga o'zgartiradi. Bunda har bir zinaning balandligi, oldindan berilgan ma'lum h kattalikka proporsional bo'ladi (3.1, a-rasm). REQlarda impulsli modulatorlar bo'lmaganligi sababli, bunday qurilmalar IEQlarga nisbatan soddaligi bilan ajralib turadi. REQlar yuqori tezkorlikka ega bo'lib, asosan axborotni emas, balki quvvatni o'zgartirishda qo'llaniladi. Bunday REQlarda katta toklar kuchaytirilgani sababli ular **kuch elektronikasi** deb ataladi.

Raqamli elektron qurilmalar (REQ)da birlamchi analog signal ham vaqt bo'yicha, ham kattaligi bo'yicha kvantlanadi. Kvantlanish natijasida signal yuqorida aytib o'tilgan parametrlarning biri bo'yicha bir-biridan farq qiladigan impulslar ketma-ketligi ko'rinishida ifodalanadi.

Demak, ixtiyoriy kvantlangan signal bir necha elementar signalardan tuzilgan shartli kombinatsiyalar ko'rinishida (masalan, Morze kodidagi nuqta, tire va pauza) ifolanishi mumkin ekan. Kvantlangan signalning bunday ifodalanishi **kodlash** deb ataladi. Kodlash turli ma'lumotlar (harflar, tovushlar, ranglar, komandalar va boshqalar)ni ma'lum standart shaklda, masalan, ikkilik simvollar ko'rinishida ifodalash imkonini beradi.

Real qiymatlarga mos keluvchi fizik kattaliklarni — kodlarni shakllantirish, o'zgartirish va uzatish uchun **raqamli qurilma** xizmat qiladi. Bundan raqamli axborotni uzatish uchun analog axborotga nisbatan ko'p vaqt sarflanishi ko'rinib turibdi. Shuning uchun sharoitlar bir xil bo'lganda, raqamli usulda uzatilayotgan axborotlar soni minimal bo'ladi. REQlar quyidagi afzalliklarga ega:

- xalaqitbardoshlikning yuqoriligi;
- axborotlarni yo'qotishsiz uzoq muddat saqlashning imkonini;
- FIKning yuqoriligi;



3.1-rasm. Impulsli modulatsiya turlari: birlamchi analog kattalik (a); amplituda-modulatsiyalangan (b); kenglik-modulatsiyalangan (d) va faza-modulatsiyalangan (e) impulsar ketma-ketligi.

- negiz elektron qurilmalar sonining kamligi;
- integral texnologiya bilan mosligi.

Raqamli qurilmalarda arifmetik va mantiqiy amallarni ma'lum tartibda bajarish yo'li bilan axborot o'zgartiriladi.

Raqamli integral sxema (RIS) integral elektron qurilma bo'lib, raqamli signal ko'rinishida berilgan axborotlarni talab etilgan holda o'zgartirishga mo'ljallangan. Unda o'zgaruvchan signal sathi faqat ikkita qiymat olishi mumkin. Agar RIS ta'rifiga uning asosiy vazifasini kiritsak, u holda ta'rif quyidagicha bo'ladi:

raqamli integral sxema elektroradio materiallar va komponentlardan iborat bo'lib, u ikkilik sanoq tizimida berilgan ma'lum x ko'phadni oldindan berilgan ikkilik sanoq tizimidagi ma'lum y ko'phadga o'zgartiradi.

RIS elektroradio materiali deb, RISning shunday qismiga aytiladiki, u oddiy elektroradio zanjirlardagi diskret elementlar xossalariga ega bo'lib, RIS tarkibidan alohida element sifatida olib tashlab bo'lmaydi. Yarimo'tkazgichli RIS elektroradio materiallari bo'lib yarimo'tkazgich hajmida yoki sirtida shakllangan rezistorlar, kondensatorlar, induktivliklar, diodlar va tranzistorlar hisoblanadi.

RIS elektroradio komponenti deb, RISning shunday qismiga aytiladiki, u bir yoki bir nechta elektroradioelementlar funksiyasini amalga oshiradi, lekin RIS tarkibidan alohida element sifatida olib tashlanishi mumkin va montajgacha mustaqil mahsulot hisoblanadi. Tranzistorlar, keramik kondensatorlar va gibrid IMSlarning boshqa osma elementlari elektroradi okomponentlarga misol bo'la oladi.

Funksional vazifasiga ko'ra, RISlar mantiqiy integral sxemalar (elementlar), axborot saqlash sxemalari (xotira elementlari), yordamchi va maxsus integral sxemalarga bo'linadi.

Mantiqiy integral sxemalar yoki mantiqiy elementlar ikkilik sanoq tizimida berilgan axborotni mantiqiy o'zgartirishga mo'ljallangan. Bular komputer va boshqa raqamli tizimlarning asosiy «qurilish g'ishtchalari»dir. Ular qurilma tarkibidagi elementlarning 70–80% ini tashkil etadi. Mantiqiy integral sxemalarni, o'z navbatida, quyidagilarga ajratish mumkin:

- asosiy funksional to'liq majmu' (AFTM)ning mantiqiy funksiyalarini amalga oshiruvchi sxemalar va elementlar;
- funksional to'liqlikka ega bo'lgan, yakka universal mantiqiy funksiyalarni amalga oshiruvchi sxemalar va elementlar;
- funksional elementlar deb ataluvchi, bir necha mantiqiy funksiyalarni amalga oshiruvchi sxemalar;
- talab qilingan funksiyalarni amalga oshiruvchi sxemalar (adaptiv elementlar).

Katta funksional mazmunga ega bo'lgan, murakkab mantiqiy funksiyalarga mos keluvchi funksional elementlar AFTM yoki universal funksiyalar amallarini bajaruvchi negiz mantiqiy elementlar asosida quriladi.

Adaptiv elementlar dasturlanuvchi elementlar bo'lib, hozirgi kunda mikroprotsessorlarning rivojlanish cho'qqisi deb hisoblash mumkin. Kelajakda tashqi muhit shartlari bilan aniqlanadigan funksiyalarni bajaradigan to'liq adaptiv elementlar haqida so'z yuritish mumkin.

Axborot saqlash sxemalari (xotira elementlari) ikkilik axborotni eslab qolish va vaqtincha saqlashga mo'ljallangan. Bu sxemalarni maxsus usulda tuzib, ular yordamida axborotni yozish va o'qish, o'chirish va qayta tiklash hamda saqlanayotgan axborotni indikatsiya qilish mumkin. Bunday elementlar **triggerlar** deb ataladi va ular negiz mantiqiy elementlar asosida ham amalga oshirilishi mumkin.

Yordamchi integral sxemalar yoki **elementlar** elektr signallarni kuchaytirish, shakllantirish, ushlab turish, generatsiyalash uchun mo'ljallangan. Bunday elementlarga: takt chastotasi generatorlari; bloking-generatorlar; kuchaytirgich-shakllantirgichlar; emitter qaytargichlar; yakka vibratorlar; multivibratorlar; cheklagichlar va boshqalar kiradi.

Maxsus integral sxemalar (elementlar) signalni fizik o'zgartirishga mo'ljallangan. Ularga turli indikatorlar, analog signallarni raqamliga va aksincha o'zgartirgichlar, zanjirlarni muvofiqlashtiruvchi maxsus sxemalar va boshqalar kiradi.

3.2. Sanoq tizimlari

Sanoq tizimlari **pozitsion** va **nopozitsion** turlarga bo'linadi. Nopozitsion tizimlarda raqamning aniq qiymati o'zgarmas bo'lib, sonni yozishda uning o'zni ahamiyatga ega emas. Bunday sanoq tizimiga

Rim sanoq tizimi misol bo'la oladi. Masalan, XXVII sonini yozishda X ning o'rnini ahamiyatga ega emas. Bu son qayerda turishidan qat'iy nazar 10 ga teng.

Pozitsion sanoq tizimda raqamning aniq qiymati sonni yozishdagi o'rniga bog'liq bo'ladi. Raqamli texnikada faqat pozitsion sanoq tizimlari qo'llaniladi.

Ixtiyoriy son Q ni q asosga ega ixtiyoriy sanoq tizimida quyidagi polinom yordamida ifodalash mumkin:

$$X_q = x_{n-1}q^{n-1} + x_{n-2}q^{n-2} + \dots + x_0q^0 + x_{-1}q^{-1} + \dots + x_{-m}q^{-m}, \quad (3.1)$$

bu yerda: x_i — razryad koeffitsiyenti ($x_i = 0 \dots q-1$); q_i — vazn koeffitsiyenti.

q soni ham butun, ham kasr son bo'lishi mumkin. Raqamning pozitsiya tartibi x_i razryad deb ataladi. q ning musbat darajaga ega bo'lgan razryadi x_q sonning butun qismini, manfiy darajaga ega bo'lgan qismi esa kasr qismini hosil qiladi. x_{n-1} va x_{-m} raqamlar mos ravishda sonning katta va kichik razryadlari hisoblanadilar. Ikkilik sanog'ida $q=2$, o'nlik sanog'ida $m=10$. Sanoq asosi qancha katta bo'lsa, mazkur sonni ifodalashda shuncha kam miqdorda razryad talab qilinadi, demak, uni uzatish uchun kam vaqt sarflanadi.

Boshqa tomondan, q asosga ega bo'lgan sonni elektr signallar yordamida ifodalash uchun chiqishida turli q elektr signallar shakllantiruvchi elektr qurilma talab qilinadi. Demak, q qancha katta bo'lsa, elektron qurilma shuncha ko'p turg'un diskret holatlarga ega bo'lishi kerak. q ortishi bilan chiqish signalining diskret sathlari orasidagi farq kamayib boradi. Demak, tashqi ta'sirlar natijasida xatoliklar yuzaga kelish ehtimoli ortadi va qurilma murakkablashib ketadi.

Ma'lumki, uchlik tizim ($q=3$) eng samarali, ikkilik ($q=2$) va to'rtlik ($q=4$) tizimlar esa undan quyi hisoblanadi. Yetarli xalaqitbardoshlikni ta'minlashda q ni tanlash mezoni bo'lib apparat xarajatlarini minimallashtirish hisoblanadi. Bu munosabat bo'yicha ikkilik tizimi tanlangan, chunki elektron qurilmalar faqat ikkita turg'un holatga ega bo'lishi kerak. U holda bu tizimda signallarni ajratish uchun

faqat «impuls bormi yoki yo'qmi», degan savolga javob berish kifoya bo'ladi. Masalan, o'nlik son $X = 29$ ikkilik tizimda quyidagi ko'rinishda

$$29 = 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0,$$

simvol ko'rinishda esa 11101 raqamlar ketma-ketligi bilan ifodalanadi.

Shunday qilib, ikkilik sanoq tizimida ixtiyoriy sonni 0 yoki 1 raqamlari yordamida yozish mumkin ekan. Bu sonlarni raqamli tizimda ifodalash uchun elektr kattalik (potensial yoki tok) jihatidan bir-biridan aniq farqlanuvchi, ikkita holatni egallashi mumkin bo'lgan qurilmaga ega bo'lish yetarli hisoblanadi. Bu kattaliklardan biriga 0 raqami, ikkinchisiga esa 1 raqami beriladi.

Hisoblash texnikasi qurilmalari bilan ishlashda 2, 8, 10, 16 asoslarga ega bo'lgan pozitsion sanoq tizimlari bilan to'qnash kelinadi. Raqamlarni bir sanoq tizimidan ikkinchisiga o'tkazish uchun quyidagi qoidalar mavjud:

1-qoida. Kichik asosga ega bo'lgan sanoq tizimidan katta asosga ega bo'lgan sanoq tizimiga o'tishda (3.1) ifodadan foydalaniladi.

Misol. $X_2 = 1011_2$ ikkilik sonini X_{10} o'nlik soniga o'tkazing.

Yechimi. (3.1) ga asosan $q = 2$ uchun

$$X_{10} = 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 13$$

ga ega bo'lamiz.

2-qoida. Kichik asosga ega bo'lgan sanoq tizimidan katta asosga ega bo'lgan sanoq tizimiga o'tish quyidagicha amalga oshiriladi:

a) birlamchi signalning butun qismi yangi sanoq tizimi asosiga bo'linadi;

b) birlamchi signalning kasr qismi yangi sanoq tizimi asosiga ko'paytiriladi.

Misol. 25, 12 o'nlik sonini ikkilik sanoq tizimiga o'zgartiring.

Yechimi.

1. Butun qismni o'zgartiramiz:

$$25 : 2 = 12 + 1 (X_0 = 1),$$

$$12 : 2 = 6 + 0 (X_1 = 0)$$

$$6 : 2 = 3 + 0 (X_2 = 0)$$

$$3 : 2 = 1 + 1 (X_3 = 1)$$

$$1 : 2 = 0 + 1 (X_4 = 1).$$

X_2 ikkilik sonining butun qismi bo'linishining so'nggi natijasidan boshlab yoziladi, ya'ni $25_{10} = 11001_2$ ko'rinishida bo'ladi.

2. Kasr qismini o'zgartiramiz:

$$0,12 \cdot 2 = 0 + 0,24 (X_{-1} = 0)$$

$$0,24 \cdot 2 = 0 + 0,48 (X_{-2} = 0)$$

$$0,48 \cdot 2 = 0 + 0,96 (X_{-3} = 0)$$

$$0,96 \cdot 2 = 1 + 0,92 (X_{-4} = 1)$$

$$0,92 \cdot 2 = 1 + 0,84 (X_{-5} = 1).$$

Aniqligi yuqori darajada bo'lgan natija olish uchun bu jarayonlar k marta takrorlanadi. 5 ta qiymatgacha aniqlikda bo'lgan ikkilik sonining kasr qismini yozish uchun ko'paytirishning birinchi natijasidan boshlab yoziladi, ya'ni $0,12_{10} = 0,00011_2$ ko'rinishida bo'ladi.

3. So'nggi natija $25,12_{10} \approx 11001,00011_2$ ko'rinishida bo'ladi.

Eslatma. Ikkilik sanoq tizimidan sakkizlik yoki o'n oltilik sanoq tizimiga o'tish ancha sodda usulda amalga oshirilishi mumkin. $8=2^3$, $16=2^4$ bo'lgani sababli, sakkizlik sanog'ida yozilgan sonning bir razryadini uchta razryad, o'n oltilik sanog'ida yozilgan bir razryadini to'rtta razryad ko'rinishida va aksincha ifodalash mumkin.

Misol. $X_2 = 101001_2$ ni X_8 ga o'zgartiring.

Yechimi. 3.1-javdalga mos ravishda $101_2 = 5_8$ va $001_2 = 1_8$ ga teng, shu sababli $X_8 = 51_8$ bo'ladi.

Misol. $X_2 = 10100110_2$ ni X_{16} ga o'zgartiring.

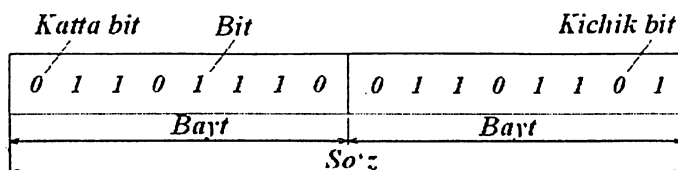
Yechimi. 3.1-javdalga mos ravishda $1010_2 = A_{16}$ va $0110_2 = 6_{16}$ ga teng, shu sababli $x_{16} = A6_{16}$ bo'ladi.

Raqamli texnikada bit, bayt, so'z kabi terminlar keng qo'llaniladi.

Ikkilik razryad, odatda, **bit** deb ataladi. Shunday qilib, 1001 soni 4 bitli ikkilik soni, 101110011 soni esa 9 bitli ikkilik soni hisoblanadi. Sonning chap chekkasidagi bit katta razryad (u katta vaznga ega), o'ng chekkasidagi bit kichik razryad (u kichik vaznga ega) hisoblanadi. 16 bitdan iborat bo'lgan ikkilik soni 3.2-rasmda keltirilgan.

Turli sanoq tizimlaridagi sonlarning natural qatori

O'nlik	O'n oltilik	Sakkizlik	Ikkilik
0	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	10
3	3	3	11
4	4	4	100
5	5	5	101
6	6	6	110
7	7	7	111
8	8	10	1000
9	9	11	1001
10	A	12	1010
11	B	13	1011
12	C	14	1100
13	D	15	1101
14	E	16	1110
15	F	17	1111
16	10	20	10000
17	11	21	10001
18	12	22	10010
19	13	23	10011
20	14	24	10100
21	15	25	10101



3.2-rasm. Bit, bayt, so'z.

Hisoblash va axborot texnikasi evolyutsiyasi qurilmalar orasida axborot almashinish uchun 8 bitli kattalikni yaratdi. Bunday 8 bitli kattalik **bayt** deb ataladi. Zamonaviy kompyuterlar va boshqaruv diskret tizimlarining yangi turlari axborotlarni 8, 16 yoki 32 bitlar yordamida (1, 2 va 4 bayt) soʻzlar bilan boʻlaklab qayta ishlashga ixtisoslashgan.

3.3. Mantiqiy konstantalar va oʻzgaruvchilar. Bul algebrasi operatsiyalari

Raqamli texnikada ikkita holatga ega boʻlgan, nol va bir yoki «rost» va «yolgʻon» soʻzlari bilan ifodalanadigan sxemalar qoʻllaniladi. Biror sonlarni qayta ishlash yoki eslab qolish talab qilinsa, ular bir va nollarning maʼlum kombinatsiyasi koʻrinishida ifodalanadi. Bu holda raqamli qurilmalar ishini taʼriflash uchun maxsus matematik apparat lozim boʻladi. Bunday matematik apparat **Bul algebrasi** yoki **Bul mantigʻi** deb ataladi. Uni irland olimi D. Bul ishlab chiqqan.

Mantiq algebrasi «rost» va «yolgʻon» koʻrinishdagi ikkita mantiq holati bilan ishlaydi. Bu shart «uchinchisi boʻlishi mumkin emas» qonuni deb ataladi. Bu tushunchalarni ikkilik sanoq tizimidagi raqamlar bilan bogʻlash uchun «rost» ifodani 1 (mantiqiy bir) belgisi bilan, «yolgʻon» ifodani 0 (mantiqiy nol) belgisi bilan belgilab olamiz. Ular Bul algebrasi konstantalari deb ataladi.

Umumiy holda, mantiqiy ifodalar har biri 0 yoki 1 qiymat oluvchi $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ mantiqiy oʻzgaruvchilar (argumentlar)ning funksiyasi hisoblanadi. Agar mantiqiy oʻzgaruvchilar soni n boʻlsa, u holda 0 va 1 lar yordamida 2^n ta kombinatsiya hosil qilish mumkin. Masalan, $n=1$ boʻlsa: $x=0$ va $x=1$; $n=2$ boʻlsa: $x_1x_2=00, 01, 10, 11$ boʻladi. Har bir oʻzgaruvchilar majmuyi uchun y 0 yoki 1 qiymat olishi mumkin. Shuning uchun n ta oʻzgaruvchini 2^n ta turli mantiqiy funksiyalarga, masalan, $n=2$ boʻlsa 16, $n=3$ boʻlsa 256, $n=4$ boʻlsa 65536 funksiyaga oʻzgartirish mumkin.

n oʻzgaruvchining ruxsat etilgan barcha mantiqiy funksiyalarini uchta asosiy amal yordamida hosil qilish mumkin:

— **mantiqiy inkor** (inversiya, EMAS amali), mos oʻzgaruvchi ustiga «—» belgisini qoʻyish bilan amalga oshiriladi;

– **mantiqiy qo‘shish** (dizyunksiya, YOKI amali), «+» belgisini qo‘yish bilan amalga oshiriladi;

– **mantiqiy ko‘paytirish** (konyunksiya, HAM amali), «·» belgisini qo‘yish bilan amalga oshiriladi.

Ifodalar ekvivalentligini ifodalash uchun «=» belgisi qo‘yiladi.

Mantiqiy funksiyalar va amallar turli ifodalanish shakllariga ega bo‘lishlari mumkin: algebraik, jadval, so‘z bilan va shartli grafik (sxemalarda). Mantiqiy funksiyalarni berish uchun mumkin bo‘lgan argumentlar majmuyidan talab qilinayotgan mantiqiy funksiya qiymatini berish yetarli. Funksiya qiymatlarini ifodalovchi jadval **haqiqiylik jadvali** deb ataladi.

3.2, 3.3 va 3.4-jadvallarda ikkita o‘zgaruvchi x_1, x_2 uchun mantiqiy amallarning algebraik va jadval ifodasi keltirilgan.

3.2-jadval

Inversiya amali haqiqiylik jadvali

x	$y = \bar{x}$
0	1
1	0

3.3-jadval

Dizyunksiya amali haqiqiylik jadvali

x_1	x_2	$y = x_1 + x_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

3.4-jadval

Konyunksiya amali haqiqiylik jadvali

x_1	x_2	$y = x_1 \cdot x_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Mantiqiy amallarni ko'rib chiqish uchun 3.5-jadvalda keltirilgan aksioma va qonunlar qatoridan foydalanamiz.

3.5-jadval

Mantiq algebrasining asosiy aksioma va qonunlari

Aksiomalar	$0 + x = x$ $0 \cdot x = 0$	(3.2)
	$1 + x = x$ $1 \cdot x = x$	(3.3)
	$x + x = x$ $x \cdot x = x$	(3.4)
	$x + \bar{x} = 1$ $x \cdot \bar{x} = 0$	(3.5)
	$\overline{\bar{x}} = x$	(3.6)
Kommutativlik qonunlari	$x_1 + x_2 = x_2 + x_1$ $x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1$	(3.7)
Assotsiativlik qonunlari	$x_1 + x_2 + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3)$ $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3)$	(3.8)
Distributlik qonunlari	$x_1 \cdot (x_2 + x_3) = (x_1 \cdot x_2) + (x_1 \cdot x_3)$ $x_1 + (x_2 \cdot x_3) = (x_1 + x_2) \cdot (x_1 + x_3)$	(3.9)
Duallik qonunlari (de-Morgan teoremasi)	$\overline{x_1 + x_2} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$ $\overline{x_1 \cdot x_2} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2$	(3.10)
Yutilish qonunlari	$x_1 + x_1 \cdot x_2 = x_1$ $x_1 \cdot (x_1 + x_2) = x_1$	(3.11)

Assotsiativlik qonunlaridan foydalanib, ko'p o'zgaruvchi ($n > 2$) ixtiyoriy mantiqiy funksiyasini ikkita o'zgaruvchi funksiyalar kombinatiyasi ko'rinishida ifodalash mumkin. $2^{2^2} = 16$ ikkita o'zgaruvchi funksiyalarining to'liq majmuyi 3.6-jadvalda keltirilgan. Funksiyalarning har biri x_1, x_2 o'zgaruvchilar ustidan amalga oshirish mumkin bo'lgan 16 ta mantiqiy amal kombinatsiyadan birini bildiradi va ular o'z nomi va shartli belgisiga ega.

Masalan, «Istisnoli YOKI» amalini bajarishda $x_1 \neq x_2$ bo'lgandagi $y_6 = 1$; $x_1 = x_2$ bo'lgandagi $y_6 = 0$ ikkita o'zgaruvchi uchun tengsizlik signali paydo bo'ladi. «Teng ma'noqlik» (ekvivalentlik) amalini baja-

rishda $x_1 = x_2$ bo'lgandagi $y_9 = 1$; $x_1 \neq x_2$ bo'lgandagi $y_9 = 0$ ikkita o'zgaruvchi uchun tenglik signali paydo bo'ladi. 3.6-jadvalning so'ngi ustunida taqiq, implikasiya (ingl. chiqarib olish) kabi murakkab funksiyalarni bajarish uchun u yoki bu amalni bajaruvchi mantiqiy elementlar nomlari keltirilgan.

3.6-jadval

Ikki o'zgaruvchi uchun to'liq mantiqiy funksiyalar majmuyi

x_1, x_2 qiymatlari va $y_0 \dots y_{15}$ fynksiyalar	Konyunksiya, dizyunksiya, inkor amallari orqali ifodalanishi	Amal- larning asosiy belgisi	Funksiya nomi	Mantiqiy element nomi
x_1 0 0 1 1				
x_2 0 1 0 1				
y_0 0 0 0 0	$y_0 = 0$		nol konstantasi	«nol» generatori
y_1 0 0 0 1	$y_1 = x_1 \cdot x_2$	$\wedge, \cap, \cdot$	konyunksiya, mantiqiy ko'paytirish	konyunktor, «YOKI»sxemasi
y_2 0 0 1 0	$y_2 = x_1 \cdot \bar{x}_2$	$x_1 = x_2$	x_2 bo'yicha taqiq	x_2 bo'yicha «EMAS» sxemasi
y_3 0 0 1 1	$y_3 = x_1$		x_1 bo'yicha tavgologiya	x_1 bo'yicha takrorlagich
y_4 0 1 0 0	$y_4 = \bar{x}_1 \cdot x_2$	$x_2 = x_1$	x_1 bo'yicha taqiq	x_1 bo'yicha «EMAS»sxemasi
y_5 0 1 0 1	$y_5 = x_2$		x_2 bo'yicha tavgologiya	x_2 bo'yicha takrorlagich
y_6 0 1 1 0	$y_6 = \bar{x}_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2$	$x_1 \oplus x_2$	istisnoli «YOKI», mantiqiy tengma'nolik emas	istisnoli «YOKI» sxemasi
y_7 0 1 1 1	$y_7 = x_1 + x_2$	$\vee, \cup, +$	dizyunksiya, mantiqiy qo'shish	dizyunktor, «HAM» sxemasi

x_1, x_2 qiymatlari va $y_0 \dots y_{15}$ fynksiyalar	Konyunksiya, dizyunksiya, inkor amallari orqali ifodalanishi	Amal- larning asosiy belgisi	Funksiya nomi	Mantiqiy element nomi
x_1 0 0 1 1				
x_2 0 1 0 1				
y_8 1 0 0 0	$y_8 = \overline{x_1 + x_2}$		dizyunksiya inkori, Pirs strelkasi, Vebb funksiyasi, EMAS- YOKI amali	Pirs elementi, «EMAS-YOKI» sxemasi («YOKI-EMAS»)
y_9 1 0 0 1	$y_9 = \bar{x}_1 \bar{x}_2 + x_1 x_2$	$x_1 \sim x_2$	ekivalentlik, tengma'nolik	solishtirish sxemasi
y_{10} 1 0 1 0	$y_{10} = \bar{x}_2$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_2$ inversiyasi	x_2 invertori
y_{11} 1 0 1 1	$y_{11} = x_1 + \bar{x}_2$		x_2 dan x_1 ga implikatsiya	x_2 dan implikator
y_{12} 1 1 0 0	$y_{12} = \bar{x}_1$	$\bar{x}_1$	x_1 inversiyasi	x_1 invertori
y_{13} 1 1 0 1	$y_{13} = \bar{x}_1 + x_2$		x_1 dan x_2 ga implikatsiya	x_1 dan implikator
y_{14} 1 1 1 0	$y_{14} = \overline{x_1 \cdot x_2}$	x_1/x_2	Sheffer shtrixi, «HAM- EMAS» amali	Sheffer elementi, «HAM-EMAS» sxemasi
y_{15} 1 1 1 1	$y_{15} = 1$		bir konstantasi	«bir» generatori

«Tengma'nolik», «Istisnoli YOKI», Pirs va Sheffer elementlari kabi yangi funksiyalar konyunksiya, dizyunksiya va inversiya amallari orqali ifodlangani e'tiborga loyiq. Bir funksiya argumentlarini boshqa funksiya argumentlari bilan almashtirish amali **superpozitsiya** deb ataladi. Superpozitsiyani bir necha marta qo'llash ikkita o'zgaruvchi funk-

siyasi asosidagi ixtiyoriy sondagi argumentlar uchun (ya'ni, turli murakkablikdagi) funksiyalar olish imkonini beradi. Mazkur funksiyalar superpozitsiyasi yordamida ifodalash mumkin bo'lgan ixtiyoriy ikkilik funksiya majmuyi **funksional to'liq majmua** (FTM) deb ataladi. FTM konyunksiya va inversiya, dizyunksiya va inversiya, taqiq va bir konstantasi, taqiq va inversiya, tengma'nollik emas va implikasiya hamda ikkita yakka funksiya — Pirs va Sheffer elementlarini hosil qiladi. Konyunksiya, dizyunksiya va inversiya funksiyalari majmuyi **asosiy funksional to'liq majmua** (AFTM) nomini olgan.

3.4. Mantiqiy elementlar va ularning parametrlari

Mantiqiy element (ME) deb, kirish signallari ustida aniq bir mantiqiy amal bajaradigan elektron qurilmaga aytiladi.

RIS yaratishda faqat FTM funksiyalarini amalga oshiruvchi MELar qo'llaniladi. Ular **negiz MELar** deb ataladi. Ko'p hollarda RISlar HAM-EMAS (Sheffer ME) yoki YOKI-EMAS (Pirs ME) funksiyalarini amalga oshiruvchi negiz MELar asosida tuziladi.

Raqamli (mantiqiy) elektron qurilmalar turli belgilariga ko'ra sinflanishi mumkin. Ishlash prinsipiga ko'ra barcha MELar ikki sinfga bo'linadi: kombinatsion va ketma-ketli.

Kombinatsion qurilmalar yoki **avtomatlar** deb, chiqish signallari kirish o'zgaruvchilari kombinatsiyasi bilan belgilanadigan, ikkita vaqt momentiga ega bo'lgan, **xotirasiz** mantiqiy qurilmalarga aytiladi. Kombinatsion qurilmalar yoki HAM-EMAS, YOKI-EMAS va boshqa alohida elementlar yordamida, yoki o'rta ISlar, yoki katta va o'ta katta IS tarkibiga kiruvchi ISlar ko'rinishda tayyorlanadi. Mazkur bob va keyingi boblarda faqat kombinatsion MELarni ko'rib chiqamiz.

Ketma-ketli qurilmalar yoki **avtomatlar** deb, chiqish signallari kirish o'zgaruvchilari kombinatsiyasi bilan belgilanadigan, hozirgi va oldingi vaqt momentlari uchun, ya'ni kirish o'zgaruvchilarining kelish tartibi bilan belgilanadigan, **xotirali** mantiqiy qurilmalarga aytiladi. Ketma-ketli qurilmalarga triggerlar, registrlar, schyotchiklar misol bo'la oladi.

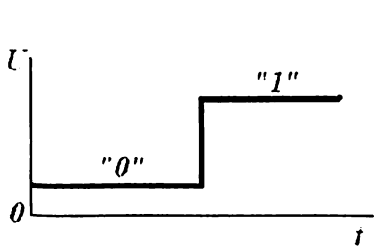
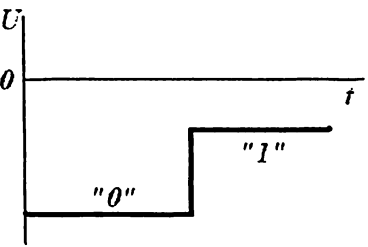
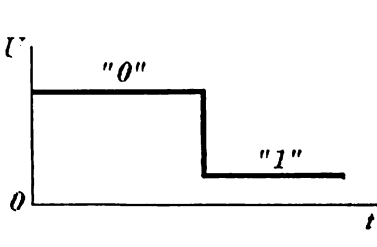
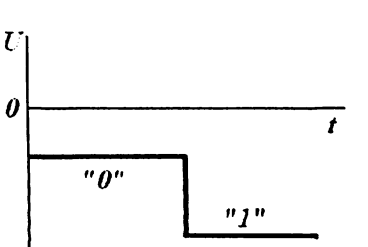
Ikkilik axborotni **ifodalash usuliga** ko'ra, qurilmalar **potensial** va **impuls raqamli** qurilmalarga bo'linadi. Potensial raqamli qurilmalarda

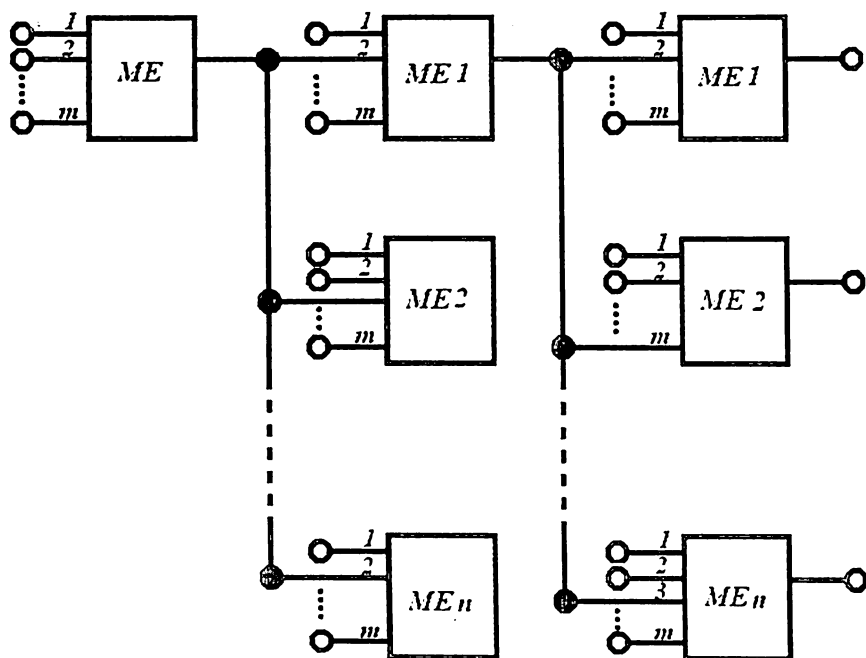
mantiqiy 0 va mantiqiy 1 qiymatlariga elektr potensiallarning umuman bir-biridan farqlanuvchi yuqori va past sathlari belgilanadi. Impuls raqamli qurilmalarda mantiqiy signal qiymatlariga (0 yoki 1) impulslar sxemasi chiqishida ma'lum davomiylik va amplitudaga ega bo'lgan impulsning mavjudligi, ikkinchi holatiga esa impulsning yo'qligi to'g'ri keladi.

Ko'rib o'tilgan kodlash usullarining har biri o'z afzalliklari va kamchiliklariga ega.

Raqamli qurilmalarning ko'pi potensial sinfga mansub. Mantiqiy signalni potensial usulda kodlashda potensial (kuchlanish)ning qay bir sathi mantiqiy 1 deb olinishi ahamiyatga ega emas. Bu kuchlanishning qutbi ham ahamiyatga ega emas. Shu sababli, amaliyotda yoki mantiq turi, yoki kuchlanish qutbi, yoki ham u, ham bu ko'rsatkichi bilan farqlanuvchi to'rtta kodlash variantidan biri uchrashi mumkin. Mantiqiy 0 va 1 larni har bir variantda kodlash usullari 3.7-jadvalda keltirilgan.

3.7-jadval

Mantiq turi	Kuchlanish manbayi qutbi	
	musbat	manfiy
To'g'ri		
Teskari		



3.3-rasm. Mantiqiy zanjir ko'rinishi.

Mantiqiy o'zgaruvchini potensial kodlash usulida ixtiyoriy mantiqiy funksiya qayta ulagichlar yoki elektron kalitlar asosida yaratiladi.

Elektron kalit yoki **ventil** deb, shunday elektron qurilmaga aytiladi-ki, uning kirishdagi boshqaruv kuchlanishi qiymatiga bog'liq holda ikkita turg'un holatdan birida: uzilgan yoki ulangan bo'lishi mumkin. Sodda kalitlar asosida ancha murakkab sxemalar tuzish mumkin: mantiqiy, triggerli va boshqalar.

Berilgan ixtiyoriy murakkablikdagi mantiqiy amalni bajarish uchun kirish signallari har biri n ta ME bilan yuklangan va m ta axborot kirishlariga ega bo'lgan ketma-ket ulangan MElar zanjiridan o'tishi kerak (3.3-rasm). O'KISlarda bir vaqtda ishlayotgan MElar soni bir necha mingtaga yetishi mumkin.

Bu vaqtda, har bir ME o'z funksiyasini bexato bajarishi va o'zgar-tirishlarni buzilishlarsiz ta'minlashi kerak. RISlar va raqamli quril-malarni tayyorlash, sozlash va ishlatish jarayonlarida MElarni har

birini alohida moslashtirish va sozlash taqiqlanigani sababli, MElarning o'zi quyidagi fundamental xossalarga ega bo'lishi lozim.

1. **Kirish va chiqish bo'yicha 0 va 1 signal sathlarining mosligi.** Faqat bu shart bajarilganda zanjirning ishga layoqatligi sathlarni moslashtirish uchun maxsus elementlar qo'llamasdan amalga oshirilishi mumkin.

2. **Kirish va chiqish bo'yicha yetarli yuklama qobiliyati.** Bu shart ME signallarni bir necha kirishlardan olganda va bir vaqtning o'zida bir necha MElarni boshqarishida lozim bo'ladi. MEning yuklama qobiliyati odatda chiqish bo'yicha tarmoqlanish koeffitsiyenti K_{TARM} va kirish bo'yicha birlashish koeffitsiyenti K_{BIRL} bilan ifodalanadi. K_{BIRL} ME kirishiga ulanishi mumkin bo'lgan bir turdagi MElar soniga, K_{TARM} esa element chiqishiga ulanishi mumkin bo'lgan bir turdagi MElar soniga teng. Bu vaqtda signal shakli va amplitudasi MEning bexato ishini kafolatlashi kerak.

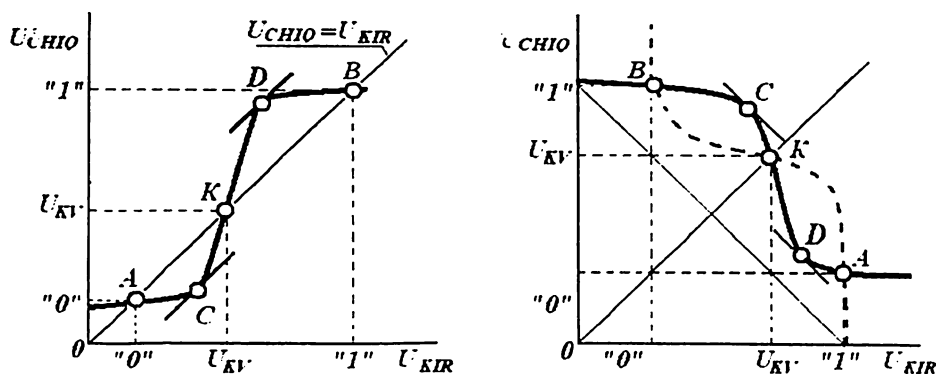
3. **Signalni shakllantirish (kvantlash) qobiliyati.** RIS ishlashi uchun signal har bir MEdan o'tganda standart (asimptotik) amplituda va davomiylikka ega bo'lishi lozim.

4. **Xalaqitbardoshlik.** Xalaqitbardoshlik deganda, MEning xalaqitlarga ta'sirchan emasligi tushuniladi. Bu vaqtda xalaqitlar ma'lum belgilangan darajadan ortmasligi kerak. Aks holda, ME bir holatdan ikkinchisiga yolg'on asosda o'tishi mumkin.

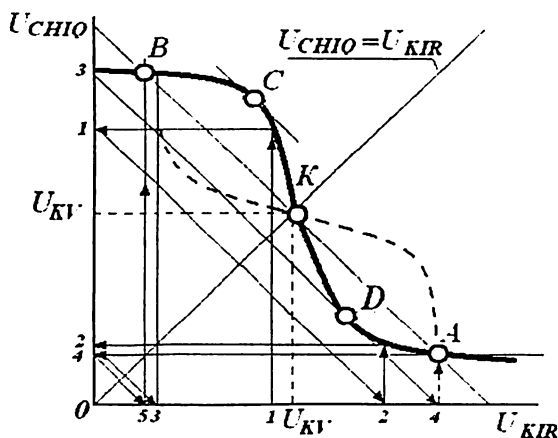
MEning parametrlari va shakllantirish xossalari ularning statik va dinamik xarakteristikalaridan aniqlanadi.

MEning asosiy statik xarakteristikasi bo'lib, chiqish kuchlanishining kirish kuchlanishiga bog'liqligi hisoblanadi. Bu xarakteristika **amplituda uzatish xarakteristikasi** (AUX) deb ataladi. AUX ko'rinishi MEda qo'llanilgan elektron kalit turiga bog'liq bo'ladi. Kichik kirish signallariga yuqori chiqish signallari mos keladigan element **inverslaydigan**, kichik kirish signallariga kichik chiqish signallari mos keladigan element **inverslamaydigan** deb ataladi. Xarakteristikaning ikkila turi 3.4-rasmda keltirilgan.

Uzatish xarakteristikasi, ME qanday qilib mantiqiy 0 va 1 standart singnallar, ularning amplituda qiymatlari hamda xalaqitbardoshligi shakllanishini kuzatish imkonini beradi. RISlarda asosan inverslaydigan MElar qo'llanilgani sababli, uning AUXsini ko'rib chiqamiz (3.5-rasm).



3.4-rasm. MEning amplituda uzatish xarakteristikalari.



3.5-rasm. Inverslaydigan elementlar zanjirida
0 va 1 signallarni kvantlash.

Uzatish xarakteristikasida 5 ta muhim nuqtalar – K , A , B , C , D ni belgilash mumkin. K nuqtaga ME xarakteristikasining birlik kuchaytirish chizig‘i ($K_U=1$) $U_{CHIQ}=U_{KIR}$ bilan kesishgan nuqta mos keladi. Bu nuqta **kvantlash nuqtasi** deb ataladi. Bu nuqta holati **kvantlash kuchlanishi** deb ataluvchi kirish (chiqish) kuchlanishi qiymati bilan belgilanadi. A va B nuqtalar ME xarakteristikasining birlik kuchaytirish

chizig'iga perpendikular bo'lgan K nuqta orqali o'tuvchi to'g'ri chiziq bilan kesishgan K joylarida olinadi. C va D nuqtalarda kuchlanish bo'yicha differensial uzatish koeffitsiyenti $K_U = dU_{CHIQ}/dU_{KIR} = -1$ ga teng bo'ladi.

Aytaylik, zanjirdagi birinchi ME kirishiga ixtiyoriy amplitudali signal U_1 berildi. Bu signal $U_1 < U_{KV}$ shartni bajaradi. Mantiqiy zanjir orqali bu signal tarqalganda uning amplitudasi o'zgarishini kuzatamiz. Ko'rinib turibdiki, ikkinchi elementdagi kirish kuchlanishi U_2 , uchinchi U_3 va h.k. bo'ladi (3.5-rasm).

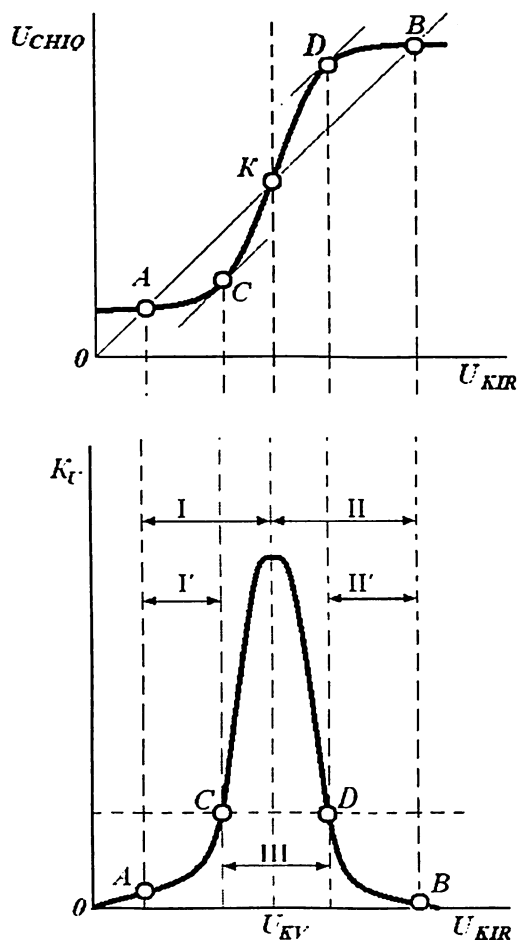
Kirish kuchlanishlarining $U_1, U_2, U_3, \dots$ (U_{CHIQ} o'qi bo'ylab) ketma-ketlik qiymatlari A nuqtaga mos keladigan qiymatga tez yaqinlashadi. Xuddi shunday, $U_0 > U_{KV}$ shartda ketma-ketlikning kirish va chiqish kuchlanishlari qiymatlari B nuqtaga mos keladigan qiymatga tez yaqinlashadi. Demak, signallar 2–3 ta ketma-ket ulangan MELar zanjiridan o'tganda ikkita aniq belgilangan diskret (**asimptotik**) amplituda qiymatiga ega bo'lgan signallarga aylanadi.

MEning xalaqitbardoshlik sohasini aniqlash uchun 3.6-rasmga murojaat qilamiz.

Chiqish mantiqiy 1 ga mos kelgan $U^1_{CHIQ} = U^1$ asimptotik sathga A nuqta, chiqish mantiqiy 0 ga mos kelgan $U^0_{CHIQ} = U^0$ sathga esa B nuqta mos keladi. Kirish mantiqiy 0 ga mos kelgan $U^0_{KIR} = U^0$ asimptotik sathga A nuqta, kirish mantiqiy 1 ga mos kelgan $U^1_{KIR} = U^1$ sathga esa B nuqta mos keladi. $U_{MO} = U^1_{CHIQ} - U^0_{KIR} = U^1 - U^0$ ayirma esa **chiqish sathlarining mantiqiy o'zgarishi** deb ataladi. C nuqtaga mos keluvchi kirish kuchlanishi **bo'sag'aviy kuchlanish** $U^0_{BO'S}$, D nuqtaga mos keluvchi kirish kuchlanishi esa **bo'sag'aviy kuchlanish** $U^1_{BO'S}$ deb ataladi.

Kombinatsion qurilmalar uchun kirishda ruxsat etilgan xalaqitlar darajasi kvantlash kuchlanishi bilan mos keladigan mantiqiy 0 va mantiqiy 1 larning asimptotik qiymatlari orasidagi farq ko'rinishida beriladi. Shunga muvofiq, mantiqiy 0 va mantiqiy 1 signallari xalaqitlari darajalari farqlanadi. Ular quyidagi munosabatlardan aniqlanadi:

$$U^0_{XALKomb} = |U_{KV} - U_B|, \quad U^1_{XALKomb} = |U_{KV} - U_A|.$$



3.6-rasm. ME xalaqitbardoshlik sohalari.

Ketma-ket qurilmalarda ruxsat etilgan xalaqit amplitudasi, kombi-natsion qurilmalarnikiga nisbatan kichik bo‘ladi va u quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$U_{\chi AL Ketma-ket}^0 = |U_{BO \cdot S}^0 - U_B|, \quad U_{\chi AL Ketma-ket}^1 = |U_{BO \cdot S}^1 - U_A|.$$

Normativ-texnik hujjatlarda barcha RIS turlari (kombinatsion va ketma-ketli) uchun quyidagi yagona **statik parametrlar** tizimi va ularni aniqlash qoidalari o‘rnatilgan:

– mantiqiy 0 va mantiqiy 1 chiqish va kirish kuchlanishlari (U^0 , U^1);

– mantiqiy 0 va mantiqiy 1 chiqish va kirish bo'sag'aviy kuchlanishlari ($U^0_{BO'S}$, $U^1_{BO'S}$);

– mantiqiy 0 va mantiqiy 1 chiqish va kirish toklari (I^0_{KIR} , I^1_{KIR} , I^0_{CHIQ} , I^1_{CHIQ});

– mantiqiy 0 va mantiqiy 1 holatlardagi iste'mol toklari (I^0_{IST} , I^1_{IST});

– iste'mol quvvati (R_{IST});

– mantiqiy 0 ga o'zgarish soha bo'sag'asi ($U^0_{BO'S}$);

– mantiqiy 1 ga o'zgarish soha bo'sag'asi ($U^1_{BO'S}$);

– minimal mantiqiy o'zgarish ($U_{MO} = U^1 - U^0$).

Bundan tashqari, statik parametrlarga mantiqiy 0 va mantiqiy 1 larning xalaqitbardoshligi hamda kirish bo'yicha birlashish koeffitsiyenti K_{BIRL} va chiqish bo'yicha tarmoqlanish koeffitsiyenti K_{TARM} ham kiradi.

MElarning asosiy **dinamik parametrlariga**, kirish va chiqish impuls-lari ossilogrammalaridan aniqlanadigan quyidagi parametrlar kiradi:

$t^{1,0}$ – mantiqiy 1 holatidan mantiqiy 0 holatiga o'zgarish vaqti;

$t^{0,1}$ – mantiqiy 0 holatidan mantiqiy 1 holatiga o'zgarish vaqti;

$t^{1,0}_{kech}$ – ulanishning kechikish vaqti – kirish impulsining 0,1 va chiqish impulsining 0,9 sathlari bilan aniqlangan vaqt intervali;

$t^{0,1}_{kech}$ – uzilishning kechikish vaqti – kirish impulsining 0,9 va chiqish impulsining 0,1 sathlari bilan aniqlangan vaqt intervali;

$t^{1,0}_{tarq.kech}$ – ulanganda signal tarqalishining kechikish vaqti – kirish va chiqish impulslarining 0,5 sathlari bilan aniqlangan vaqt intervali;

$t^{0,1}_{tarq.kech}$ – uzilganda signal tarqalishining kechikish vaqti – kirish va chiqish impulslarining 0,5 sathlari bilan aniqlangan vaqt intervali.

Ketma-ket ulangan MElar signallarini vaqt bo'yicha kechikishi hisoblanganda signal tarqalishining o'rtacha kechikishidan foydalaniladi (ma'lumotnomalarda keltiriladi):

$$\tau_{tarq.o'rt.kech} = 0,5(t^{0,1}_{tarq.kech} + t^{1,0}_{tarq.kech}).$$

MElarning **integral parametrlari** texnologiya va sxemotexnikaning rivojlanish darajasini aks ettiradi. Asosiy integral parametrlar bo'lib ulanish ishi A_{QU} va integratsiya darajasi N hisoblanadi.

Qayta ulanish ishi o'rtacha iste'mol quvvatining o'rtacha qayta ulanish vaqtiga ko'paytmasi orqali aniqlanadi:

$$A_{QU} = P_{IST} \cdot \tau_{larq.o'rt.keh}.$$

Texnologiyaning rivojlanish darajasiga ko'ra, qayta ulanish ishi har o'n yilda bir yarim darajaga kamayib bormoqda. Shu sababli, bu parametrdan IS turlarini solishtirishda foydalanish mumkin. Masalan, bir xil $A_{QU} = \text{const}$ da element yoki yuqori iste'mol quvvatida IS yuqori tezkorlikka, aksincha, yetarlicha kichik tezkorlikda juda kichik iste'mol quvvatiga ega bo'ladi.

3.5. Bipolar tranzistorli elektron kalit sxemalar

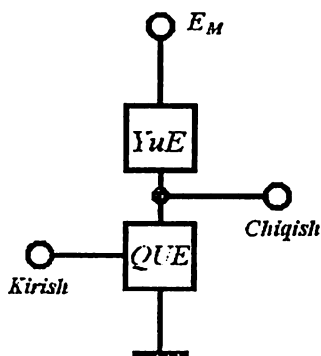
Impulsi va raqamli (mantiqiy) qurilmalarda elektron kalit asosiy element hisoblanadi. Elektron kalit yuklama zanjiriga ulanib, tashqi boshqaruv signali ta'sirida davriy ravishda ulash va uzishni amalga oshiradi. Bu vaqtda kalitning chiqishidagi signal bir-biridan yetarlicha farqlanadigan ikkita diskret qiymatga ega bo'ladi. Bu xossa uni Bul algebrasi funksiyalarini amalga oshiruvchi asosiy ME sifatida qo'llash imkonini beradi.

Kalit ikki elementdan tashkil topgan: qayta ulanuvchi (QUE) va yuklama (YuE) elementlar. Kalit (invertor) tuzilishining umumlashgan sxemasi 3.7-rasmda keltirilgan.

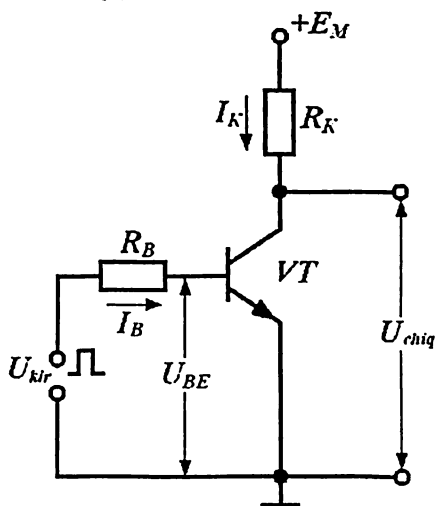
QUE ikki turg'un: ulangan va uzilgan holatga ega. Bu shartlarga bipolar va maydoniy tranzistorlarning ba'zi turlari mos keladi. YuE manbadan iste'mol qilinayotgan tokni cheklash uchun xizmat qiladi.

Kalit turini tanlashda IMSlarda asosiy mezon bo'lib, texnologik muvofiqlik hisoblanadi. Texnologik muvofiqlik deganda, turli sxema elementlarini yagona texnologik jarayonda tayyorlash imkoni tushuniladi. Bir xil elementlardan tashkil topgan sxemalar afzal sanaladi. Yuklama va qayta ulanish elementi MDYA-tranzistorlardan tashkil topgan kalitlar yuqori texnologik va universal hisoblanadi.

BTli sodda kalit sxemasi 3.8-rasmda keltirilgan. U UE sxemada ulangan BTda yasalgan kuchaytirgich kaskadidan iborat. Kuchlanish manbayi E_H va R_K ko'rinishdagi yuklama qarshiligidan tashkil topgan



3.7-rasm. Elektron kalit (invertor) tuzilma sxemasi.



3.8-rasm. BT asosidagi sodda elektron kalit sxemasi.

zanjir boshqariluvchi zanjir hisoblanadi. Boshqaruvchi (baza) zanjir boshqaruv signali manbayi U_{klr} va unga ketma-ket ulangan qarshilik R_B dan tarkib topgan.

BT elektron kalit shartiga ko'ra berk rejimda yoki to'yinish rejimida ishlashi kerak.

Kirishga manfiy qutbli signal berilsagina tranzistor berk rejimga o'tadi. Ma'lumki, berk rejimda tranzistor toklari

$$I_E \approx 0, \quad I_K = I_{K0}, \quad I_B = -I_{K0}$$

ga teng bo'ladi. Bu yerda «-» belgisi baza toki aktiv rejimdagi baza toki yo'nalishiga teskari yo'nalishda oqib o'tishini bildiradi. Kalit rejimida I_{K0} toki **goldiq tok** deb ataladi. U juda kichik bo'lganligi sababli, chiqish kuchlanishi U_{chiq} manba kuchlanishi E_M qiymatiga yaqin bo'ladi.

$$U_{CHIQ} = E_M - I_{K0}R_K \approx E_M,$$

ya'ni manba zanjiridan yuklama uzilishiga mos keladi (kalit uzilgan).

Agar U_{KIR} musbat qutbga va yetarliicha katta qiymatga ega bo'lsa, u holda tranzistor aktiv yoki to'yinish rejimiga o'tadi, ya'ni ochiladi (kalit ulangan). Yuklama zanjirida

$$I_K = (E_M - U_{KE})/R_K$$

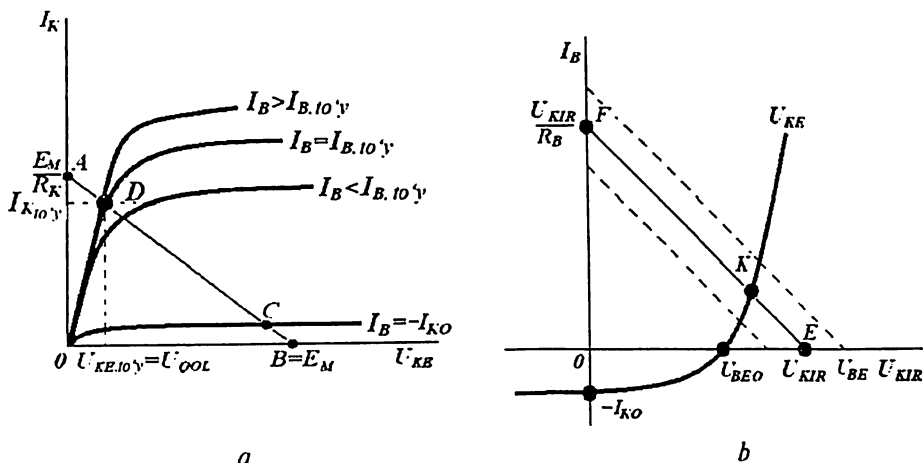
tok oqib o'tadi, kalit chiqishidagi kuchlanish esa $U_{CHIQ} = U_{KE} = U_{QOL}$ ga teng bo'lib, **qoldiq kuchlanish** deb ataladi. To'yinish rejimidagi qoldiq kuchlanish U_{EB} va U_{KB} lar ayirmasiga teng va doim aktiv rejimdagi qoldiq kuchlanish qiymatidan kichik bo'ladi. Shu sababli, kalit sifatida tranzistorning aktiv rejimda ishlashi ma'qul emas, chunki unda qo'shimcha $P_K = I_K U_{KE}$ quvvat sochiladi va sxema FIKi pasayadi. Kremniyli tranzistorlar uchun to'yinish rejimida $U_{QOL} \approx 0,25$ V ga teng, ya'ni nolga yaqin.

Ko'rilayotgan kalit invertor ekanligi yaqqol ko'rinib turibdi, ya'ni kirish signalining manfiy qiymatlardan musbat qiymatlarga ortishi, chiqish kuchlanishi U_{KE} ni E_M dan qoldiq kuchlanishgacha kamayishiga olib keladi.

Umuman aytganda, bu kalit — invertor to'g'ri mantiqdagi musbat signallar bilan ishlashga mo'ljallangan. Shuning uchun bu yerda $U_{KIR} < 0$ shart bajarilmaydi. Lekin kremniyli $p-n$ o'tish musbat kuchlanishda ham, agar $U_{KIR} < 0,6$ V bo'lsa, deyarli berk qoladi. Bu vaqtda tranzistorning uchala elektrod toklari odatda mikroamper ulushlaridan ortmaydi.

Kalitning asosiy statik parametrlari bo'lib, qoldiq tok va qoldiq kuchlanish hisoblanadi. BTning kalit rejimi katta diapazondagi tok va kuchlanish impulslarining o'zgarishi bilan ta'minlanadi (katta signal rejimi). Shu sababli, kalitning statik parametrlari 3.6-bandda keltirilgan grafo-analitik usulni qo'llash yordamida aniqlanadi. Buning uchun kalitda qo'llanilayotgan tranzistorning chiqish (3.9, *a*-rasm) va kirish (3.9, *b*-rasm) xarakteristikallari kerak bo'ladi.

Chiqish xarakteristikalar oilasida B nuqta (bu yerda $U_{KE} = E_M$) va A nuqta (bu yerda $I_K = E_K/R_K$) larni tutashtirib, AB yuklama chizig'ini o'tkazamiz. Unda D nuqta to'yinish chegarasini, C nuqta esa $U_{KB} = 0$ bo'lganda boshlanadigan berk rejim chegarasini beradi.



3.9-rasm. Tranzistorning statik xarakteristikalarida kalit ishchi nuqtalarining joylashishi.

Aytilganlardan kelib chiqqan holda, kalit rejimda ishlash uchun tranzistorli kaskad ishchi nuqtasi yoki D nuqtadan chaproqda, yoki C nuqtadan o'ngroqda joylashishi kerak. Bu nuqtalar oralig'ida kaskad tranzistorning to'yinish rejimidan berk rejimga o'tish holatida yoki aksincha bo'ladi. Tranzistor bu holatda qanchalik kam vaqt tursa, kalitning tezkorligi shuncha yuqori bo'ladi. O'tish holatlari noasosiy zaryad tashuvchilar bazadan chiqarib yuborish vaqti va baryer sig'imining qayta zaryadlanish jarayonlari bilan aniqlanadi.

Statik rejimda R_b qarshilikning berilgan qiymatlarida baza tokining U_{KIR} kuchlanishiga bog'liqligini kirish xarakteristikasi (3.9, b -rasm) yordamida aniqlash mumkin. Buning uchun EF yuklama chizig'ini o'tkazish kerak. E nuqta $U_{BE} = U_{KIR}$, F nuqta esa U_{KIR}/R_b qiymati bilan aniqlanadi. Kirish xarakteristikasi bilan yuklama chizig'i kesishgan K nuqta baza toki va U_{BE} kuchlanishining ishchi qiymatlarini aniqlaydi. U_{KIR} ning vaqt bo'yicha o'zgarishi EF to'g'ri chiziqning parallel siljishiga va, mos ravishda, K nuqtaning siljishiga olib keladi (shtrix chiziqlar).

D nuqta bilan aniqlanadigan to'yinish rejimiga o'tish uchun kirish toki I_B ni **bazaning to'yinish toki** deb ataluvchi $I_{B, to'y}$ qiymatgacha

o'shish kerak. Bu vaqtda unga mos keluvchi kollektor toki **kollektorning to'yinish toki** $I_{K.TO\cdot Y}$ kuchlanish esa **to'yinish kuchlanishi** $U_{KE.TO\cdot Y}$ yoki **qoldiq kuchlanish** $U_{KE.TO\cdot Y} = U_{QOL} = E_M - I_{K.TO\cdot Y} R_K$ deb ataladi. Ma'lumki,

$$I_{K.TO\cdot Y} = \beta I_{B.TO\cdot Y},$$

bu yerda $\beta = h_{21E}$ — baza tokining integral uzatish koeffitsiyenti. Taxminan $I_{K.TO\cdot Y} \approx E_M / R_K$ deb olish mumkin. U holda

$$I_{B.TO\cdot Y} \approx E_M / \beta R_K.$$

Baza toki $I_{B.TO\cdot Y}$ qiymatidan ortishi mumkin. Baza tokining bunday ortishini **to'yinish koeffitsiyenti** deb atash qabul qilingan:

$$S_{TO\cdot Y} = I_B / I_{B.TO\cdot Y}.$$

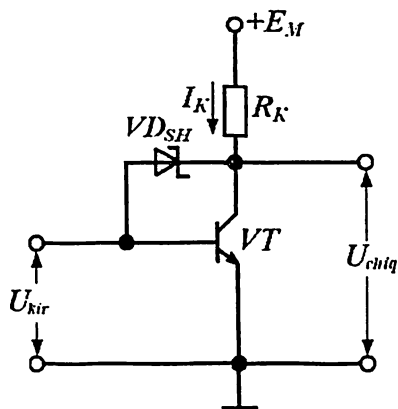
$S_{TO\cdot Y}$ ning ortishi U_{CHIQ} ning kamayishiga olib keladi, ya'ni BT chiqish zanjirida sochilayotgan quvvat kamayadi. Ammo $S_{TO\cdot Y}$ ning keragidan ortiq ortishi BT kirish zanjirida sochilayotgan quvvatning sezilarli ortishiga olib keladi. Hisoblar $S_{TO\cdot Y} = 1,5...2,0$ qiymatlar optimal bo'lishini ko'rsatdi.

Ko'rib o'tilgan sodda kalit sxemasida BT ish rejimi bilan bog'liq bo'lgan katta inersiyalikka ega. Tranzistor to'yinish rejimiga o'tayotganda bazada ko'p sonli noasosiy zaryad tashuvchilarning to'planishi uchun vaqt talab qilinadi. Tranzistor to'yinish rejimidan berk rejimga o'tayotganda esa bu zaryad tashuvchilarning to'planishi va, ayniqsa, ularning bazadan chiqarib yuborilishi tabiatan juda sekin kechadigan jarayondir.

Berilgan $I_{B.TO\cdot Y}$ qiymatida noasosiy zaryad tashuvchilarni bazadan chiqarib yuborish vaqtini kamaytirish maqsadida nochiziqli TAl kalit qo'llaniladi. Unda tranzistor aktiv rejim bilan to'yinish rejimi chegarasida ishlaydi (3.10-rasm).

BTning to'g'ri siljigan KO'ni shuntlovchi Shottki diodi yordamida nochiziqli TA amalga oshiriladi. Tranzistor berk bo'lganda, kollektorning potentsiali bazaga nisbatan musbat bo'ladi, demak, diod teskari ulangan bo'ladi va kalit ishiga ta'sir ko'rsatmaydi. Kalit ulanganda

kollektor potentsiali bazaga nisbatan kamayadi, diod ochiladi va undan kirish tokining bir qismi oqib o'tadi, ya'ni tranzistorning baza toki $I_{B,TO'y}$ qiymatiga tengligicha qoladi. Tranzistor aktiv rejim bilan to'yinish rejimi chegarasida ishlaydi. Bazada zaryad tashuvchilar to'planishi sodir bo'lmaydi, natijada kalit ulanishidagi no-asosiy zaryad tashuvchilarni bazadan chiqarib yuborish vaqti nolga teng bo'ladi. Mos ravishda, kalit uzilishida ortiqcha zaryadlarni chiqarib yuborish bosqichi mavjud bo'lmaydi.

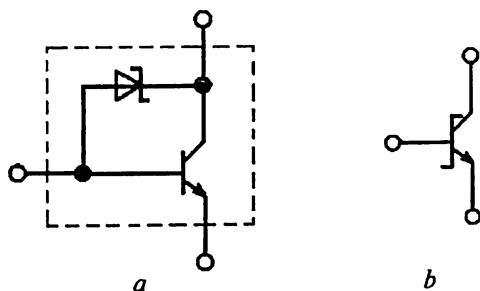


3.10-rasm. Shottki diodi bilan shuntlangan BTli kalit sxemasi.

Lekin bu holat, ochiq dioddagi kuchlanish pasayishi ochiq KO'dagi kuchlanish pasayishidan kichik bo'lgandagina haqiqiydir. Shuning uchun TAni hosil qilish uchun Shottki diodi qo'llaniladi. Shottki diodining ochiq holatdagi kuchlanish pasayishi $U_{DSH} = 0,3 \text{ V}$ ga teng bo'lib, ochiq kremniyli o'tishdagi kuchlanish pasayishi $U_{KB} = 0,7 \text{ V}$ dan kichikdir.

Bundan tashqari, to'g'ri kuchlanish $U_{KB} = 0,3 \text{ V}$ ga teng bo'lganda tranzistor berk hisoblanganligi uchun rezistor R_B ga bo'lgan talab ham yo'qoladi.

TA zanjirida yagona texnologik bosqichda hosil qilingan kremniyli tranzistor va Shottki diodi kombinatsiyasi asosida yaratilgan **Shottki baryerli tranzistori** nomini olgan (3.11, *a*-rasm) tranzistor qo'llanilgan bo'lib, uning shartli belgilanishi 3.11, *b*-rasmida keltirilgan.



3.11-rasm. Shottki baryerli tranzistori (*a*) va uning shartli belgilanishi (*b*).

3.6. Maydoniy tranzistorli elektron kalit sxemalar

Yuklama va qayta ulanish elementlari bir turdagi MDYA-tranzistorlarda hosil qilingan kalitlar texnologik qulay va universal hisoblanadi. Shu sababli, ular KIS va bevosita aloqali O'KISlarda keng qo'llaniladi. KIS yana QUE bo'lib, kanali induksiyalangan MDYA-tranzistorda, YuE esa o'tkazuvchanlik turi bir xil bo'lgan kanali qurilgan MDYA-tranzistorda hosil qilingan kalitlar ham qo'llaniladi. Bunday kalitlar yordamida nohiziqli, kvazihiziqli va tokni barqarorlovchi yuklamali invertorlar hosil qilish mumkin.

Bir turdagi va komplementar MDYA-tranzistorlar asosida tayyorlangan elektron kalitlarning statik parametrlarini ko'rib chiqamiz.

Bir turdagi MDYA-tranzistorli elektron kalit. n kanali induksiyalangan MDYA-tranzistorli bunday kalit sxemasi 3.12-rasmida keltirilgan.

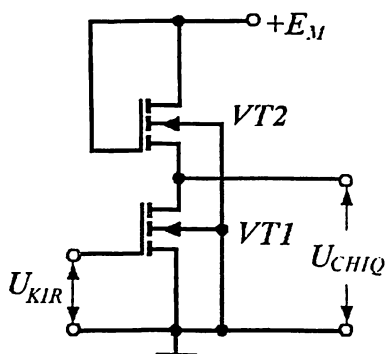
Zatvori stok bilan ulangan VT2 tranzistor YuE hisoblanadi. Bunday tranzistor dinamik yuklama deb ataladi. VT2 tranzistorning VAXi quyidagi mulohazalardan kelib chiqadi. Zatvor stok bilan ulanganligi sababli, $U_{S1} < (U_{Z12} - U_{02})$ tengsizlik bajariladi. Bu yerda U_{02} - VT2 tranzistorning bo'sag'aviy kuchlanishi bo'lib, zatvordagi kuchlanish U_{02} dan ortib ketsagina unda kanal induksiyalanadi va tranzistor ochiladi. Demak, tranzistor to'yinish rejimida bo'ladi.

Bu rejimda VT2 tranzistorning VAXi quyidagi ko'rinishda yoziladi

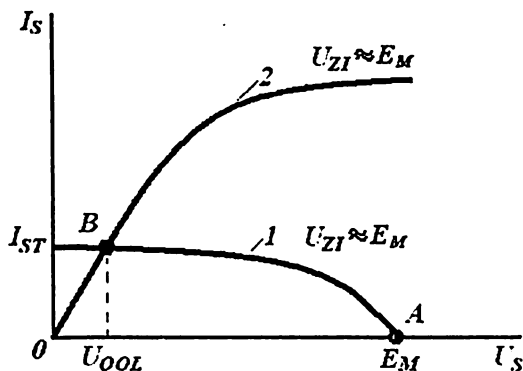
$$I_{S2} = \frac{B_2}{2} (U_{Z12} - U_{02})^2. \quad (3.12)$$

BTdagi kabi, MDYA-tranzistorlarda bajarilgan kalitlar ham statik rejimda qoldiq tok (berk holatda) va qoldiq kuchlanish (ochiq holatda) bilan ifodalanadi.

Kalit quyidagicha ishlaydi. Agar VT1 ning zatvoriga $U_{KIR} = U_{Z11} < U_{01}$ kuchlanish berilsa (U_{01} VT1 ning



3.12-rasm. Dinamik yuklamali MDYA-tranzistorli kalit.



3.13-rasm. Stok xarakteristikasida ishchi nuqtalarning joylashishi.

bo'sag'aviy kuchlanishi), bu tranzistor berk bo'ladi. Berk holatda kalit orqali VT1 ning stok $p-n$ o'tishidan teskari tokka teng bo'lgan qoldiq tok I_{QOL} oqib o'tadi. Uning qiymati $I_{QOL}=10^{-9}-10^{-10}$ A dan katta emas. Shuning uchun chiqish kuchlanishi o'zining maksimal qiymatiga yaqin bo'ladi: $U_{CHIQ} = E_M$ (3.13-rasmdagi A nuqta). Qoldiq kuchlanish U_{QOL} ni esa grafo-analitik va analitik usulda aniqlaymiz. Buning uchun VT1 tranzistorning $U_{ZI} = E_M$ (2-egri chiziq) bo'lganda o'lchangan stok xarakteristikasining bo'lishi va unda VT2 tranzistorning (3.12) formula yordamida aniqlangan yuklama chizig'ini o'tkazish kerak (1-egri chiziq). Chiqish xarakteristikasining yuklama chizig'i bilan kesishgan B nuqtasi qoldiq kuchlanish U_{QOL} va to'yinish toki $I_{STO'Y}$ ning ishchi qiymatlarini belgilaydi.

Kalit to'yinish tokini $U_{SI2} = E_M$ deb faraz qilib, analitik usulda (3.12) formuladan aniqlash mumkin:

$$I_{ST} = \frac{B_2}{2} (E_M - U_{02})^2.$$

I_{ST} tokni VT1 ning kanal qarshiligi $R = 1/[B_1 (U_{ZI1} - U_{01})]$ ga ko'paytirib va $U_{ZI1} = E_M$ deb faraz qilib, qoldiq kuchlanishni aniqlash mumkin:

$$U_{QOL} = \frac{B_2}{2 B_1} \frac{(E_M - U_{02})^2}{E_M - U_{01}}. \quad (3.13)$$

(3.13) formuladan ko‘rinib turibdiki, qoldiq kuchlanish qiymatini kamaytirish uchun $B_2 \ll B_1$ bo‘lishi kerak. Eslatib o‘tamiz, tranzistorning nisbiy tiklik qiymati B birinchi navbatda kanal kengligi Z ni uning uzunligi L ga nisbati (Z/L) bilan aniqlanadi. Bundan, qayta ulanuvchi tranzistorning Z/L qiymati imkon qadar katta, yuklama vazifasini bajaruvchi tranzistorniki esa imkon boricha kichik bo‘lishi kerakligi kelib chiqadi. Texnologik jihatdan kalitlarda $B_1/B_2 = 50 \div 100$ qiymat ta‘minlanadi. Kalitdagi statik rejim va o‘tish jarayonlarining tahlili ko‘rsatadiki, tezkorligi va iste‘mol quvvati nuqtayi nazaridan $E_M = (2 \div 3)U_0$ kuchlanish manbai optimal hisoblanadi. Mazkur shartlarda qoldiq kuchlanish $50 \div 100$ mV oralig‘ida yotadi.

Komplementar MDYA-tranzistorli elektron kalit. Bir turdagi MDYA-tranzistorlarda hosil qilingan kalitlarning kamchiligi shundaki, tranzistor ochiq bo‘lgan statik rejimda kalitdan doim tok oqib o‘tadi. Komplementar, ya‘ni o‘tkazuvchanlik kanallari turi qarama-qarshi bo‘lgan MDYA-tranzistorlar asosida tayyorlangan elektron kalit bu kamchilikdan holi (3.14-rasm). QUE sifatida n -kanali induksiyalangan MDYA-tranzistor ($VT1$), YuE sifatida esa p -kanali induksiyalangan MDYA-tranzistor ($VT2$) qo‘llanilgan. QUE sifatida n -MDYA-tranzistorning asosi kuchlanish manbayining musbat qutbiga, p -MDYA-tranzistorning asosi esa sxemaning umumiy nuqtasiga ulanadi. Kirish signali ikkala tranzistorning zatvorlariga bir vaqtda beriladi. Sxema quyidagicha ishlaydi: agar $U_{KIR} = 0$ bo‘lsa, u holda $U_{ZI1} = 0$ bo‘ladi, demak, n -MDYA-tranzistorda kanal induksiyalanmaydi, ya‘ni tranzistor berk holatda bo‘ladi. Bu vaqtda $VT2$ ning zatvorida $U_{ZI2} = U_{KIR} - E_M = -E_M < 0$ bo‘ladi.

Bu vaqtda chiqish kuchlanishi manba kuchlanishiga deyarli teng bo‘ladi:

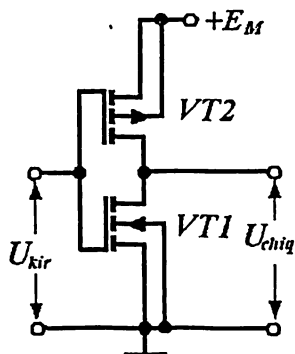
$$U_{CHIQ} = E_M - |U_{SI2}| \approx E_M.$$

$U_{KIR} = E_M$ bo‘lsin. U holda $U_{ZI1} > U_{01}$, $U_{ZI2} = 0$ bo‘ladi. Demak, n -MDYA-tranzistorda kanal induksiyalanadi, ya‘ni $VT1$ ochiq, p -MDYA-tranzistor, ya‘ni $VT2$ esa berk bo‘ladi.

Bu vaqtda umumiy zanjirdagi tok avval-gidek I_{QOL} ga teng bo'ladi. Kalit chiqishidagi qoldiq kuchlanish (3.13) ifodadan, indekslar o'rnini almashtirib aniqlanadi:

$$U_{QOL1} = \frac{I_{QOL2}}{B_1(E_M - U_{01})} \approx (2 \div 3) \text{ mkV}.$$

Qoldiq kuchlanishning kichikligi komple-mentar kalitlarning afzalligi hisoblanadi. Sxemaning ikkala holatda ham quvvat iste'mol qilmasligi bu kalitlarning yana bir afzal-ligi hisoblanadi.



3.14-rasm. KMDYA tranzistorli elektron kalit (inverter).

? Nazorat savollari

1. Pozitsion sanoq tizimi nopozitsion sanoq tizimdan nimasi bilan farq-lanadi?
2. Raqamlarni bir sanoq tizimidan ikkinchisiga o'tkazish qanday amalga oshiriladi?
3. Mantiq algebrasidagi Bul konstantasi va o'zgaruvchisi deb nimaga aytiladi?
4. Bul algebrasining asosiy amallarini sanab bering. Ular haqiqiylik jadvallari va algebraik ifodalar orqali qanday ifodalanadi?
5. Mantiq algebrasi funksiyalari ishiga so'z bilan; haqiqiylik jadvali yordamida; algebraik ifodalar yordamida misollar keltiring.
6. Qanday amal funksiya superpozitsiyasi deb ataladi?
7. Funksional to'liq majmua deb nimaga aytiladi?
8. Funksional to'liq majmua ikkita o'zgaruvchidan qanday funksiyalar hosil qiladi?
9. Qanday funksiyalar majmuasi asosiy funksional to'liq majmua deb ataladi?
10. Raqamli tizimlarda qanday fizik kattalik mantiqiy o'zgaruvchilarning mumkin bo'lgan qiymatlari bilan namoyon qilinadi?
11. Diskret kuchlanishni kodlashning ikki usulini aytib bering.

12. Potensial kodlash usulida mantiqiy signalni kodlashning to'rtta usulini aytib bering.
13. MENing uzatish xarakteristikasi deb nimaga aytiladi?
14. Uzatish xarakteristikalarining qanday turlarini bilasiz?
15. Raqamli sxemalarning uzatish xarakteristikalariga qanday talablar qo'yiladi?
16. Mantiqiy o'zgaruvchilarning statik parametrlarini aytib bering.
17. Mantiqiy o'zgaruvchilarning dinamik parametrlarini aytib bering.
18. Tranzistorli elektron kalitlar qanday parametrlar bilan xarakterlanadi?
19. Elektron kalit qanday elementlardan tashkil topgan?
20. Elektron kalit yasashda qanday qurilmalardan foydalaniladi?
21. RISlarda qo'llaniladigan kalit turlarini aytib bering.
22. Shottki baryerli tranzistorlarida hosil qilingan kalitlar oddiy BTlarda bajarilgan kalitlarga nisbatan qanday afzalliklarga ega?

IV BOB. MANTIQUIY INTEGRAL SXEMALARNING NEGIZ ELEMENTLARI

4.1. Umumiy ma'lumotlar

Mantiqiy integral sxema yoki **mantiqiy element (ME)** deb, ikkilik sanoq tizimida berilgan axborotlarni mantiqiy o'zgartirishga mo'ljallangan elektron sxemalarga aytiladi.

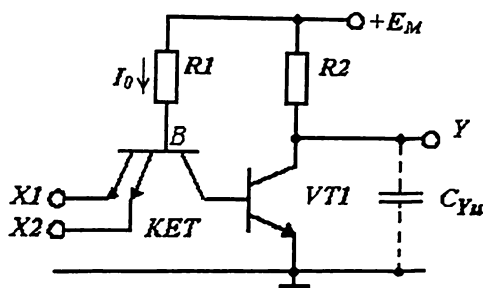
MElar sanoatda murakkablik darajasiga ko'ra turli seriyalar ko'rinishida ishlab chiqariladi. Seriya deganda, turli funksiyalar bajara oladigan, yagona konstruktiv-texnologik usulda bajarilgan va birgalikda ishlashga mo'ljallangan IMS majmuyiga aytiladi. Bunga qaramasdan, har bir seriyada ushbu seriyadagi boshqa sxemalarga asos hisoblanadigan negiz MElar (invertorlar, HAM-EMAS ME, YOKI-EMAS ME, triggerlar, schyotchiklar, registrlar va h.k.) mavjud.

Hozirgi vaqtda RISlarni loyihalashda quyidagi negiz MElar keng qo'llaniladi: tranzistor-tranzistorli mantiq; emitterlari bog'langan mantiq; integral-injeksion mantiq; bir turdagi MDYA-tranzistorli mantiq; komplementar MDYA-tranzistorli mantiq.

Negiz MElarning sxema variantlarini **tranzistorli mantiqlar** deb atash qabul qilingan. Mantiq turi qo'llanilgan elektron kalit va elementlar orasida o'rnatilgan bog'liqlik bilan aniqlanadi. Sanab o'tilgan MElarning hech biri tezkorlik, iste'mol quvvati, joylanish zichligi va texnologikligi bilan sxemotexnikaning barcha talabalariga to'liq javob bera olmaydi. Shuning uchun IS ishlab chiqarishda u yoki bu negiz sxemani tanlash buyurtmachining texnik talabalari va ishlatish sharoitlariga bog'liq.

4.2. Tranzistor-tranzistorli mantiq elementlari

Tranzistor-tranzistorli mantiq (TTM) elementlar keng tarqalgan va ko'p ishlab chiqariladigan RIS hisoblanadi.



4.1-rasm. Sodda invertorli TTM ME sxemasi.

Sodda invertorli TTM sxemasi 4.1-rasmida keltirilgan.

Element ikkita mantiqiy kirishga ega bo'lib, u ko'p emitterli tranzistor (KET) asosida hosil qilingan tok qayta ulagichi va VT1 tranzistorli elektron kalit (invertor)dan tuzilgan. KET TTM turdagi MElarining o'ziga xos komponenti hisoblanadi. U umumiy baza va umumiy kollektorga ega bo'lgan tranzistorli tuzilmadir. Standart sxemalarda kirishlar (emitterlar) soni $K_{BIRL} \leq 8$. TTM elementlar tarkibidagi KET invers rejimda yoki to'yinish rejimida ishlashi mumkin. KET tuzilmasi va yasash texnologiyasi shundayki, tok bo'yicha kuchaytirishning invers koeffitsiyenti α , juda kichik bo'lib, $0,01 \div 0,05$ oralig'ida yotadi.

BT asosidagi TTM va boshqa turdagi MElar ishlash mexanizmini ko'rib chiqishdan avval, tahlil uchun zarur bo'lgan elementar nisbatlarga to'xtalib o'tamiz.

MElarda tranzistorlar kalit rejimida ishlashini inobatga olgan holda, tahlilda ochiq yoki berk $p-n$ o'tish tushunchasi qo'llaniladi. Eslatib o'tamiz, agar o'tishning to'g'ri toki $I = 10^{-3} \div 10^{-4}$ A oralig'ida yotsa, bu diapazon **normal tok rejimi** deb ataladi. Toklarning bu oralig'ida kremniyli o'tishda kuchlanish U atigi $0,70 \div 0,68$ V ga o'zgaradi. Tokning boshqa $I = 10^{-5} \div 10^{-6}$ A diapazonida (bu diapazon **mikro-rejim** deb ataladi) kuchlanishning qiymatlari mos ravishda $0,57 \div 0,52$ V oralig'ida yotadi.

Shunday qilib, tok diapazonlariga ko'ra to'g'ri kulchanishlar biroz farqlanishi mumkin, lekin ularni doimiy deb hisoblash va to'g'ri

o'tish parametrlari deb qarash mumkin. Uning uchun maxsus U^* belgilash kiritiladi. Xona temperaturasida normal rejimda $U^*=0,7$ V, mikrorejimda esa $U^*=0,5$ V. Agar to'g'ri kuchlanish U^* kuchlanishdan atigi 0,1 V ga kichik bo'lsa, **o'tish deyarli berk** hisoblanadi, chunki bu kuchlanishda toklar nominaldan o'nlab marta kichik bo'ladi.

Yuqori tezkorlikka erishish uchun TTM tranzistorlari normal tok rejimida ishlaydilar. Shuning uchun sxemaning statik rejimini tahlil qilishda quyidagi soddalashtirishlar qabul qilingan, agar:

- $p-n$ o'tish orqali to'g'ri tok oqib o'tayotgan bo'lsa, u holda o'tish ochiq va undagi kuchlanish $U^*=0,7$ V;
- $p-n$ o'tish kuchlanishi teskari yoki U^* dan kichik bo'lsa, u holda o'tish berk va oqib o'tayotgan tok nolga teng;
- tranzistor to'yinish rejimida bo'lsa, u holda kollektor-emitter oraliqidagi kuchlanish $U_{KE.TO.Y}^*=0,3\div 0,4$ V.

TTM elementning ish mexanizmini ko'rib chiqamiz. Ulanish sxemasiga binoan, KET bazasining potentsiali (B) doim uning kollektori potentsialidan yuqori bo'ladi. Demak, KET KO' doim to'g'ri siljigan bo'ladi. Tranzistor EO'lariga kelsak, ular emitter potentsiallarining umumiy shinaga nisbatan ulanishiga bog'liq.

Deylik, barcha kirishlar ($X1$ va $X2$) potentsiallari kuchlanish manbayi potentsialiga teng bo'lgan maksimal qiymatga ega bo'lsin. Bunda mantiqiy 1 sath shakllanadi, ya'ni $U'=E_M$ ekanligi ravshan. U holda barcha EO'lar teskari yo'nalishda ulangan bo'ladi, chunki baza potentsiali (B) $R1$ dagi kuchlanish pasayishi hisobiga doim emitter potentsialidan past bo'ladi. KET tarkibidagi parallel ishlayotgan tranzistorlar invers ulangan bo'ladi. Aytib o'tilganidek, kichik bo'lganligi sababli, hisoblashlarda emitter tokini nolga teng deb olinadi, I_0 tok esa ketma-ket ulangan KETning kollektori va $VT1$ ning EO' orqali oqib o'tadi. I_0 qiymati $R1$ rezistor qarshiligi qiymati bilan cheklanadi va

$$I_0 = (E_M - 2U^*)/R1. \quad (4.1)$$

$R1$ shunday tanlanadiki, KET toki, demak, $VT1$ baza toki tranzistorning to'yinish shartiga mos kelsin. Bunda $VT1$ tranzistor ochiladi va chiqish kuchlanishi $U_{KE.TO.Y}^*$ ga teng bo'lib qoladi. Bu esa mantiqiy

nol sathga teng, ya'ni $U^{10} = U_{KETO}^* \leq 0,4$ V. Demak, barcha kirishlarga mantiqiy 1 berilsa, chiqishda mantiqiy 0 hosil bo'ladi.

Endi aksincha holatni ko'rib chiqamiz. Barcha kirishlar ($X1$ va $X2$) potentsiali nolga teng yoki shu qiymatga yaqin bo'lsin: $U_X = U^0 = 0$. U holda barcha EO'lar KO' kabi to'g'ri yo'nalishda siljigan bo'ladi. Barcha tranzistorlar to'yinish rejimiga o'tadi. Bu holatda I_0 tok ham ochiq EO'lardan, ham KETning ochiq KO'idan oqib o'tishi mumkin. Tok KET EO'lardan oqib o'tayotganda bu o'tishlardagi kuchlanish $+0,7$ V ga teng bo'ladi. Parallel ulangan EO'larga ega KETni ikki marta katta hajmdagi yagona tranzistor deb qarash mumkin.

KET KO'dan oqib o'tayotgan tok deyarli nolga teng, chunki unga $VT1$ ning EO'i ketma-ket ulangan. Tok bu zanjirdan oqib o'tishi uchun KET baza potentsiali $2U^* = 1,4$ V ga teng bo'lishi kerak. Demak, $VT1$ ochiq, emitter va kollektorning qoldiq toklarini nolga teng deb hisoblash mumkin. Chiqish kuchlanishi esa E_M ga yaqin bo'ladi, ya'ni mantiqiy 1 sathi $U^1 = E_M$ ni beradi. Bu vaqtda I_0 quyidagicha aniqlanadi:

$$I_0 = (E_M - U^*)/R1.$$

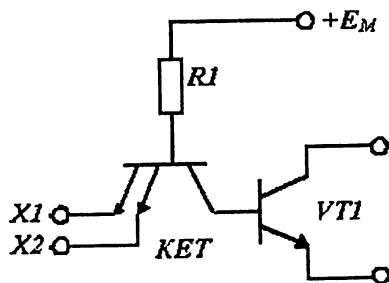
Agar faqat bitta kirishga mantiqiy 0, qolganlariga mantiqiy 1 berilsa, $VT1$ berk bo'ladi. Shunday qilib, biror kirishga mantiqiy 0 berilsa, chiqishda mantiqiy 1 olinar ekan. Faqat barcha kirishlarga mantiqiy 1 berilsagina, chiqishda mantiqiy 0 ga ega bo'lamiz. Shunday qilib, mazkur sxema 2HAM-EMAS mantiqiy amalini bajaradi, bu yerda 2 raqami ME kirishlari sonini bildiradi.

Endi, uncha katta bo'lmagan yuklama qobiliyatiga va nisbatan kichik tezkorlikka ega bo'lgan TTM negiz elementni ko'rib chiqamiz. Bu quyidagilar bilan shartlangan: ochiq holatda $VT1$ ning to'yinish rejimi ta'minlanishi uchun $R2$ qarshilik qiymati **katta** (bir necha kOm) bo'lishi kerak. U holda tranzistorning berk holatdagi mantiqiy 1 sathi yuklama qarshiligi Z_{yu} ga kuchli ravishda bog'liq bo'lib qoladi. Z_{yu} deganda mazkur ME chiqishiga ulangan n ta xuddi shunday ME larning kompleks qarshiligi tushuniladi. Mantiqiy 0 holatida ($VT1$ tranzistor ochiq) KET-VT1 tizimning tok uzatish koeffitsiyenti qiymati

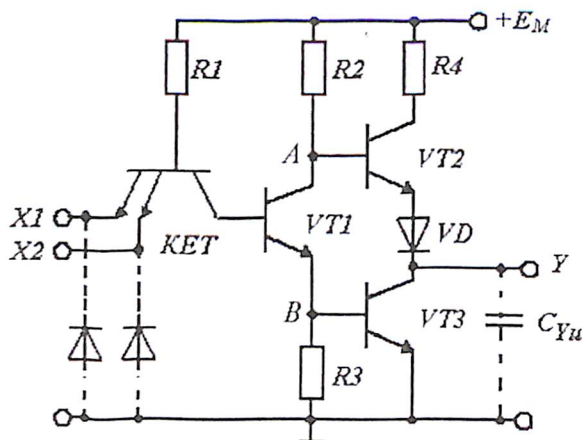
kichik bo'lganligi sababli, chiqish kuchlanishi sathi ham yuklama qarshiligi qiymatiga qaysidir ma'noda bog'liq bo'ladi. Sababi, KET invers ulanishida tok uzatish koeffitsiyenti α , 1 dan kichik bo'ladi. Aktiv rejimda esa 1 ga yaqin. Shu sababli, bu turdagi ME yuklama qobiliyati kichik hisoblanadi.

ME tezkorligi kirish va chiqish kuchlanishlari o'sib borish va kamayish frontlari tikligi bilan aniqlanadigan dinamik parametrlar bilan belgilanadi. Har MENi RC tizim deb qarash, u holda undagi kuchlanish tikligining o'zgarishi asosan sig'im C_{yu} ning zaryadlanish va razryadlanish vaqti davomiyligi bilan aniqlanadi. Yuklama sig'imi $C_{yu}p-n$ o'tishlar, elektr bog'lanishlar, chiqishlar va h.k.lar sig'imlarining umumiy yig'indisidir. Demak, tezkorlikni tahlil qilganda ME chiqishiga ulangan boshqa elementni RC -yuklama deb qarashimiz kerak. Sxemada (4.1-rasm) ME kirishi mantiqiy 0 holatdan mantiqiy 1 holatga o'tayotganda $VT1$ tranzistor berkiladi. Shuning uchun yuklama sig'imi $R2$ rezistor orqali zaryadlanadi. $R2$ ning qiymati katta bo'lganligi sababli, zaryadlanish vaqti doimiysi $\tau_Z = R_2 \cdot C$ sezilarli bo'ladi. ME chiqish sathi U^0 bo'lganda yuklama sig'imi to'yingan $VT1$ tranzistor orqali razryadlanadi. Tok uzatish koeffitsiyenti α , uncha katta bo'lmaganligi sababli, razryadlanish vaqti doimiysi τ_p ham kichik qiymatga ega bo'ladi.

Ko'rib o'tilgan kamchiliklar tufayli, 4.1-rasmda keltirilgan sxema keng qo'llanilmaydi. Bu sxema asosan tashqi indikatsiya elementlarini ulash uchun ochiq kollektorli mikrosxemalarda (4.2- rasm) qo'llaniladi.



4.2-rasm. TTM seriyadagi YOKI bo'yicha kengaytirish sxemasi.



4.3-rasm. Murakkab invertorli TTM ME sxemasi.

Murakkab invertorli TTM sxemasi (4.3-rasm) amaliyotda keng qo'llaniladi. U ikki taktli chiqish kaskadi ($VT2$ va $VT3$ tranzistorlar, $R4$ rezistor va VD diod), boshqariluvchi faza ajratuvchi kaskad ($VT1$ tranzistor, $R2$ va $R3$ rezistorlar)dan tashkil topgan.

Faza tushunchasi (yunoncha paydo bo'lish)ga binoan $VT1$ tranzistor berk va uning kollektorida (A nuqta) yuqori potensial paydo bo'lishi natijasida $VT2$ tranzistor ochiladi. $VT1$ tranzistorning ochiq holatida uning emitterida (B nuqta) yuqori potensial paydo bo'ladi va u $VT3$ ni ochadi. Demak, $VT2$ va $VT3$ tranzistorlar galma-gal (turli taktlarda) ochiladi. Shuning uchun chiqish kaskadi ikki taktli deb ataladi.

Sxemaning ish tartibini ko'rib chiqamiz. Oddiy invertorli TTM kabi, bu sxemada ham biror kirishga mantiqiy 0 berilsa $VT1$ tranzistor berk bo'ladi. Natijada $VT2$ tranzistor ochiladi, $VT3$ tranzistor esa berkiladi. Yuklama sig'imi C_{yu} esa 4.1-sxemadan farqli ravishda, endi kichik qarshilikka (150 Om) ega rezistor $R4$, ochiq turgan $VT2$ tranzistor va VD diod orqali zaryadlanadi. Rezistor $R4$ tok cheklagichi bo'lib, u chiqish tasodifan umumiy nuqtaga ulanganda o'zaro ketma-ket ulangan $VT2$ tranzistor va VD diod orqali oqib o'tuvchi tok qiymati ortib ketishidan himoyalaydi. Boshqa tomondan, chiqish kaskadining qayta ulanish vaqtida, ya'ni $VT2$ tranzistor endi ochilayotgan, $VT3$ tranzistor esa hali berkilib ulgurmagan vaqt momentida kuchli qisqa

impulslar paydo bo'lishi oldini oladi. Element qayta ulanish vaqtida yuklama sig'imi C_{YH} to'yingan VT3 tranzistorning kichik qarshiligi orqali razryadlanadi. Bu bilan elementning yuqori tezkorligi ta'minlanadi.

VD diod vazifasini tushuntiramiz. Diod yo'q deb faraz qilaylik. Bu holda element qayta ulanish vaqtida, ya'ni VT3 tranzistor ochiq bo'lganda VT2 tranzistor berk bo'lishi, ya'ni U_{BEVT2} kuchlanish qiymati 0,7 V dan kichik bo'lishi kerak. U_{BEVT2} ni aniqlaymiz. Buning uchun element chiqish qismi kuchlanishi uchun quyidagi munosabatlarni yozib olamiz: $U_{BVT2} = U_{BEVT3} + U_{KE.TO.Y.VT1} = 1 \text{ V}$; $U_{EVT2} = U_{KE.TO.Y.VT3} = 0,3 \text{ V}$. U holda $U_{BEVT2} = U_{BEVT3} + U_{KE.TO.Y.VT1} - U_{KE.TO.Y.VT3} = 0,7 \text{ V}$.

Bu vaqtda VT2 tranzistor ochiq bo'ladi. Shunday qilib, VD diod bo'lmaganda VT2 tranzistor ochiq, U^{0}_{CHIQ} kuchlanish esa noaniq bo'ladi. Sxemaga VD diod ulanganda ochiq VT3 tranzistor kuchlanishi $U_{BEVT2} + U_{VD} > U_{BEVT3} + U_{KE.TO.Y.VT1} - U_{KE.TO.Y.VT3}$; $U_{BEVT2} + U_{VD} > U_{BEVT3}$ bo'ladi. Bu qiymatlarni mos o'rinlarga qo'yib $1,4 \text{ V} > 0,7 \text{ V}$ ga ega bo'lamiz. Shunday qilib, VD diod kuchlanish sathini siljituvchi element vazifasini bajaradi va chiqishda kuchlanish U^0 bo'lganda, VT2 tranzistori aniqlanishini ta'minlaydi.

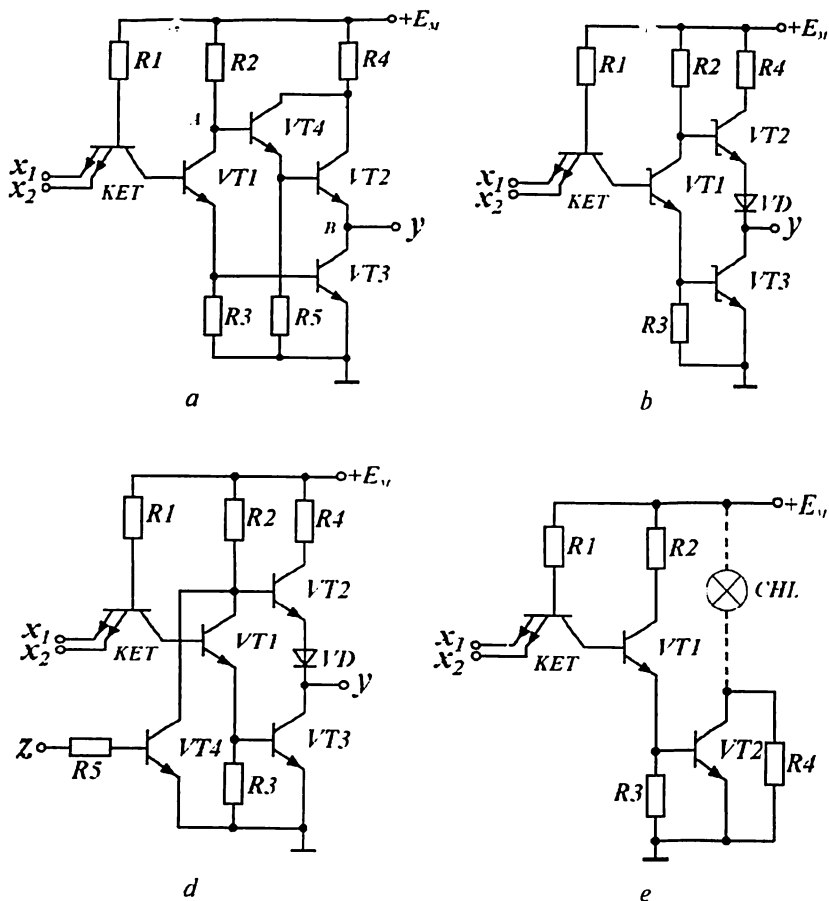
Yuklama qobiliyati yoki K_{TARM} **koeffitsiyenti** VT3 tranzistorning maksimal kollektor tokidan kelib chiqqan holda aniqlanadi. Bu vaqtda

$$K_{TARM} = I_{Kmax} / I_{kir}^0$$

deb yozish mumkin. Bu yerda I_{kir}^0 — IMS ma'lumotnomasidan olinadigan parametr. $I_{Kmax} = E_M / R_4 = 30 \text{ mA}$ bo'lgani sababli, $I_{kir}^0 = 1,35 \text{ mA}$ bo'lganda $K_{TARM} = 22$.

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, 4.3-rasmda kirish zanjirida punktir bilan tasvirlangan diodlar **aks-sadoga qarshi diodlar** deb ataladi va muvofiqlashmagan liniya oxirlaridan qaytgan manfiy signallar (xalaqitlar) amplitudasini cheklash uchun qo'llaniladi. Bu signallar ikkita $p-n$ o'tish (diodning $p-n$ o'tishi va KET emitter o'tishi) oralig'ida bo'linib, MENi yolg'on qayta ulanishdan saqlaydi.

Hozirgi vaqtda TTM negiz elementlarining ko'p sonli modifikatsiyalari yaratilgan. Har bir modifikatsiya parametrlari yoki qo'shimcha imkoniyatlari bilan ajralib turadi.



4.4-rasm. TTM MEning turli sxemalarining variantlari.

Masalan, chiqish kaskadida tok bo'yicha katta kuchaytirish koefitsiyentiga ega bo'lgan tarkibiy tranzistorlar qo'llanishi yuklama qobiliyatini oshiradi (4.4, *a*-rasm). Sxemaning ishlash prinsipi o'zgar-maydi. Tarkibiy tranzistor (*VT4* va *VT2* tranzistorlar) *VT3* invertorning dinamik yuklamasini hosil qiladi. Masalaning bunday yechilishi barcha rezistorlar nominallarini ikki barobar kichraytirishga va bu bilan tez-korlik va yuklama qobiliyatini oshirishga imkon beradi. *A* va *B* nuqtalar oralig'ida ikkita ketma-ket ulangan tranzistorlarning *p-n* o'tishlarining mavjudligi esa *VD* diod bo'lishini talab qilmaydi.

Shottki diodi va tranzistorlarini qo'llash yordamida (4.4, *b*-rasm) TTM elementining tezkorligi oshirilgan (TTMSH). Ular tranzistor bazasida ortiqcha zaryadlarni chiqarib yuborish vaqtini sezilarli kamaytirish yoki umuman yo'qotishga imkon beradi. Natijada impuls kamayib borish vaqtidagi kechikish kamayadi. Lekin tezkorlik ortishi bilan TTMSH statik parametrlari yomonlashadi. Xususan, bo'sag'aviy kuchlanish qiymati kamayadi va U^0_{CHIQ} ortadi, bu esa, o'z navbatida, oddiy sxemalarga nisbatan xalaqitbardoshlikni pasaytiradi. TTMSH KISlarning negiz elementi hisoblanadi.

Ikki yo'nalishli axborot shinalari yoki magistral qurilmalar yaratishda bir necha sxema chiqishlarini birlashtirish talab qilinadi. Agar elementlar ulanayotganda, ulardan birining chiqishida past U^0_{CHIQ} sath, ikkinchisida esa yuqori U^1_{CHIQ} sath bo'lsa, u holda ketma-ket ulangan $VT2$ va $VT3$ tranzistorlarning biridan sizilish toki $I_{siz} \approx (EM - U^*)/R_y$ oqib o'tadi. Bu tok statik rejimdagi manba tokidan ancha katta. Bu vaqtda iste'mol qilinayotgan quvvat keskin ortadi va sxema ishdan chiqishi mumkin, chunki $VT2$, $VT3$ tranzistorlar va VD diod uzoq muddat katta tok oqib o'tishiga mo'ljallanmagan. Bu holat yuzaga kelmasligi uchun chiqishi uchta holatga ega bo'lgan: ikki holat – bu oddiy $U_{CHIQ} = U^0$ va $U_{CHIQ} = U^1$ sathlar, uchinchi esa element yuklamadan butkul uziladigan «cheksiz katta» chiqish qarshiligi holatini ta'minlaydi, ya'ni tok iste'mol qilmaydigan va uzatmaydigan TTM elementlar yaratilgan.

Buning uchun murakkab invertorli sxemaga qo'shimcha $VT4$ tranzistor va $R5$ rezistor ulanadi (4.4, *d*-rasm). Boshqaruvchi kirish Z ga U^0_{KIR} kuchlanish berilsa, $VT4$ tranzistor berk bo'lib, sxema oddiy element kabi ishlaydi. Boshqaruvchi kirish Z ga U^1_{KIR} kuchlanish berilsa, $VT4$ tranzistor to'yinish rejimiga o'tadi, $VT1$, $VT2$ va $VT3$ tranzistorlar esa berkiladi (uchinchi holat). Bu uchinchi holat mantiqiy kirishlardagi axborot signallari kombinatsiyasiga bog'liq emas. Bunday elementlar chiqishlarini umumiy yuklamaga ulash mumkin, chunki ixtiyoriy vaqt momentida yuklamaga faqat bitta element «xizmat ko'rsatadi», qolgan elementlar esa uchinchi holatda bo'ladi.

TTMning boshqa seriyalari tarkibida maxsus elementlar bo'lishi mumkin. Ular bu seriya imkoniyatlarini oshirish uchun mo'ljallangan. Ulardan birini ko'rib chiqamiz.

Ochiq kollektorli HAM-EMAS elementi. Bu sxema mantiqiy sxemalarni tashqi va indikatorli qurimlar, masalan, nurlanuvchi diodli indikator, cho'g'lanuvchi lampalar, rele o'ramlari va h.k. bilan muvofiqlashtirishga mo'ljallangan.

Bu sxemaning yuqorida ko'rib o'tilgan elementdan (4.3-rasm) farqi shundaki, chiqish kaskadi yuklama rezistorisiz bir taktli sxemada bajarilgan.

4.4. *e*-rasmda ochiq kollektorli HAM-EMAS ME da indikatsiya elementi sifatida cho'g'lanuvchi lampa (CHL) qo'llanilgan sxema ko'rsatilgan. CHL VT2 tranzistorning kollektor zanjiridagi yuklama hisoblanadi va mantiqiy holatlarning vizual indikator sifatida xizmat qiladi. Agar barcha kirishlarga U^1 sath berilsa, indikator nurlanadi, agar bir yoki bir nechta kirishga U^0 sath berilsa, indikator nurlanmaydi. Shuntlovchi R4 rezistor VT2 tranzistorni himoyalaydi, aks holda cho'l-g'am simining qarshiligi sovuq holatda kichik bo'ladi va kollektor tokining ortishi kuzatiladi.

Ma'lumot. Sanoatda TTM turli elementlarning faqat bir necha seriyasi ishlab chiqariladi (standart 133, 155; tezkorligi yuqori bo'lgan 130, K131; mikro quvvatli 134; Shottki diodili 530, K531; Shottki diodili mikroquvvatli K555). Bu elementlarning asosiy parametrlari 4.1-jadvalda keltirilgan.

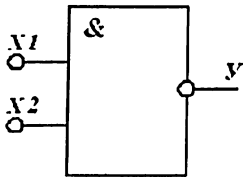
TTM elementlari potensial elementlar qatoriga kiradi: ular asosida komputer sxemalarini tuzishda ular o'zaro galvanik, ya'ni kondensator va transformatorlarsiz bog'lanadi. Mantiqiy 1 va mantiqiy 0 asimptotik qiymatlari $U^1 \geq 2,4 \text{ V}$; $U^0 \leq 0,4 \text{ V}$, $U_{qu} = U^1 - U^0 \approx 2 \text{ V}$ kuchlanishlar bilan ifodalanadi. Yuqorida ko'rib o'tilgan seriyalar funksional va texnik to'liqlikka ega, ya'ni turli arifmetik va mantiqiy amallarni xotirada saqlash, yordamchi va maxsus funksiyalarni bajaradi.

Asosiy TTM turi bo'lib mantiqiy ko'paytirish inkori bilan, ya'ni HAM-EMAS amalini bajaradigan Sheffer elementi hisoblanadi. Sheffer elementining shartli belgilanishi 4.5-rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda X1, X2 — kirishlar, Y — chiqish. Minimal kirishlar soni nolga teng. Ikki kirishli Sheffer elementining ishlashi uning haqiqiylik jadvalida keltirilgan (4.2-jadval).

TTM elementlari seriyalari turi

TTM RIS parametri	Seriya				
	standart	tezkorligi yuqori	mikro-quvvatli	Shottki diodli	
	K155	130	158	531	K555
I_{KIR}^0 , mA	1,6	2,3	0,15	2	1
I_{KIR}^I , mA	0,04	0,07	0,01	0,05	0,05
U_{CHIQ}^0 , V	0,4	0,35	0,3	0,5	0,5
U_{CHIQ}^I , V	2,4	2,4	2,4	2,7	2,7
K_{TARM}	10	10	10	10	10
K_{BJRL}	8	8	2	4	2
$t_{kech o'rti}$, ns	20	10	70	5	20
P_{IST} , mVt	22	44	5	19	3,7
f_{CHIQ} , MGs	10	30	3	50	10

4.2-jadval



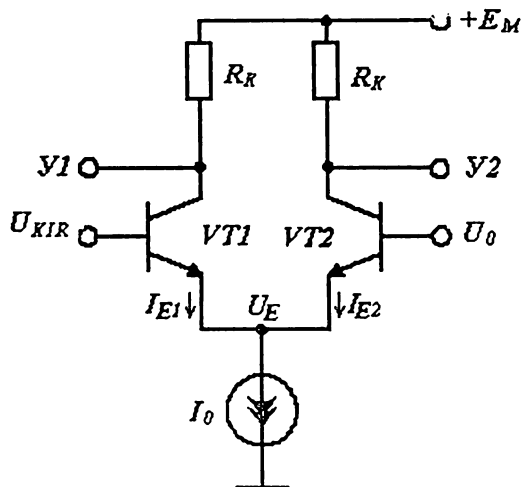
4.5-rasm. Ikki kirishli Sheffer elementining shartli belgilanishi.

Ikki kirishli Sheffer elementining haqiqiylik jadvali

x_1	x_2	$y = x_1 \cdot x_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

4.3. Emitterlari bog'langan mantiq elementlari

Emitterlari bog'langan mantiq (EBM) elementni yaratilishiga raqamli qurilmalar tezkorligini oshirish muammosi sabab bo'lgan. EBM elementda qayta ulanuvchi tranzistor berk yoki ochiq bo'ladi va bazada qo'shimcha noasosiy zaryad tashuvchilar to'planayotganda BT to'yinish rejimida ishlaydi. Tranzistorni bir holatdan ikkinchisiga



4.6-rasm. Tok qayta ulagichi.

o'tishi uzoq kechadigan jarayon bo'lganligi sababli, TTM element tezkorligi cheklangan. BTdagi kalit inersiyaliligini kamaytirish maqsadida shunday sxemalar yaratish kerakki, unda qayta ulanuvchi tranzistor ochiq holatda aktiv rejimda ishlasin.

EBM shunday sxemateknik yechimlardan biri hisoblanadi. BTning to'yinmagan rejimi yuklama va parazit sig'implarni tez qayta zaryadlanishi uchun talab qilinadigan ishchi toklarni oshirish imkonini beradi. Qayta ulanuvchi element ulanish vaqti minimumga keladi. Bu vaqtda BTning berkilish vaqti ortmaydi. Shu sababli EBM elementlar yuqori tezkorlikka ega.

EBM element asosini tok qayta ulagichi tashkil etadi (4.6-rasm). U DK kabi ikkita simmetrik yelkadan tashkil topgan bo'lib, ularning har biri tranzistor va rezistordan iborat. Umumiy emitter zanjirida BTG I_0 ishlaydi.

DKdan farqli ravishda kirishlardan biri ($VT2$) tayanch deb ataluvchi doimiy kuchlanish manbayi U_0 ga ulangan. Tok I_0 qiymati tranzistorning aktiv ish rejimiga mos keladi va EBM negiz elementlarida $I_0 = 0,5 \div 2$ mA. BTG mavjudligi tufayli baza potentsiallarining ixtiyoriy qiymatlarida emitter o'tishlarda avtomatik ravishda

$$I_{E1} + I_{E2} = I_0 \quad (4.2)$$

shart o'rnatiladi.

Aktiv rejimda emitter tokining baza-emitter kuchlanishiga bog'liqligi kirishdagi VT1 tranzistor uchun quyidagi ifoda bilan approksimatsiyalanadi:

$$I_{E1} = I_{E01} e^{(U_{K1R} - U_E)/\varphi_T}, \quad (4.3)$$

VT2 tranzistor uchun esa

$$I_{E2} = I_{E02} e^{(U_0 - U_E)/\varphi_T}. \quad (4.4)$$

Bu ifodalarda emitter tokining $U_{EB} = 0$ va $U_{KB} \neq 0$ bo'lgandagi qoldiq qiymati I_{E1R} Integral texnologiyada egizaklik prinsipiga muvofiq, $I_{E01} = I_{E02}$. Xona temperaturasida 0,025 V.

(4.2), (4.3) va (4.4)lardan foydalanib,

$$I_{E1} = \frac{I_0}{1 + e^{\frac{U_0 \left(1 - \frac{U_{K1R}}{U_0}\right)}{\varphi_T}}}, \quad I_{E2} = \frac{I_0}{1 + e^{\frac{-U_0 \left(1 - \frac{U_{K1R}}{U_0}\right)}{\varphi_T}}} \quad (4.5)$$

ga ega bo'lamiz.

Sxema simmetrik, shuning uchun ikkala BT baza potentsiallari teng bo'lganda ($U_{K1R} = U_0$) har bir yelkadan oqib o'tayotgan tok $I_0/2$ ga teng.

Tayanch kuchlanish $U_0 = 1,2$ V bo'lsin. Agar U_{K1R} qiymati $\Delta \leq 0,1$ V ga kamaysa, u holda (4.5) ga muvofiq, I_{E1} tok I_0 ga nisbatan 1% gacha kamayadi, I_{E2} tok esa 99% gacha ortadi. Demak, kirish signali $U_{K1R}^- \leq U_0 - \Delta$ (mantiqiy 0) bo'lganda VT1 tranzistor berk bo'ladi, VT2 tranzistordan esa to'liq I_0 toki oqib o'tadi.

Agar aksincha bo'lsa, ya'ni U_{K1R} qiymati $\Delta \geq 0,1$ V ga ortsa, u holda (4.5)ga muvofiq, I_{E1} tok I_0 ga nisbatan 99% gacha ortadi, I_{E2} tok esa 1% gacha kamayadi. Demak, kirish signali $U_{K1R}^+ \geq U_0 + \Delta$ (mantiqiy 1) bo'lganda VT2 tranzistorni berk deb hisoblash mumkin, VT1 tranzistordan esa to'liq I_0 tok oqib o'tadi. Natijada ideal tok qayta ulagichiga ega bo'ldik. Sathlar orasidagi farq — qayta ulanish kichikligi

uning kamchiligi hisoblanadi, chunki qayta ulanish sohasi kirish signallarini tayanch kuchlanish U_0 dan $U_{QU} = U_{KIR}^+ - U_{KIR}^- = 2\Delta \leq 0,3$ V qiymatga o'zgarishi bilan aniqlanadi. Demak, xalaqitlarga bardoshlik ham kichik bo'ladi. Lekin mantiqiy o'tish vaqtining kichikligi hamda to'yinish rejimining yo'qligi hisobiga tok qayta ulagichining qayta ulanish vaqti juda kichik bo'lib, 3 ns dan oshmaydi.

Tranzistor aktiv rejimda qoladigan maksimal U_{KIR}^+ qiymatini aniqlaymiz. Buning uchun $U_{KB} \geq 0$ ($U_K \geq U_B$) shart bajarilishi kerak. Tranzistorning baza potentsiali kirish signali bilan, kollektori potentsiali esa

$$U_K = E_M - \alpha I_0 R_K \quad (4.6)$$

ifoda yordamida aniqlanadi.

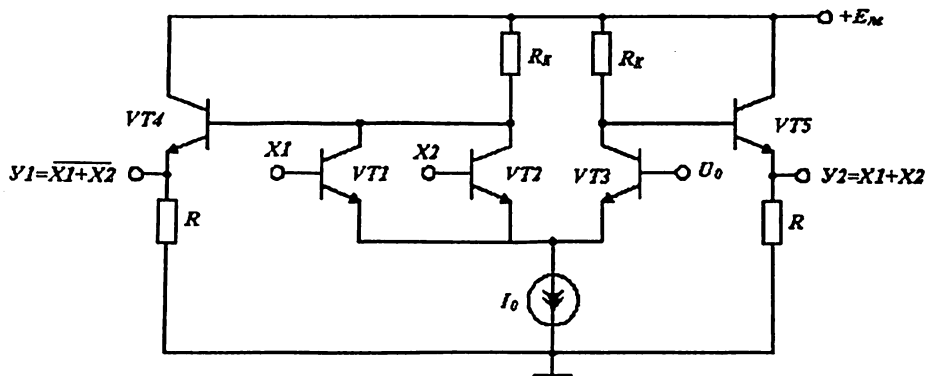
U holda tranzistor aktiv rejim chegarasida ($U_K = U_B$) qoladigan U_{KIR}^+ qiymati quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$U_{KIR}^+ = E_M - \alpha I_0 R_K = U_0 + \Delta. \quad (4.7)$$

(4.7) shart bajarilishi, berilgan E_M , U_0 va U_{KIR}^+ qiymatlarida tranzistorning aktiv ish rejimi ta'minlanishi uchun R_K rezistorlar qarshiligi kichik (200 Omgacha) qilib tanlanadi.

Alohida kalitlar (qayta ulagichlar) asosan analog sxemalarda qo'llaniladi. Mantiqiy sxemalarda har bir qayta ulagich chiqishi bir yoki bir necha boshqa qayta ulagichlar kirishiga ulanadi. Qayta ulagichlar ketma-ketligining ishga layoqatligini ta'minlash maqsadida kirish va chiqishlar bo'yicha mantiqiy 0 va mantiqiy 1 sathlar muvofiqlashtirilgan bo'lishi kerak. Afsuski, mazkur turdagi qayta ulagichlarda sathlar mosligi mavjud emas, chunki $Y1$ va $Y2$ chiqishlardan olinayotgan chiqish kuchlanishi **doim U_0 dan katta bo'ladi**. Shu sababli, bunday qayta ulagichlarni ketma-ket ulab bo'lmaydi. Buning uchun maxsus muvofiqlashtiruvchi kaskadlar qo'llaniladi. Ular kuchlanish sathini siljitish qurilmasi deb ataladi. Emitter qaytargichlar bunday qurilmaning sodda sxemasi bo'lib hisoblanadi. Qaytargichda chiqish (emitter) potentsialining sathi tayanch potentsial sathidan U^* kattalikka past bo'ladi.

Tok qayta ulagichini EBM elementga o'zgartirish uchun uning chap yelkasini parallel ulangan (kirishlari bo'yicha) tranzistorlar bilan



4.7-rasm. Ikkita kirishli EBM ME sxemasi.

almashtirish kerak. Ikkita kirishli EBM element sxemasi 4.7-rasmda keltirilgan.

$VT1$ va $VT2$ tranzistorlardan ixtiyoriy birining (yoki baravariga) berkilishi I_0 tokni chap yelkadan o'ng yelkaga o'tishiga olib keladi.

$VT4$ va $VT5$ emitter qaytargichlar kollektor potentsiallari sathlari U^* kattalikka siljiriladi, bu bilan EBM zanjirning ishga layoqatligi ta'minlanadi.

Deylik, ikkala kirishga mantiqiy 0 potentsial berilgan bo'lsin. U holda $VT1$ va $VT2$ tranzistorlar berk, $VT3$ tranzistor ochiq bo'ladi. Demak, $Y1$ chiqishda mantiqiy 1 sathi o'rnatiladi. $VT1$ va $VT2$ tranzistorlar berk bo'lganligi sababli ularning kollektor potentsiallari $Y_{K1,2} = YEM$. $VT4$ EO'idan U^* kuchlanishni olib tashlasak, mantiqiy 1 sath

$$U^1 = E_M - U^* \quad (4.8)$$

ekanligi kelib chiqadi.

$VT3$ tranzistor bilan $VT5$ qaytargich ham mantiqiy funksiya bajaradi. $X1 = X2 = Y_0$ bo'lganda $VT3$ tranzistor ochiq, demak, $Y2$ chiqishda mantiqiy 0 sathi o'rnatiladi. $VT3$ tranzistor to'yinish chegarasida turibdi deb faraz qilaylik, ya'ni $U_{KB3} = 0$. U holda tranzistordagi qoldiq kuchlanish EO'dagi kuchlanishga teng bo'ladi ($U_{QOL} = U^*$). U^* kuchlanishni olib tashlasak va (4.8) ifodaga qo'ysak, mantiqiy 0 sathiga ega bo'lamiz:

$$U^0 = E_M - 2U^* . \quad (4.9)$$

(4.8) va (4.9) ifodalardan foydalanib, mantiqiy o'tish qiymatini aniqlaymiz:

$$U_{MO.} = U^1 - U^0 = U^* \approx 0,7 \text{ V} .$$

Endi biror kirishga, masalan, $X1$ ga mantiqiy 1 potensial berilgan bo'lsin. U holda $VT1$ tranzistor ochiladi, $VT3$ tranzistor esa berkiladi. Natijada $Y1$ chiqishda mantiqiy 0 kuchlanishi, $Y2$ chiqishda esa mantiqiy 1 kuchlanishi o'rnatiladi. Ikkala kirishga mantiqiy 1 berilganda ham vaziyat o'zgarmaydi. Hosil bo'lgan haqiqiylik jadvali 4.4-jadvalda keltirilgan. Jadvaldan, sxema $Y1$ chiqish bo'yicha $Y1 = \overline{X1 + X2}$ mantiqiy amalini, $Y2$ chiqish bo'yicha esa $Y1 = X1 + X2$ mantiqiy amalini bajarishi ma'lum bo'lib turibdi.

Shuni ta'kidlash kerakki, chiqishda emitter qaytargichlarning qo'llanilishi mantiqiy o'tishni 0,7 V gacha va xalaqitlarga bardoshlikni deyarli 0,3 V gacha oshirdi. Bundan tashqari, emitter qaytargichdagi kichik chiqish qarshiligi tufayli sxemaning yuklama qobiliyati ortdi va yuklamadagi sig'im qayta zaryadlanishi tezlashdi.

Manbaning manfiy qutbi umumiy deb olingan EBM sxemaning kamchiligi bo'lib, chiqish signali mantiqiy sathlarining kuchlanish manbayi qiymatiga bog'liqligi hisoblanadi. Bu (4.8) va (4.9) ifodalardan kelib chiqadi. Bundan tashqari, chiqish umumiy nuqta bilan qisqa tutashganda emitter qaytargich tranzistori ishdan chiqadi.

Kuchlanish manbayi E_M ning musbat qutbini umumiy nuqtaga ulab, aytib o'tilgan kamchiliklarni bartaraf etish mumkin. U holda

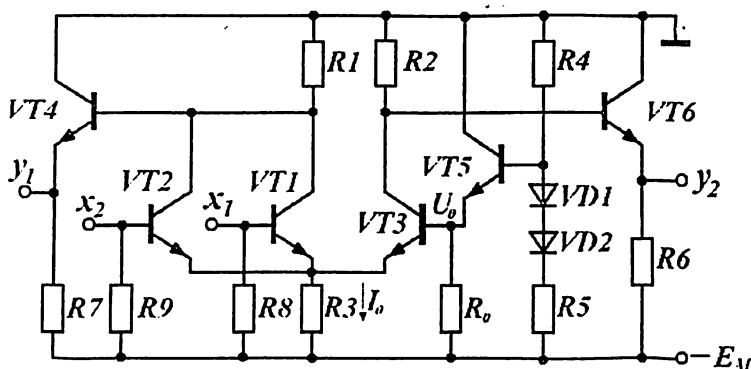
$$U^1 = -E_M + U^1 = -U^* = -0,7 \text{ V};$$

$$U^0 = -E_M + U^0 = -2U^* = -1,4 \text{ V} .$$

Bunda sxemaning ish prinsipi, albatta, o'zgarishsiz qoladi.

500 seriyaga mansub EBM elementning prinsipial elektr sxemasi 4.8-rasmda keltirilgan.

O'zgarmas tok generatori (manbayi) I_0 ni turli usullar bilan amalga oshirish mumkin. Mazkur sxemada tok manbayi sifatida tokni barqa-

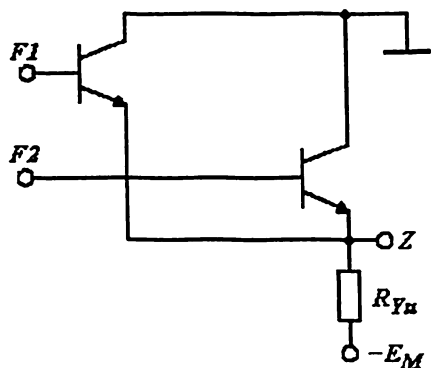


4.8-rasm. 500 seriyaga mansub ikkita kirishga ega EBM element sxemasi.

rorlashtiruvchi rezistor R_3 qo'llangan. Uning qarshiligi R_1 (R_2) rezistorlarning maksimal qiymatlaridan ancha katta bo'lishi kerak. Bunday manbada I_0 qiymati qayta ulanish vaqtida o'zgaradi, lekin U^0 va U' qiymatlariga ta'sir ko'rsatmaydi.

Tayanch kuchlanish U_0 qiymati hamda U^0 va U' qiymatlari temperatura va boshqa omillar ta'sirida o'zgaradi. EBM sxemalarda xalaqitbardoshlik yuqori bo'lmagani sababli, sxemalarning ishga layoqatligini saqlab qolish maqsadida keng ishchi sharoitlar diapazonida temperaturaga barqaror tayanch kuchlanish manbai qo'llaniladi. U R_5 , $VD1$, $VD2$, R_4 lardan iborat bo'lgan kuchlanish bo'lgichi va $VT5$, R_0 dan tuzilgan emitter qaytargichdan tashkil topgan. $VD1$ va $VD2$ diodlar tranzistorning U_{BE} kuchlanishi o'zgarganda I_0 toki o'zgarishi hisobiga temperatura o'zgarishini kompensatsiyalaydi. R_0 rezistor $VT5$ tranzistor emitter toki qiymatini oshirish uchun xizmat qiladi va natijada uning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti ortib, chastota parametrlari yaxshilanadi. Odatda, bitta U_0 manba yagona kristallda joylashgan bir necha (5–10 tagacha) EBM elementlarni tayanch kuchlanish bilan ta'minlaydi.

EBM elementlar o'ta yuqori tezlikda ishlovchi tizimlar uchun negiz hisoblanadi. Elementlarni montaj usulda birlashtirish yo'li bilan turli funksiyalarni amalga oshirish imkoniyati tug'iladi.



4.9-rasm. Ikkita EBM ME chiqishlarining birgalikda ulanishi.

Aytaylik, montaj usuli bilan ikkita EBMning inverslamaydigan chiqishlari birlashgan bo'lsin (4.9-rasm).

Agar elementlardan biri $F1$ funksiyani, ikkinchisi esa $F2$ ni bajarayotgan bo'lsa, u holda birlashgan Z chiqishda $Z = F1 + F2$ amali, ya'ni «Montajli YOKI» bajariladi. Bundan montaj usuli bilan ikkita EBMning inverslamaydigan chiqishlari birlashsa

$$Z = (X1 + X2) + (X3 + X4) = X1 + X2 + X3 + X4$$

amalni bajaruvchi, ya'ni kirishlar soni ortishiga ekvivalent element hosil bo'lishi ko'rinib turibdi. Sxemada $X1$ va $X2$ kirishlar birinchi MEga, $X3$ va $X4$ kirishlar esa ikkinchi MEga tegishli. Inverslaydigan kirishlarini birlashtirsak, HAM-YOKI-EMAS amalini bajaruvchi MEga ega bo'lamiz:

$$Z = (\overline{X1 + X2}) + (\overline{X3 + X4}) = \overline{(X1 + X2 + X3 + X4)}.$$

EBM element funksional imkoniyatlarini kengaytirishga misol qilib tok qayta ulagichlarining **zinasimon** (ko'p yarusli, daraxtsimon) ulanishini keltirishimiz mumkin. Bunda sochilish quvvati kamayadi va KIS kristallida sxema egallaydigan sirt yuzasi kichrayadi. Ikki zinali EBM sxemasi 4.10-rasmda keltirilgan (chiqishida emitter qaytargichlar ko'rsatilmagan).

Sxema uchta tok qaytargichdan tashkil topgan, ular: $VT1$ va $VT1'$ diffrensial juftlikdan iborat pastki zina qayta ulagichi va $VT2$ – $VT2'$ va $VT3$ – $VT3'$ differensial juftliklardan tashkil topgan yuqori zina qayta ulagichlari.

EBM seriya elementlari turlari

EBM RIS parametrlari	Seriya		
	K137	100, K500, 700	1500
I_{KIR}^0 , mkA	0,5	0,5	0,5
I_{KIR}^I , mkA	200	265	200
U_{CHIQ}^0 , V	-1,6	-1,6	-1,65
U_{CHIQ}^I , V	-0,8	-0,9	-0,96
K_{TARAJ}	15	15	15
K_{BIRL}	9	9	9
$t_{o'rt.kech}$, ns	6	2,9	0,7
P_{ISTR} , mVt	70	35	50
I_{Δ} , mA	15	26	–
E_{Δ} , V	-5,2	-5,2	-4,5

$$Y1 = (\overline{X1 + X2}) + \overline{X3}; \quad Y2 = (X1 + X2) + \overline{X3};$$

$$Y3 = (\overline{X1 + X2}) + X3; \quad Y4 = X1 + X2 + X3$$

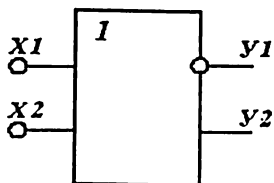
ekaniga ishonch hosil qilamiz.

Yuqoridagilardan kelib chiqadiki, EBM sxemotexnikasi TTMga nisbatan funksional jihatdan moslanuvchan va turli murakkablikdagi mantiq algebrasini yaratish imkonini beradi. Bu xossa matritsali kristallar asosida buyurtmaga asosan KISlar yaratishda keng qo'llaniladi.

Bundan tashqari, ko'pgina maxsus maqsadlar uchun ishlab chiqilgan EBM sxemalari mavjud (ikkilik axborotni indikatsiya qilish uchun, ma'lum shakldagi signallarni shakllantirish uchun va boshqalar).

EBM elementlari bir necha seriya (K137, K187, K229, 100, K500, 500 va boshqalar) ko'rinishida ishlab chiqariladi. Bu seriyalar funksional va texnik to'liqlikka ega, ya'ni ixtiyoriy arifmetik va mantiqiy amallarni hamda saqlash, yordamchi va maxsus funksiyalarning bajarilishini ta'minlaydi. EBM elementlar parametrlari 4.3-jadvalda keltirilgan.

EBM negiz elementining shartli garfik belgilinishi 4.11-rasmda ko'rsatilgan bo'lib, bunda $X1$, $X2$ – kirishlar, $Y1$ – invers chiqish;



4.11-rasm. Ikki kirishli EBM elementning shartli garfik belgilanishi.

4.4-jadval

x_1	x_2	y_1	y_2
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	1

Y_2 — to‘g‘ri chiqish. Element musbat mantiq uchun bir vaqtning o‘zida ikkita funksiya: Y_1 chiqish bo‘yicha 2YOKI-EMAS (Pirs elementi) va Y_2 chiqish bo‘yicha 2YOKI (dizyunksiya)ni amalga oshiradi. Ikki kirishli MEning haqiqiylik jadvali 4.4-jadvalda keltirilgan.

4.4. Bir turdagi MDYA-tranzistorlar asosidagi mantiq elementlari

Axborotni qayta ishlash va saqlash vazifalarini bajaruvchi zamonaviy mikroelektron apparatlarda turli integratsiya darajasiga ega bo‘lgan IMSlar ishlatiladi. Ayniqsa, KIS va O‘KIS integratsiya darajasiga ega bo‘lgan IMSlar keng qo‘llanilmoqda.

TTM va EBM elementlari yuqori tezkorlikni ta‘minlaydi, ammo iste‘mol quvvati va o‘lchamlari katta bo‘lganligi sababli, faqat kichik va o‘rta integratsiya darajasiga ega bo‘lgan IMSlar yaratishdagina qo‘llaniladi.

1962-yilda planar texnologik jarayon asosida kremniy oksidli (SiO_2) MDYA-tranzistor yaratildi, keyinchalik esa uning asosida guruh usulida ishlab chiqarish yo‘lga qo‘yildi.

Integral BTlardan farqli ravishda, bir turdagi MDYA integral tranzistorlarda izolatsiyalovchi cho‘ntaklar hosil qilish talab etilmaydi. Shuning uchun, bir xil murakkablikka ega bo‘lganda, MDYA-tranzistorli IMSlar BTlarga nisbatan kristalda kichik o‘lchamlarga ega va yasash texnologiyasi sodda bo‘ladi. Kremniy oksidli MDYA ISlarning asosiy kamchiligi — tezkorlikning kichikligidir. Yana bir kamchiligi — katta iste‘mol kuchlanishi bo‘lib, u MDYA ISlarni BT

ISlar bilan muvofiqlashtirishni murakkablashtiradi. MDYA ISlar asosan uncha katta bo'lmagan tezkorlikka ega bo'lgan va kichik tok iste'mol qiladigan mantiqiy sxemalar va KISlar yaratishda qo'llaniladi. MDYA ISlarda eng yuqori integratsiya darajasiga erishilgan bo'lib, bir kristallda yuz minglab va undan ko'p komponentlar joylashishi mumkin.

MDYA-tranzistorli mantiq (MDYATM) asosida yuklamasi MDYA-tranzistorlar (3.6-bandda ko'rib o'tilgan) asosida yaratilgan elektron kalit-invertorlar yotadi. Sxemada passiv elementlarning ishlatilmasligi IMSlar tayyorlash texnologiyasini soddalashtiradi.

Mantiqiy IMSlar tuzishda n - yoki p -kanali induksiyalangan MDYA-tranzistorlardan foydalanish mumkin. Ko'proq n -kanalli tranzistorlar qo'llaniladi, chunki elektronlarning harakatchanligi kovaklarnikiga nisbatan yuqori bo'lganligi sababli, mantiqiy IMSlarning yuqori tezkorligi ta'minlanadi. Bundan tashqari, n -MDYATM sxemalar kuchlanish nominali va mantiqiy 0 va 1 sathlari bo'yicha TTM sxemalar bilan to'liq muvofiqlikka ega.

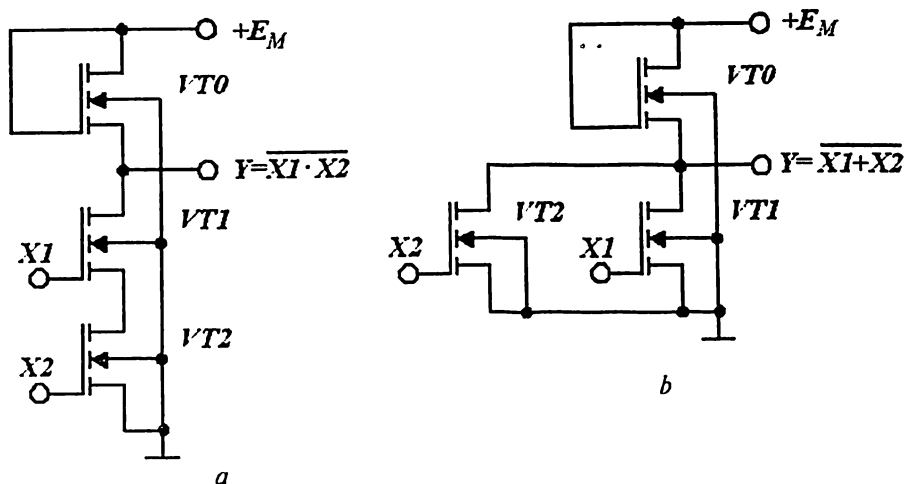
4.12-rasmda soddada 2HAM-EMAS va 2YOKI-EMAS ME ning sxemalari keltirilgan.

Bu sxemalarda yuklama sifatida ishlatilayotgan $VT0$ tranzistorlar doim ochiq holatda bo'ladi, chunki ularning zatvorlari kuchlanish manbayining musbat qutbiga tutashgan. Ular tok cheklagichlar (dina-mik qarshiliklar) vazifasini bajaradi.

2HAM-EMAS sxemada (4.12, a -rasm) pastki $VT1$ va $VT2$ tranzistorlar ketma-ket, 2YOKI-EMAS sxemada esa (4.12, b -rasm) parallel ulanadi.

2HAM-EMAS ME ishini ko'rib chiqamiz. Agar qayta ulanuvchi tranzistorlar birining kirishidagi potensial bo'sag'aviy potensial U_0 dan kichik bo'lsa, ya'ni $U_{KIR} < U_0$ (mantiqiy 0) bo'lsa, u holda bu tranzistor berk bo'ladi. Bu vaqtda yuklamadagi $VT0$ tranzistor stok toki ham nolga teng bo'ladi. Shu sababli, sxemaning chiqishida manba kuchlanishi E_M qiymatiga yaqin bo'lgan, ya'ni mantiqiy 1 ga mos kuchlanish o'rnatiladi.

Ikkala kirishga mantiqiy 1 sathga mos ($U'_{KIR} > U_0$) musbat potensial berilsa, ikkala tranzistor ochiladi va chiqishda mantiqiy 0 ($U^0_{CHI} < U_0$) o'rnatiladi.



4.12-rasm. *n*-MDYA tranzistorli mantiq elementlar sxemalari.

2YOKI-EMAS elementda (4.12, *b*-rasm) biror kirishga yuqori sath kuchlanishi ($U'_{KIR} > U_0$) berilsa, mos ravishda *VT1* yoki *VT2* tranzistor ochiladi va chiqishda mantiqiy 0 ($U^0_{CHIQ} < U_0$) o'rnatiladi.

Agar ikkala kirishga mantiqiy 0 darajasi berilsa, *VT1* va *VT2* berk bo'ladi. Chiqishda esa yuqori sath kuchlanishi — mantiqiy 1 o'rnatiladi.

$U^0_{CHIQ} < U_0$ bo'lishi uchun qayta ulanuvchi tranzistor (QUT) kanali kengligi yuklama vazifasini bajaruvchi tranzistor (YuT) kanali kengligidan katta, QUT kanal uzunligi esa YuTnikidan kichik bo'lishi kerak. Invertor statik rejimi va o'tish jarayonlar tahlili shuni ko'rsatdiki, tezkorlik va iste'mol quvvati nuqtayi nazaridan, $E_M = (2 \div 3) U_0$ kuchlanish qiymati optimal hisoblanadi. Demak, $U_0 = 1,5 \div 3$ V bo'lganda $E_M = 4,5 \div 9$ V bo'ladi.

MDYATM elementlarda real U^0_{CHIQ} qiymati $U^0 = U_{QOL} \approx 0,2 \div 0,3$ V dan katta emas, U'_{CHIQ} qiymati esa $U'_{CHIQ} \approx E_M$.

Mos ravishda mantiqiy o'tish

$$U_M = E_M - U_{QOL} \approx E_M.$$

MDYATM elementning yana bir afzalligi xalaqitbardoshligining yuqoriligidadir. BTlardagi MElarda mantiqiy 0 ning xalaqitbardoshligi $(1 \div 2) U^*$, ya'ni $0,7 \div 1,4$ V bo'lganda, MDYATM da $U^0_{XAL} = U_0 - U^0 \approx 1,5 \div 3$ V bo'ladi.

HAM-EMAS elementida kirishlar soni ortgan sari xalaqitbardoshlik kamayadi, chunki bir vaqtda barcha tranzistorlarning qoldiq kuchlanishlari U_{qol} ortadi. Shu sababli, HAM-EMAS elementlarda kirishlar soni 4 tadan ortmaydi, YOKI-EMAS elementlarda esa 10–12 tagacha yetadi. Amalda YOKI-EMAS elementlar ko'p qo'llaniladi, HAM-EMAS elementlar esa faqat IS seriyalarining funksional to'liqligi uchun ishlatiladi. MDYA sxemalarning yuklama qobiliyati katta, chunki kirish (zatvor) zanjiri deyarli tok iste'mol qilmaydi. Demak, ish jarayonida zanjirdagi barcha MELar bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda ishlaydi, U^0 va U^1 sathi esa yuklamaga bog'liq bo'lmaydi.

MDYA-tuzilma elementlari tezkorligi esa kirish va chiqish zanjirlarini shuntlovchi sig'implarning qayta zaryadlanish vaqti bilan aniqlanadi. Tezkorlikni oshirish yo'lidagi barcha urinishlar boshqa kamchiliklarni yuzaga keltirdi. Masalan, tezkorlikning ortishi yuklamadagi sig'implarni qayta zaryadlanish toki qiymatining ortishiga olib keladi. Lekin bu usul iste'mol quvvatini va chiqishdagi mantiqiy sathlar nobarqarorligining ortishiga olib keladi. Ko'rsatilgan qarama-qarshiliklar turli o'tkazuvchanlikka ega (komplementar) tranzistorli kalitlar yordamida sxemotexnik usulda bartaraf etilishi mumkin.

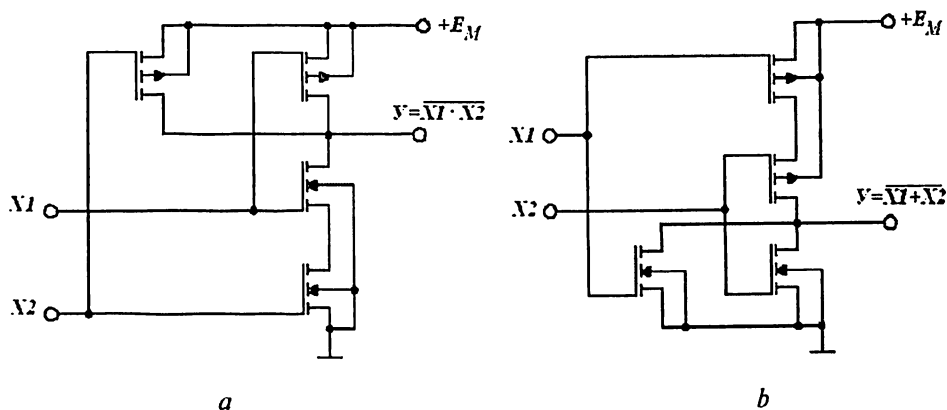
4.5. Komplementar MDYA-tranzistorlar asosidagi mantiq elementlari

Komplementar MDYA-tranzistorli elektron kalitlarning afzalliklari 3.6-bandda ko'rib chiqilgan edi. Bu kalitlarning statik rejimdagi quvvat iste'moli o'nlarcha nanovattni tashkil etib, tezkorligi esa 10 MGs va undan yuqori chastotalarda ishlashga imkon beradi. MDYA-tranzistorli RISlar ichida komplementar MDYA-tranzistorli MELar (KMDYATM) yuqori xalaqitbardoshlikka ega bo'lib, kuchlanish manbayi qiymatining 10÷45%ini tashkil etadi. Yana bir afzalligi – kuchlanish manbayidan samarali foydalanish hisoblanadi, chunki mantiqiy o'tish deyarli kuchlanish manbayi qiymatiga teng. Demak, RISlar kuchlanish manbayi qiymatining o'zgarishiga sezgir emas. KMDYA-tranzistorli MEDa kirish va chiqish signallari qutblari va sathlari mos tushadi, bu esa o'z navbatida MELarni o'zaro bevosita ulash imkoniyatini beradi (sath siljitish qurilmasi talab etilmaydi).

KMDYA-tranzistorlarda HAM-EMAS va YOKI-EMAS mantiqiy amallar oson tashkil etiladi. HAM-EMAS mantiqiy amali kirish tranzistorlarini ketma-ket ulash yo'li bilan, YOKI-EMAS mantiqiy amali esa ularni parallel ulash yo'li bilan amalga oshiriladi. Bu vaqtda har bir kirish uchun kalit-invertorni hosil qiluvchi ikkita tranzistor talab qilinadi. Yuklamadagi p -kanalli va qayta ulanuvchi n -kanalli tranzistorlarning bunday kombinatsiyasi KMDYA-tranzistorlarning asosiy xossasi – statik rejimda ixtiyoriy kirish signalida tok iste'mol qilmaslik shartini saqlab qoladi.

2HAM-EMAS sxemada yuklama vazifasini bajaruvchi tranzistorlar bir-biriga parallel (4.13, *a*-rasm), 2YOKI-EMAS sxemada esa ketma-ket (4.13, *b*-rasm) ulanadi. Bunday prinsip yordamida faqat ikki kirishli elementlar emas, balki kirishlar soni katta bo'lgan sxemalar ham tuziladi.

2HAM-EMAS sxema (4.13, *a*-rasm) quyidagicha ishlaydi. Sxema kirishlariga $U_{KIR}^0 < U_{BO'S}^n$ kuchlanish berilsa, barcha qayta ulanuvchi (n -kanalli tranzistorlar) ochiq bo'lib, chiqish kuchlanishi U^0 ga teng bo'ladi. Kirish signallarining boshqa kombinatsiyalarida ketma-ket ulangan qayta ulanuvchi tranzistorlardan biri berkiladi. Bu vaqtda chiqish kuchlanishi $U^1 = E_M$ ga teng bo'ladi.



4.13-rasm. KMDYA tranzistorlar asosidagi 2HAM-EMAS (*a*) va 2YOKI-EMAS (*b*) mantiq elementlarning sxemasi.

2YOKI-EMAS sxema (4.13, *b*-rasm) quyidagicha ishlaydi. Sxema kirishlariga $U_{KIR}^0 < U_{BO'S}^n$ kuchlanish berilsa, qayta ulanuvchi *n*-kanalli tranzistorlar berk bo'ladi, chunki ularda kanal induksiyanamaydi. *p*-kanalli tranzistorlarda esa kanal induksiyanadi, chunki ularning zatvorlari asosga nisbatan manfiy potensialga ega bo'ladi. Bu potensial qiymati $U_{KIR}^0 - E_M \approx -E_M$ bo'lib, bo'sag'aviy kuchlanish qiymatidan katta bo'ladi. Lekin kanallardan berk tranzistorlarning juda kichik toklari oqib o'tadi. Shu sababli kanallardagi kuchlanish pasayishi deyarli nolga teng bo'ladi va chiqish kuchlanishi $U' = E_M$ bo'lib, mantiqiy 1 ga mos keladi.

Agar qayta ulanuvchi tranzistorlardan birining zatvoridagi kirish kuchlanishi bo'sag'aviy kuchlanish qiymatidan katta bo'lsa $U_{KIR}' > U_{BO'S}^n$ bu tranzistorda kanal induksiyanadi. Unga mos keladigan yuklama tranzistorida esa kanal yo'qoladi, ya'ni tranzistor berkiladi. Sxema chiqishidagi kuchlanish qoldiq kuchlanish qiymatiga teng, ya'ni deyarli nol bo'ladi. Shu sababli, uni mantiqiy 0 sath $U^0 = 0$ deb hisoblash mumkin.

Demak, mantiqiy o'tish $U_M = E_M$ ni tashkil etadi.

Statik holatda KMDYA-tranzistorlarda bajarilgan elementlar quvvat iste'mol qilmaydi, chunki tranzistorlarning bir guruhi berk bo'lib, deyarli tok iste'mol qilmaydi. Bu vaqtda ulardan berk tranzistorlarning juda kichik toki oqib o'tadi. Shu sababli, RIS iste'mol qilayotgan quvvat minimal bo'lib, asosan sig'implarni qayta zaryadlash uchun sarflanayotgan quvvat bilan aniqlanadi.

KMDYATM elementlarning tezkorligi MDYATM elementlar tezkorligiga nisbatan sezilarli daraja yuqori. Bu holat, KMDYATM elementlarida kanal kengligiga cheklanishlar qo'yilmaganligidan kelib chiqadi. Chunki parazit sig'implar qayta zaryadlanadigan ochiq tranzistorlarda yetarli o'tkazuvchanlikni ta'minlash maqsadida kanal kengligi ancha katta olinadi.

Sanoatda KMDYA-tranzistorlar asosida yaratilgan MELar bir necha seriyada ishlab chiqariladi: 164, K176, K564, 764, 765. Bu seriyalar funksional va texnik to'liqlikka ega, ya'ni ixtiyoriy arifmetik va mantiqiy amallarni hamda saqlash, yordamchi va maxsus funksiyalarni bajaradi.

KMDYATM seriya elementlarining asosiy parametrlari

KMDYATM RIS parametrlari	Seriya			
	164	176	561	564
$t_{o'rt\ kech}, ns$	200	250	50	50
$R_{O'RT}, mVt$	0,1	0,1	0,1	0,1
E_M, V	9	9	5	9
U^{0}_{CHQ}, V	0,5	0,3	0	0
U^I_{CHQ}, V	7,7	8,2	5	9
K_{TARM}	50	50	50	50

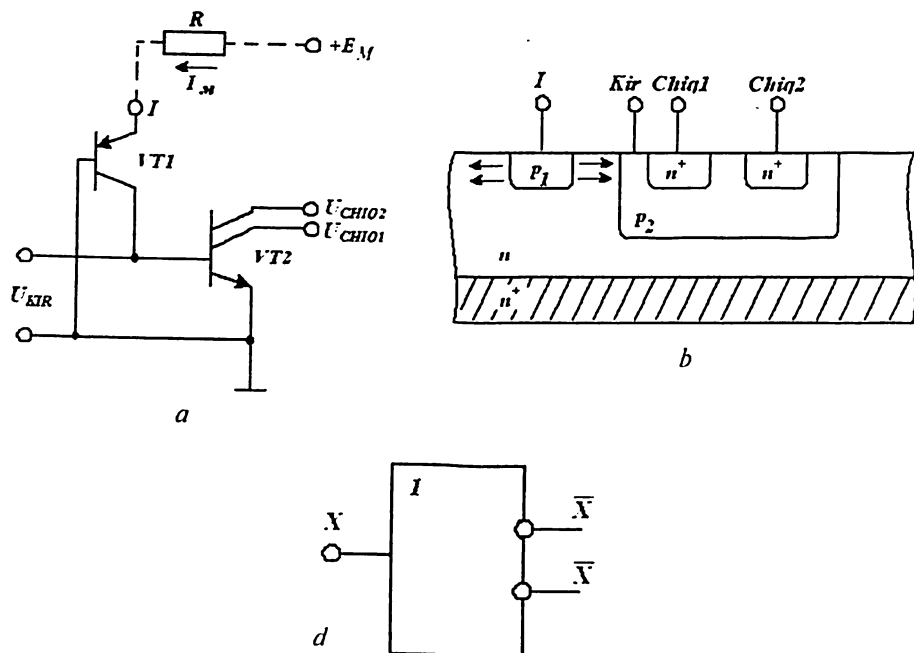
Turli seriyadagi KMDYATMlarning asosiy parametrlari 4.5-jadvalda keltirilgan.

4.6. Integral-injeksion mantiq elementlari

Mikroelektron apparatlar rivoji KIS va O'KISlarni keng qo'llashga asoslangan. Bu bilan apparatlarning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari: ishonchlilik, xalaqitbardoshlik ortmoqda, massasi, o'lchamlari, narxi kamaymoqda va h.k.

KIS MELari tezkorligining kichikligiga qaramasdan, MDYA-texnologiyada bajarilar edi. ME tezkorligini oshirish muammosi Philips va IBM firmalari tomonidan BT asosida integral-injeksion mantiq (I^2M) negiz elementi yaratilishiga sabab bo'ldi.

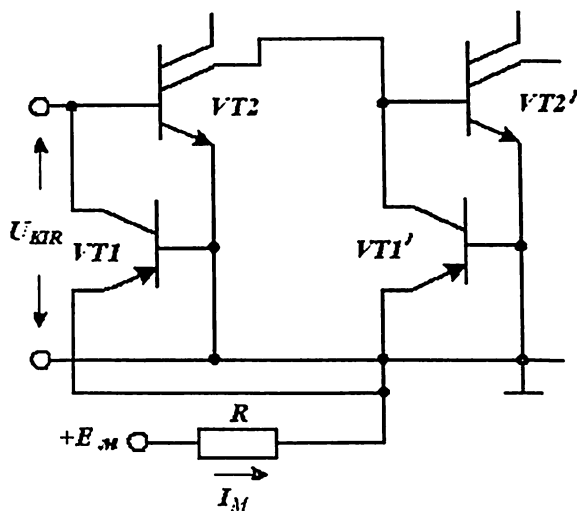
I^2M negiz elementi sxemasi 4.14, *a*-rasmda keltirilgan. Element $VT1(p_1-n-p_2)$ va $VT2(n-p_2-n^+)$ komplementar BTLardan tashkil topgan. $VT1$ tranzistor kirish signalini inverslovchi $VT2$ tranzistor uchun baza toki generatori (injektor) vazifasini bajaradi. $VT2$ tranzistor, odatda, bir nechta kollektorga ega bo'lib, element mantiqiy chiqishlarini tashkil etadi. I^2M turdagi elementlarda hosil qilingan mantiqiy sxemalarda, $VT1$ tranzistor emitteri hisoblangan injektor (I), kuchlanish manbai bilan R rezistor orqali ulanadi va uning qarshiligi talab etilgan tokni ta'minlaydi. Bunday tok bilan ta'minlovchi qurilma



4.14-rasm. I^2M negiz elementning prinsipial sxemasi (a), topologik qirqimi (b) va shartli belgilanishi (d).

injektor toki qiymatini keng diapazonda o'zgartirib, uning tezkorligini o'zgartirishga imkon beradi. Amalda injektor toki $1 \text{ nA} \div 1 \text{ mAgacha}$ o'zarishi mumkin, ya'ni VT1 tranzistor EO'idagi kuchlanishni ozgina o'rttirib (har 60 mVda tok 10 marta ortadi), tok qiymatini 6 tartibga o'zgartirish mumkin.

I^2M IS kremniyli n^+ -asosda tayyorlanadi (4.14, b-rasm), u o'z navbatida barcha inverter emitterlarini bilashtiruvchi umumiy elektrod hisoblanadi (rasmda bitta inverter ko'rsatilgan). $n-p-n$ turli tranzistor bazasi bir vaqtning o'zida $p-n-p$ turli tranzistorning kollektori bo'lib hisoblanadi. Elementlarning bunday tayyorlanishi funksional integratsiya deyiladi. Bu vaqtda turli elementlarga tegishli sohalarni izo-latsiya qilishga (TTM va EBM elementlaridagi kabi) ehtiyoj qolmaydi. I^2M elementi rezistorlardan holi ekanligini inobatga olsak, yaxlit element kristallda TTMdagi standart KET egallagan hajmni egallaydi.



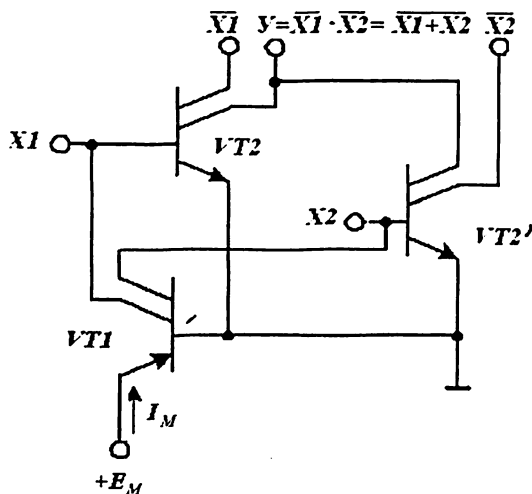
4.15-rasm. I²M ME zanjiri.

Elementning ishlash prinsipi. Ikkita ketma-ket ulangan I²M elementlar zanjiri 4.15-rasmda tasvirlangan. Agar sxemaning kirishiga berilgan kuchlanish $U_{KIR}^0 < U^*$ bo'lsa, u holda qayta ulanuvchi VT2 tranzistorning ikkala o'tishi berk bo'ladi. VT1 injektordan berilayotgan tok I_M qayta ulanuvchi tranzistor bazasidan kirish zanjiriga uzatiladi. Bu holatda chiqish kuchlanishi keyingi kaskad qayta ulanuvchi VT2' tranzistorining to'g'ri siljirilgan $p-n$ o'tishi kuchlanishiga teng bo'ladi, ya'ni $U_{CHIQ}^I = U^* \approx 0,7$ V. Agar sxemaning kirishidagi kuchlanishi $U_{KIR}^I > U^*$ bo'lsa, u holda qayta ulanuvchi VT2 tranzistor ochiladi. p_2 sohaga kelib tushayotgan kovaklar bu sohani tez zaryadlaydi. VT1 injektor to'yinish rejimiga o'tadi. p_2 soha potentsiali injektor potentsialiga deyarli teng bo'ladi. VT2 tranzistorning emitter-baza o'tishi to'g'ri yo'nalishda siljiydi va elektronlarning bazaga, keyin esa kollektorga injeksiyasi boshlanadi. Kollektorga kelayotgan elektronlar p_2 sohadan kelgan kovaklarni neytrallaydi. Natijada kollektor potentsiali pasayadi va baza potentsialidan kichik bo'lib qoladi. VT2 tranzistor to'yinish rejimiga o'tadi va element chiqishida to'yingan tranzistor kuchlanishiga teng bo'lgan kichik sathli kuchlanish o'rnatiladi. Real sharoitda u $0,1 \div 0,2$ V ga teng. Shunday qilib, I²M negiz ME uchun quyidagi

munosabatlar haqiqiydir: $U^0 = 0,1 \div 0,2$ V; $U^1 = 0,6 \div 0,7$ V. Bundan I²M negiz ME uchun mantiqiy o'tish $U_{MO} = 0,4 \div 0,6$ V ekanligi kelib chiqadi.

4.14-rasmdagi sxemadan foydalanib 2HAM-EMAS va 2YOKI-EMAS mantiqiy amallarini bajaruvchi ME larni tuzish mumkin. Masalan, 4.16-rasmda ikkita invertorni metall o'tkazgichlar bilan tutashtirish yo'li bilan 2YOKI-EMAS funksiyasini amalga oshirish mumkin. Bu vaqtda ikkala inverter VT1 tranzistorda hosil qilingan yagona ko'p kollektorli (ikki kollektorli) injektordan ta'minlanadi. Keltirilgan sxemadan ko'rinib turibdiki, chiqishlar kirishdagi o'zgaruvchilarga nisbatan umumiy nuqtaga parallel ulansa, YOKI-EMAS mantiqiy amali bajariladi. Chiqish signallariga nisbatan esa HAM amali bajariladi. Shuni ta'kidlash kerakki, inverterlarning ikkinchi kollektorlari yordamida qo'shimcha kirish signallarini inkor etish mantiqiy amalini ($\overline{X1}, \overline{X2}$) bajarish mumkin, bu esa o'z navbatida MENing imkoniyatlarini kengaytiradi.

I²M sxemalar tezkorligi injeksiya toki I_j ga kuchli bog'liq bo'lib, tok ortgan sari ortadi. Bu vaqtda A_{QU} ozgina ortadi va $4 \div 0,2$ pJni tashkil etadi. Element qayta ulanishining o'rtacha kechikish vaqti

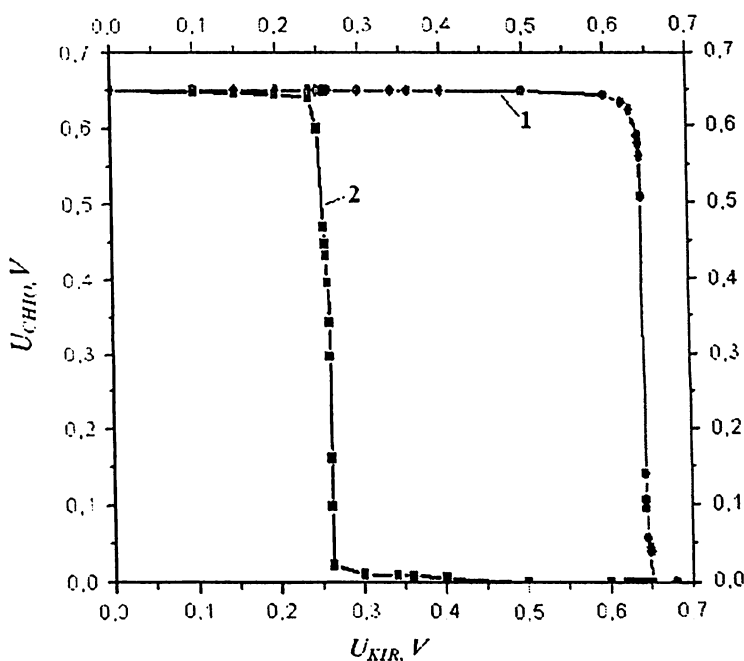


4.16-rasm. YOKI-EMAS amalini I²M mantiqiy elementlar asosida tashkil etish sxemasi.

10÷100 ns, ya'ni TTM elementnikiga nisbatan bir necha marta katta. Ammo quvvat iste'moli 1–2 tartibga kichik bo'ladi. Mantiqiy o'tish kichikligi tufayli, I²M elementining xalaqitbardoshligi ham kichik (20÷50 mV) bo'ladi. Shuning uchun bu sxemalar faqat KIS va O'KISlar tarkibida va kichik integratsiya darajasiga ega mustaqil ISlar sifatida qo'llaniladi.

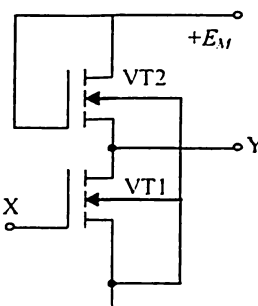
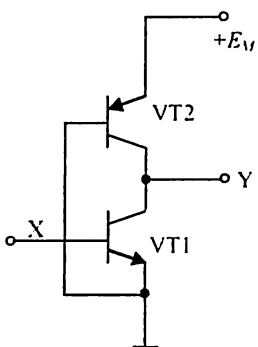
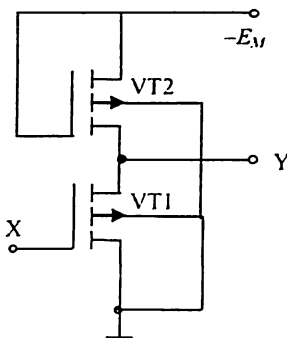
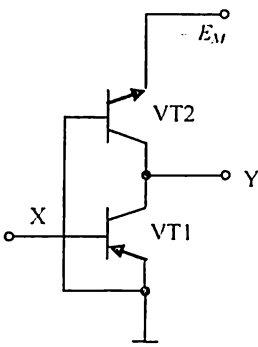
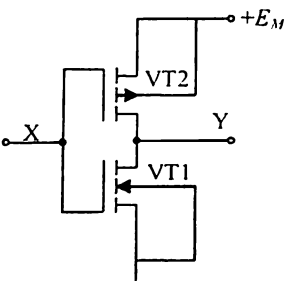
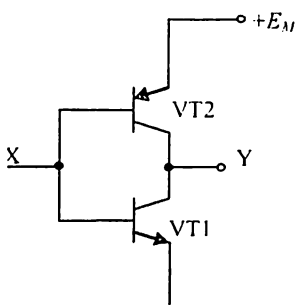
I²M MEning X kirishiga statik rejimda mantiqiy 1 ga mos kuchlanish berilganda manba E_M dan energiya iste'mol qilishi, uning kamchiligi hisoblanadi. Bu kamchilikni 4.6-jadvalda keltirilgan komplementar BT (KBT)larda tuzilgan invertor sxemalar yordamida bartaraf etish mumkin (4.17-rasm). KBTlarda injeksiya-voltaik rejimda ishlovchi ikki (n - p - n va p - n - p) turli BTlar ketma-ket ulanadi.

Jadvaldan I²M invertori n -MDYA tranzistorli, n - p - n dinamik yuklamali p - n - p BTda bajarilgan invertor esa p -MDYA tranzistorli invertor analogi ekanligi ko'rinib turibdi.

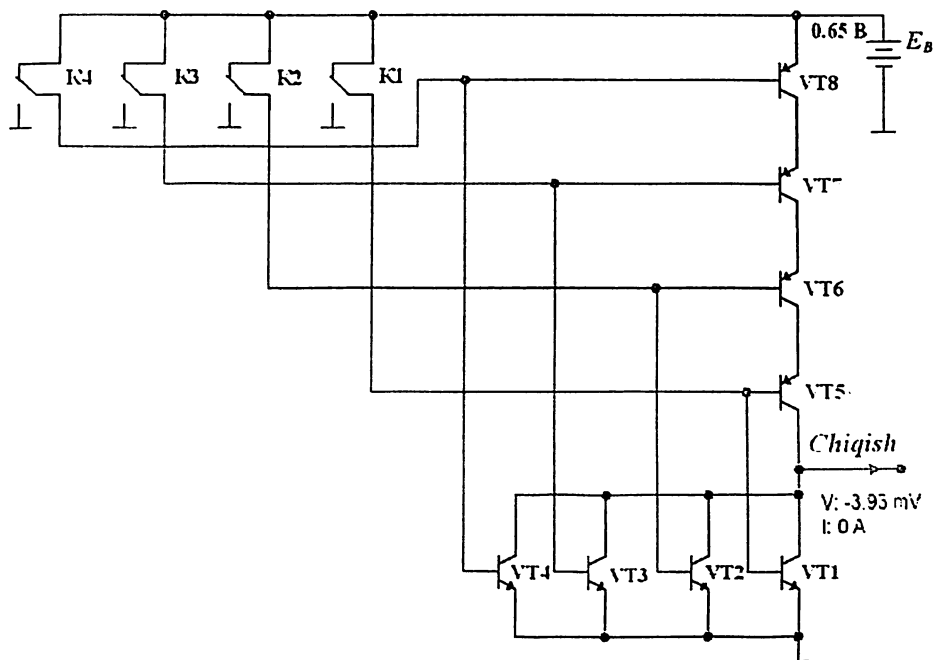


4.17-rasm. I²M (1) va KBT (2) invertorlarning amplituda uzatish xarakteristikallari.

MDYA va BTlar asosidagi inverterlarni taqqoslash

№	MDYA-tranzistorlar asosidagi inverter sxemalari	BTlar asosidagi inverter sxemalari
1	n-MDYA 	
2	p MDYA 	
3	KMDYA 	KBT 

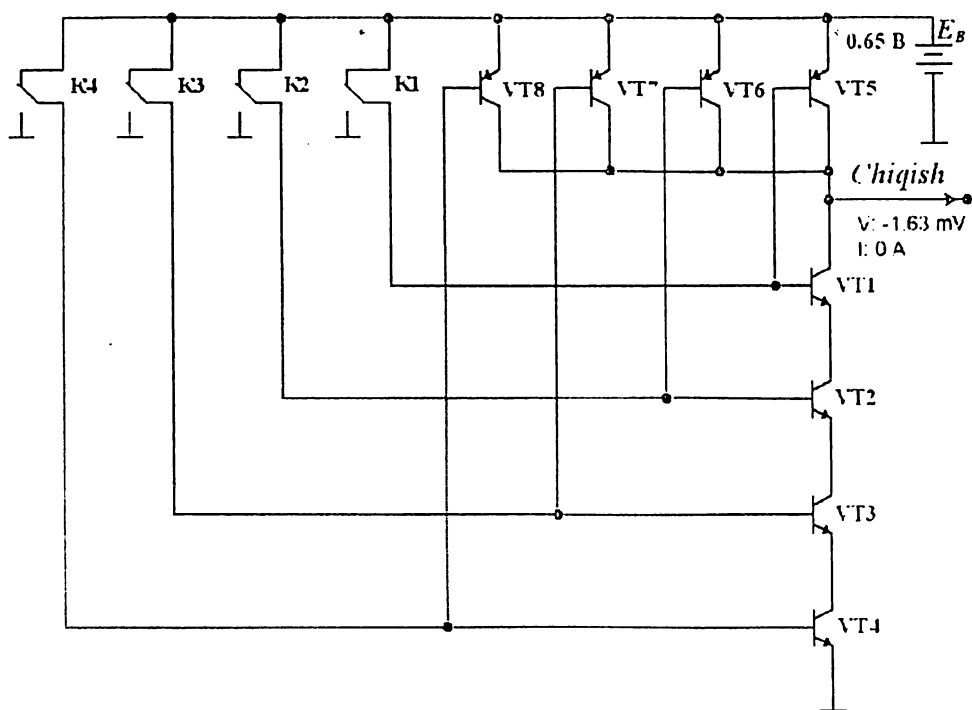
KBTlarda bajarilgan «4HAM-EMAS» ME sxemasi 4.18-rasmda va «4YOKI-EMAS» ME sxemasi 4.19-rasmda ko'rsatilgan.



4.18-rasm. «4YOKI-EMAS» ME sxemasi.

? Nazorat savollari

1. TTM MElarning keng tarqalganligini nima bilan tushuntirish mumkin?
2. Nima sababdan U^0 va U^1 sathlar TTM elementlar zanjiridan o'tganda standart sathlarga aylanadi?
3. TTM MElardagi KET tuzilmasi xossalari nima bilan tushuntiriladi?
4. TTM MElarning asosiy statik va dinamik parametrlari hamda xarakteristikalarini sanab bering.
5. TTM MElar modifikatsiyasi variantlarini sanab bering va qanday maqsadlarda ishlab chiqilganligini tushuntiring.
6. EBM MElarning tezkorligi nima bilan tushuntiriladi?
7. EBM negiz ME sxemasida asosiy tugunlarni ajratib ko'rsatish mumkinmi?



4.19-rasm. «4HAM-EMAS» ME sxemasi.

8. Nima sababdan ko'pchilik EBM MElarda emitter qaytargichlar qo'llaniladi?
9. Kirish bo'yicha birlashtirish va chiqish bo'yicha tarmoqlanish koefitsiyentlari nimani anglatadi va ularning qiymatlari qanday bo'lishi mumkin?
10. Inverslovchi kuchaytirgich amplituda uzatish xarakteristikasini ifodalang.
11. ME xalaqitbardoshlik sohasi qanday aniqlanadi?
12. TTMDa bajarilgan 3HAM-EMAS negiz ME sxemasini keltiring va uning ishlashini tushuntiring.
13. TTMSH sxemadagi diodlar va Shottki tranzistorlari vazifasini tushuntiring.
14. TTM seriyadagi IS asosiy parametrlarini solishtiring. Ularning farqi nimadan kelib chiqadi?
15. Tok qayta ulagichi sxemasini keltiring.

16. Qanday usullar yordamida FBM IS funktsional imkoniyatlarini kengaytirish mumkin?
17. Dinamik yuklamali MDYA-tranzistorli elektron kalit sxemasini keltiring.
18. Bir turdagi MDYA-tranzistorli 3HAM-EMAS va 3YOKI-EMAS amallarini bajaruvchi ME sxemasini keltiring va ularning ishlashini tushuntiring.
19. KMDYA-tranzistorli 3HAM-EMAS va 3YOKI-EMAS ME lari sxemasini tushuntiring.
20. I²M ME texnologiya va sxemotexnik yechimi xossalari nimadan iborat?
21. Negiz I²M ME sxemasi va uning topologiyasini keltiring.

V BOB. KOMBINATSION TURDAGI RAQAMLI SXEMALAR

5.1. Kombinatsion sxemalarni sintez qilish uslubi

Qattiq jisimli elektronika sohasining raqamli mikrosxemalarni yaratish yoʻlidagi erishgan yutugʻlari fan va texnikaning ixtiyoriy murakkablikdagi qurilmalarini yigʻish imkonini beradi. Buning uchun qurilma axborotlarni qabul qilish, saqlash, kerakli oʻzgartirishlarni amalga oshirish va maʼlumotlarni uzatish kabi tugallangan jarayonlarni bajara olishi kerak. Bunday qurilmalar **raqamli tizimlar** deb ataladi va turli funksional bloklar va tugunlardan tashkil topadi. Ular esa oʻz navbatida kichik integratsiya darajasidagi yoki KIS va OʻKIS tarkibiga kiradigan alohida yasalgan negiz sxemalardan yigʻiladi.

Funksional tugun deb, **mikroamallarni** bajarishni taʼminlaydigan mantiqiy elementlar majmuyiga aytiladi. Mikroamallarga arifmetik qoʻshuv, konyunksiya, dizyunksiya, inversiya va boshqalar kiradi. Jamlagichlar, kod oʻzgartirgichlar, siljituvchi registrlar va shu kabilar tugunlar hisoblanadi. Mazkur darslikning ushbu V va VI boblarida raqamli sxemalar funksional tugunlarining asosiy turlari haqida batafsil maʼlumot keltirilgan.

Bir qurilma tarkibiga kiruvchi va bir turdagi mikroamallarni bajaruvchi **funksional tugunlar** koʻp hollarda funksional bloklarga birlashadi. Arifmetik-mantiqiy blok, xotira bloki, boshqaruv bloki va boshqalar funksional bloklarga misol boʻladi. Raqamli sxemalar funksional bloklarining asosiy turlari VII va VIII boblarda batafsil keltirilgan.

Raqamli qurilmalar tugunlari va bloklari ikki sinfga boʻlinadi: **kombinatsion** va **ketma-ketli**. Kombinatsion tugunlar va bloklar xotiraga ega emas, ketma-ketli tugunlar va bloklar esa xotira elementlariga ega.

Kombinatsion sxemalarda chiqishdagi signal mazkur vaqtda kirishga berilayotgan mantiqiy signallar kombinatsiyasiga aynan mos keladi. Shu sababli, bu turdagi sxemalarga xotira zarur emas.

Funksionl tugun va bloklar sodda mantiqiy amallarni bajaradigan elektron sxemalarda tuziladi. Bu sxemalar **negiz mantiqiy elementlar** deb ataladi va ular IV bobda ko'rib o'tilgan edi. Raqamli sxemalarda turli mantiqiy funksiyalarni amalga oshirish uchun **minimal element bazis** (yoki **baza**) deb ataluvchi mantiqiy elementlar majmuasiga ega bo'lish yetarli hisoblanadi.

Minimal element bazislar:

- biri HAM, ikkinchisi esa EMAS amalini bajaruvchi ikki turdagi mantiqiy elementlar majmuyi;
- biri YOKI, ikkinchisi esa EMAS amalini bajaruvchi ikki turdagi mantiqiy elementlar majmuyi;
- YOKI-EMAS (EMAS-YOKI) amalini bajaruvchi Pirs mantiqiy elementlari majmuyi;
- HAM-EMAS amalini bajaruvchi Sheffer mantiqiy elementlari majmuyi.

Amalda elementlar va boshqalar nomenklaturasini qisqartirish maqsadida HAM-EMAS yoki YOKI-EMAS amallarni bajaruvchi element bazasidan foydalaniladi. Lekin faqat minimal bazis elementlaridan foydalangan holda raqamli tizimni shakllantirish qurilmaning murakkablashib ketishiga olib keladi.

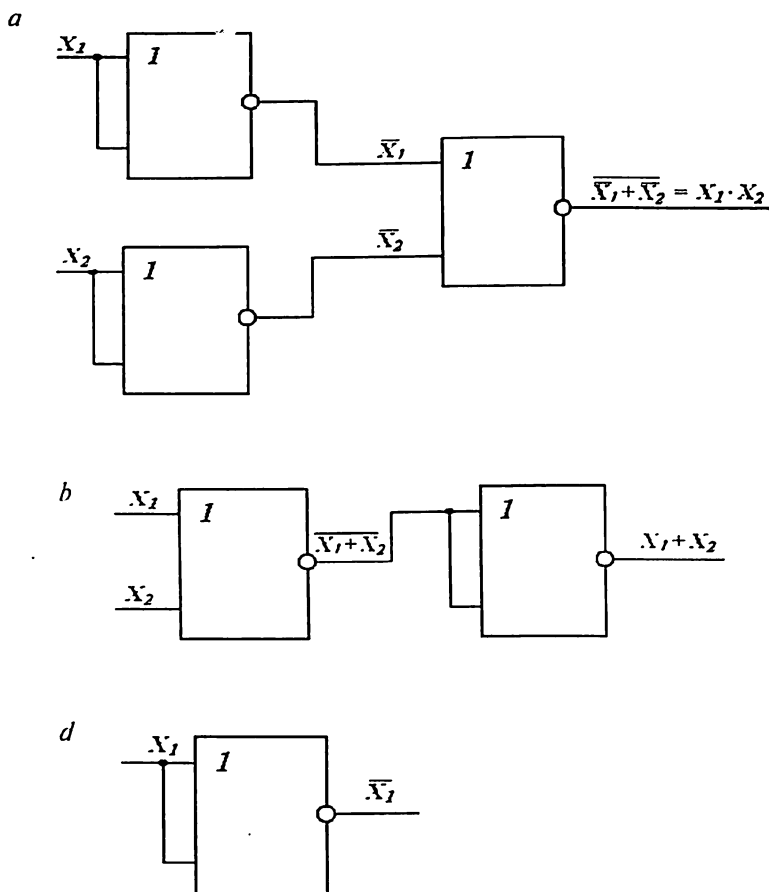
U holda tizim parametrlarini yaxshilash maqsadida, HAM-EMAS yoki YOKI-EMAS minimal bazis elementlaridan tashqari, HAM-YOKI-EMAS, HAM, YOKI, istisnoli YOKI va boshqa amallarni bajaruvchi sxemalar ham qo'llaniladi.

Minimal element bazisi mantiqiy elementlarning **funksional to'liq tizimi** hisoblanadi. Ya'ni minimal bazis mantiqiy elementlari majmuyi ixtiyoriy murakkablikdagi mantiqiy sxemani shakllantirishga imkon beradi.

Misol tariqasida, YOKI-EMAS elementi yordamida (5.1-rasm) va faqat HAM-EMAS elementlari yordamida (5.2-rasm) HAM, YOKI va EMAS amallari qanday bajarilishini ko'rib chiqamiz.

Murakkab mantiqiy qurilmalar sintezini boshlashdan avval quyidagi amallar ketma-ketligini bajarish zarur:

- mazkur tugun (blok) bajarishi kerak bo'lgan berilgan murakkab mantiqiy funksiyani minimallashtirish;

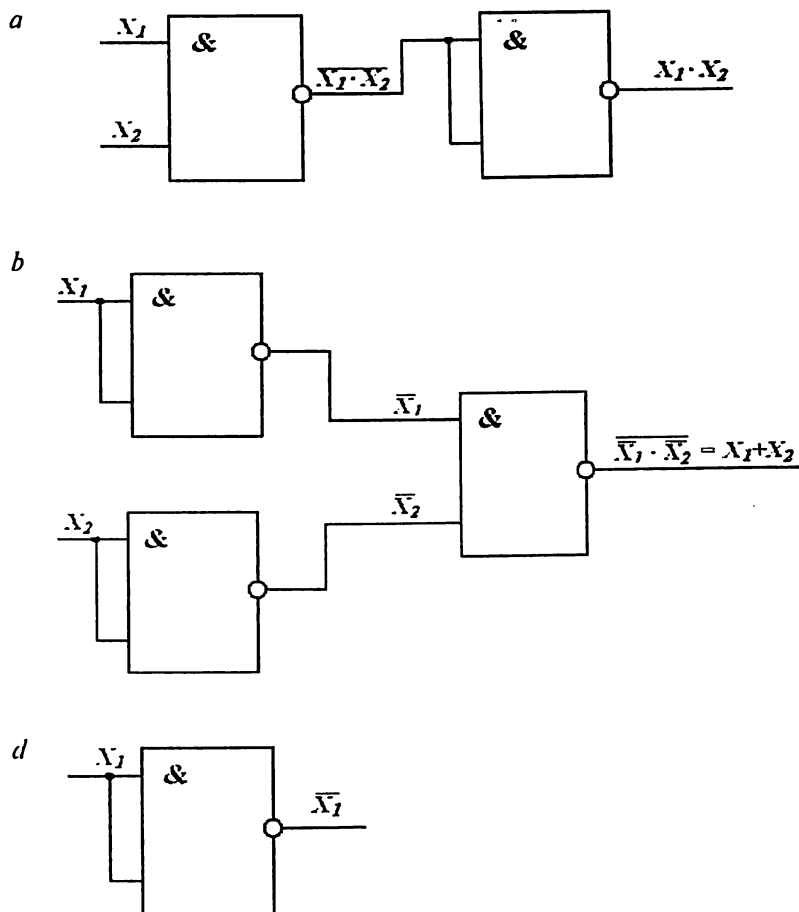


5.1-rasm. 2YOKI-EMAS elementi asosida HAM (*a*), YOKI (*b*) va EMAS (*d*) mantiqiy amallarining shakllanishi.

- element baza tanlash;
- minimallashtirilgan mantiqiy funktsiyani tanlangan bazaga ko‘ra o‘zgartirish;
- elektr sxemani sintezlash.

O‘zgaruvchi kattaliklar orasidagi $y=f(x)$ bog‘liqlik yoki funktsiya turli shaklda ifodalanishi mumkin.

Raqamli qurilmalarning ishlash algoritmi matematik mantiq yordamida ifodalanadi. Shu sababli qurilmalar mantiqiy qurilmalar sinfiga



5.2-rasm. 2HAM-EMAS elementi asosida HAM (a), YOKI (b) va EMAS (d) mantiqiy amallarining shakllaniishi.

taalluqli. Mantiqiy qurilmalarda chiqishdagi o'zgaruvchilar (funksiya) y , ning kirishdagi o'zgaruvchilar majmuasi $x_n, \dots, x_2, x_1$ orqali, mantiq algebrasi yordamida ifodalanishi **mantiq algebrasi funksiyasi** (MAF) deb ataladi. Raqamli qurilmalarda qayta ulanuvchi elementlar («ochiq» holatidan «berk» holatiga o'tuvchi va aksincha) qo'llanilgani sababli mantiq algebrasi funksiyasi **qayta ulanuvchi funksiya** deb ham ataladi.

Ba'zi qurilmalar MAFini to'rt usulda ifodalash mumkin.

.. **MAFning soʻz yordamida ifodalanishi.** MAFning soʻz yordamida ifodalanishini istisnoli YOKI mantiqiy amalini bajaruvchi mantiqiy element misolida koʻrib chiqamiz. Bu amal shunchalik muhimki, uning uchun $\oplus$ belgisi kiritilgan. Ikkita oʻzgaruvchi uchun mazkur MAFning soʻzli ifodasi quyidagicha boʻladi: agar ikkala oʻzgaruvchi qarama-qarshi belgilarga ega boʻlsa, ularning mantiqiy funksiyasi 1 ga teng boʻladi.

Mazkur MAFning jadval koʻrinishida ifodalanishi. Funksiyaning jadval yordamida ifodalanishi **haqiqiylik jadvali** deb ataladi va u kirishdagi ikkita x_i oʻzgaruvchining ixtiyoriy kombinatsiyasidan va ularga mos keluvchi chiqishdagi oʻzgaruvchi y , qiymatlardan tashkil topgan boʻladi. Istisnoli YOKI funksiyasi uchun haqiqiylik jadvali 5.1-jadvalda keltirilgan.

5.1-jadval

x_1	x_2	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

MAFning algebraik ifoda shaklida keltirilishi. Bu holda mantiqiy blok sintezi uchun MAFning standart ifodalanish usullaridan biri qoʻllanilishi mumkin.

a) **Dizyunktiv normal shakl (DNSH).** Bu ifodalanish shaklida funksiya barcha kirishdagi oʻzgaruvchilar koʻpaytmasi yoki ularning inversiyasidan tashkil topgan qoʻshiluvchilar yigʻindisidan tashkil topadi. DNSH haqiqiylik jadvalidan olinadi. Funksiya birga teng boʻladigan kirishdagi oʻzgaruvchilarning barcha kombinatsiyasi uchun kirishdagi oʻzgaruvchilarning koʻpaytmasi yoziladi. Bunda nolga teng boʻlgan oʻzgaruvchilar inversiyalanib yoziladi. Hosil boʻlgan koʻpaytma **konstituentalar** yoki **birning mintermi** deb ataladi. Soʻngra barcha bir konstituentalari mantiqiy qoʻshiladi. Koʻrib chiqilgan qoidalarga asoslanib istisnoli YOKI MAF uchun DNSH quyidagicha koʻrinishga ega boʻladi:

$$y(x_1 x_2) = \overline{x_1} x_2 + x_1 \overline{x_2} = x_1 \oplus x_2. \quad (5.1)$$

b) **Konyunktiv normal shakl** (KNSH). Bu ifodalanish shaklida funksiya barcha kirishdagi o'zgaruvchilar yig'indisi yoki ularning inversiyasidan tashkil topgan ko'paytmalar yig'indisidan tashkil topadi. KNSH ham haqiqiylik jadvalidan olinadi. Funksiya nolga teng bo'ladigan kirishdagi o'zgaruvchilarning barcha kombinatsiyasi uchun kirishdagi o'zgaruvchilarning yig'indisi yoziladi. Bunda birga teng bo'lgan o'zgaruvchilar inversiyalanib yoziladi. Hosil bo'lgan yig'indi **konstituentalar** yoki **nolning makstermi** deb ataladi. So'ngra barcha nol konstituentalari mantiqiy ko'paytiriladi. Ko'rib chiqilgan qoidalarga asoslanib istisnoli YOKI MAF uchun KNSH quyidagicha ko'rinishga ega bo'ladi:

$$y(x_1 x_2) = (x_1 + x_2)(\overline{x_1} + \overline{x_2}) = x_1 \oplus x_2. \quad (5.2)$$

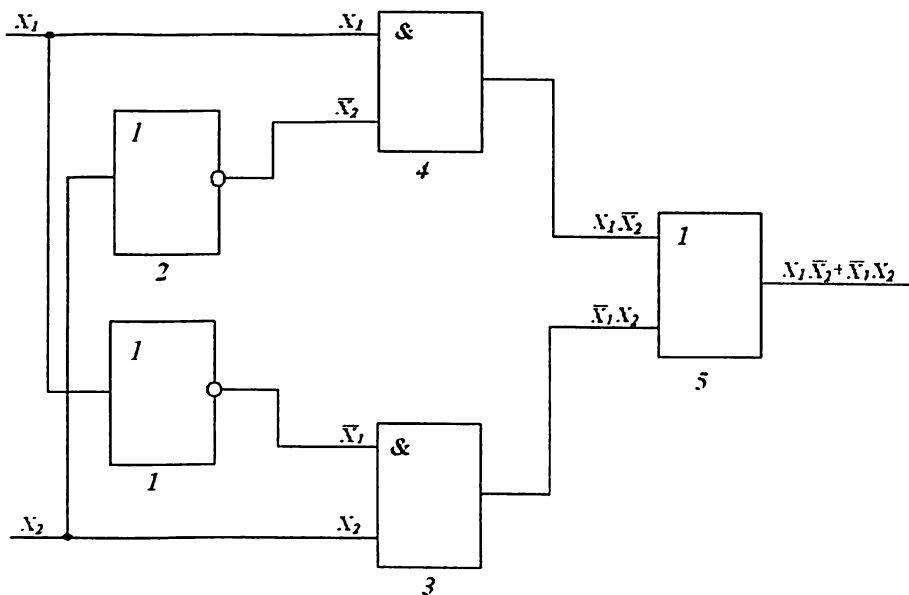
Izoh: so'nggi paytlarda MAFning kub shaklda ifodalanishi keng tarqalgan bo'lib, u integral mikrosxemalarni mantiqiy loyihalash jarayonlarini avtomatlashtirishda qo'llaniladi.

Muhim xulosa: umumiy hollarda DNSH va KNSHlar ortiqcha hisoblanadi. Ya'ni, ko'rib chiqilgan qoidalar asosida tuzilgan DNSH va KNSHlar ortiqcha o'zgaruvchilar va tashkil etuvchilarga ega bo'ladi. Ortiqcha o'zgaruvchilar va tashkil etuvchilar olib tashlansa (ya'ni ifoda soddalashtirilsa), u holda minimal yig'indi yoki minimal ko'paytma hosil bo'ladi.

Minimal yig'indi yoki minimal ko'paytma III bobdagi 3.5-jadvalda keltirilgan aksioma va mantiqiy algebra qonunlari yordamida hosil qilinadi. Misol tariqasida, mantiqiy algebra usullaridan foydalanib, istisnoli YOKI mantiqiy funksiyasini minimallashtirishning mumkinligini ko'rib chiqamiz. Agar bu mumkin bo'lsa, bu amalni bajaradigan sxema iqtisodiy jihatdan eng samarali hisoblanadi.

(5.1) funksiyani amalga oshirishga mo'ljallangan qurilma blok-sxemasi 5.3-rasmda keltirilgan. Tahlil qilishga qulay bo'lishi uchun ularni raqamlaymiz.

5.3-rasmning chap qismidan tahlilni boshlab, 1 va 2 invertorlar x_1 va x_2 o'zgaruvchilar qiymatini teskarisiga o'girish uchun ishlatilayot-



5.3-rasm. Minimallashtirilgan MAF yordamida ifodalangan istisnoli YOKI amalini bajaruvchi qurilma blok-sxemasini.

ganini aytishimiz mumkin. HAM sxemasi 3 yordamida $\overline{x_1}x_2$ amalga oshiriladi. Xuddi shunday HAM sxemasi 4 yordamida $x_1\overline{x_2}$ amalga oshiriladi. Ikkala elementning chiqishi YOKI elementi 5 kirishlari bilan birlashgan. YOKI elementi chiqishidagi signal

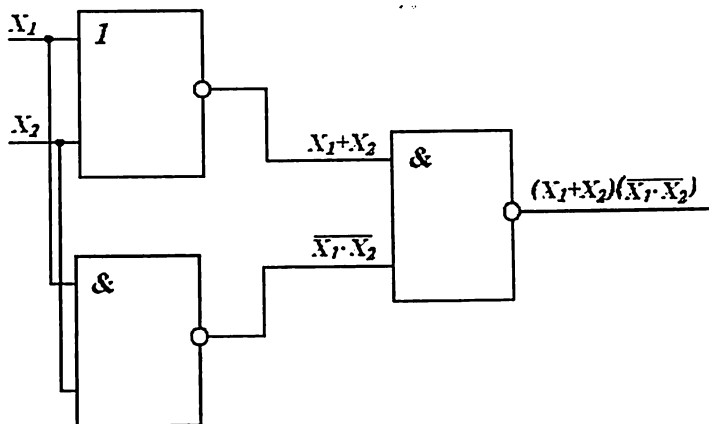
$$y(x_1x_2) = x_1 \oplus x_2 = \overline{x_1}x_2 + x_1\overline{x_2}$$

funktsiya bilan hisoblanadi.

Istisnoli YOKI funksiyasini (5.1) shakl asosida shakllantirish uchun ikkita EMAS sxemasi, ikkita HAM sxemasi va ikkita kirishga ega bo'lgan bitta YOKI sxemasi talab qilinadi (5.3-rasm).

Lekin (5.1) funksiyani minimallashtirish va x_1 va x_2 o'zgaruvchilarning barcha kombinatsiyasi uchun aynan shu javoblarni beruvchi sodda mantiqiy bog'liqlik hosil qilish mumkin. Buning uchun mantiq algebrasining mantiqiy nisbatlaridan foydalanamiz.

Mantiqiy hisob qoidalaridan foydalanib, (5.1) funksiyaning boshqa ifodasini hosil qilamiz:



5.4-rasm. Minimallashtgan MAF yordamida ifodalangan istisnoli YOKI amalini bajaruvchi qurilma blok-sxemasi.

$$\begin{aligned}
 y(x_1 x_2) &= x_1 \overline{x_1} + x_1 \overline{x_2} + x_2 \overline{x_1} + x_2 \overline{x_2} = \\
 &= x_1 (\overline{x_1} + \overline{x_2}) + x_2 (\overline{x_1} + \overline{x_2}) = x_1 (\overline{x_1 x_2}) + x_2 (\overline{x_1 x_2}) = \\
 &= (x_1 + x_2) (\overline{x_1 x_2}),
 \end{aligned} \quad (5.3)$$

bunda $x_1 \overline{x_1} = x_2 \overline{x_2} = 0$.

(5.3) funksiyani amalga oshirishga mo'ljallangan qurilma blok-sxemasi 5.4-rasmda keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, aynan shu funksiyani bajarishga mo'ljallangan mazkur qurilma uchun xotira emas, balki bitta YOKI sxemasi, bitta HAM-EMAS sxemasi va bitta EMAS sxemasi kifoya ekan.

Ma'lumot uchun: istisnoli YOKI sxemasini shakllantirishning boshqa usullari ham mavjud.

Yuqoridagilardan xulosa qilish mumkinki, Bul algebrasi yordamida mantiqiy sxemalarni tuzishda zarur bo'lgan sodda sxemalar sonini minimallashtirish mumkin. Lekin Bul algebrasini yaxshi bilgan holdagina bunday natijalarga erishish mumkin. Optimallashtirish (minimallashtirish)ning boshqa grafik usuli — **Karno kartalarini** qo'llashga asoslangan bo'lib, bu usul algebraik usuldan ancha sodda hisoblanadi. Kirishlar soni to'rttdan ortiq bo'lmagan sxemalarni Karno kartalari yordamida

minimallashtirish eng yaxshi usul hisoblanadi. Bu usul mantiqiy ifodalarni haqiqiylik jadvallari yordamida aniqlashga ham imkon beradi.

Karno kartalarini qo'llash materialni ixcham va qulay ifodalanishini ta'minlaydi. Karno kartalari haqiqiylik jadvaliga yaqin bo'lib, ikkita o'q bo'ylab joylashgan o'zgaruvchilardan tashkil topadi. O'zgaruvchilar shunday joylashishi kerakki, har bir kvadratdan keyingisiga o'tganda, faqat bir kirishning holati o'zgarsin. Ikkita (a), uchta (b) va to'rtta (d) mantiqiy o'zgaruvchili funksiyalar uchun Karno kartalari 5.5-rasmda keltirilgan. Ikkita o'zgaruvchi uchun $2^2 = 4$ kombinatsiya hosil bo'ladi, shuning uchun karta 4 katakdan tashkil topadi. Uchta o'zgaruvchi uchun $2^3 = 8$ kombinatsiya hosil bo'ladi, shuning uchun karta 8 katakdan tashkil topadi va h.k.

Kartalardan ko'rinib turibdiki, har bir katakka mantiqiy o'zgaruvchilar majmuyi yozilgan bo'lib, katak raqami ustun va qatorlar kesishmasidan aniqlanadi. Shu sababli, haqiqiylik jadvali yordamida berilgan funksiyalarni Karno kartalari orqali ifodalash qulay. Ba'zi mantiqiy funksiyalarning Karno kartalari yordamida grafik ifodalanishi 5.6-rasmda keltirilgan.

O'zgaruvchilar soni $K = 8 \div 9$ gacha bo'lgan funksiyalarni ifodalashga imkon beradigan maxsus usullar mavjud. Lekin bu usullarni o'rganish mazkur darslik chegarasidan chiqadi. Lekin Karno kartalari har doim ham yaxshi minimallashtirishga olib kelmaydi. Bundan tashqari, mantiqiy tuzilma sxemasini tanlashda IMS konstruksiyasi bilan bog'liq bo'lgan cheklanishlar ham muhim rol o'ynaydi.

O'zgaruvchilar soni beshtadan ortiq bo'lmagan MAFni minimallashda Veych kartalarini qo'llash usulidan foydalanish mumkin. O'zgaruvchilar soni to'rtta bo'lgan MAF uchun Veych kartalari (diagrammalari) hamda karta kvadratlarining raqamlanishi 5.7, a -rasmda keltirilgan.

MAFning o'zi (5.4) funksiya yordamida ifodalanadi:

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4) = x_1 x_2 + \overline{x_1} x_2 x_3 x_4 + x_1 \overline{x_2} x_3 + \overline{x_1} x_3 + x_1 x_3 x_4. \quad (5.4)$$

Darhaqiqat, MAFni Veych kartalari yordamida minimallashtirish uning faqat birga teng bo'lgan qiymatlarini emas, balki nol qiymatlarini ham qo'llash mumkin. Ikkala holatda ham o'zaro teng ifodalar hosil

a

		X_1	
		X_2	
X_2	0	$\bar{X}_1\bar{X}_2$	$X_1\bar{X}_2$
1	$\bar{X}_1X_2$	X_1X_2	} X_2
		$\bar{X}_1$	

b

		X_1			
		X_1X_2			
X_3	X_1X_2	00	01	11	10
0	$\bar{X}_1\bar{X}_2\bar{X}_3$	$X_1X_2\bar{X}_3$	$X_1X_2\bar{X}_3$	$X_1\bar{X}_2\bar{X}_3$	$X_1\bar{X}_2\bar{X}_3$
1	$\bar{X}_1\bar{X}_2X_3$	$\bar{X}_1X_2X_3$	$X_1X_2X_3$	$X_1\bar{X}_2X_3$	$X_1\bar{X}_2X_3$
		X_2			

d

		X_1			
		X_1X_2			
X_3, X_4	X_1X_2	00	01	11	10
00	$\bar{X}_1\bar{X}_2\bar{X}_3\bar{X}_4$	$\bar{X}_1X_2\bar{X}_3\bar{X}_4$	$X_1X_2\bar{X}_3\bar{X}_4$	$X_1\bar{X}_2\bar{X}_3\bar{X}_4$	} X_4
01	$\bar{X}_1\bar{X}_2\bar{X}_3X_4$	$\bar{X}_1X_2\bar{X}_3X_4$	$X_1X_2\bar{X}_3X_4$	$X_1\bar{X}_2\bar{X}_3X_4$	
11	$\bar{X}_1\bar{X}_2X_3\bar{X}_4$	$\bar{X}_1X_2X_3\bar{X}_4$	$X_1X_2X_3\bar{X}_4$	$X_1\bar{X}_2X_3\bar{X}_4$	
10	$\bar{X}_1\bar{X}_2X_3X_4$	$\bar{X}_1X_2X_3X_4$	$X_1X_2X_3X_4$	$X_1\bar{X}_2X_3X_4$	
		X_2			

5.5-rasm. Ikkita (a), uchta (b) va to'rtta (d) o'zgaruvchili funksiyalar uchun mintermlari joylashgan Karno kartalari.

a

$x_1 \backslash x_2$		0	1
0			1
1	1		

$$y = x_1 \overline{x_2} + \overline{x_1} x_2$$

b

$x_1, x_2 \backslash x_3$		00	01	11	10
0	1				1
1	1			1	

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4) = x_1 x_2 + \overline{x_1} x_2 x_3 x_4 + x_1 \overline{x_2} x_3 + \overline{x_1} x_3 + x_1 x_3 x_4$$

d

$x_1, x_2 \backslash x_3, x_4$		00	01	11	10
00	1				
01			1		
11					1
10					1

$$y = \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} x_4 + \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} x_4 + x_1 \overline{x_2} x_3 x_4 + x_1 \overline{x_2} x_3 \overline{x_4}$$

5.6-rasm. Karno kartalari yordamida mantiqiy funksiyalarni grafik ifodalash namunalari.

	x_1	x_2	
x_1			x_3
x_2			x_4
x_3			x_5
x_4			x_6

a

	x_1	x_2	
x_1	1	1	x_3
x_2	1	1	x_4
x_3		1	x_5
x_4		1	x_6

b

5.7-rasm. (5.4) qoidaga asosan to'rtta o'zgaruvchili MAF uchun Veych kartalari (a) va kataklarning to'ldirilishi (b): agar o'zgaruvchilarning i -kiritilishida funksiyaning qiymati 1 ga teng bo'lsa, u holda kartaning mos katagiga 1 yoziladi (b).

bo'ladi, lekin qo'shiluvchilar soni va bajaradigan mantiqiy amallari soni bilan farqlanishi mumkin.

Veych kartalari yordamida MAFni minimallashtirish usulida mantiqiy o'zgaruvchilarning soni beshtadan oshmasligi kerak. Agar bu shart bajarilmasa, ya'ni o'zgaruvchilar soni beshtadan oshsa, usul o'z kuchini yo'qotadi. Agar ishlab chiqaruvchi zarur malakaga ega bo'lmasa, MAFni minimallashtirishda EHMLarni qo'llay olmaydi.

O'zgaruvchilar soni beshtadan ortiq bo'lgan MAFlarni minimal-lashda EHMLardan foydalaniladigan usullar qo'llaniladi. Bunday usullarga Kvayn va Mak-Klaski usullari kiradi.

Mantiqiy funksiyaning minimallashtirish maqsad, mazkur bobning boshida aytilganidek, uning texnik ishlab chiqarish narxini kamaytirish.

MAFni minimallashtirish me'zoni ham ko'rilayotgan masala turi, ham integral mikrosxemalar ishlab chiqarish texnologiyasining rivojlanish darajasiga bog'liq. Agar **integral sxema loyihalashtirilayotgan bo'lsa**, murakkab MAFni amalga oshirish uchun birinchi o'ringa **tashqi ulanishlar sonini kamaytirish** va **ichki tuzilmaning doimiyligi** talabi qo'yiladi. Bu talab ixtiyoriy integratsiya darajasidagi (KIS, O'IS,

KIS, O'KIS) mikrosxemalar qo'llanadigan apparaturalarni loyihalashda ham dolzarb hisoblanadi.

Shunday qilib, mantiqiy funksiyani minimallashtirish ishlab chiqaruvchi malakasi va raqamli sxemaning murakkabligidan kelib chiqqan holda yuqorida keltirilgan usullarning birini qo'llagan holda amalga oshirilishi mumkin. Natijada berilgan funksiya uchun ishlab chiqaruvchi bir yoki bir nechta minimallashtirilgan ifoda hosil qilishi mumkin. **Funksiyaning minimallashtirilgan ifodalari yoki dizyunktiv normal shaklda (MDNSH), yoki invers konyunktiv normal shaklda (MKNSH) ifodalanishi mumkin.**

Amaliyotda, negiz elementlar nomenklaturasini qisqartirish maqsadida, biror minimal elementlar bazisidan foydalaniladi. Hozirgi kunda, mos ravishda, ikkita HAM-EMAS va YOKI-EMAS amallarini bajaradigan minimal element bazisi yordamida ifodalash keng tarqalgan.

Mantiqiy tugun (blok) element bazasini tanlash. Raqamli elektronika rivojlanish jarayonida asosiy mantiqiy amallarni bajaradigan ko'p sonli sxemotexnik jihatdan turlicha bo'lgan mantiqiy elementlar ishlab chiqilgan. IV bobda bulardan amalda keng qo'llaniladigan turlari ko'rib chiqilgan edi. Bir xil mantiqiy funksiyani bajaradigan bir necha mantiqlarning mavjudligi (TTM, EBM, I²M, MDYA va KMDYA) har birining tezkorligi, iste'mol quvvati, sxemotexnik yechimlarning mone'ligi, integratsiya darajasi va boshqa ko'rsatkichlarining turlichaligi bilan ajralib turadi.

Mos keluvchi element bazani tanlash uchun asosiy elektr parametrlar dastlabki berilganlar (texnik vazifa) bo'lib hisoblanadi. Bundan tashqari, shuni nazarda tutish kerakki, hozirgi kunda raqamli tizimlarni loyihalashtirishda asosan negiz matritsali kristallarda bajarilgan dasturlanuvchi mantiqiy KISlar va yarimbuyurtmali O'KISlar qo'llaniladi. Bu ISlar o'zaro ulanmagan ME elementlaridan tashkil topgan bo'ladi (2HAM-EMAS yoki 2YOKI-EMAS) yoki mantiqiy signallarni qayta ishlash yuzasidan berilgan algoritmgacha mos ravishda ishlaydigan oddiy tranzistorlar, diodlar, rezistorlar majmuasidan iborat bo'ladi.

Minimallashtirilgan MAFni tanlangan element bazaga o'zgartirish. Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda, mos ravishda HAM-EMAS va YOKI-EMAS amallarini bajaradigan ikkita mantiqiy element uchun minimal negiz element tanlaymiz.

Hosil bo'lgan MNDSHni tanlangan negiz elementlar bajaradigan amallar kombinatsiyasi ko'rinishida ifodalash talab etiladi. O'zgartirishda ikkita texnik usul qo'llaniladi: dastlabki ifodani yoki uning bir qismini ikki marta integrallash va De-Morgan nazariyasini qo'llash.

HAM-EMAS elementlari yordamida hosil qilingan MNDSH aytib o'tilgan usullar yordamida faqat HAM-EMAS amallaridan iborat bo'lgan ko'rinishga olib kelinadi. Bu sxema amalda HAM-EMAS elementlari mos ravishda birlashgan elektr sxema yordamida bajariladi. YOKI-EMAS ME yordamida MDNSHni loyihalashda ham xuddi shu usul qo'llaniladi.

Shu kabi o'zgarishlarni quyidagi misolda ko'rib chiqamiz. Deylik, HAM-EMAS elementlari yordamida quyidagi amalni bajaradigan kombinatsion sxemani shakllantirish talab etilayotgan bo'lsin:

$$y(x) = \overline{x_2 x_4} + x_1 \overline{x_3 x_4} + \overline{x_1 x_2 x_3 x_4}. \quad (5.5)$$

Berilgan MAFni HAM-EMAS ME bazisiga o'zgartiramiz

$$y(x) = \overline{\overline{x_2 x_4} + x_1 \overline{x_3 x_4} + \overline{x_1 x_2 x_3 x_4}} = \overline{(x_2 x_4)(x_1 x_3 x_4)(x_1 x_2 x_3 x_4)}. \quad (5.6)$$

Natijada faqat HAM-EMAS amallarini bajaradigan ifoda hosil bo'ldi. Mazkur amalni bajaradigan elektr sxema 5.8-rasmda keltirilgan.

YOKI-EMAS elementlari yordamida yuqoridagi amalni bajaradigan kombinatsion sxemani shakllantirishda invers MDNSH qo'llaniladi. Bu holda MAF ifodasida faqat mantiqiy qo'shuv va inversiya amallari qoldiriladi.

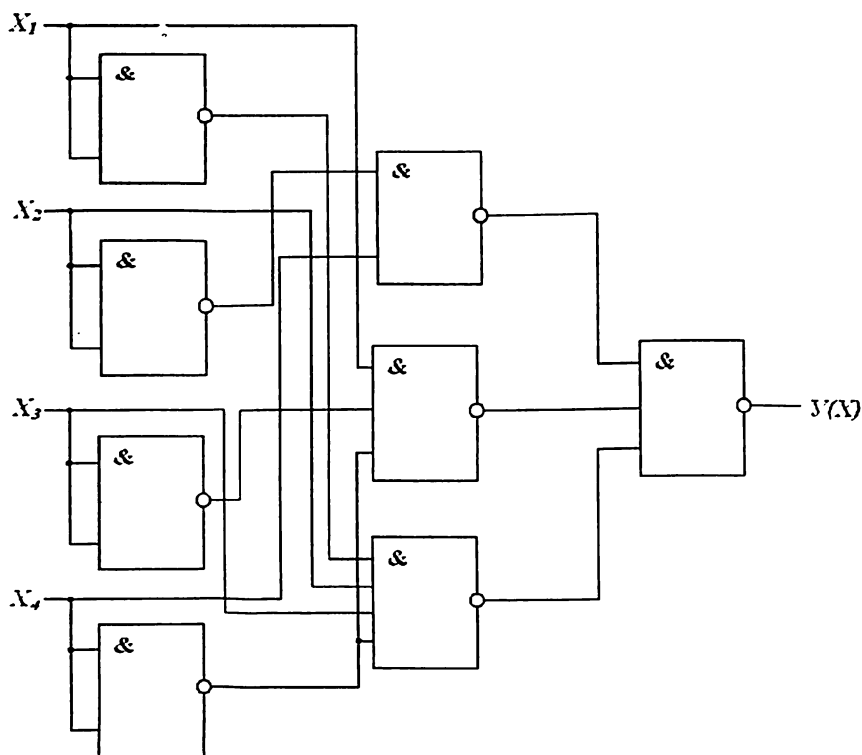
Misol tariqasida, quyidagi ko'rinishdagi MAF ni ko'rib chiqamiz:

$$y(x) = \overline{x_2 x_4 + x_1 x_2 x_3 + x_1 x_3 x_4 + x_2 x_3 x_4}. \quad (5.7)$$

Har bir implikantni ikki martalab inverslash va ularni kirishdagi o'zgaruvchilar dizyunksiyasi yoki De-Morgan nazariyasi yordamida inverslash orqali:

$$y(x) = \overline{\overline{x_2 x_4} + \overline{x_1 x_2 x_3} + \overline{x_1 x_3 x_4} + \overline{x_2 x_3 x_4}} = \overline{(\overline{x_2} + \overline{x_4}) + (\overline{x_1} + \overline{x_2} + \overline{x_3}) + (\overline{x_1} + \overline{x_3} + \overline{x_4}) + (\overline{x_2} + \overline{x_3} + \overline{x_4})} \quad (5.8)$$

hosil qilinadi.

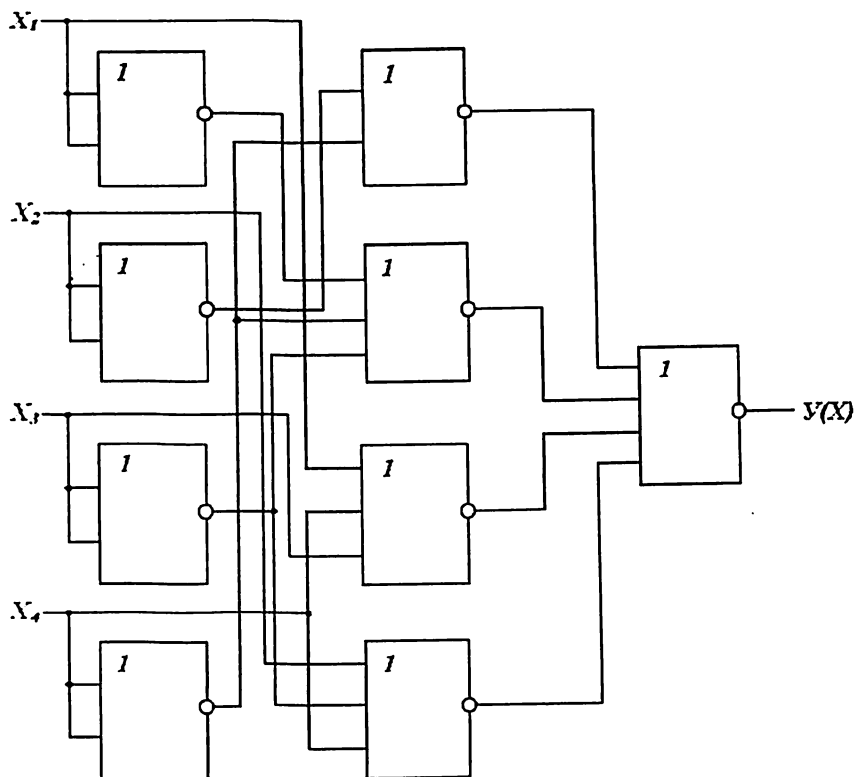


5.8-rasm. (5.6) ifoda yordamida hosil qilingan, HAM-EMAS elementlarida bajarilgan qurilma blok-sxemasi.

O'zgartirishlar natijasida faqat YOKI-EMAS amallarini bajaradigan mantiqiy ifoda hosil bo'ldi. Mazkur amalni bajaradigan elektr sxema 5.9-rasmida keltirilgan.

5.9-rasmdan ko'rinib turibdiki, MELardagi kirishlar soni turlicha. Sanoatda ishlab chiqarilayotgan MELar ikkitadan sakkiztagacha kirishga ega. Kirishlar soni talab etilayotgan sondan katta bo'lgan MELarni tanlash qulaydir, chunki aks holda mantiqiy qurilmani hosil qilishda bunday MELardan ko'p talab qilinadi, natijada qurilma murakkablashib ketadi.

Lekin agar kirishlar soni talab etilayotgandan katta bo'lgan MELar tanlansa, MENing asl kirishlar sonini kamaytirish kerak. Buning ikki usuli mavjud:



5.9-rasm. (5.8) ifoda yordamida hosil qilingan, YOKI-EMAS elementlarida bajarilgan qurilma blok-sxemasi.

- ishlatilmayotgan YOKI-EMAS elementlari kirishiga mantiqiy nol va HAM-EMAS elementlari kirishiga mantiqiy bir signal berish;
- MEning ishlatilmayotgan kirishlariga bir xil mantiqiy o‘zgaruvchi berish.

Birinchi usulning haqiqiyligi mazkur mantiqiy amallarning haqiqiylik jadvallari tahlili natijasida, ikkinchi usulning haqiqiyligi esa $x + x = x$ va $xx = x$ bo‘lgan algebra mantig‘idan kelib chiqadi.

Kombinatsion tugun elektr sxemasi sintezi. Sintez deganda, hosil bo‘lgan blok-sxema elementlarini qulay bo‘lgan tayyor mikrosxemalar bilan almashtirish tushuniladi. Bunda texnik vazifaga eng mos keladigan sxemalar tanlanadi.

5.2. Shifratlar va deshifratlar

Jamiyatning rivojlanishi turli texnik vositalar yordamida ma'lumotlarni uzatish, qabul qilish va qayta ishlash bilan bevosita bog'liq.

Ma'lumot — umumilmiy tushuncha bo'lib, insonlar o'rtasida, inson va avtomat o'rtasida, avtomat bilan avtomat o'rtasida ma'lumotlar almashishni o'z ichiga oladi. Quvvat olish, qayta ishlash, uzatish va qo'llash yuzasidan material va ma'lumotlarni insonning bevosita ishtirokisiz, avvaldan belgilangan dastur yordamida bajaruvchi qurilma **avtomat** deb ataladi.

Ma'lumotlar almashinuvi uchun u dastlab kodlangan bo'lishi kerak. **Kodlash** deganda, ma'lumotni simvollar (belgilar) ketma-ketligi yordamida ifodalash tushuniladi. Insonlar o'rtasida qog'oz ko'rinishidagi ma'lumotlar almashinuvi keng tarqalgan bo'lib, unda asosan raqamlar (0, 1, 2, ..., 9), harflar (lotin alifbosi, unga asoslangan o'zbek tili harflari), maxsus belgilar («+», «-», «*», «=», «%» va h.k.) qo'llaniladi. Bunda har bir ma'lumot uchun ma'lum belgilar kombinatsiyasi mos keladi.

Raqamli texnikada ma'lumotlarni uzatish va qayta ishlash uchun shartli ravishda nol va bir deb ataluvchi, atigi ikkita o'zgarmas kuchlanish qiymati bilan ifodalanuvchi elektr signallar xizmat qiladi. Shuning uchun, raqamli qurilmalar yordamida qayta ishlanayotgan ma'lumotni kodlash uchun ikkilik yoki raqamli kodlar qo'llaniladi. **Ikkilik kodi** — bu ikkilik o'zgaruvchi qiymatlarining ketma-ketligidir. Ikkilik kodini tuzishda atigi ikkita simvol qo'llanilishiga qaramay, ixtiyoriy sonning turlicha kodlarini tuzish mumkin. Ba'zi kodlarda ketma-ketlik bir-biridan razryadlar soni yoki uzunligi bilan farqlansa, ba'zilarida ular tuzilgan qoidalari bilan farqlanadi. Birinchi holda kod, umuman olganda ikkilik sanoq tizimida yozilgan butun son bo'lib, bunday kodlarda katta uzunlikdagi cheksiz nol va birlar ketma-ketligi ishtirok etishi mumkin.

Arifmetik amallarni bajarishda teskari, qo'shimcha ikkilik-o'nlik va ikkilik kodining boshqa turlarini tadqiq etish maqsadga muvofiqdir. Ularni qo'llaganda o'zgartirgich elektr signallarini maksimal soddalashtirish va amallarni bajarish vaqtini kamaytirish mumkin.

Kodlarning boshqa guruhi raqamli tizimlarda, masalan, xotira qurilmalari maxsus yacheykalarining ishdan chiqishi sababli yuzaga keladigan nosozliklarni aniqlash va tuzatish kabi muammolarni yechishga yordam beradi. Ular **ortiqcha kodlar** deb ataladi. Bu kodlarda faqat bitta razryad, yoki umumiy holda bir nechta razryadlar ham bir, ham nol qiymat olishi mumkin, lekin qolgan boshqa razryadlar nolga teng bo'lgan belgilangan qiymatga ega bo'ladilar. Mazkur kodlar n dan 1, n dan 2 va shu kabi deb ataladilar. Bunday kodlarga «10 dan 1» (10 ta simvoldan faqat bittasi bir qiymatiga ega bo'lishi mumkin), «5 dan 2» (beshta simvoldan ikkitasi doim birga teng qiymatga ega), juft yoki toqlikni tekshiruvchi kodlar, Heming kodlari misol bo'la oladilar.

Raqamli tizimlar, umuman olganda, tashqi muhit bilan doim periferiya (tashqi) qurilmalar orqali bog'langan bo'lib, uchta guruhga bo'linadi:

- inson va mikro-EHM o'rtasida aloqa o'rnatuvchi qurilmalar (klaviatura, yozuv mashinkalari, simvolli va grafik displeylar, o'quvchi avtomatlar va h.k.);

- boshqaruv obyektlari o'rtasida aloqa o'rnatuvchi qurilmalar (turli datchiklar va ijro organlari, datchiklardagi analog signallarni raqamli signalga o'giruvchi va ma'lumotlarni ijro organlariga uzatishda qaytadan o'g'irish qurilmalari);

- katta hajmdagi tashqi xotira qurilmalari (XQ) (magnit tasmlari va disklardagi XQlar, silindrik magnit domenlari va zaryad aloqali asboblardagi xotira).

Tashqi XQlarining ko'pchiligi insonga EHM bilan unga jo'n bo'lgan so'zlar va o'nlik sonlar tilida muloqatga kirishga imkon berganligi uchun, tashqi XQlarida ma'lumot bir turdan ikkinchisiga o'g'iriladi, chunki qayta ishlanayotgan ma'lumotlar, dastlabki berilgan va olinayotgan ma'lumotlar hisob mashinalari yordamida ikkilik sanoq tizimida kodlanayotgan turli fizik holatlar ko'rinishida ifodalanadi. Bu vazifani kod o'zgartirgichlari deb ataluvchi kombinatsion raqamli sxemalar amalga oshiradi. Kod o'zgartirgichlarning xususiy holi bo'lib shifratolar va deshifratolar hisoblanadi.

O'nlik, ʻakkizlik yoki o'noltitalik sanoq tizimidagi raqamlarni ikkilik yoki ikkilik-o'nlik kodga o'zgartiruvchi kombinatsion mantiqiy qurilma **shifrador** yoki **koder** deb ataladi.

Shifrador m ta kirish va n ta chiqishga ega bo'lib, kirishlardan biriga berilgan signalni chiqishda n razryadli parallel kodga o'zgartiradi. Agar shifrador n ta chiqishga ega bo'lsa, u holda uning kirishlari soni 2^n dan kam bo'lmasligi kerak. 2^n kirish va chiqishga ega bo'lgan shifrador **to'liq**, agar shifrador kirishlari soni 2^n dan kam bo'lsa, u **to'liq emas** deb ataladi. Shifrador chiqishlari soni doim kirishlari sonidan kam bo'lganligi sababli, aloqa liniyalari cheklangan hollarda turli qurilmalar o'rtasida ma'lumot almashish uchun ham qo'llaniladi.

0 dan 9 gacha bo'lgan o'nlik raqamlarni ikkilik-o'nlik kodiga o'g'irishda shifratorning ishlashini ko'rib chiqamiz. O'nlik raqamlarni ikkilik-o'nlik kodiga o'g'irishda (yoki aksincha hollarda) har bir o'nlik raqam to'rtta ikkilik raqam bilan almashtiriladi. O'nlik raqamlar mos ravishda boshqaruv pultining $i = 0, 1, 2, \dots, 9$ sonlarini bosish orqali kiritilayotgan bo'lsin. Shifrador holatini haqiqiylik jadvali (5.2-jadval) yordamida tadqiq etish mumkin. Bunday shifratorning to'liq haqiqiylik jadvali turli kirish o'zgaruvchilari uchun $(2^{10}-10)=1014$ ta kombinatsiyadan tashkil topgan bo'lishi kerak edi. Mazkur shifrador ishi davomida qo'llanilmaydigan turli mantiqiy o'zgaruvchilar to'plamini olib tashlash hisobiga, chiqishdagi o'zgaruvchilar soni to'rttagacha qisqartirilgan.

Mazkur shifratorning kirishlari soni $2^n = 16$ dan kam bo'lganligi sababli, u to'liq emas hisoblanadi. Shifrador bir-biriga bog'liq bo'lmagan 4 ta chiqishga ega bo'lib, uning holati to'rtta MAFdan tashkil topgan tizim bilan ifodalanadi. Shifrador ishi mantig'ini ifodalovchi MAF tizimini 5.2-jadvaldan foydalanib hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} Q_3 &= x_8 + x_9, \\ Q_2 &= x_4 + x_5 + x_6 + x_7, \\ Q_1 &= x_2 + x_3 + x_6 + x_7, \\ Q_0 &= x_1 + x_3 + x_5 + x_7 + x_9. \end{aligned} \tag{5.9}$$

MAFni aniqlash jarayoni juda sodda: qaysi birga teng bo'lgan kirish signallarida Q_i chiqish signali birga tengligini aniqlaymiz. Olingan

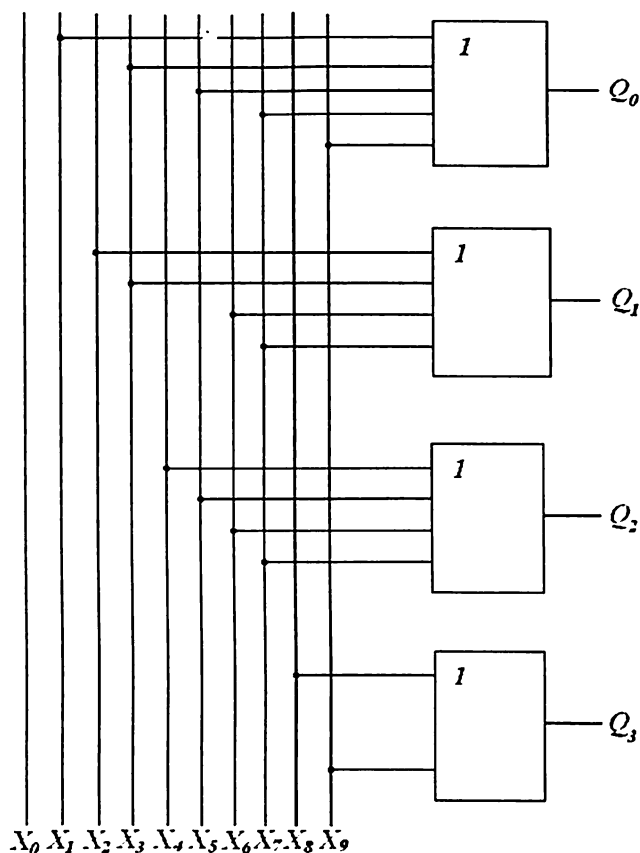
**«10 dan 4 ga» shifratori («4 dan 10 ga» deshifratori)ning
haqiqiylik jadvali**

i	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1		1	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1

MAF yordamida shifrador quyidagi qonunga asosan ishlashini kuza-tishimiz mumkin. Q_0 kichik chiqish razryadi ixtiyoriy toq kirishlardan biriga signal berilganda ochilishi kerak, chunki ikkilik sanoq tizimidagi barcha toq sonlar kichik razryadida birga ega. Demak, kichik razryad tashkil etish uchun toq raqamli o'zgaruvchilar kirishlariga berilgan ko'p kirishga ega bo'lgan YOKI sxemasini qo'llash kerak. Keyingi Q_1 chiqish razryadi ikkilik sanoq tizimida Q_1 razryadida birga teng bo'lganda, ya'ni 2, 3, 6, 7 raqamli o'zgaruvchilarga ega bo'lganda ochilishi kerak. Uchinchi chiqish signali Q_2 razryadi ikkilik sanoq tizimida uchinchi razryadi birga teng bo'lganda, ya'ni 4, 5, 6, 7 raqamli o'zgaruvchilarga ega bo'lganda ochilishi kerak. Oxirgi Q_3 razryadi ikkilik sanoq tizimida 4-razryadi birga teng bo'lganda, ya'ni 8 va 9 raqamli o'zgaruvchilarga ega bo'lganda ochilishi kerak. Kirish sinalining birga teng darajasi faqat bir kirishda bo'lishi mumkin. Kirishlarda bir bo'lmasa to'rttala chiqishda nol kodi hosil bo'ladi.

(5.9) tizimga mos keluvchi shifratorning mantiqiy tizimi 5.10-rasm-da keltirilgan.

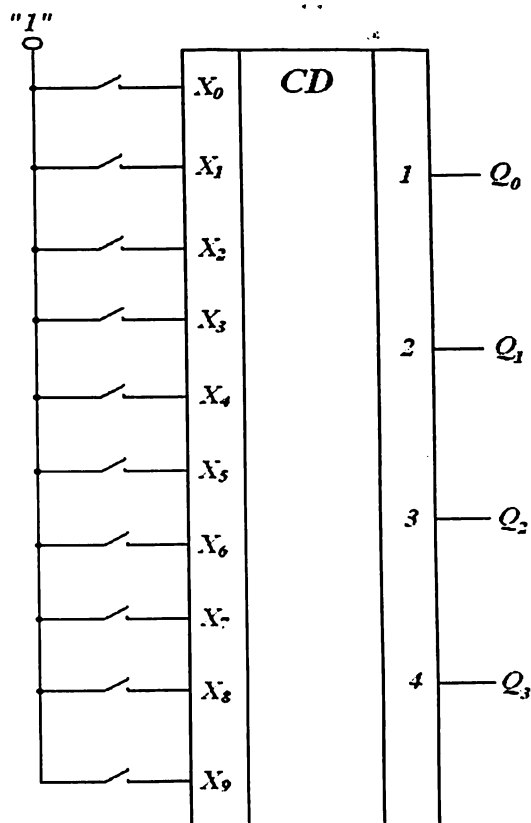
Raqamli tizimlarda shifratorning qo'llanilishi — bu dastlabki ma'lumotni ikkilik tizim tilida klaviaturadan kiritishdir. Shifrador va uning boshqaruv klaviaturasining shartli belgilanishi 5.11-rasmda keltirilgan.



5.10-rasm. Shifrador blok-sxemasi.

Shifratorning berilgan o'nlik kodiga mos raqamli x_i kirishlaridan biror klavishasi bosilsa, mantiqiy bir signal hosil bo'ladi. Tegishli qayta ishlashlardan so'ng, shifratorning chiqish shinalarida ikkilik kodda yozilgan raqamga mos keluvchi signallar o'rnatiladi.

Shunday qilib, shifrador faqat bitta o'tkazuvchi sim (masalan, 9-sim)ga berilgan signalni shifrador chiqishida hosil bo'ladigan parallel ikkilik kodga (bu holatda 1001) o'tkazadi. Shifrador faqat bitta kirish signaliga javob berishi uchun uning sxemasi ustuvor qilib tuziladi. U holda chiqishdagi signal signalni qabul qilgan «katta» kirish raqamiga mos kelishi kerak. Deylik, signallar bir vaqtning o'zida 3, 4 va 9-



5.11-rasm. Shifrador va uning boshqaruv klaviaturasi.
«1» nuqta potentsiali mantiqiy bir potentsialiga teng.

kirishlarga berilgan bo'lsin. Bu yerda 9-kirish katta raqamga ega bo'lib, ustuvorlikka ega, shuning uchun shifrador chiqishidagi kod 1001 bo'ladi. Shu sababli, ustuvor shifrador mikrosxemalarida qo'shimcha mantiqiy elementlar ko'zda tutiladi. Ustuvor shifrador analog-raqamli o'zgartirgich va mikroprotssessorli tizimlarda qo'llaniladi.

Ikkilik sanoq tizimidagi raqamlarni o'nlik sanoq tizimidagi kodga o'zgartiruvchi kombinatsion mantiqiy qurilma **deshifrador** yoki **dekoder** deb ataladi. Bunday o'zgartirishlar, masalan, elektron soatlarda, EHM va shu kabilar dasturidagi ma'lumotlarni qayta shifrlashda qo'llaniladi. Deshifrador shifratonga teskari bo'lgan amalni bajaradi. Agar deshifra-

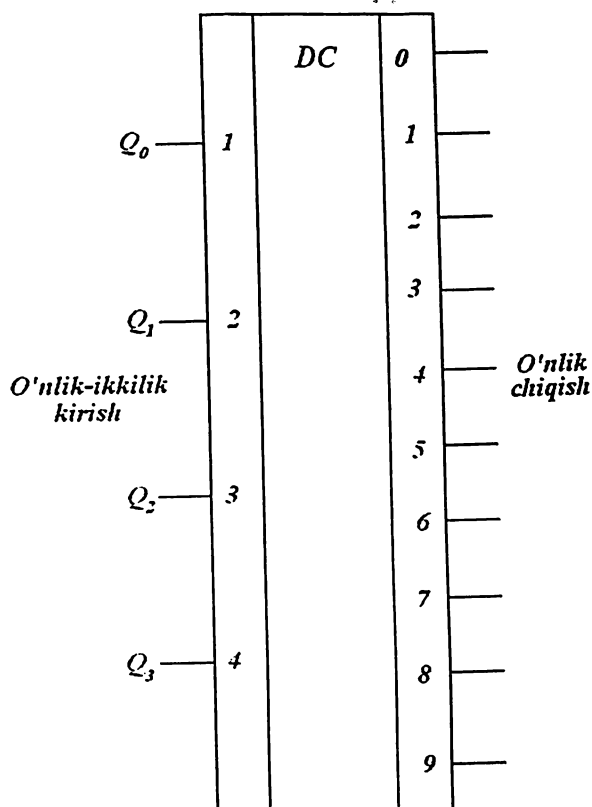
torning n adres kirishlari uning m chiqishlari soni bilan $m = 2^n$ munosabat bilan bog'langan bo'lsa, bunday deshifrador **to'liq** deb ataladi. Agar $m < 2^n$ bo'lsa, deshifrador **to'liq emas** deb ataladi.

Ikkilik-o'nlik raqamlarni o'nlik raqamlarga o'girishda deshifrador qanday ishlashini ko'rib chiqamiz. Deshifrador va shifrador bajaradigan amallar deyarli bir-biridan farq qilmasligi sababli, deshifratorning ishlashi shifrador ishining haqiqiylik jadvali (5.2-jadval) bilan ifodalanadi. Kirish va chiqish signallarini o'rin almashtirish kifoya. Endi chiqish signallari bo'lib x_i , kirish signallari bo'lib esa Q_i hisoblanadi. Jadvalga binoan, faqat bitta kirish o'zgaruvchilari majmuyida chiqishdagi signal birga teng, ya'ni faqat bitta bir konstituentasi uchun. Demak, «4 dan 10 ga» deshifratori ishi algoritmi quyidagi tenglamalar sistemasi bilan ifodalanadi:

$$\begin{aligned}x_0 &= \overline{Q_3} \overline{Q_2} \overline{Q_1} \overline{Q_0}, & x_5 &= \overline{Q_3} Q_2 \overline{Q_1} Q_0, \\x_1 &= \overline{Q_3} \overline{Q_2} \overline{Q_1} Q_0, & x_6 &= \overline{Q_3} Q_2 Q_1 \overline{Q_0}, \\x_2 &= \overline{Q_3} \overline{Q_2} Q_1 \overline{Q_0}, & x_7 &= \overline{Q_3} Q_2 Q_1 Q_0, \\x_3 &= \overline{Q_3} \overline{Q_2} Q_1 Q_0, & x_8 &= Q_3 \overline{Q_2} \overline{Q_1} \overline{Q_0}, \\x_4 &= \overline{Q_3} Q_2 \overline{Q_1} \overline{Q_0}, & x_9 &= Q_3 \overline{Q_2} \overline{Q_1} Q_0.\end{aligned}\tag{5.10}$$

«10 dan 4 ga» deshifratorining shartli grafik belgilanishi 5.12-rasmda keltirilgan. Bu deshifrador ikkilik-o'nlik kodni o'nlik kodga o'zgartiradi.

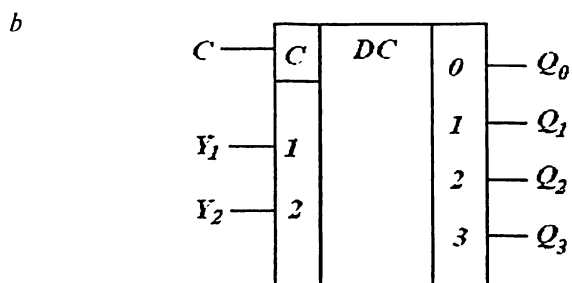
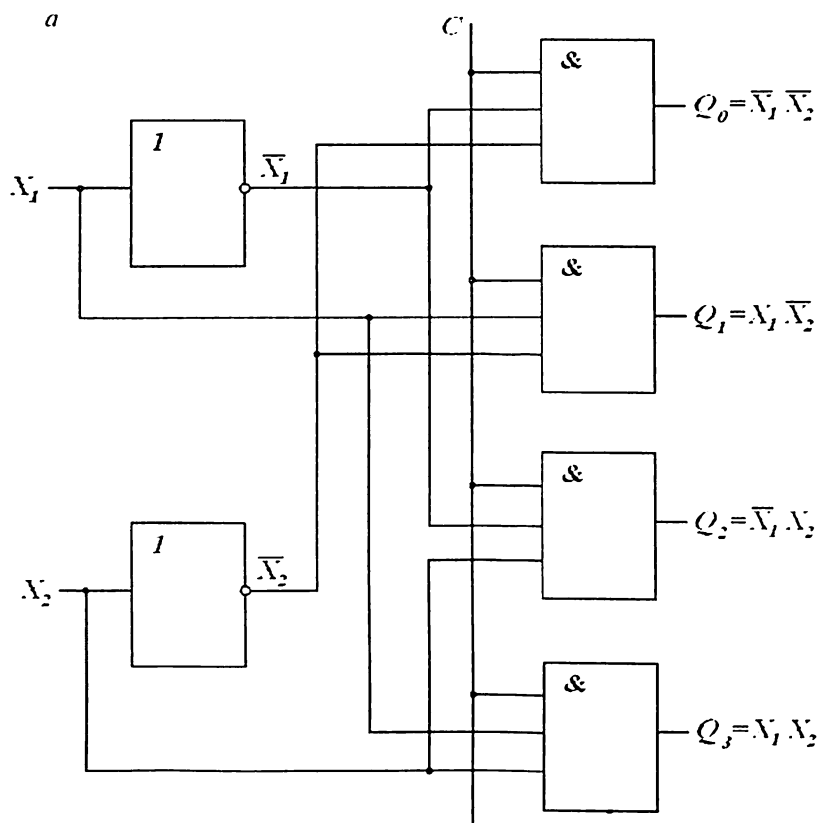
Shunday qilib, deshifrador to'rt razryadli ikkilik-o'nlik kodni ikkilik-o'nlik sanoq tizimidagi o'nlik raqamga mos keluvchi chiqishda yuzaga kelgan mantiqiy bir kuchlanishga o'giradi. Masalan, 1001 kirish kodi 9-raqamli simni ishga tushirishi kerak, deshifratorning qolgan simlarida nol bo'lishi kerak. Tezkorligi yuqori, lekin qo'llanilgan murakkab MELar soni ko'p bo'lgan qurilma, chiziqli deshifrador (DSH) hisoblanadi. Chiziqli DSH bir-biri bilan bog'lanmagan HAM sxemalari majmuyini tashkil etadi. Ularning har biri DSH ishini ifodalovchi (5.10) MAF tizimi mantiqiy funksiyalaridan birini amalga oshirish uchun mo'ljallangan. Demak, (5.10) yordamida ifodalanuvchi tizim uchun o'nta HAM sxemasi talab etiladi. Adabiyotlarda chiziqli DSHlar bir pog'onali, parallel yoki matritsali deshifradorlar deb ham nomlanadi.



5.12-rasm. «4 dan 10 ga» deshefratorining shartli grafik belgilanishi.

Chiziqli DSHlarning afzalligi — ularning tezkorligidir, chunki signal faqat bitta ME orqali o'tadi. DSHning kamchiligi bo'lib, faqat ko'p sonli ko'p kirishlarga ega bo'lgan HAM sxemalarigagina emas, balki to'g'ri va invers signallar manbayi bo'lgan sxemalarga ham qo'yiladigan yuqori yuklama talablar hisoblanadi. Shuning uchun chiziqli DSHlar kirish o'zgaruvchilari uncha katta bo'lmagan ($n = 2 \div 4$) kichik DSH yoki piramidali, yoxud ko'p pog'onali deshefratorlarda qo'llaniladi.

Ikkita adres kirishiga va to'rtta (0–3) chiqishga ega bo'lgan chiziqli DSH tasviri 5.13, *a*-rasmida, uning shartli tasviri esa 5.13, *b*-rasmida



5.13-rasm. Chiziqli DSH (*a*) va uning shartli grafik belgilanishi (*b*).

keltirilgan. Har bir chiqish HAM elementining chiqishi bo'lib hisoblanadi. Demak, bu kirish bilan bog'liq bo'lgan ikkilik o'zgaruvchi 1 qiymatini faqat mos keluvchi HAM elementining uchchala kirishida 1 qiymatiga mos keluvchi o'zgaruvchi hosil bo'ladigan holatdagina qabul qilishi mumkin.

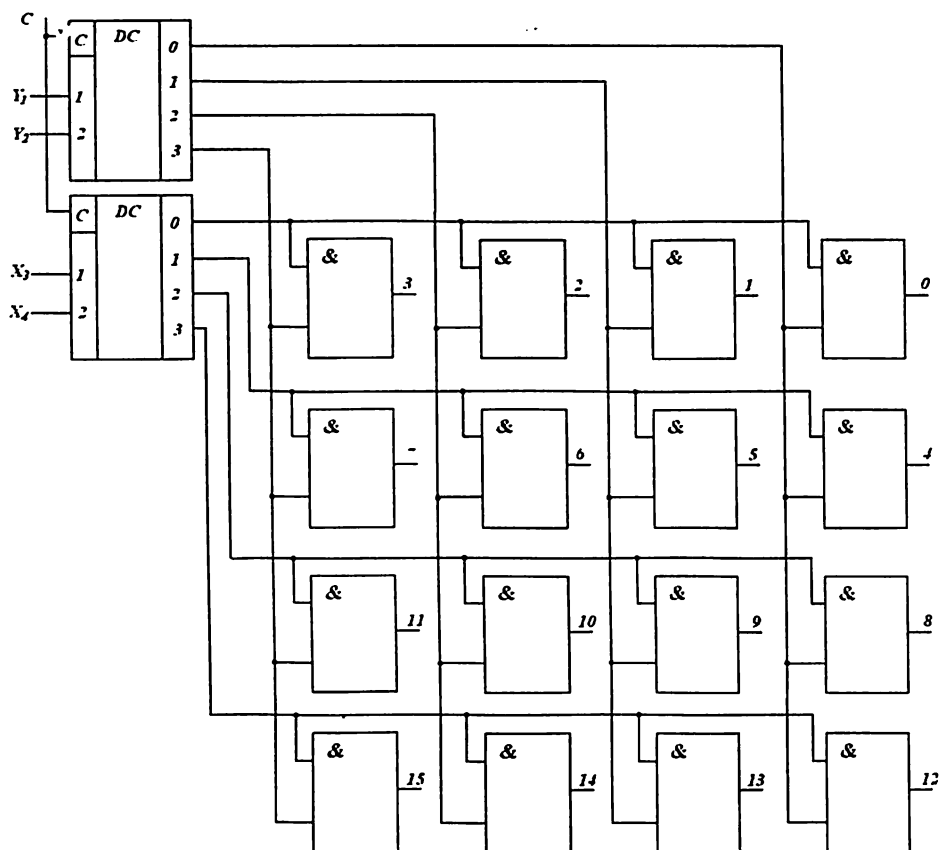
Deshifrator mikrosxemalari ko'p hollarda ruxsat kirishi C ga ega bo'ladi. Bu kirishning mavjudligi ISlar asosida kirish kodi razryadini oshirishga imkon beradi.

$n = 4$ bo'lgan ko'p bosqichli (to'g'ri burchakli) DSH sxemasini hosil qilish 5.14-rasmda keltirilgan. U bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda kirish kodining katta va kichik razryadlarini qayta shifrlovchi ikkita chiziqli DSHdan iborat. Mazkur sxemada ixtiyoriy kirish o'zgaruvchilari kombinatsiyasida to'g'ri burchakli to'rtburchakli HAM sxemasi kiritilgan tugunlarining bitta ustuni yoki bitta qatori tanlanadi. Natijada kirish o'zgaruvchilarining har bir kombinatsiyasi bitta HAM sxemasini ishga tushiradi.

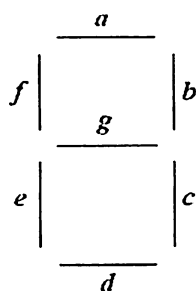
Sodda MELar soniga ko'ra mazkur deshifrator bir pog'onalidan sodda, ya'ni barcha kirish va chiqishlar yig'indisidan kelib chiqadigan apparaturaga ketadigan xarajatlar minimal bo'ladi.

O'rta integratsiya darajasidagi mikrosxemalar oilasiga mansub barcha mantiqiy sxemalar tarkibiga kiruvchi boshqa turdagi deshifratorni ko'rib chiqamiz. Bu ikkilik-o'nlik kodni raqamli indikatorlarni boshqarish uchun yetti segmentli kodga o'zgartiruvchi deshifratoridir. Bunday deshifratorlar o'nlik raqamlarni yorug'lik diodlari, suyuq kristall indikatorlarida, elektroluminiscent va elektrovakuum qurilmalar ishlatilgan yorug'lik tablolarida vizual indikatsiyalash qurilmalarida qo'llaniladi.

Ikkilik-o'nlik kodni yetti segmentli kodga o'zgartirish, 5.3-jadvalga mos ravishda amalga oshiriladi. Bu yerda chiqish funksiyalari indikatorning a, b, c, d, e, f, g , ya'ni 7 ta segmentiga mos keladi (5.15-rasm). Yetti segmentli yorug'lik indikatorida bajarilgan deshifratorning shartli belgisi 5.16-rasmda keltirilgan. Deshifrator sxemasi qo'shimcha S, M, K chiqishlarga ega bo'lib, indikatorlar so'nuvchi impuls kirishi va pulsatsiyalarni so'ndiruvchi impuls kirishlarini tekshirish uchun xizmat qiladi.



5.14-rasm. To'g'ri burchakli deshifrador sxemasi.

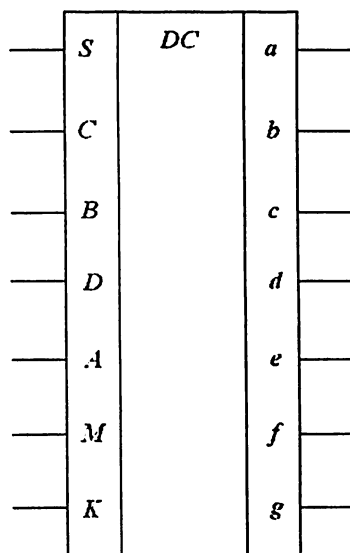


5.15-rasm. O'nlik raqamning yetti segmentli indikator.

Funksional jadvalga faqat 10 ta ($2^4 = 16$ kombinatsiyadan) ikkilik kirish o'zgaruvchilari kiradi, ular o'z navbatida 0 dan 9 gacha bo'lgan butun sonlarga mos keladi. 10 dan 15 gacha bo'lgan butun sonlar (1010 dan 1111 gacha bo'lgan ikkilik sonlar) ma'noga ega bo'lmay, deshifrador sxemasi tomonidan o'zgartirilmaydi. Xuddi shunday 128 (2^7) ta 0 va 1 kombinatsiyasidan deshifrador chiqishida yana raqamli indikatorning faqat mazkur raqam konturini shakllantiruvchi 10 ta kombinatsiyasi ma'noga ega bo'ladi.

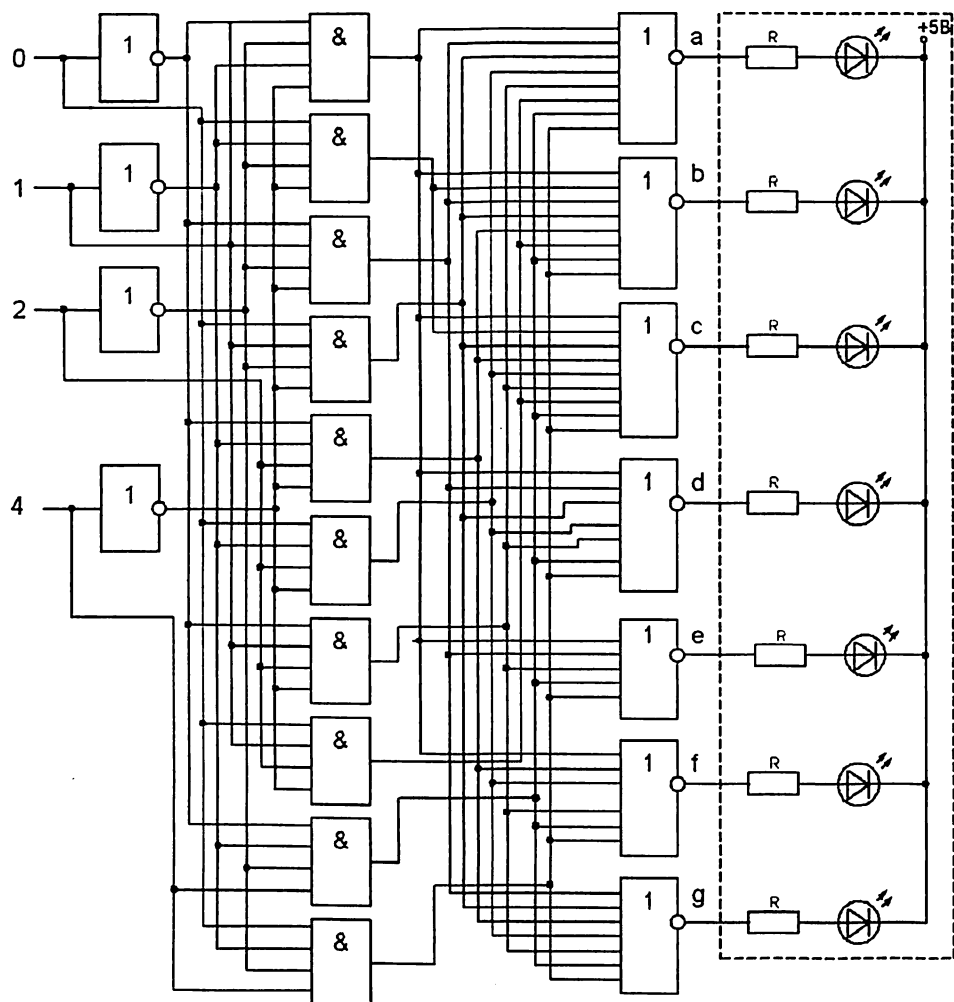
Oʻnlik-ikkilik kodni 7 segmentli kodga oʻzgartirishning
funktional jadvali

Kirishlar				Chiqishlar						
<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
										1
			1	1			1	1	1	1
		1				1			1	
		1	1					1	1	
	1			1			1	1		
	1		1		1			1		
	1	1			1					
	1	1	1				1	1	1	1
1								1		
1			1							



5.16-rasm. Ikkilik-oʻnlik kodni 7 segmentli kodga oʻzgartiruvchi
deshifrator shartli belgisi.

5.1-bandda keltirilgan uslubiyatdan foydalanib, TTMda bajarilgan HAM-YOKI-EMAS elementlarida shakllangan deshifrator mantiqiy sxemasini hosil qilish mushkul emas (5.17-rasm). Sxema chiqishida ochiq kollektorli elementlar qoʻllanilgan. Shuning uchun segmentlar mos ravishda *a-g* chiqishlarda past potensial boʻlganda nurlanadi.



5.17-rasm. Raqamli indikatorni boshqaruvchi deshifrator sxemasi.

5.3. Multipleksorlar va demultipleksorlar

Kombinatsion turdagi mikrosxemalarning keyingi guruhini **multipleksorlar** tashkil etadi. Ular bir necha manbadan berilayotgan ma'lumotlarni bitta chiqish kanaliga uzatishni boshqarish uchun mo'ljallangan. Multipleksorda, masalan, to'rtta ma'lumot kirishi va bitta chiqish bo'lishi mumkin. Demak, multipleksorga 4 ta datchik — ma'lumot manbayi ulanishi mumkin. Sxemada bitta chiqish bo'lganligi sababli, multipleksorga ulangan qabulqilgichda ma'lumotlar faqat ketma-ket qayta ishlanadi. Ma'lumotlarni qayta ishlash ketma-ketligi, multipleksorning boshqaruv kirishlariga berilayotgan signallar bilan belgilanadi.

Multipleksorlar avtomatika, telemexanika va aloqa qurilmalarida keng qo'llaniladi. Masalan, fazoda tarqalgan bir nechta manbadan kelayotgan ma'lumotlarni bitta telefon kanalidan uzatishda. Bunday amal **multipleksiyalash** deb ataladi, ya'ni bitta liniyadan bir necha manbadan berilayotgan ma'lumotlar uzatiladi.

Ulanadigan manba (kirish) raqami multipleksorning boshqaruv kirishlariga berilayotgan ikkilik kod bilan belgilanadi. Bu holda multipleksor tuzilmasi ikkita kirishli konyunktorlar, ya'ni HAM amalini bajaruvchi MELar majmuyini tashkil etadi. Har bir konyunktorning bitta kirishi ma'lumot signali manbayiga, ikkinchisi esa boshqaruv signallari manbayiga ulanadi. Konyunktorlarning chiqishlari YOKI sxemasi bilan birlashadi.

Bizga ma'lumki, HAM elementining ikkala kirishiga mantiqiy 1 signali berilsa, chiqishda ham mantiqiy 1 bo'ladi. Agar kirishlardan biriga mantiqiy 0 berilsa, chiqishda ham mantiqiy 0 hosil bo'ladi. Demak, tanlangan A liniyadagi signal yuqori darajaga (mantiqiy 1 ga) ega bo'lsa, chiqishga aynan shu liniyadagi ma'lumot uzatiladi. Agar tanlangan kanal kichik darajaga (mantiqiy 0 ga) ega bo'lsa, u holda kirishdagi ma'lumot liniyadan HAM elementi chiqishiga uzatilmaydi, chunki bu element chiqishidagi signal ham kichik darajaga ega bo'ladi.

Shunday qilib, multipleksor bir nechta kirishdan kelayotgan ma'lumotlarning faqat bittasini chiqishga ulab berishni ta'minlashi kerak ekan. Buning uchun multipleksorda ikki guruhga mansub kirishlar

mo'ljallangan: ma'lumotlar uchun va adres uchun (boshqaruvchi). U yoki bu A_i kirish liniyasini tanlashga berilayotgan $S_0, S_1, \dots$ adres kodi bilan belgilanadi. Boshqaruv kirishlari n ta bo'lsa, S_i boshqaruv signal-larining $M = 2^n$ ta kombinatsiyasini amalga oshirish mumkin. Agar multipleksor 2 ta boshqaruv kirishiga ega bo'lsa, 4 ta liniyadan birini, agar boshqaruv kirishlari 4 ta bo'lsa, 16 ta kirish liniyasidan biriga ulanishni ta'minlaydi. Birinchi turdagi multipleksor «4 dan 1 ga», ikkinchisi esa «16 dan 1 ga» deb ataladi. «4 dan 1 ga» multipleksorining haqiqiylik jadvali (5.4-jadval)dan foydalangan holda, bunday amalni bajaruvchi multipleksorning MAFini ifodalaymiz:

$$Q = A_0(\overline{S_1}\overline{S_0}) + A_1(\overline{S_1}S_0) + A_2(S_1\overline{S_0}) + A_3(S_1S_0),$$

bu yerda qavslar ichiga S_0, S_1 adres o'zgaruvchilarining bir konsti-tuentlari joylashtirilgan.

5.4-jadval

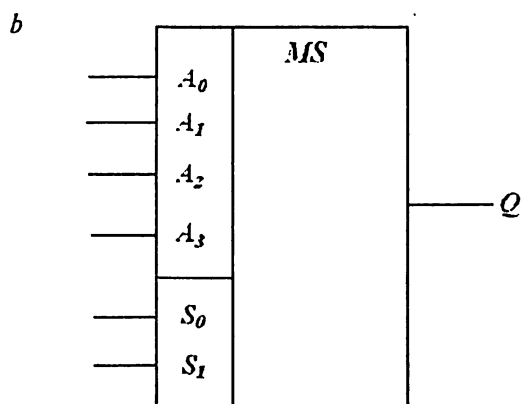
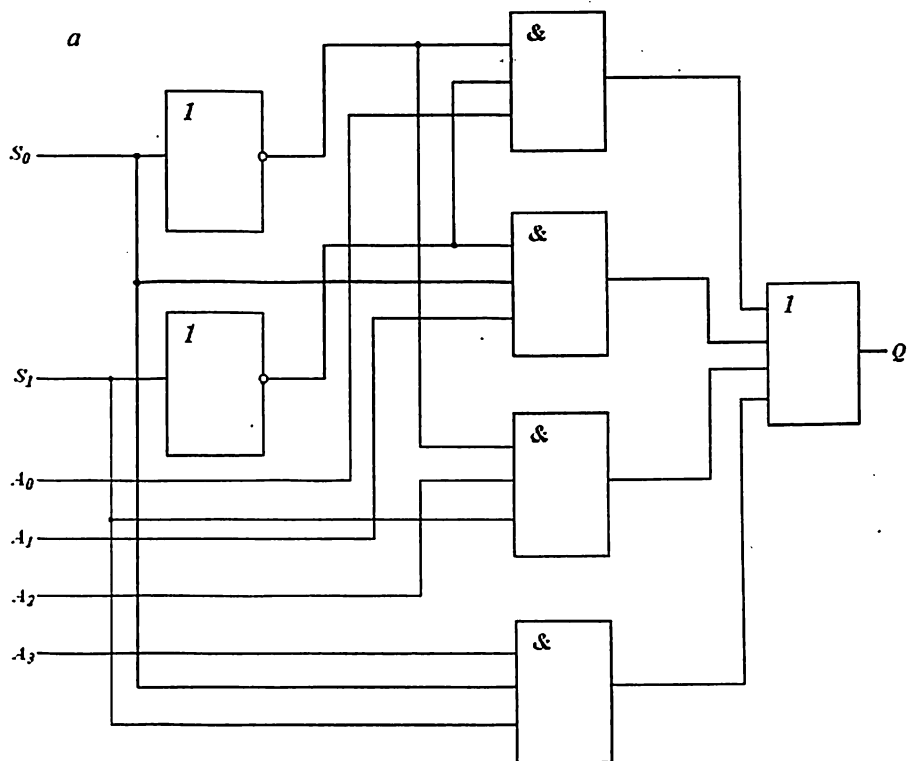
«4 dan 1 ga» multipleksorining haqiqiylik jadvali

S_1	S_0	Q
0	0	A_0
0	1	A_1
1	0	A_2
1	1	A_3

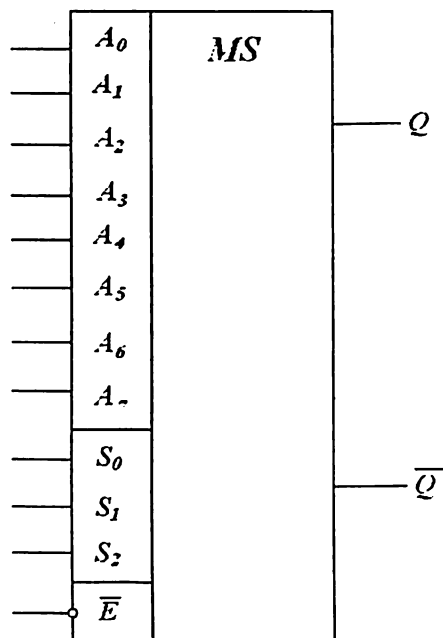
«4 dan 1 ga» multipleksori mantiqiy sxemasining sxemotexnik yechimi 5.18-rasmda keltirilgan.

O'rta integratsiya darajasidagi TTM mikrosxemasi ko'rinishida ishlab chiqarilayotgan multipleksorda murakkab invertorli chiqishga ega bo'lgan HAM-YOKI-EMAS elementi ishlatiladi. Bu element $N \geq 10$ bo'lgan yuqori tarmoqlanish koeffitsiyenti va uncha katta bo'lmagan yuklamada yuqori tezkorlikni ta'minlaydi.

Mikroprotsessor multipleksorlari taktlovchi qurilma hisoblanadi. Ularda tanlangan kanal kombinatsiyasi boshqaruv kirishlarida ma'lum kod kombinatsiyasi mavjud bo'lgan vaqt mobaynida emas, balki takt signali davomiyligiga teng bo'lgan vaqt mobaynida kommutatsiya amalga oshiriladi.



5.18-rasm. «4 dan 1 ga» multipleksori sxemasi (*a*) va uning shartli belgilanishi (*b*).



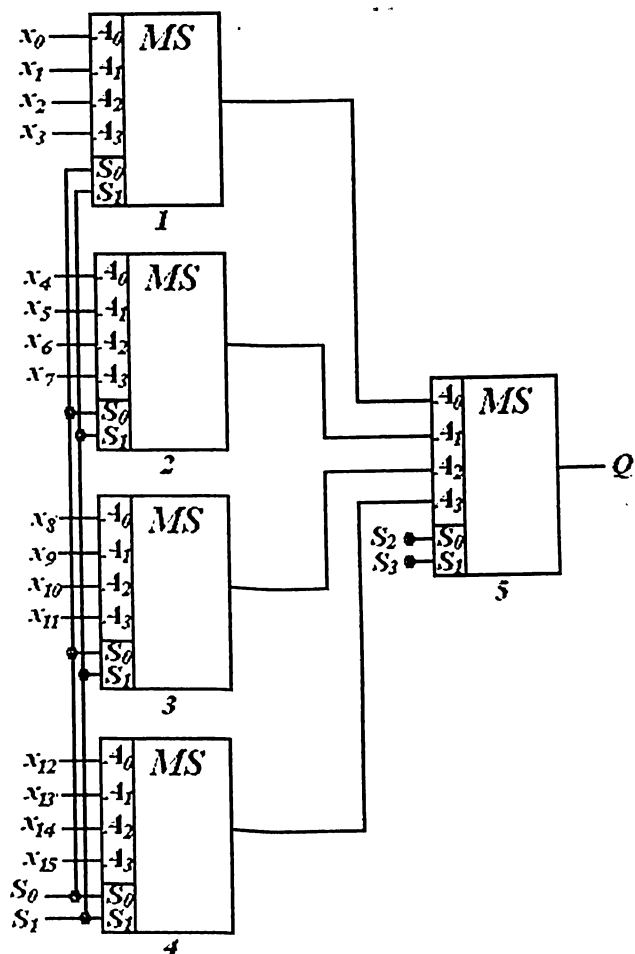
5.19-rasm. «8 dan 1 ga» multipleksorining shartli belgilanishi
($M = 8, n = 3$).

Multiplexsor (155 seriyali mikrosxema) shartli belgisi 5.19-rasmda keltirilgan. U sakkizta A_0-A_7 ma'lumot kirishiga, uchta S_0, S_1, S_2 adres kirishiga, ruxsat berish kirishiga va biri to'g'ri, ikkinchisi esa invers bo'lgan ikkita chiqishga ega.

Sanoatda ishlab chiqarilayotgan multipleksor mikrosxemalarining ma'lumot kirishlari 16 tadan oshmaydi. «4 dan 1 ga» multipleksor mikrosxemalaridan «16 dan 1 ga» multipleksorini tuzish mumkin. Bunday multipleksor **multipleksor daraxti** deb ataladi va uning sxemasi 5.20-rasmda keltirilgan.

Birinci darajadagi multipleksorlar (1–4) adres so'zining S_0, S_1 kichik razryadlari yordamida, ikkinchi darajadagi multipleksor (5) adres so'zining S_2, S_3 katta razryadlari yordamida boshqariladi.

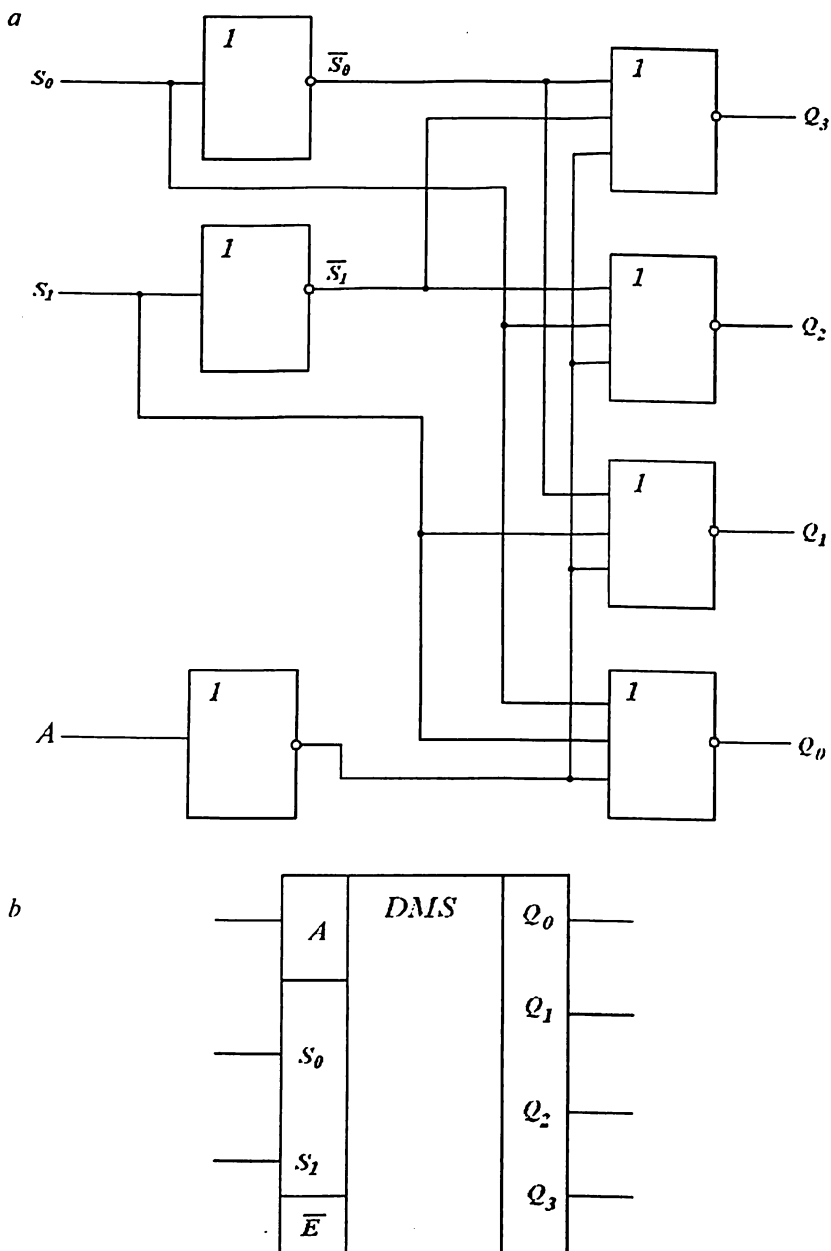
Demultipleksorlar. Demultipleksor bir kanaldan qabul qilingan ma'lumotlarni bir necha qabulqilgichlarga taqsimlash vazifasini, ya'ni



5.20-rasm. 16 ta ma'lumot kirishiga ega bo'lgan multipleksor daraxti sxemasi.

multipleksiyalashga teskari bo'lgan amalni bajaradi. Qabulqilgich raqami (aktivlashtirilgan chiqish) uning boshqaruv kirishlariga berilgan kod kombinatsiyasi bilan aniqlanadi.

Demultipleksor umuman olganda bitta ma'lumot kirishi, n ta adres kirishi va $M = 2^n$ chiqishga ega. Misol tariqasida «1 dan 4 ga» demultipleksorining tuzilish uslubini ko'rib chiqamiz (S_0 , S_1 ikkita adres chiqishi va $Q_0 - Q_3$ to'rtta chiqish). Ko'rinib turibdiki, agar ma'lumot



5.21-rasm. «1 dan 4 ga» demultipleksori (*a*) va uning shartli belgilanishi (*b*).

M chiqish liniyalaridan biriga yoʻnalgan boʻlsa, u holda qolgan chiqish liniyalarida mantiqiy nol ushlab turiladi. «1 dan 4 ga» demultipleksori- ning haqiqiylik jadvali 5.5-jadvalda keltirilgan.

5.5-jadval

«1 dan 4 ga» demultipleksorining haqiqiylik jadvali

S_1	S_0	Q_0	Q_1	Q_2	Q_3
0	0	A	0	0	0
0	1	0	A	0	0
1	0	0	0	A	0
1	1	0	0	0	A

Mazkur jadvalga quyidagi MAF tizimi mos keladi:

$$Q_0 = A(\overline{S_0} \overline{S_1}) = \overline{\overline{A} + S_0 + S_1},$$

$$Q_1 = A(\overline{S_0} S_1) = \overline{\overline{A} + S_0 + \overline{S_1}},$$

$$Q_2 = A(S_0 \overline{S_1}) = \overline{\overline{A} + \overline{S_0} + S_1},$$

$$Q_3 = A(S_0 S_1) = \overline{\overline{A} + \overline{S_0} + \overline{S_1}}$$

Berilgan funktsiyani YOKI-EMAS elementlari yordamida bajara- digan mantiqiy sxema va uning shartli grafik tasviri 5.21-rasmda kelti- rilgan. Bu yerda $\overline{E}$ — ishga ruxsat berish kirishi.

Chiqish liniyalarini koʻpaytirish talab etilganda, mos ravishda «1 dan 4 ga» demultipleksor mikrosxemalaridan kerakli miqdori olinib, demultipleksor darahti tuziladi. Bunday daraht tuzilmasi multipleksor darahtiga koʻzgudagi aks kabi mos keladi (5.21-rasm). Buning uchun ruxsat berish kirishlari xizmat qiladi.

5.4. Jamlagich va yarimjamlagichlar

Jamlagich deb, ikkilik koddagi sonlarni qoʻshish (jamlash) asosiy arifmetik amalini bajaruvchi kombinatsion mantiqiy qurilmaga aytiladi. Dastlab oddiy holat, bir razryadli ikki sonni qoʻshish: $0+0=0$, $1+0=1$,

$1+0=1$, $1+1=10$ masalasini ko'rib chiqamiz. Oxirgi vaziyatda natija ikki razryadli ikkilik kodi yordamida ifodalangan. Yig'indining katta razryadida paydo bo'lgan 1 o'tkazish biri deb ataladi. Ikkita bir razryadli sonlarning yig'indisini bizga qulay bo'lgan haqiqiylik jadvali ko'rinishida ifodalaymiz (5.6-jadval).

5.6-jadval

Bir razryadli jamlagich haqiqiylik jadvali

Qo'shiluvchilar		Natija	
X	Y	Jami S	O'tkazish C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Haqiqiylik jadvali jamlash amalini bajarish algoritmini MAF mantiq tizimi yordamida oson ifodalaydi:

$$S = \overline{X}Y + X\overline{Y} = X \oplus Y, \quad (5.11)$$

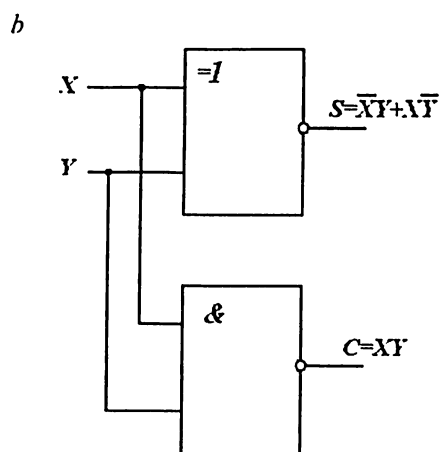
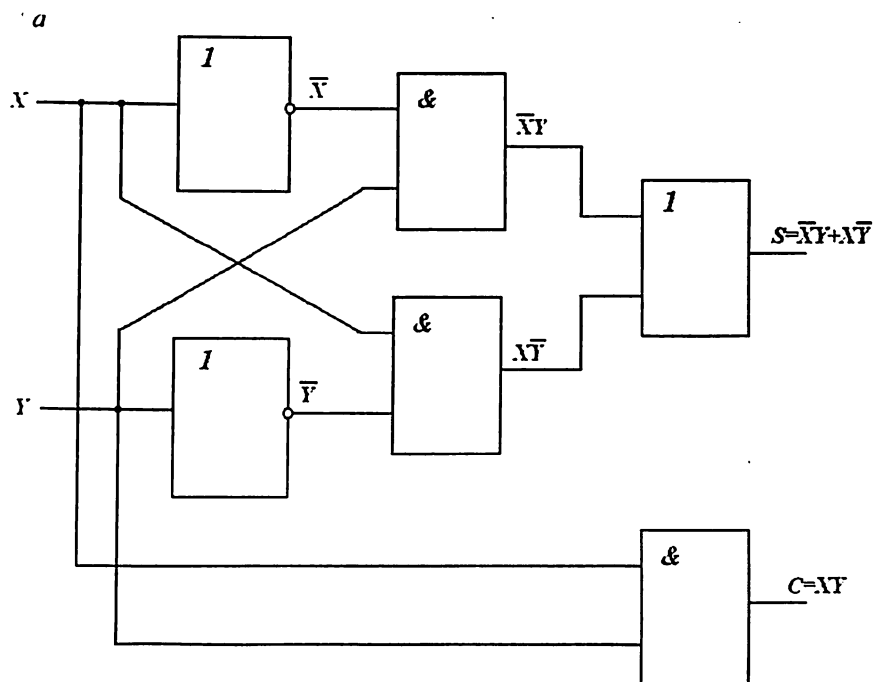
$$C = XY, \quad (5.12)$$

bu yerda $\oplus$ belgisi – ikki moduli bo'yicha qo'shish (o'tkazishsiz).

(5.11) asosidagi jamlagich sxemasini tashkil etishda ikkita invertor, ikkita ikki kirishli HAM sxemalari va bitta ikkita kirishli YOKI sxemasi kerak bo'ladi, (5.12) ga ko'ra yana bitta ikkita kirishli HAM sxemasi kerak bo'ladi, uning chiqishi talab etilgan $1 \cdot 1 = 1$ katta razryadni o'tkazishni amalga oshiradi. Tanlangan element bazadan kelib chiqqan holda tashkil etilgan jamlagich sxemasi 5.22-rasmda keltirilgan.

Sxema ikkita chiqish simiga ega: S yig'indi va C o'tkazish hamda ikkita kirishga ega. Bu sxema **yarimjamlagich** deb ataladi.

Bu holda, yarimjamlagich haqiqiylik jadvalining birinchi uch ustuni istisnoli YOKI amalining haqiqiylik jadvaliga, oxirgi ustuni esa istisnoli YOKI inkori amaliga to'liq mos keladi. Demak, bitta istisnoli YOKI elementiga bitta ikki kirishli HAM elementini qo'shib, yarimjamlagich elementini tuzish mumkin ekan. HAM elementi katta razryadli birni (C chiqishni) shakllantirish uchun xizmat qiladi (5.22, b-rasm).



5.22-rasm. Yarimjamlagich.

Ikkita ko'p razryadli sonlarni qo'shish uchun bir razryadli jamlagich talab etiladi. Bu jamlagich yarimjamlagichdan farqli ravishda C_i o'tkazish signalini qabul qiluvchi kirishga ham ega bo'lishi kerak (bu yerda i – qo'shiluvchilarning razryadi). Natijada bir razryadli jamlagich X , Y bir razryadli ikkilik sonlarni qo'shish amalini bajaradi, C_i kichik razryaddan o'tkazadi, chiqishda S_i yig'indi qiymatini hosil qiladi va C_{i+10} katta razryadga o'tkazadi.

Barcha razryadlarda qo'shish yagona qoida asosida amalga oshiriladi. Ixtiyoriy i -razryaddagi qo'shish natijasi i -razryaddagi X_i , Y_i qo'shiluvchilarni qo'shish natijasida hosil qilinadi va olingan natijaga i -kichik razryaddan o'tkazish qiymati qo'shiladi. Bundan tashqari, har bir razryadda C_{i+10} katta razryadga o'tkazish qiymati shakllangan bo'lishi kerak.

S_i va C_{i+10} MAFi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$S_i = X_i \oplus Y_i \oplus C_i, \quad (5.13)$$

$$C_{i+1} = X_i Y_i + X_i C_i + Y_i C_i. \quad (5.14)$$

Bir xil sxemalar – bir razryadli jamlagichlar bajaradigan harakatlar barcha razryadlarda bir xil kechadi. Bir razryadli jamlagichning ishi uning haqiqiylik jadvalidan oson tushuntiriladi (5.7-jadval).

Haqiqiylik jadvaliga ko'ra bir konstituentalarini qo'shish natijasida hosil qilinadigan, dizyunktiv normal shaklda keltirilgan S_i va C_{i+10} mantiqiy amallar quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$S_i = \overline{C_i} \overline{X_i} Y_i + C_i X_i \overline{Y_i} + C_i \overline{X_i} \overline{Y_i} + C_i X_i Y_i, \quad (5.15)$$

$$C_{i+1} = \overline{C_i} \overline{X_i} Y_i + C_i X_i \overline{Y_i} + C_i \overline{X_i} \overline{Y_i} + C_i X_i Y_i. \quad (5.16)$$

Ishlash algoritmi (5.15) va (5.16) MAF tizimi yordamida ifodalanadigan bir razryadli jamlagichning funksional sxemasi 5.23-rasmda keltirilgan.

Izoh: $\overline{X_i}$, $\overline{Y_i}$, $\overline{C_i}$ qo'shiluvchilarning invers qiymatlari yoki ularning mos invertorlardan o'tishi natijasida, yoki sxemada ko'rsatilmagan registr triggerlarining qarama-qarshi chiqishlaridan (mantiqiy elementlardan) olinadi.

Bir razryadli jamlagich mantig'i

Qo'shiluvchilar			Natijalar	
C_i	X_i	Y_i	Jami S_i	O'tkazish C_{i+1}
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

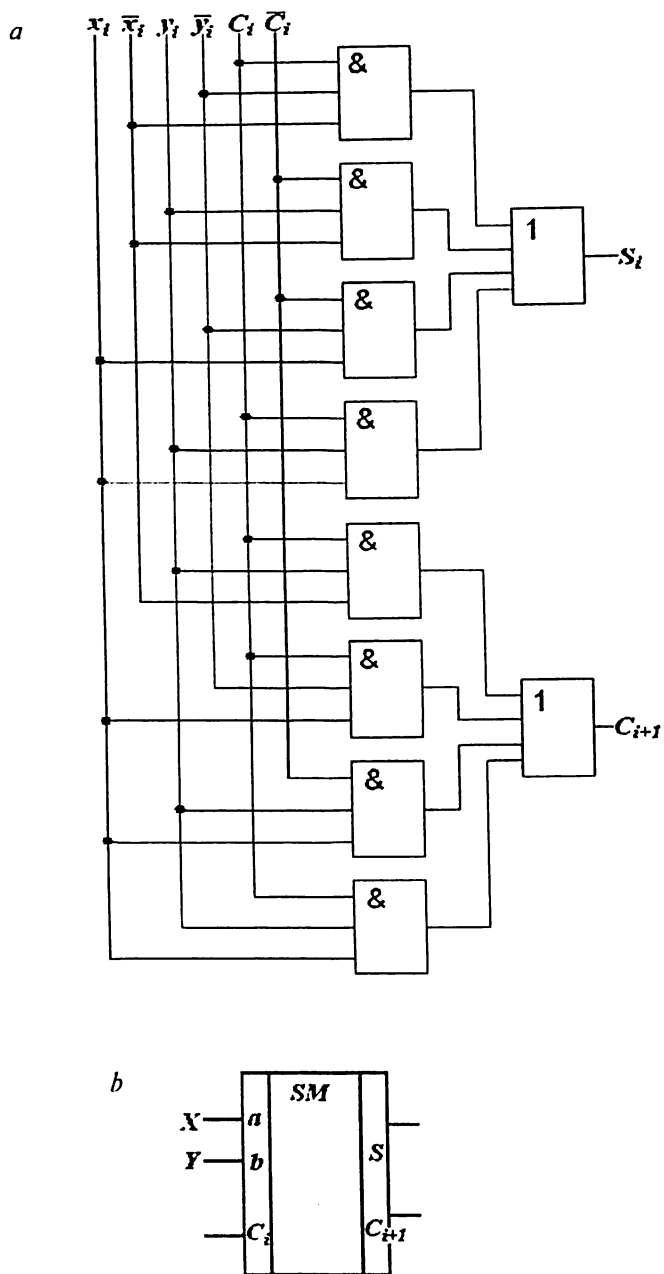
Ko'p razryadli sonlar jamlagichi bir razryadli jamlagichlardan tuziladi va ko'p razryadli sonlarni ikki usul bilan qo'shishi mumkin: **parallel** va **ketma-ket**.

Parallel usuldagi ko'p razryadli jamlagichda berilgan ikkilik sonlarni qo'shish barcha razryadlarda bir vaqtda (parallel ravishda) amalga oshiriladi.

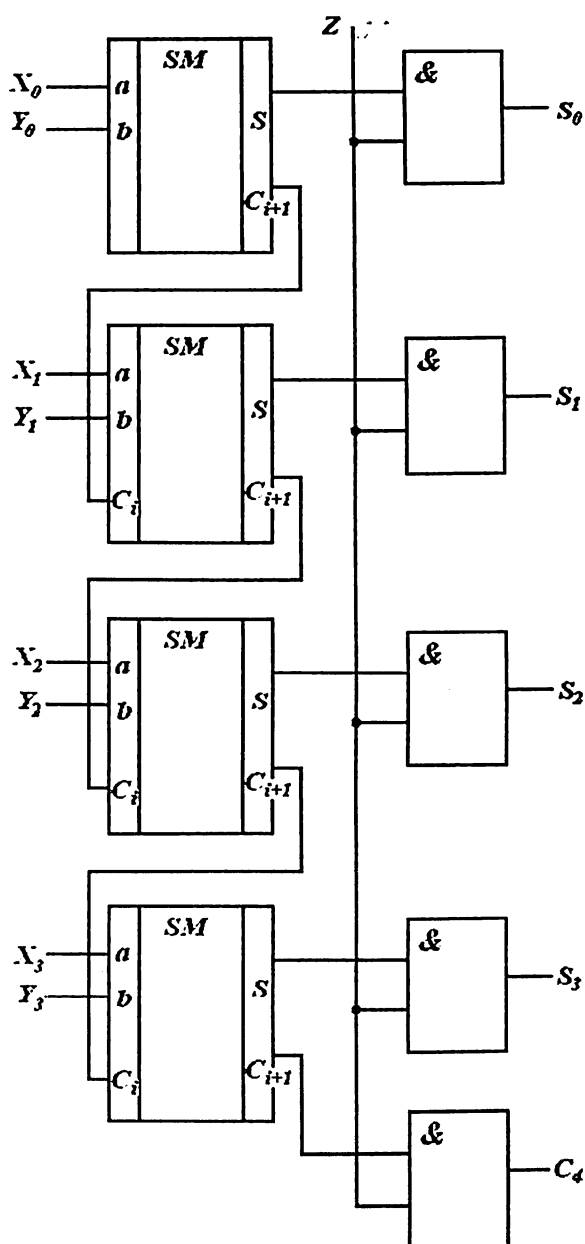
Ketma-ket o'tkazishli sodda to'rt razryadli parallel jamlagichning tuzilma sxemasi 5.24-rasmda keltirilgan. U uchta bir razryadli jamlagich va bitta yarimjamlagichdan iborat.

Bu jamlagich yordamida ikkita to'rt razryadli sonlar qo'shiladi: Y_0 razryadli X_0 razryadi, Y_1 razryadli X_1 razryadi va h.k. to Y_j razryadli X_j razryadigacha. Bunda har bir sodda jamlagichda $S_0, \dots, S_j$ porsiyali yig'indilar va C_{i+j} o'tkazish ichki signallari hosil bo'ladi. Bu signallar undan katta jamlagich C_i ning o'tkazish kirishiga ketma-ket uzatiladi.

Bu turdagi jamlagichni ko'p razryadli qilib tuzish mumkin, lekin har doim C_i o'tkazish signali barcha bir razryadli jamlagichlardan o'tmaguncha jamlash amali tugallanmaydi. Shunday qilib, nol razryadining yig'indi signali birinchi hosil bo'ladi, qolganlari esa signal tarqalishining kechikish vaqti $t_{T.K.}$ ga teng vaqt oraliqlaridan keyin ketma-ket ravishda hosil bo'ladi.



5.23-rasm. To'liq jamlagich (*a*) va uning shartli belgilanishi (*b*).



5.24-rasm. Ketma-ket o'tkazishli to'rt razryadli sodda parallel jamlagich.

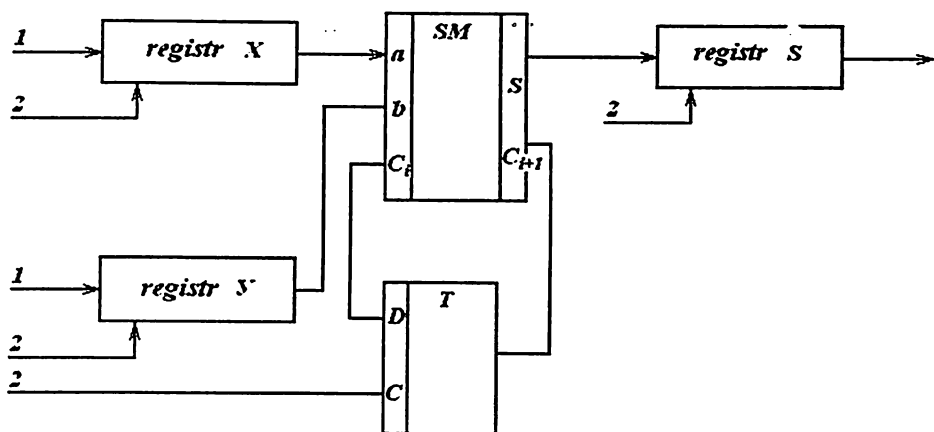
Yolg'on signal hosil bo'lishining oldini olish maqsadida har bir jamlagichning S chiqishida ikki kirishli HAM mantiqiy elementlari o'rnatilgan. Signal jamlagichning barcha razryadlaridan ketma-ket o'tib bo'lgach, bu elementlarning Z kirishida signal hosil bo'ladi. Bu turdagi to'rt razryadli jamlagichning yig'indi olish vaqti bir razryadli jamlagichning yig'indi olish vaqtidan ikki baravar ko'p.

Ketma-ket o'tkazishli kichik razryadli pararel jamlagichlar 155, 500, 176 seriya sxemalari ko'rinishida ishlab chiqariladi. O'tkazish amalini tashkil etishning mushkulligi sababli mikroprotsessorlarda ular qo'llanilmaydi.

Ketma-ketli kichik razryadli jamlagichda yig'indi olish bitta bir razryadli jamlagich yordamida amalga oshiriladi. Shu sababli ketma-ketli ko'p razryadli sonlarni qo'shish kichik razryaddan boshlab ketma-ket amalga oshiriladi. Ko'rinib turibdiki, bunday jamlagich sodda tuzilmaga ega. Lekin bu jamlagich tezkorligini sezilarli pasaytirishga olib keladi. Agar bunday jamlagich talab etilgan qayta ishlash tezligini ta'minlayotgan bo'lsa, bu unchalik muhim emas.

Ketma-ketli jamlagich sxemasi 5.25-rasmda keltirilgan. U bir razryadli jamlagich, ikkilik sonlarni saqlash va ularni kerakli razryadlarga siljitish uchun uchta n razryadli registrlar: X va Y qo'shiluvchilar registri va S natija registridan tashkil topgan. Qo'shiluvchi sonlar razryadma-razryad X va Y registrlarga joylanadi. Registrlarni kiritish va yig'indi hosil qilish uchun qurilmaning takt kirishlariga n ta sinxronizatsiya impulslari beriladi. Sinxronizatsiya impulslari front va kesish aktiv vaqtlariga ega, ya'ni impulslar o'tish vaqti (front) va kamayish (kesish) qiymatlariga ega.

Har sinxronizatsiya impulsi fronti bo'yicha bir razryadli jamlagich kirishida kema-ket ravishda kichik razryad va oldingi razryadlarni qo'shish natijalaridan boshlab qo'shiluvchi razryadlari qiymati hosil bo'la boshlaydi. Har sinxronizatsiya impulsi kesishi bo'yicha yangi yig'indi qiymati chiqishdagi yig'indi registriga ko'chiriladi, keyingi razryadda hisobga olinishi kerak bo'lgan o'tkazish signali qiymati esa D -triggerda eslab qolinadi. Sinxronizatsiyaning n -impulsi tugagach, jamlash natijasi S -registrga yoziladi. Bu vaqtda uning katta razryadida kichik razryad natijasi saqlanadi.



5.25-rasm. Ketma-ketli jamlagich:

1 – ketma-ketli kirishlar; 2 – sinxronizatsiya impulslari takt kirishlari.

Ikkita n -razryadli sonlarni ketma-ketli jamlagichda qo'shish uchun ketadigan minimal vaqt quyidagi ifodadan foydalanib aniqlanadi:

$$t_{O.TK.} = 6nt_{T.K.}.$$

Bunday jamlagichga kalkulyator misol bo'la oladi, ularda hisoblash tezligi emas, narxining arzonligi asosiy omil hisoblanadi. Tezlikni oshirish maqsadida jamlagichlarda maxsus tez o'tkazish sxemalari (TO'S) qo'llaniladi. Ular bir nechta yoki barcha razryadlarni bir vaqtda o'tkazishni shakllantiradi. TO'Slarda o'tkazish signali faqat o'zidan oldingi razryadni emas, balki bevosita qo'shiluvchilar va avvalgi razryadlarni o'tkazish qiymatlarini qo'shish natijasida hosil qilinadi.

Buning uchun $(i+1)$ -razryadda o'tkazish signali (5.14) o'tkazish funksiyasiga asosan,

$$C_{i+1} = G_i + p_i C_i \quad (5.17)$$

mantiqiy ifoda asosida hosil qilinishi kerak.

Bu yerda $G_i = X_i Y_i$ – o'tkazish funksiyasi, $p_i = (X_i + Y_i)$ esa o'tkazishni uzatish funksiyasi. 5.3-jadvalga muvofiq, $p_i G_i = G_i$, ya'ni agar o'tkazish signali kichik razryaddan o'tkazish mavjud ekanligidan qat'iy nazar i -razryadda o'tkazish signali mavjud bo'lsagina $G_i = 1$. Xuddi

shunday, agar qo'shiluvchilardan bittasi 1 ga teng bo'lsa, $p_i=1$. Bunda o'tkazish signali faqat kichik razryaddan o'tkazish mavjud bo'lgandagina shakllanadi. Shunday qilib, $X_i = Y_i = 1$ bo'lsa, $G_i = p_i = 1$.

Umumlashgan holda i -razryadga o'tkazish quyidagicha ifodalanadi:

$$C_i = G_i + G_{i-1}p_i + G_{i-2}p_i p_{i-1} + \dots + G_i p_i p_{i-2} \dots p_2 + p_i p_{i-1} \dots p_2 p_1 p_0 C_0 \quad (5.18)$$

bu yerda G_i – konyunksiya amalining mantiqiy funksiyasi; p_i – dizyunksiya mantiqiy amali; S_0 – nolinch razryaddan o'tkazish.

(5.18) dan ko'rinib turibdiki, tez o'tkazishni shakllantirish uchun to'rt pog'onali sxemalar talab etiladi. Birinchi pog'onada konyunksiya va dizyunksiya, ikkinchisida – birinchi pog'onada olingan natijalar konyunksiyasi, uchinchida esa ikkinchi pog'onada olingan mantiqiy amallarning dizyunksiyasi amalga oshiriladi. O'tkazishning umumiy tarqalish vaqti $3t$ ga teng bo'lib, razryadlar soniga bog'liq bo'lmaydi.

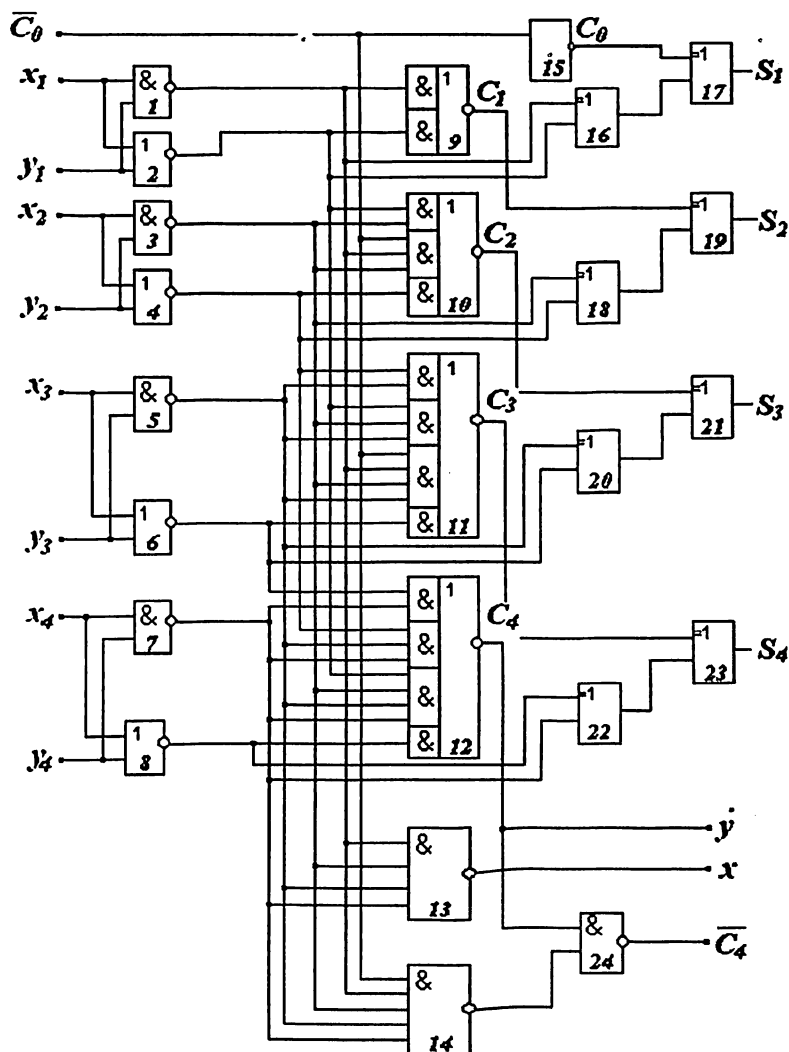
Tez o'tkazishli mantiqiy sxema tuzish uchun birinchi pog'onaning har bir razryadida bittadan HAM va YOKI sxemasi, ikkinchi pog'onada 1 dan $(i+1)$ tagacha kirishga ega bo'lgan $(i+1)$ ta HAM sxemasi, uchinchi pog'onada $(i+1)$ ta kirishga ega bo'lgan bitta YOKI sxemasi kerak bo'ladi.

TO'Slarning ikkinchi va uchinchi pog'onalari HAM-YOKI-EMAS sxemalaridan tuzilsa, yuqori tezkorlikka erishish mumkin. Buning uchun (5.17) funksiyani o'zgartirish kerak. Bu funksiya De-Morgan qoidasiga ko'ra o'zgartirilgach, quyidagicha yoziladi:

$$C_{i+1} = \overline{\overline{p_i + G_i C_i}}. \quad (5.19)$$

(5.19)dan foydalanib, to'rt razryadli jamlagich uchun o'tkazish funksiyasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\begin{aligned} C_1 &= \overline{\overline{p_1 + G_1 C_0}}; \\ C_2 &= \overline{\overline{p_2 + G_2 C_1}} = \overline{\overline{p_2 + G_2 p_1 + G_2 G_1 C_0}}; \\ C_3 &= \overline{\overline{p_3 + G_3 C_2}} = \overline{\overline{p_3 + G_3 p_2 + G_3 G_2 p_1 + G_3 G_2 G_1 C_0}}; \\ C_4 &= \overline{\overline{p_4 + G_4 C_3}} = \overline{\overline{p_4 + G_4 p_3 + G_4 G_3 p_2 + G_4 G_3 G_2 p_1 + G_4 G_3 G_2 G_1 C_0}}. \end{aligned} \quad (5.20)$$



5.26-rasm. Tez o'tkazish sxemasili to'rt razryadli jamlagich.

(5.20) mantiqiy ifodalar asosida ishlovchi to'rt razryadli jamlagich sxemasi 5.26-rasmida keltirilgan.

1–8-mikrosxemalarni $X(X_1, X_2, X_3, X_4)$ va $Y(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)$ qo'shiluvchilarning konyunksiya $\overline{G_1}, \overline{G_2}, \overline{G_3}, \overline{G_4}$ va dizyunksiya $\overline{P_1}, \overline{P_2}, \overline{P_3}, \overline{P_4}$ invers funksiyalari tashkil etadi. 9–15-mikrosxemalar

bevosita barcha razryadlardan bir vaqtning o'zida o'tkazish funksiyasini shakllantiradi. 14–24-sxemalar S_7-S_4 yig'indi razryadlari qiymatlarini shakllantiradi. S_7 yig'indi (5.13) funksiya asosida quyidagi ko'rinishda shakllanadi:

$$S_i = X_i \oplus Y_i \oplus C_i = (p_i \oplus G_i) \oplus C_i = (p_i \overline{G_i}) \oplus C_i = (p_i \approx G_i) \approx C_i. \quad (5.21)$$

Tez o'tkazishli to'rt razryadli jamlagichlar KISlar ko'rinishida ishlab chiqariladi (masalan, K155IM3 mikrosxemalari).

5.5. Arifmetik-mantiqiy qurilmalar

Raqamli mikrosxemalar fan va texnikaning ixtiyoriy masalasini yecha oladi. Buning uchun raqamli mikrosxema asosidagi qurilmada, yechiladigan masalaning berilganlari haqidagi ma'lumotlar, yechish algoritmi va hisoblash natijalari faqat ikkita qiymat – 0 va 1 signallari ko'rinishida ifodalanadi. Ikkilik raqamlarining ketma-ketligi yordamida raqamli qurilmalarda ixtiyoriy ma'lumotlar (raqamlar, matnlar, komandalar va h.k.)ni kodlash, saqlash va qayta ishlash mumkin. Shunday qilib, raqamli tizimlarda o'zgaruvchan va o'zgarmas (doimiy) kattaliklar raqamlar ko'rinishida ifodalanadi. Shuning uchun ularda masalalar yechishning sonli usullari qo'llaniladi.

Masala yechishning sonli usuli – bu sonlar ustida bajariladigan arifmetik amallar (operatsiyalar) ketma-ketligidir. Yechilishi talab etilayotgan masala, odatda, oddiy matematik tilda (tenglama, funksiya, differensial operandlar va shu kabilar) shakllanadi. Shuning uchun ixtiyoriy matematik masalani yechish uchun sonli usullar yordamida uni nisbatan soddar arifmetik amallarga olib kelish kerak. Masalan, shart bo'yicha funksiyani hisoblash uchun uni qatorga yoyish mumkin:

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots,$$

ya'ni sinusni hisoblash uchun arifmetik amallar ketma-ketligini bajarish kifoya.

Bu vaqtda raqamli qurilma faqat arifmetik amallarni emas, balki hisoblash jarayonlarini avtomatlashtirishga yordam beruvchi amallarni ham yechish imkoniga ega bo'lishi kerak. Mantiqiy amallar, boshqaruv amallari va bir qator boshqa amallar bularga misol bo'la oladi.

Arifmetik va mantiqiy amallar bajariladigan qurilma **arifmetik-mantiqiy qurilma** (AMQ) deb ataladi.

Sodda amallar ketma-ketligi ko‘rinishida ifodalangan masalalarni avtomatik ravishda yechish uchun berilganlarni, oraliq va olingan hisoblash natijalarini, hamda oddiy amallarni bajarish tartibi haqidagi ma’lumotlarni saqlashga imkon beruvchi qurilma talab etiladi. Bunday qurilma **xotira** deb ataladi.

Barcha turdagi AMQlar uchun ayiruv, mantiqiy ko‘paytiruv, mantiqiy qo‘shuv, istisnoli YOKI, inversiya, o‘ngga siljish, chapga siljish, musbat orttirma (inkrement), manfiy orttirma (dekrement) kabi arifmetik amallarni bajarish **majburiy** hisoblanadi. Majburiy amallar **apparat vositalari** yordamida amalga oshiriladi, ya’ni talab etilgan ishni bajarish uchun ma’lumotlar ma’lum mikrosxemalardan o‘tishi kerak. Majburiy amallar sodda amallar deb ataladi. AMQlar arifmetik ko‘paytiruv va bo‘luv kabi nisbatan murakkab amallarni bajarmaydi. Shuning uchun bu amallar sodda amallarning dasturiy kombinatsiyasi yordamida bajariladi. Bu usul amallarni bajarishning **mikrodasturiy** usuli deb ataladi. AMQlar EHMning asosiy tugunlaridan hisoblanadi.

AMQlar 2-, 4-, 8-, 16-razryadli amallarni bajaruvchi alohida mikrosxemalar yoki KISlar tarkibida ishlab chiqariladi.

Sanoatda ishlab chiqarilayotgan AMQ mikrosxemalari ikkita o‘zgaruvchi ustidan 16 ta mantiqiy va ularga mos keluvchi 16 ta arifmetik amallarni bajaruvchi to‘liq majmuadan tashkil topgan. Ularning ro‘yxati 5.8-jadvalda keltirilgan. AMQ ko‘p turli amallarni bajarishga mo‘ljallangani bilan, ko‘proq arifmetik qo‘shuv va ayiruv (45% gacha) va arifmetik ko‘paytiruv (50% gacha) amallarini bajaradi.

Eng ko‘p qo‘llaniladigan 8 yoki 4 ta mantiqiy amallar: konyunksiya, dizyunksiya, inversiya, istisnoli YOKI va h.k. va ularga mos keluvchi arifmetik amallarni bajaruvchi AMQlar ham ishlab chiqariladi.

F_M mantiqiy amallari asosida F_a arifmetik amallarni bajaruvchi eng sodda AMQ tuzilmasi quyidagicha ifodalanadi:

$$F_{ai} = \overline{F_{Mi}} \propto C_i = F_{Mi} \oplus C_i, \quad (5.22)$$

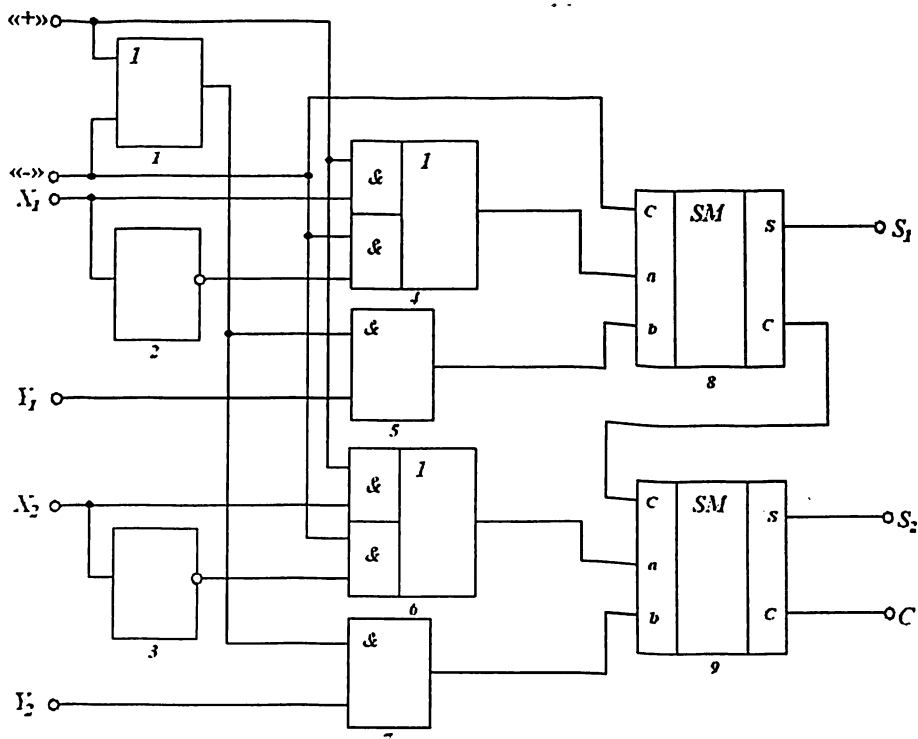
bu yerda $F_{ai} = f(x_i, y_i, C_i)$, $F_{Mi} = f(x_i, y_i)$ – i -razryadlar ustidan

4 razryadli AMQ tomonidan bajariladigan mantiqiy va ularga mos arifmetik amallar majmuasi.

Amalni tanlash				Mantiqiy amallar ($M=1$ uchun)	Arifmetik amallar ($M=0$ uchun)	
$S3$	$S2$	$S1$	$S0$		$\bar{C}_n = 1$ (o'tkazishsiz)	$\bar{C}_n = 0$ (o'tkazishli)
0	0	0	0	$\bar{A}$	A	$A + 1$
0	0	0	1	$\overline{A \vee B}$	$A + B$	$(A + B) + 1$
0	0	1	0	$\bar{A} \wedge B$	$A + \bar{B}$	$(A + \bar{B}) + 1$
0	0	1	1	0	-1	0
0	1	0	0	$\overline{AB}$	$A + A\bar{B}$	$A + A\bar{B} + 1$
0	1	0	1	$\bar{B}$	$(A + B) + A\bar{B}$	$(A + B) + A\bar{B} + 1$
0	1	1	0	$A \oplus B$	$A + B - 1$	$A - B$
0	1	1	1	$A\bar{B}$	$A\bar{B} - 1$	$\overline{AB}$
1	0	0	0	$\bar{A} \vee B$	$A + AB$	$A + AB + 1$
1	0	0	1	$A \approx B$	$A + B$	$A + B + 1$
1	0	1	0	B	$(A + \bar{B}) + AB$	$(A + \bar{B}) + AB + 1$
1	0	1	1	$A \wedge B$	$AB - 1$	AB
1	1	0	0	1	$A + A$	$A + A + 1$
1	1	0	1	$A \vee \bar{B}$	$(A + B) + A$	$(A + B) + A + 1$
1	1	1	0	$A \vee B$	$(A + \bar{B}) + A$	$(A + \bar{B}) + A + 1$
1	1	1	1	A	$A - 1$	A

bajariladigan arifmetik va mantiqiy funksiyalar, C_i – oldingi razryaddan arifmetik o'tkazish. Eng ko'p qo'llaniladigan arifmetik amallar qo'shuv va ayiruv bo'lganligi sababli, AMQ tuzilmasi kam mantiqiy elementlar miqdorida katta tezlik bilan ko'rsatilgan amallarni bajarishga mos ravishda loyihalashtiriladi.

Arifmetik qo'shuv-ayiruv amalining bajarilishi. Arifmetik qo'shuv-ayiruv amalini bajarishga mo'ljallangan kirishlarga ega bo'lgan AMQ



5.27-rasm. Ikki razryadli ikkilik sonlarni arifmetik qo'shish va ayirish amallarini bajaruvchi AMQ sxemasi fragmenti.

tuzilma sxemasi 5.27-rasmda keltirilgan. Soddalik uchun ikki razryadli sonlar bilan ishlaydigan qurilma sxemasi keltirilgan. Ayirish kamayib boruvchi X larni qo'shib borish va qo'shimcha Y ayiriluvchi kodi yordamida amalga oishiriladi.

Bunday usul yordamida avval ko'rib o'tilgan jamlagichlar asosida ayiruv amalini bajarish ham mumkin. Manfiy ikkilik sonning qo'shimcha kodini hosil qilish uchun quyidagi qoidalar qo'llaniladi:

- ishorasidan tashqari barcha razryadli raqamlar inverslanadi (0 ni 1 ga va 1 ni 0 ga o'zgartirish yordamida);
- invreslangandan so'ng kichik razryadga bir uzatiladi.

Bu vaqtda natija ishorasi hosil bo'lgan kodning katta razryadi bilan aniqlanadi.

Sxema ikkita bir xil qo'shuv-ayiruv blokidan (ikki razryadli qo'shiluvchilar uchun) tashkil topgan. Har bir blok EMAS invertori 2(3), ikkita kirishli HAM elementi 5(7), murakkab 2YOKI-2HAM elementi 4(6) va bir razryadli jamlagich SM 8(9)dan iborat. Qavslar ichida ikkinchi blok elementlarining raqami ko'rsatilgan. Ikkala blok ikkita kirishli 2YOKI-EMAS mantiqiy elementida bajarilgan bitta tugundan boshqariladi.

Dastlabki holatda, «+», «-» boshqaruv kirishlariga mantiqiy 0 signali uzatilganda, bir razryadli jamlagichning barcha kirishlarida x , y , kirish signallari qiymatlari qanday bo'lishidan qat'iy nazar nolga teng signallar mavjud bo'ladi. Mos ravishda S , chiqish signallari ham nolga teng bo'ladi.

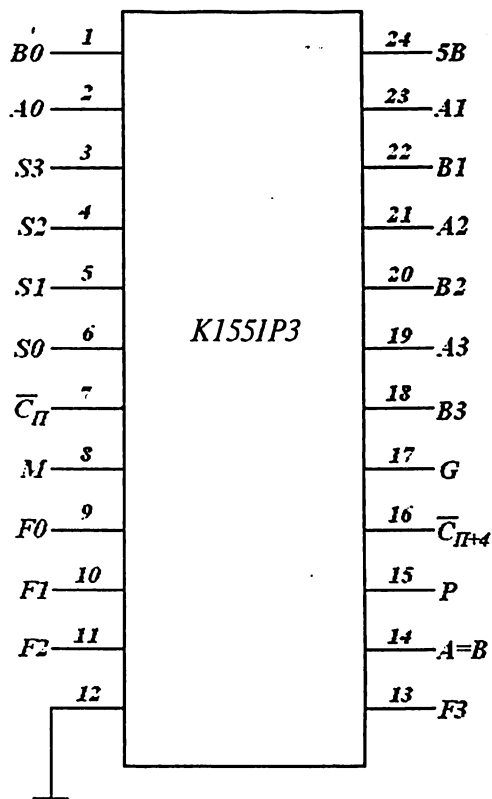
Qo'shuv amalini bajarish uchun «+» kirishga mantiqiy bir signali berilishi kerak. Qurilma chiqishidan qo'shiluv natijasiga teng signallar va o'tkazish signali olinadi.

Ayiruv amalini bajarish uchun «-» kirishga mantiqiy bir signali berilishi kerak. Bu vaqtda jamlagichning «b» kirishiga kamayuvchining to'g'ri kodi beriladi. Yuqoridagi elementning 4 va 6 birinchi kirishlariga aktiv, quyidagi elementning xuddi shunday 5 va 7 kirishlariga passiv mantiqiy signallar keladi. Natijada ayiriluvchi kodi invertor orqali jamlagichning «a» kirishiga tushadi, ya'ni inverslanadi. Bir vaqtning o'zida jamlagichning 8 C kirishida bir signali hosil bo'ladi. Demak, jamlagichning «a» kirishiga ayiriluvchining qo'shimcha kodi beriladi. Shuning uchun jamlagichning chiqishida ikkita qo'shiluvchining $Y-X$ ayirmasi hosil bo'ladi.

Shunday qilib, sxemaning chiqishida ikki sonning yig'indisini yoki ayirmasini olish mumkin. Amal turi boshqaruv signalining qiymatiga bog'liq bo'ladi.

AMQlar sanoatda turli integral mikrosxemalar ko'rinishida yoki 2, 4, 8, 16 razryadli operandlar ustida amallar bajaruvchi KISlar tarkibida ishlab chiqariladi.

AMQ tarkibida har bir razryad uchun mantiqiy va qo'shimcha amallar shakllantiruvchi arifmetik amallarni bajarishda AMQning barcha razryadlari uchun tezkor TO'S shakllanuvchi sxemalar mavjud.



5.28-rasm. AMQ kirishlari va chiqishlari.

Shuni aytib o'tish kerakki, to'rt razryadli AMQ hosil qilish uchun 70 ta HAM-EMAS yoki YOKI-EMAS elementlari talab etiladi.

K155IP3 IS misolida to'rt razryadli AMQning funksional imkoniyatlari bilan tanishib chiqamiz. Uning shartli belgilanishi 5.28- rasm- da keltirilgan. Mazkur sxema yoki mantiqiy, yoki arifmetik amallarni bajaruvchi ikkita rejimda ishlashi mumkin. Qurilma ikkita 4-razryadli operandlardan foydalanib, 16 ta mantiqiy va 16 ta arifmetik amallarni bajarishi mumkin. Bajariladigan amal turi M (mode control) kirishga beriladigan boshqaruv signali darajasi bilan belgilanadi. Agar M kirishga katta kuchlanish darajasi ($M=1$) berilgan bo'lsa, barcha ichki o'tkazishlar berkiladi (blokirovka qilinadi) va qurilma ketma-ket u yoki bu

mantiqiy amalni bajaradi. Agar M kirishga kichik kuchlanish darajasi M ($M=0$) berilgan bo'lsa, barcha ichki o'tishlarga ruxsat beriladi va ikkita to'rt razryadli operandlar ustidan arifmetik amallar bajariladi. Rejimni boshqaruvchi M kirishdan tashqari mikrosxema $S0-S3$ parallel kirishlar bilan ham boshqariladi. Bu kirishlardagi signallar kombi-natsiyasi bajarilishi kerak bo'lgan aniq amalni tanlaydi.

$A0-A3$ kirishlarga to'rt razryadli A operandi, $B0-B3$ kirishlarga esa B operand beriladi. C_n kirishda o'tkazish signali qabul qilinadi. AMQ tomonidan 32 amallar ichidan tanlangan funksiya natijasi $F0-F3$ chiqishlarga uzatiladi. Chiqishda (to'rt razryaddan keyin) o'tkazish signali ajralib chiqadi. Bu signal keyingi AMQning C_n kirishiga uzatiladi. $F0-F3$ chiqishlardan tashqari IP3 mikrosxemasi uchta qo'shimcha chiqishga ega bo'lib, ular: $A=B$ — operandlar tengligini aks ettiruvchi, o'rnatilgan komparator chiqishi; G — o'tkazishni shakllantiruvchi chiqish; P — o'tkazishni taqsimlash chiqishi. G va P chiqishlar, ko'p razryadli sxemalarni bog'lovchi, AMQ qobiqlari o'rtasida o'tkazishni tashkil etish uchun qo'llaniladi.

Agar ko'p qobiqli AMQlarda maksimal tezkorlik talab etilmasa, oddiy pulsatsiyali o'tkazish rejimini qo'llash mumkin. Buning uchun o'tkazishning C_{n+4} chiqishi keyingi AMQning C_n o'tkazish kirishi bilan birlashtiriladi. Tezkor amallarni bajarish uchun K155IP3 vositalari o'rtasiga maxsus tezkor o'tkazish K155IP4 mikrosxemasi o'rnatiladi. Bitta MP4 qobig'i to'rtta IP3 AMQsiga xizmat ko'rsatishi mumkin.

Ko'paytirgichlar. EHMda bajarladigan amallarning 50%i arifmetik ko'paytiruv bilan amalga oshiriladi. Shuning uchun EHM sifat ko'rsatkichi bo'lib, mazkur amalni bajarishga ketgan vaqt hisoblanadi. Agar ko'paytiruv qo'shish va siljitish amallari bilan ketma-ket bajarilsa, u holda ko'paytirish vaqti sezilarli katta bo'ladi. Shuning uchun alohida mikrosxema ko'rinishida yoki KIS tarkibidagi operatsion tugunlar sifatida tezkor bir taktli ko'paytirgichlar ishlab chiqariladi. Ularda ko'paytirish algoritmi **modifikatsiyalangan But algoritmi yoki xususiy ko'paytmalar algoritmi** deb ataladi. U ishora belgilari va ko'payuvchilar modullari ustidan alohida amallarni ko'zda tutmaydi, balki ko'paytirish amalining o'zi ko'payuvchilar razryadlarining xususiy ko'paytmalarini qo'shishga olib kelinadi.

Birjinsli tuzilmaga ega bo'lgan matritsali ko'paytirgichlar keng tarqalgan. Bunday ko'paytirgichlarning asosi-bo'lib, $A(a_1, a_0) \times B(b_1, b_0)$ 2 razryadli ikkilik ko'payuvchilarni ko'paytirish amalini bajaruvchi matritsali ko'paytiruvchi blok hisoblanib, unda xususiy ko'payuvchilar qo'shiladi:

$$\begin{array}{r}
 \times \begin{array}{cc} a_1 & a_0 \\ b_1 & b_0 \end{array} \\
 \hline
 + \begin{array}{cc} b_1 a_1 & b_1 a_0 \\ b_0 a_1 & b_0 a_0 \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{cccc} M_3 & M_2 & M_1 & M_0 \end{array}
 \end{array}$$

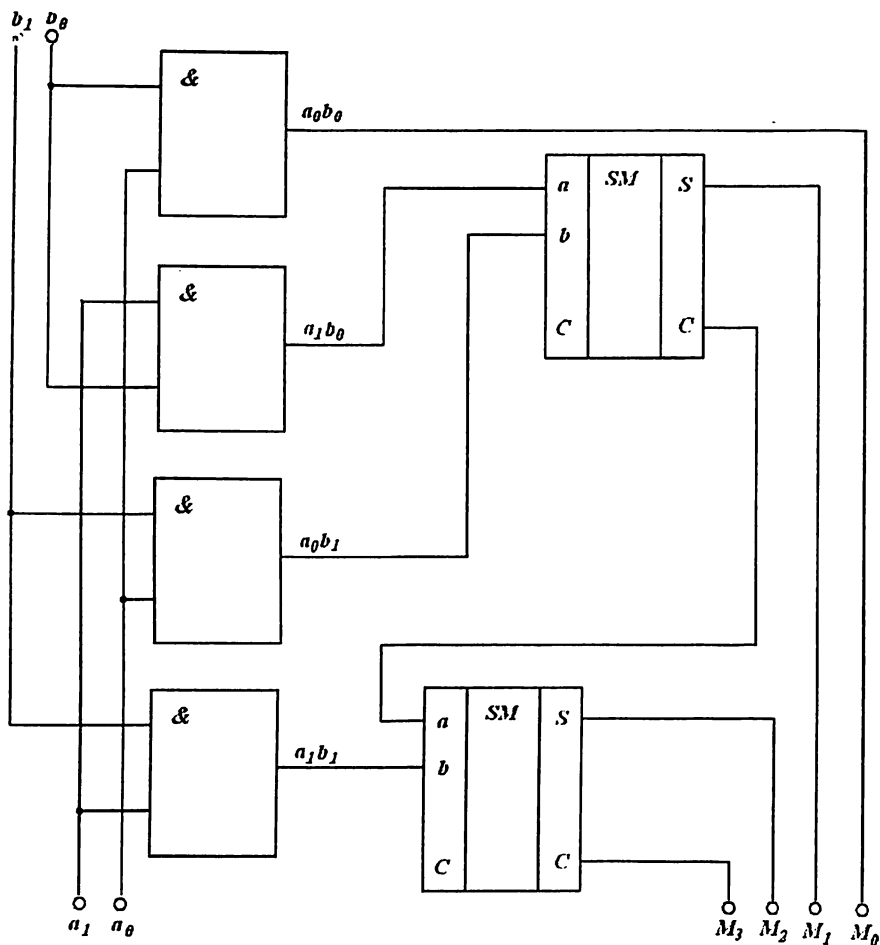
Misoldan ko'rinib turibdi-ki, ko'paytirish amalini bajarish jarayoni-da xususiy ko'payuvchilar shakllanadi, ular bir-biriga nisbatan tegishli siljitishlardan so'ng qo'shiladi.

2 razryadli matritsali ko'paytiruvchi blok tuzilma sxemasi 5.29-rasmda keltirilgan.

Mazkur blokda 4 ta 2HAM elementidan tashkil topgan matritsa bir vaqtning o'zida barcha xususiy ko'paytmalari razryadlarini shakllantiradi, olingan natijalar ikkita bir razryadli jamlagich matritsalarini yordamida qo'shiladi. Ikkita $A(a_3, a_2, a_1, a_0) \times B(b_3, b_2, b_1, b_0)$ razryadli ko'payuvchlarning ko'paytirish algoritmini ko'rib chiqamiz.

Bu algoritmnini to'rtta bir turdagi bloklar kombinatsiyasi ko'rinishida tasvirlash mumkin (uzuq-uzuq chiziqli bilan ajratilgan). Har bir blok 5.29-rasmda keltirilgan qurilmadan iborat bo'lib, qo'shuv amalini bajaruvchi ikkita qo'shimcha jamlagich kiritilgan. Shunday qilib, $b_1 a_1$ xususiy ko'paytmaning M_2 razryadi qiymatini hosil qilish uchun $b_1 a_1$ va $b_0 a_1$ xususiy ko'paytmalarni qo'shish natijasida olingan o'tkazish signalidan tashqari, blokning o'zida qo'shni bloklarda hosil qilingan $b_2 a_0$ va $b_0 a_2$ xususiy ko'paytmalarni qo'shish kerak.

But algoritmini amalga oshirish ko'paytirish vaqtini sezilarli kamaytiradi.



5.29-rasm. Matrisali ko'paytiruvchi blokning tuzilma sxemasi.

$\times$	a_3	a_2	a_1	a_0				
	b_3	b_2	b_1	b_0				
	b_3a_3	b_3a_2	b_3a_1	b_3a_0	<i>Blok 2</i>			
<i>Blok 4</i>	b_2a_3	b_2a_2	b_2a_1	b_2a_0				
	b_1a_3	b_1a_2	b_1a_1	b_1a_0		<i>Blok 1</i>		
	<i>Blok 3</i>	b_0a_3	b_0a_2	b_0a_1	b_0a_0			
M_7	M_6	M_5	M_4	M_3	M_2	M_1	M_0	

5.6. Dasturlanuvchi mantiqiy matritsalar

Avvalgi bandlarda kichik va o'rta integratsiya darajasidagi mantiqiy ISlar asosida tuzilgan raqamli qurilmalar alg'oritmi ko'rilgan edi. KIS va O'KISlarni qo'llash ularning maxsus xossaligidan kelib chiqqan holda quyidagilarga imkon beradi:

- ishonchlilik va tezkorlikni oshirish;
- iste'mol quvvati va o'lchovlarini kamaytirish;
- yoki iste'mol quvvati va o'lchamlari o'zgarishsiz qolgan holda, apparaturaning funksional imkoniyatlarini kengaytirish.

Demak, turli vazifalar uchun mo'ljallangan KIS va O'KISlar yasallishidagi universallik va kichik tannarx kabi afzalliklarga ega. Bu uncha katta bo'lmagan hajmdagi apparaturalarni ishlab chiqarishda juda muhim sanaladi. Buning uchun IS ishlab chiqaruvchi kompaniyalar yagona, ya'ni universal fotoshablonlar majmuyidan foydalanadilar. Talab etilgan algoritmni esa bevosita ishlab chiqaruvchining o'zi ichki apparaturani o'zgartirib (dasturlash yordamida) hosil qiladi. Shuni aytib o'tish kerakki, mikroprotsessorlarni va ISlarni dasturlash bu boshqa-boshqa tushunchalardir.

Ishonchlilikni va tezkorlikni oshirish katta IS ichki tuzilmasining doimiyliigi, tashqi bog'lanishlarni minimallashtirish, elementlar soni va ichki bog'lanishlarni ko'paytirish hisobiga amalga oshiriladi.

Dasturlanuvchi doimiy xotira qurilmalari (DDXQ) va dasturlanuvchi mantiqiy matritsalar (DMM) ISlarning birinchi dasturiy foydalanuvchilari bo'lib hisoblanadilar. Bu yerda DMM DDXQning bir turi hisoblanadi.

Tanlangan ish algoritmi uchun sozlashga (dasturlashga) tayyor mantiqiy KIS **sodda mantiqiy integral sxema** (SMIS) deb ataladi.

Ma'lumki (5.1-bandga q.), MAFni algebraik ifodalashda yoki dizyunktiv, yoki konyunktiv normal shakl qo'llaniladi. DNSHda MAF sodda mantiqiy ko'paytmalarning mantiqiy yig'indisini tashkil etadi. Demak, DNSHda kelitirilgan MAFni texnik tashkil etish uchun konyunksiya va dizyunksiya bloklari talab etiladi. Konyunksiya bloki HAM mantiqiy elementlar matritsasi (ko'paytiruv matritsasi)dan, dizyunksiya bloki esa YOKI mantiqiy elementlari matritsasi (yig'indi

matritsasi)dan iborat bo'lishi kerak. Ularni ketma-ket ulab va sozlab, ixtiyoriy turdagi MAFni tashkil etish mumkin. Sozlash uchun tayyor bo'lgan SMIS ko'paytma va yig'indi matritsalaridan tashqari, kirish buferi – invertorlar matritsasiga ham ega bo'ladi.

SMISlarni uch xil usul bilan sozlash (dasturlash) mumkin:

– HAM matritsasini o'zgartirmasdan turib, YOKI matritsasining tuzilmasini dasturlash;

– YOKI matritsasini o'zgartirmasdan turib, HAM matritsasining tuzilmasini dasturlash;

– ikkala matritsa tuzilmasini dasturlash.

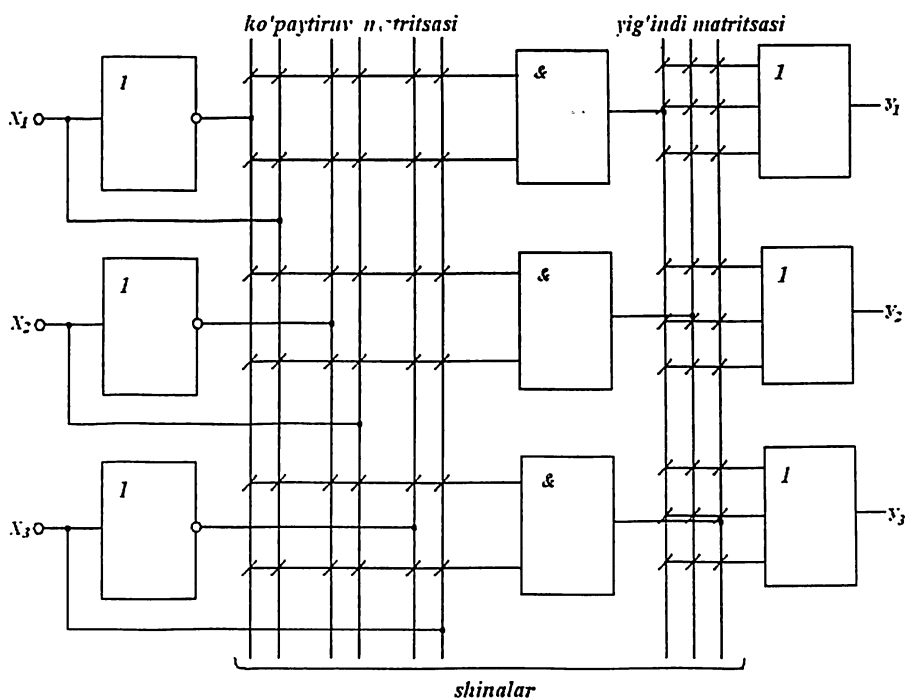
Dasturlashning birinchi usuli DDXQlarni, ikkinchi usul DMM ISlarini, uchinchisi usul esa DMMlarni tuzishda qo'llaniladi. Uchta mantiqiy o'zgaruvchili DMMni amalga oshiruvchi SMIS tuzilma sxemasi 5.30-rasmda keltirilgan. X_i kirish o'zgaruvchilarining inversiyasi kirish buferining invertor matritsalarida amalga oshiriladi. Dasturlashdan oldin barcha shinalar o'zaro shartli ravishda (/) belgi bilan ifodlangan simlar bilan bog'langan.

Misol tariqasida, ortiqcha bog'lanishlar olib tashlangach, bu sxema qanday ko'rinishga ega bo'lishini ko'rib chiqamiz:

$$\begin{aligned} y_1 &= \overline{x_1 x_2} + \overline{x_1} x_2 + x_1 x_3, \\ y_2 &= \overline{x_1} x_2 + x_1 x_3, \\ y_3 &= x_1 \overline{x_2} + \overline{x_1} x_3. \end{aligned} \quad (5.23)$$

Ma'lumot uchun. Birinchi bo'lib, eruvchan simlar yordamida dasturlangan bipolyar tranzistorli texnologiyada bajarilgan DMMlar yaratilgan (masalan, TTMSH-texnologiyada bajarilgan bir marotaba dasturlanuvchi KP556RT1 va KP556RT2 DMMlar). DMMlar yana maxsus programmatorlarda ham dasturlanadi.

Keyinchalik, KMDYA-texnologiyada bajarilgan eruvchan simli, yana keyinroq yozilgan ma'lumotlarni ultrabinafsha va elektr o'chirishli ISlar yaratilgan. Hozirgi kunda DMM va boshqa dasturlanuvchi KISlar barcha mavjud texnologiyalarni qo'llagan holda ishlab chiqarilmoqda.

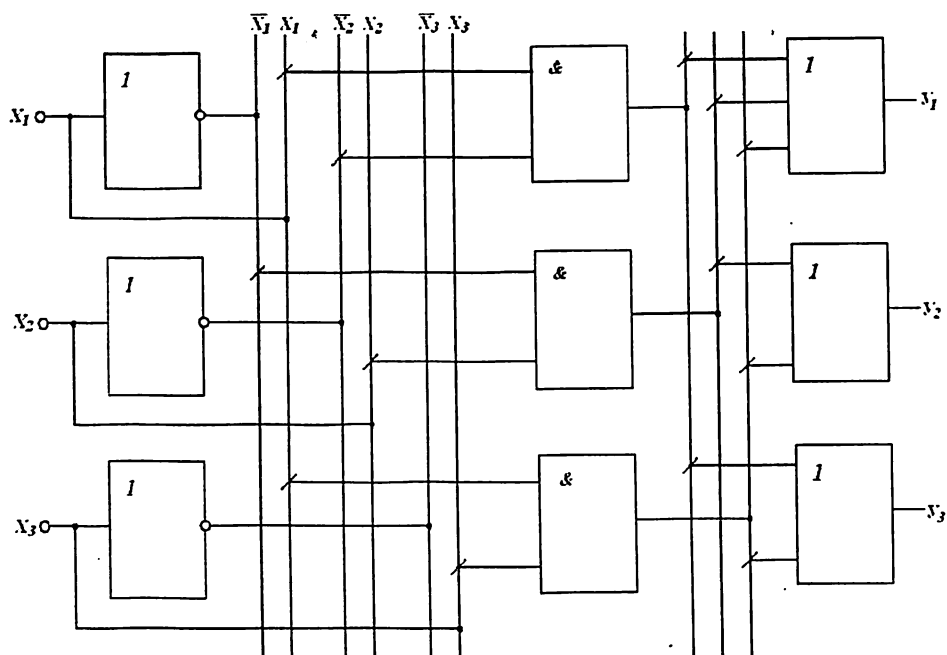


5.30-rasm. SMISning dasturlashdan avvalgi tuzilma sxemasi.

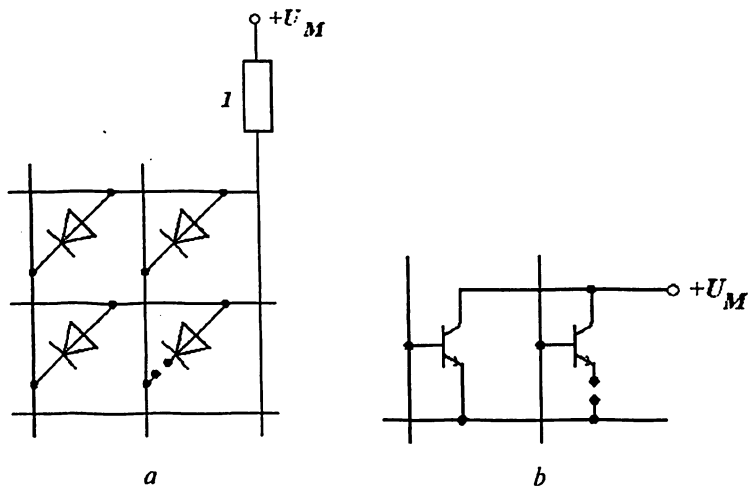
DMMLarda faqat kombinatsion sxemalar emas, balki xotira sxemalarini ham tuzish mumkin. Bunday sxemalarni shakllantirish uchun DMMning ba'zi kirishlarini chiqishlari bilan birlashtirish kerak, ya'ni teskari aloqalar kiritish kerak. Bunday sxemalarga triggerlar, hisoblagichlar, sanoq qurilmalari va boshqa avtomatlar misol bo'la oladi.

Diodlar (*a*) va bipolyar tranzistorlar (*b*) yordamida shinalarni ulash 5.32-rasmda keltirilgan.

Dasturlovchi elementlar bo'lib eruvchan qayta ulagichlar *I* hisoblanadi. Dastlabki holatda barcha simlar butun bo'ladi. DMMga ma'lumot yozish ba'zi diodlar (tranzistorlar)dan tok impulsleri o'tkazish natijasida eruvchan simlarni kuydirish orqali amalga oshiriladi. Natijada shinalar orasidagi ba'zi bog'lanishlar uziladi. Bu jarayon dasturlash deb ataladi va maxsus tashqi qurilma — programmatorlar yordamida amalga oshiriladi.



5.31-rasm. (5.23) sxemali MAF tizimini DMM asosida tashkil etish.



5.32-rasm. Diodlar (a) va bipolyar tranzistorlar (b) yordamida shinalarni ulash.

? Nazorat savollari

1. Mantiqiy algebra funksiyasi (MAF)ga ta'rif bering.
2. MAFning asosiy ifodalanish usullarini keltiring.
3. KIS va O'KISlarda bajariladigan mantiqiy qurilmalarni minimallashtirishdan maqsad nima va uning asosiy prinsiplari qanday?
4. Shifraturning vazifasi va mantiqiy sxemasi qanday?
5. Bir pog'onali, piramidali va ko'p bosqichli deshifraturning vazifasi va mantiqiy sxemasi qanday?
6. Multipleksor va demultipleksorning vazifasi hamda mantiqiy sxemasi qanday?
7. Yarimjamlagich va to'liq jamlagichlarning bir-biridan farqi nimada?
8. Parallel va ketma-ketli ko'prazryadli jamlagichlarning asosiy farqi nimada?
9. Jamlagichlar tezkorligini oshirishning asosiy usullarini sanab bering.
10. Ixtiyoriy arifmetik qurilma tomonidan bajariladigan asosiy elementar amallarni sanab bering.
11. Nima uchun arifmetik qo'shish va ko'paytirish vaqtlari EHMning asosiy xarakteristikallari hisoblanadi?
12. Dasturlanuvchi xarakteristikali mantiqiy qurilmalarning vazifasi va qo'llanish sohalari qanday?
13. Dasturlanuvchi mantiqiy matritsali ISlar qanday tuziladi?

VI BOB. KETMA-KETLI RAQAMLI SXEMALAR

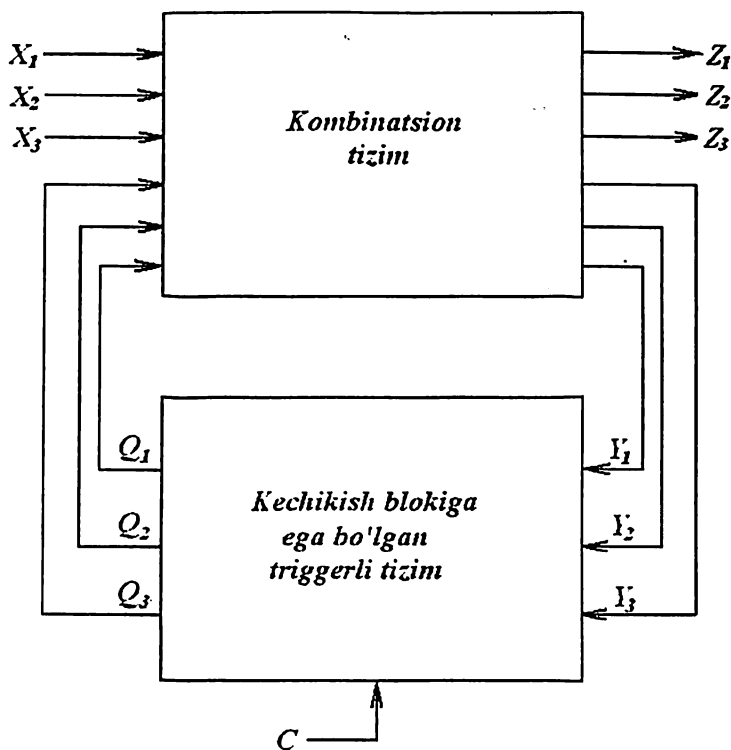
6.1. Umumiy ma'lumotlar

Yuqorida ko'rib o'tilgan barcha raqamli mantiq kombinatsion sxemalarda tuzilgan edi. Ularda chiqishdagi signal kirishning joriy (hozirgi) holati bilan aniqlanadi. Bu sxemalarda «xotira» mavjud emas. Agar kombinatsion sxemalarga xotira kiritilsa, u holda ularning yordamida hisoblagichlar, arifmetik registrlar va boshqa «aqli» sxemalarni hosil qilish mumkin. Bunda ular bir funksiyani bajarib bo'lgach, keyingisiga o'tadi. Bunday sxemalarning asosiy tuguni bo'lib trigger hisoblanadi.

ME va triggerlardan tuzilgan sxemalar, ya'ni ketma-ketli sxemalar kirish signallarining hozirgi holati bo'yicha yoki ularning avvalgi holatini bilgan holda kombinatsion funksiya shakllantirishi mumkin. Demak, hodisalarning ro'y berish ketma-ketligidan kelib chiqqan holda, kirishda bir xil o'zgaruvchili signal bo'lgan holatda bunday sxemalarning chiqishidagi signal turlicha bo'lishi mumkin. Shuning uchun sxemalarni loyihalashtirish va tahlil qilishda hodisalarning ro'y berish ketma-ketligini ajratib olish muhim hisoblanadi. Raqamli tizimlarning, birinchi navbatda, EHMning kuchi shundaki, ular bir holatdan ikkichisiga bir necha marta o'tishlar ketma-ketligini berilgan tartibda amalga oshirish imkoniga ega.

Ixtiyoriy ketma-ketlikdagi qurilma **triggerli qurilma** yoki **raqamli avtomat** deb ataladi. Raqamli avtomat umumiy holda N ta triggerdan tashkil topgan. Raqamli avtomat holati N razryadli ikkilik so'zdan iborat bo'lib, uning har bir razryadi mos triggerning chiqish signali holati bilan belgilanadi. Demak, raqamli avtomat holatini 2^N kodli to'plam ifodalaydi.

Triggerlar — ikkita turg'un holatli chiqishga ega bo'lgan qurilma bo'lib, u elementar xotira yacheykasi (bistabil yacheyka) va boshqaruv sxemasiga ega. Boshqaruv sxemasi bevosita elementar xotira yacheykasi kirishiga kelib tushayotgan ma'lumotni signallar kombinatsiyasiga o'zgartiradi.



6.1-rasm. Ketma-ketli qurilma (raqamli avtomat) blok-sxemasi.

Trigger ta'rifiga mos keluvchi raqamli avtomatning umumlashtirilgan tuzilma sxemasi 6.1-rasmda keltirilgan.

Raqamli avtomat kirishida doim to'rt guruhga mansub turli signal ishlaydi: X_i – kirish signallari, Z_i – chiqish signallari, Y_i , Q_i – sxemada ma'lumot holatining o'rnatilganligini aks ettiruvchi ikkilamchi o'zgaruvchilar. Ikkilamchi o'zgaruvchilar ketma-ketli sxemalarning avvalgi holatlari haqidagi ma'lumotni saqlash qobiliyatini aks ettiradi. Ikkilamchi o'zgaruvchilarga Y_i o'zgaruvchilari va yangi o'rnatilgan (o'zgargan) Q_i holatlari oralig'ida kechikish xos bo'ladi. Shuning hisobiga sxemada kechikish bloki mavjud.

Ketma-ketli sxemalarda ikkilamchi o'zgaruvchilar teskari aloqa vazifasini bajaradilar. Raqamli avtomat turg'un ishlashi uchun (sinxron raqamli qurilmalarda vaqt bo'yicha kechikish mavjudligi tufayli) faqat

C kirishga sinxrosignal berilgandan keyingina Y_i va Q_i qiymatlari o'zgarishi mumkin.

Agar foydalanuvchini triggerli tizimlarda mavjud funksiyalar qoniqtirmasa, ya'ni maxsus funksiyalarga ega bo'lgan raqamli avtomat talab etilsa, u holda bunday sxemalarni loyihalashtirish uchun quyidagi uslubdan foydalanish qulay:

1. Talab etilayotgan holatlar hajmi va uning tizimidagi talab etilayotgan xotira hajmi aniqlanadi. Bu vaqtda tizimning N triggeri uchun 2^N holat mavjud.

2. Sxemaning so'z yordamidagi ishlash prinsipi asosida holatlar (haqiqiylik) jadvali yoki o'tishlar grafi tuziladi.

3. Trigger turi tanlanadi.

4. Avtomatning ishlash algoritmi va o'tishlar jadvalidan foydalanib, kengaytirilgan haqiqiylik jadvali tuziladi.

5. Kengaytirilgan haqiqiylik jadvalidan foydalanib avtomatning kombinatsion tizimini ifodalovchi MAF minimallasadi.

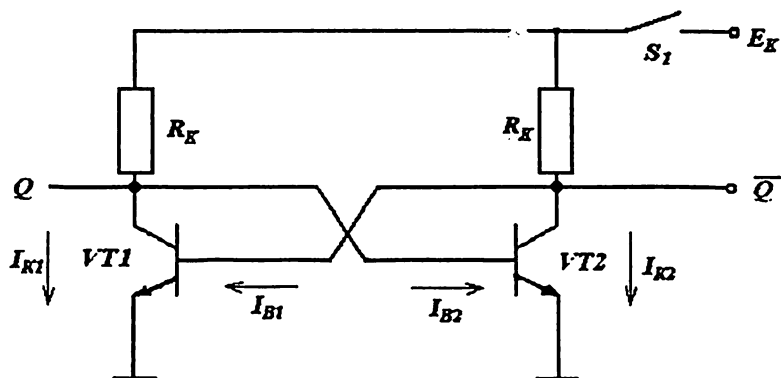
6. Olingan MAF asosida raqamli avtomatning mantiqiy sxemasi tuziladi.

6.2. Bistabil yacheykalar

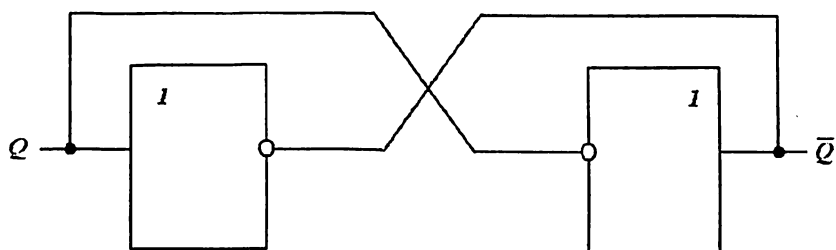
Har bir trigger asosida bir-biri bilan o'zaro kesishib ketgan teskari aloqalari mavjud bo'lgan ikkita invertorli zanjir yotadi. Bu holat 6.2-rasmda keltirilgan.

Bu zanjir **bistabil yacheyka** (BYA) deb ataladi va u ikkita turg'un holatga ega. BYA ma'lumotlarni ikkilik sanoq tizimida qayta ishlashga mo'ljallangan, chunki bunday yacheykadagi Q chiqish potentsiali bir-biridan sezilarli farqlanuvchi mantiqiy 0 va mantiqiy 1 ga mos keluvchi qiymatlarni olishi mumkin. Yacheykaga yozilgan ma'lumot EK kuchlanish manbayi ulangan vaqtda saqlanib turadi. Bir BYAdagi ma'lumotni keyingisiga uzatish mumkin emas, chunki ularda tashqi boshqaruv zanjiri mavjud emas.

BYA simmetrik konfiguratsiyaga ega bo'lgani bilan kuchlanish manbayi ulanganda yuzaga keladigan (ichki va tashqi) fluktuatsiyalar hisobiga tranzistorlarning holatlari teng bo'lmasligi mumkin:



6.2-rasm. Bistabil yacheyka.



6.3-rasm. BYA tasviri.

$VT1$ tranzistor to‘yingan, $VT2$ berk holatda bo‘ladi, yoki aksincha. Bu holatlar turg‘un. Haqiqatan ham, deylik, ba‘zi sabablarga ko‘ra $VT1$ ning baza toki ma‘lum ΔI_{B1} qyimatga kamaygan bo‘lsin. Unga mos ravishda I_{K1} toki ham kamayadi va natijada $VT1$ ning kollektordagi kuchlanishi pasayadi. Teskari aloqa ($U_{B2} = U_{K1}$) mavjudligi tufayli $VT2$ ning I_{B2} baza toki yanada tezlik bilan ortib, uning to‘yinish rejimiga o‘tishini tezlatadi. Bu BYAning birinchi yarmida toklarning ortishi, ikkinchi yarmida toklarning tez (ko‘chkisimon) kamayishiga olib keladi va **regeneratsiya** deb ataladi. Bu jarayon tok qiymatlari o‘zgarishdan to‘xtaganda va $VT2$ to‘yinish, $VT1$ esa berk rejimga o‘tganda to‘xtaydi.

Fluktuatsiya ishorasi tasodifiy bo‘lganligi sababli, $VT1$ va $VT2$ tranzistorlarning berkilish ehtimollari teng. Xulosa qilib shuni aytish

mumkinki, boshqaruv va ishga tushirish zanjirlarisiz BYAga ma'lumot kiritish (yozish) mumkin emas.

Invertorlar (EMAS elementlari) va teskari aloqa zanjirlari yordamida tuzilgan BYAning shartli tasviri 6.3-rasmda keltirilgan.

6.3. Triggerlar

6.3.1. Bir pog'onali triggerlar

Asinxron RS-trigger. Agar BYA boshqaruv zanjirlari bilan to'ldirilsa, u holda unga 1 bit ma'lumotni yozish va saqlash mumkin bo'lgan **trigger** qurilmasi hosil bo'ladi.

Alohida boshqaruv kirishlariga ega bo'lgan simmetrik trigger sxemasi 6.4-rasmda keltirilgan.

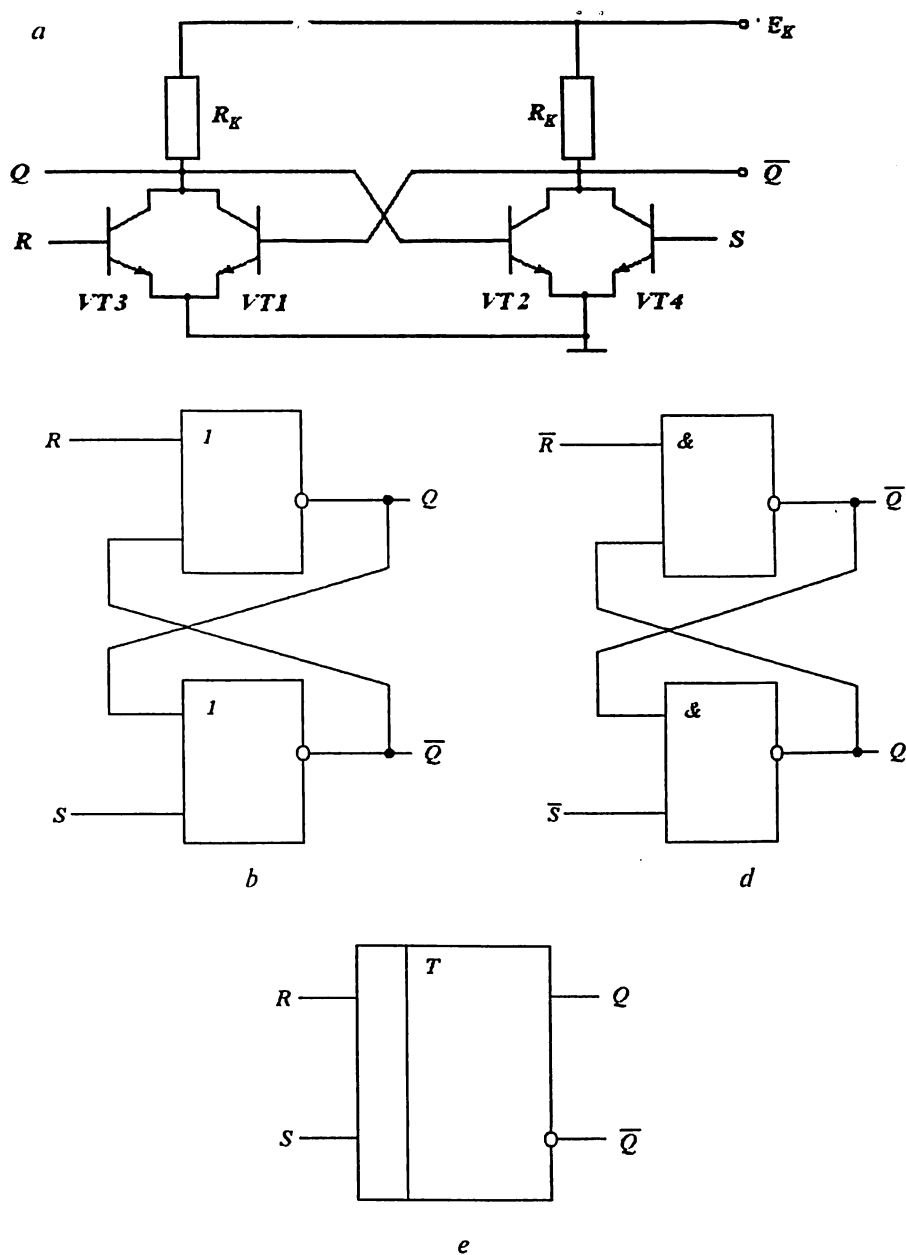
Trigger hosil qilish uchun BYA sxemasi $VT3$ va $VT4$ tranzistorlarda bajarilgan yana ikkita tranzistorli kalit bilan to'ldirilgan.

Trigger invers ma'lumot kirishlariga ega bo'lgan ikkita YOKI-EMAS ME (6.4, *b*-rasm), yoki ham-EMAS ME (6.4, *d*-rasm) yordamida tuzilishi mumkin.

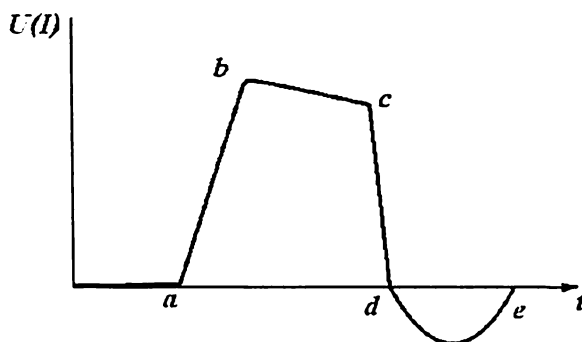
Trigger boshqaruv signallari beriladigan ikkita R va S ma'lumot kirishlariga, ikkita Q va $\bar{Q}$ chiqishlarga ega. Triggerning boshqaruv va chiqish signallari — invers. Elektr impulsi deb, kuchlanish yoki tokni ma'lum doimiy qiymatga ega energiyadan uzish holatiga aytishini eslatib o'tamiz. Impulsning ba'zi ideallashtirilgan shakllari 6.5-rasmda keltirilgan. Bu yerda: ab — front; bc — cho'qqi; cd — kesish; de — impuls dumi deb ataladi.

RS-trigger ishini tahlil qilamiz. Shuni aytib o'tish joizki, bu sxema-ning ikkala kirishiga bir vaqtning o'zida ochilish impulsi (mantiqiy) kelishi mumkin emas.

Haqiqatan ham, bu vaqtda ikkala $VT1$ va $VT2$ tranzistorlar berkiladi, kirish signallari tugagach, ularning ikkalasi ochiladi, ya'ni BYA vaqtincha simmetrik holatda bo'ladi. BYA bu holatdan teng ehtimollik bilan $Q = 1, \bar{Q} = 0$ yoki $Q = 0, \bar{Q} = 1$ holatlardan biriga o'tishi mumkin. Ya'ni ma'lumotni yozish imkoni bo'lmaydi. Shuning uchun RS-trigger alohida (mustaqil) statik kirishlar rejimida ishlaydi.



6.4-rasm. RS-triggrning prinsipial sxemasi (*a*), uning funksional sxemasi (*b*, *d*) va shartli belgisi (*e*).



6.5-rasm. Impulsning ba'zi ideallashtirilgan shakllari.

Boshqaruv (ma'lumot) kirishlarining mazmuni quyidagicha: S (*set* – o'rnatish) – triggerni mustaqil ravishda 1 holatiga o'rnatish uchun ($Q = 1$, $\bar{Q} = 0$) va R (*reset* – olib tashlash) – triggerni mustaqil ravishda 0 holatiga o'rnatish uchun ($Q = 0$, $\bar{Q} = 1$).

Har bir kirishga past darajali (mantiqiy 0) signal berish mumkinligi tufayli, kirishlarda boshqaruv signallarining to'rtta kombinatsiyasi ishlaydi. Ular RS-triggerning holatlar jadvalining R va S ustunlarida keltirilgan (6.1-jadval).

Kirish signallarining mumkin bo'lgan to'rtta kombinatsiyasida trigger qanday holatlarda bo'lishini ko'rib chiqamiz.

1-kombinatsiya. $R=0$, $S=0$. $VT3$ va $VT4$ tranzistorlar ochilmaydi va shuning uchun BYAlar ularning holatiga ta'sir ko'rsata olmaydi.

6.1-jadval

RS-triggerning holatlar jadvali

Kirish		Chiqish	
R	S	Q	$\bar{Q}$
0	0	o'zgarishsiz	
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	aniq emas	

Q va $\bar{Q}$ chiqishdagi signallar o'zgarishsiz qoladi. Demak, triggerda avval yozilgan ma'lumot saqlanib qoladi.

2-kombinatsiya. $R = 0, S = 1$. $VT4$ tranzistor to'yinishgacha ochiladi, va chiqishdagi kuchlanish kichik bo'ladi (mantiqiy 0). $U_{K2} = U_{K1} = U_{B1}$ bog'liqlik tufayli $VT1$ tranzistor berkiladi va berk holatga o'tadi. Shuning uchun chiqishda yuqori kuchlanish (mantiqiy 1) hosil bo'ladi, ya'ni $Q = 1, \bar{Q} = 0$. $VT1$ va $VT2$ tranzistorlarning mazkur holatlari trigger tomonidan eslab qolinadi.

3-kombinatsiya. $R = 1, S = 0$. Bu vaqtda chiqishdagi kuchlanishlar o'zgaradi: $Q = 0, \bar{Q} = 1$ bo'lib, trigger yangi holatni saqlab qoladi.

4-kombinatsiya. $R = 1, S = 1$. Bunday kirish signalini RS-trigger qabul qila olmaydi, chunki u aniqmas holatda bo'ladi. Shuning uchun bu kombinatsiya man etilgan.

Amaliyotda RS-triggerlar invertorlarda emas, balki HAM-EMAS yoki YOKI-EMAS MElaridan tuziladi. Bu vaqtda trigger yoki invers (HAM-EMAS negizida), yoki to'g'ri (YOKI-EMAS negizida) ma'lumot kirishlariga ega bo'ladi. Trigger ishini aks ettirish uchun holatlar jadvalidan foydalaniladi (6.2-jadval).

6.2-jadval

Kirish		Chiqish			
R	S	HAM-EMAS mantig'i		YOKI-EMAS mantig'i	
		Q	$\bar{Q}$	Q	$\bar{Q}$
0	0	aniq emas		o'zgarishsiz	
0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1
1	1	o'zgarishsiz		aniq emas	

RS-triggerda ma'lumot yozish boshqaruv signali berilishi bilan ixtiyoriy vaqt momentlarida amalga oshiriladi. Bunday triggerlar **asinxron** deb ataladi.

RS-triggerning berilgan Q_n holatidan Q_{n+1} holatiga o'tish qoidasi mantiqiy funksiya (MAF) orqali ifodalanadi:

$$Q_{n+1} = S + Q_n \bar{R} ;$$

invers ma'lumot kirishlariga ega bo'lgan RS-trigger uchun ifoda quyidagicha bo'ladi:

$$Q_{n+1} = \bar{S} + Q_n R .$$

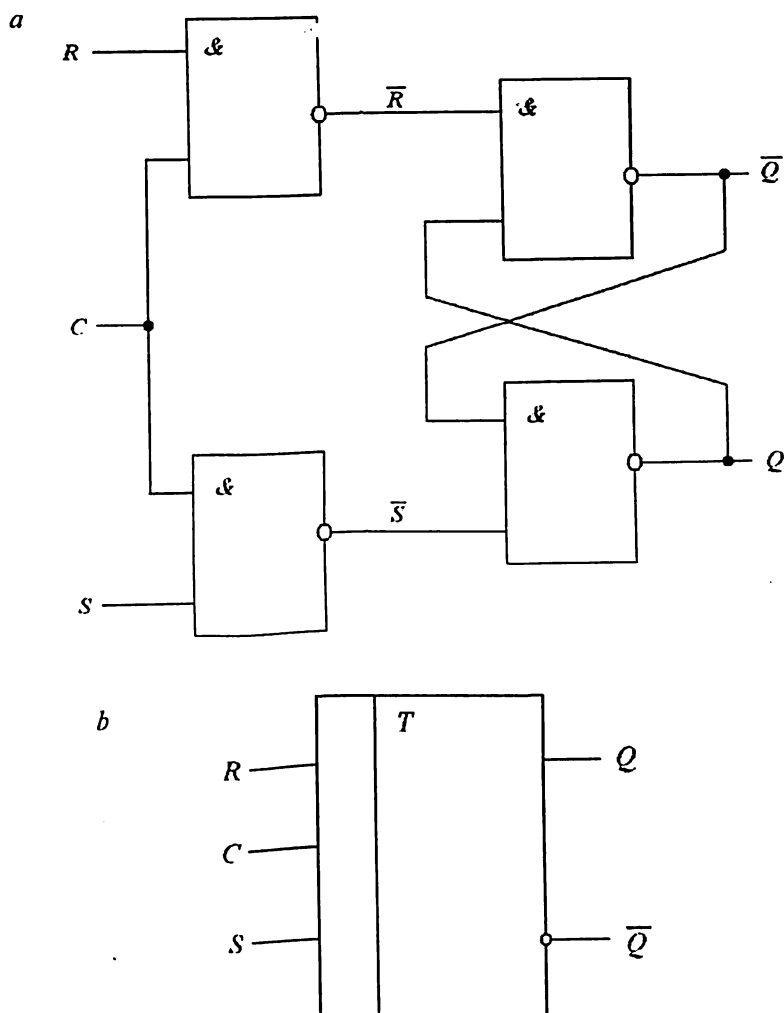
Mustaqil qurilma sifatidagi elementar asinxron RS-triggerlari juda kam ishlatiladi. Lekin ular ko'pincha murakkab triggerlarning asosiy tashkil etuvchi qismi tarkibiga kiradi. Ko'p hollarda RS-trigger mustaqil IMS sifatida ishlab chiqariladi. Masalan, K555TP2 IS qobig'ida to'rtta RS-trigger mavjud bo'lib, ularning ikkalasi ikkitadan o'rnatish kirishlariga ega.

Sinxron RS-trigger. Elementar asinxron RS-triggerli yacheykalar turli kombinatsion qurilmalarning asosi bo'lib hisoblanadi. Ular qatoriga hisoblagichlar, registrlar va chastota bo'luvchilari kiradi. Bu qurilmalarda takt signali yoki sinxronlash signali deb ataluvchi maxsus signal yordamida avval kiritilgan ma'lumotni chiqishga uzatish va keyingi xotira yacheykasiga yozib qo'yish kerak. Bunday rejimni amalga oshirish uchun RS-trigger qo'shimcha C (clock) takt kirishi bilan to'ldiriladi va u **sinxron trigger** deb ataladi.

Sinxron trigger ham ma'lumot, ham takt kirishlarida signal mavjud bo'lgandagina o'z holatini o'zgartiradi. Bunda sinxron trigger takt impulsining cho'qqisi, fronti yoki kesishi bilan boshqarilishi mumkin. Impuls fronti yoki kesishi bilan o'z holatini o'zgartiradigan trigger kirishlari **dinamik kirishlar** deb ataladi. Agar trigger cho'qqiga yetgan, ya'ni katta uzunlikka ega bo'lgan signal bilan boshqarilsa, bunday kirish **statik** deb ataladi.

Sinxron RS-trigger asinxron trigger va ikkita HAM-EMAS elementidan tashkil topgan bo'lib, ular tufayli mantiqiy bir signali bir vaqtning o'zida C takt kirishiga va S yoki R ma'lumot kirishlaridan biriga berilgandagina trigger o'z holatini o'zgartiradi. Sinxron RS-trigger tuzilma sxemasi va uning shartli belgilanishi, mos ravishda, 6.6, a va b -rasmlarda keltirilgan.

C , S va R to'g'ri kirishlarga ega bo'lgan trigger uchun ishlash qoidalari o'tishlar (haqiqiylik) jadvali yordamida ifodalanadi (6.3-jad-



6.6-rasm. Sinxron RS-trigger tuzilma sxemasi (*a*) va shartli belgilanishi (*b*).

val). Ko‘rinib turibdiki, kirishlar soni 3 ta bo‘lganda, C , S va R kirish signallarining kombinatsiyasi 8 ga teng.

6.3-jadvaldan kelib chiqib, takt kirishida «1» signali bo‘lmaganda ma’lumot kirishlarining ixtiyoriy kirish signali kombinatsiyasida RCS-trigger avvalgi ma’lumotni eslab turish rejimida ishlaydi. Kirish

signallarining $S=R=C=1$ kombinatsiyasi mumkin emas, chunki bu holda asinxron triggerning S' va R' kirishlarida bizga ma'lum bo'lgan $S' = R' = 0$ man etilgan kombinatsiya hosil bo'ladi.

6.3-javdalni qo'llagan holda, sinxron RCS-trigger ishini ifodalovchi minimizatsiyalangan MAF hosil bo'ladi:

$$Q_{n+1} = \bar{C}Q_n + C(S + Q_n \bar{R}).$$

6.3-jadval

C	R	S	R'	S'
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0

Bu yerda $S' = CS$, $R' = CR$.

D-trigger. D-trigger yagona D (ingl. *data* – ma'lumot) ma'lumot kirishiga ega. Uning kam miqdorda ishlab chiqarilishiga sabab, narxi yuqori bo'lgan chiqishlarning kichik sonidir. D-trigger uchun to'rtta tashqi chiqish kifoya: D – ma'lumot kirishi, C – takt kirishi, ikkita Q va $\bar{Q}$ chiqishlar (ularning biri mavjud bo'lmazligi ham mumkin). D-triggerning sxemasi (6.17, a -rasm) RCS-trigger sxemasidan inverter mavjudligi bilan farqlanadi.

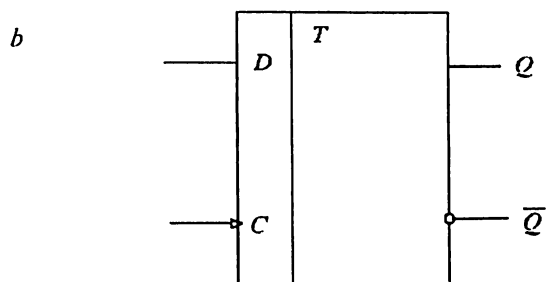
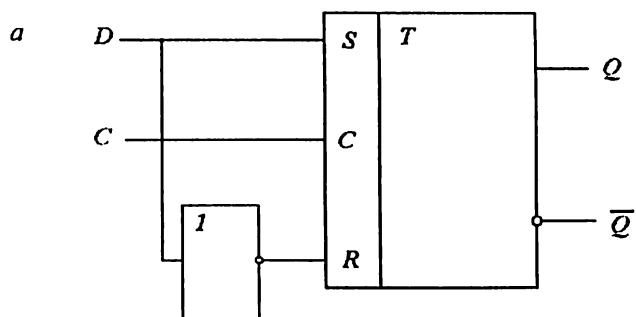
D-triggerning ishlash prinsipi: D-kirishga berilayotgan ma'lumot trigger chiqishida faqat sinxrosignal berilgandagina paydo bo'ladi. Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda D-trigger quyidagi o'tishlar jadvaliga ega (6.4-jadval).

D-trigger chiqishidagi ma'lumot navbatdagi sinxrosignal kelguncha o'zgarishsiz qoladi, ya'ni kechikish mavjud. Shunga asosan, D-trigger **kechikish triggeri** deb ataladi. D-triggerning MAFi quyidagicha bo'ladi:

$$Q_{n+1} = \bar{C}Q_n + CD.$$

6.4-jadval

C	Q_n	Q_{n+1}	D
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1
0	0	0	0
0	0	0	1
0	1	1	0
0	1	1	1

6.7-rasm. D-trigger tuzilma sxemasi (*a*) va shartli belgilanishi (*b*).

6.3.2. Ikki pog'onali triggerlar

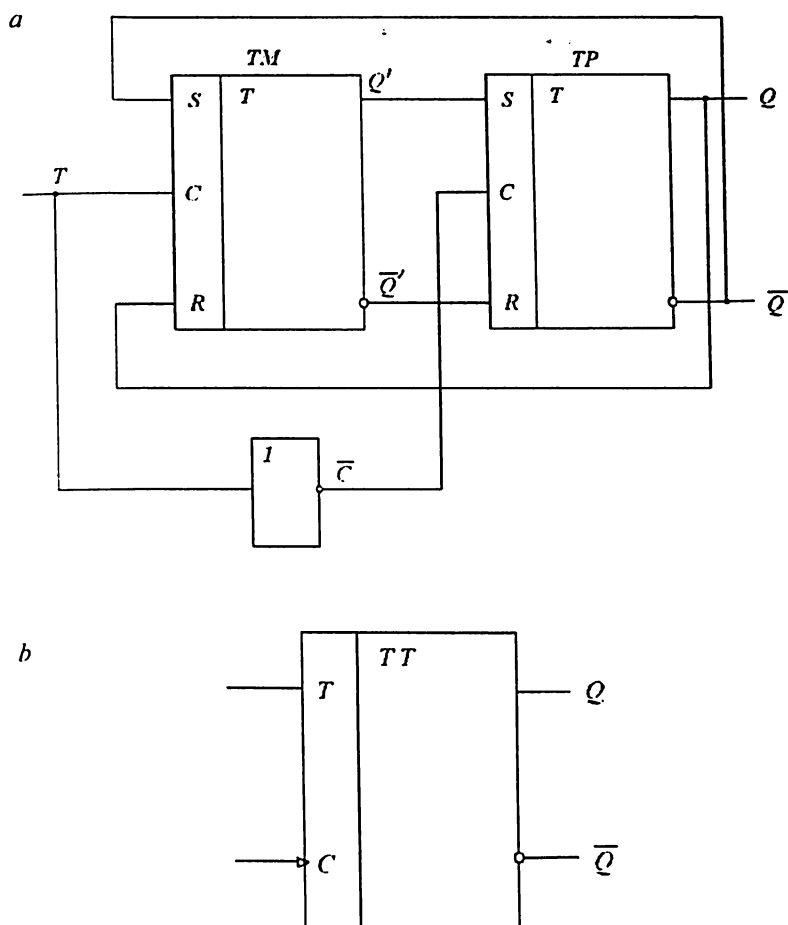
T-trigger. Ikki pog'onali triggerlar registr va hisoblagich kabi ko'p-razryadli qurilmalar ishi uchun mo'ljallangan bo'lib, ularda triggerli yacheykalarning ishonchli va aniq ishlashi talab etiladi. T-trigger **sanoq triggeri** deb ham ataladi, chunki kirishga aktiv mantiqiy signal berilganda u o'z holatini qarama-qarshi (teskari) holatga o'zgartiradi. Ikki pog'onali triggerlar MS-trigger deb ham ataladi (inglizcha *master va slave* - usta va yordamchi so'zlaridan olingan). Nomidan kelib chiqqan holda bunday trigger ikkita RCS-triggerdan tashkil topgan (6.8, a-rasm).

Ikkala TM (usta) va TP (yordamchi) triggerlarining kirishlari o'zaro invertor orqali ulangan. TM-TP triggerni to'liq takt impuls (fronti va kesimi) boshqaradi. Haqiqatan ham, agar har bir trigger impulsning fronti va kesimi bilan boshqarilsa, kirishdagi RS-kombinatsiya C takt impulsining fronti kelishi bilan TMga yoziladi. Bu vaqtda TPga ma'lumot yozilishi mumkin emas. C kirish impulsi kesimi kelishi bilan invertor chiqishida u front sifatida hosil bo'ladi. Demak, Q' va $\bar{Q}'$ chiqishlardagi ma'lumot C takt impulsi tugagach (kesim kelganda), T (toggle-relaksator) ma'lumot kirishida mantiqiy 1 mavjud bo'lganda TPga uzatiladi.

JK-trigger universal trigger hisoblanadi, chunki uning asosida sodda kommutatsion o'zgartirishlarni bajarib, ixtiyoriy turdagi trigger hosil qilish mumkin.

Integral ko'rinishda JK-triggerlari sinxron va ikki pog'onali qilib bajariladi. Ular, xuddi ikki pog'onali T-triggerlarida kabi, o'tuvchi ma'lumot yoziladigan asosiy trigger (TM) va asosiy triggerdan ma'lumot qayta yoziladigan yordamchi trigger (TP)ga ega. Bu triggerda ma'lumot kirishlari uchun quyidagi belgilanishlar qabul qilingan: J (*jump* – sakrash) – triggerni mustaqil «1» holatga o'rnatish; K (*keep* – saqlash) – triggerni mustaqil «0» holatga o'rnatish.

Ikki pog'onali JK-trigger, xuddi ikki pog'onali T-trigger kabi to'liq takt impulsi bilan boshqariladi. Sinxron JK-trigger tuzilma sxemasi va uning shartli belgisi 6.9-rasmda keltirilgan.



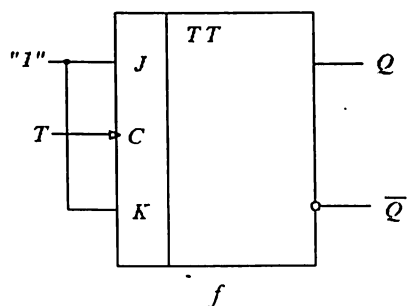
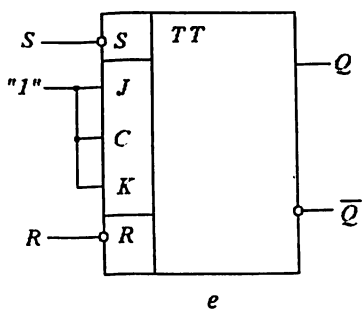
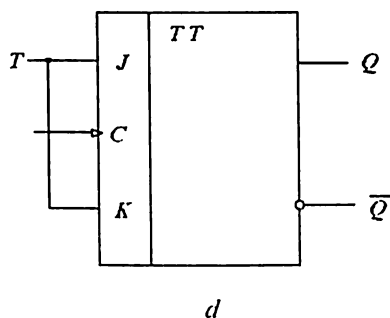
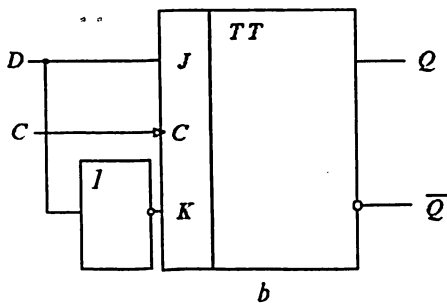
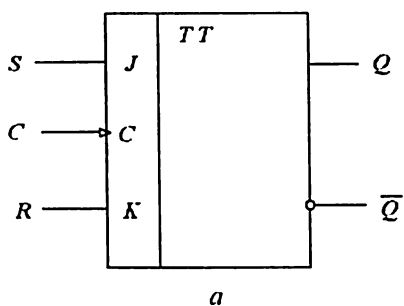
6.8-rasm. Ikki pog'onali T-trigger (*a*) va uning shartli belgilanishi (*b*).

JK-trigger man etilgan kirish signallar kombinatsiyasiga ega emas. Agar mantiqiy 1 signali aktiv bo'lsa, u holda JK-triggrerning o'tishlar jadvali 6.5-jadvaldagi ko'rinishga ega bo'ladi.

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, kirishga mantiqiy 1 signali berilganda J-trigger $Q = 1$, bir vaqtning o'zida K-kirishda $Q = 0$ bo'ladi.

Quyida mos ravishda asinxron va sinxron JK-trigger ishini ifodalovchi analitik ifodalar keltirilgan:

$$Q_{n+1} = J\overline{Q_n} + \overline{K}Q_n, \quad Q_{n+1} = C(J\overline{Q_n} + \overline{K}Q_n) + \overline{C}Q_n.$$



6.10-rasm. JK-trigger asosidagi triggerlar:

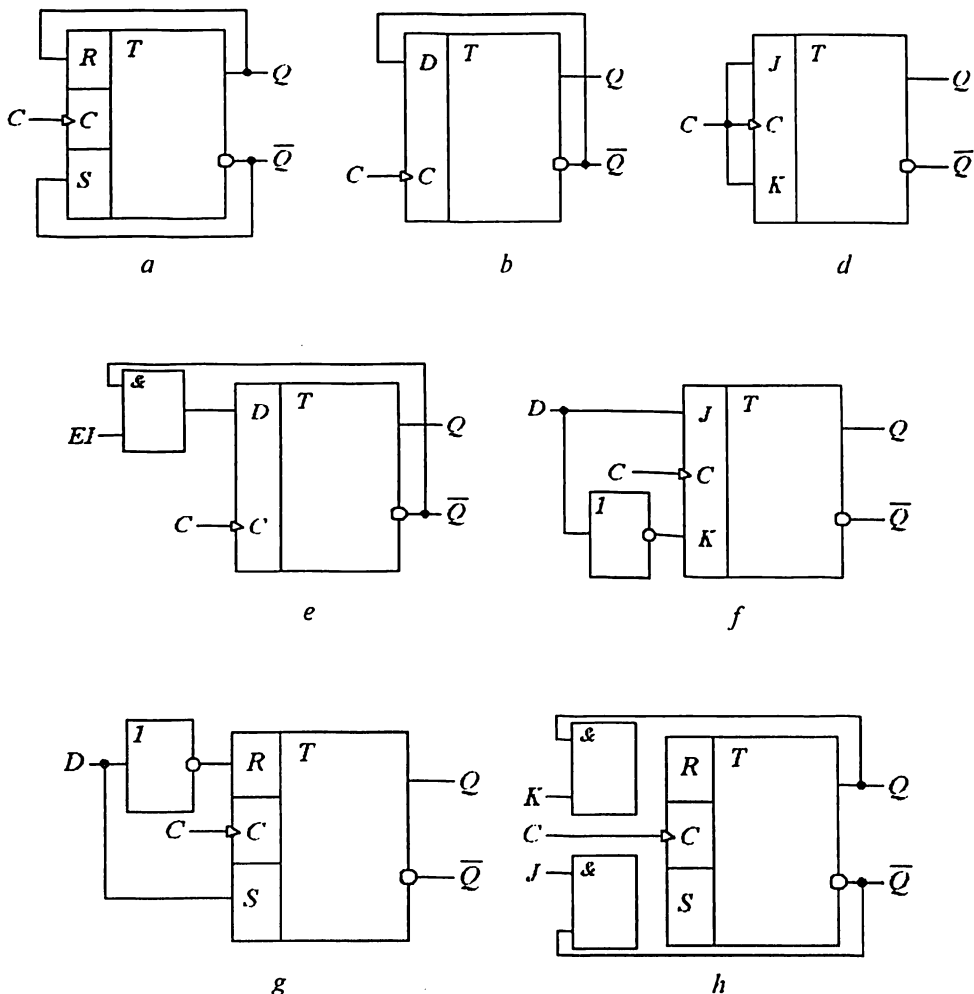
a – sinxron RS-trigger;
b – D-trigger; *d* – sinxron T-trigger;
e – asinxron RS-trigger; *f* – asinxron T-trigger.

JK-triggerlarning universalligi ular asosida barcha turdagi triggerlar hosil qilish imkonini beradi. JK-trigger asosidagi qurilmalar 6.10-rasm-da keltirilgan.

6.10, e-rasmida JK-triggerga qo'shimcha *R* va *S* mustaqil o'rnatish kirishlari kiritilgan bo'lib, bu kirishlardagi signallar boshqa kirishlarga nisbatan ustuvorlikka ega. Bu vaqtlarda triggerlarga nom beriladi, masalan, *S*-trigger ($S = R = 1$ bo'lganda) bir holatiga o'rnatiladi, *R*-trigger ($S = R = 1$ bo'lganda) nol holatiga o'rnatiladi, *E*-trigger ($S = R = 1$ bo'lganda) o'z holatini o'zgartirmaydi.

Triggerlarning o'zaro almashinuv sxemalari 6.11-rasmda keltirilgan.

Sanoatda turli funksional imkoniyatlarga ega bo'lgan JK-triggerlar ishlab chiqariladi. Masalan, K155TB1 mikrosxemasida J va K kirishlarda uchta kirishli HAM ME ishlatilgan bo'lib, mustaqil 0 (R) va 1 (S) o'rnatiladigan kirishlar ham mavjud.



6.11-rasm. Triggerlarning o'zaro almashinuv sxemalari:

a – RS dan T ga; b – D dan T ga; d – JKdan T ga; e – EI ruxsat kirishiga ega bo'lgan T-trigger; f – JK dan D ga; g – RCS dan D ga; h – RCS dan JK ga.

6.4. Registrlar

6.4.1. Kirish

Registr kombinatsion turdagi raqamli qurilma bo'lib, ko'p razryadli ikkilik sonlar ko'rinishidagi ma'lumotlarni eslab qolish va vaqtincha xotirada saqlash uchun ishlatiladi. Registr ikkilik razryad sonlarga teng miqdordagi triggerlar majmuasidan tiborat. Trigger esa xotira elementi bo'lib, ularga qo'shimcha ulanayotgan elementlarning vazifasidan kelib chiqqan holda, boshqa maxsus funksiyalarni amalga oshirish imkonini beradi. Masalan, agar registrda bir triggerdagi ma'lumot keyingisiga uzatilsa, u holda registr siljitish funksiyasini bajaradi, demak bunday registr **siljitish registri** deb ataladi. Chapga va o'ngga siljituvchi registrlar mavjud. Siljitish registrlari ma'lumotni ketma-ket qabul qiladi. Agar bit ko'rinishidagi ma'lumotlar guruhi ketma-ketligini takt impuls-lari komandasiga ko'ra siljitish registrlari kirishlariga berilsa, u holda registrni bir nechta siljitish amallari bilan yuklash mumkin. Xuddi shunday usulda registrdagi ma'lumotlarni undan chiqarib yuborish mumkin.

Parallel yoki ketma-ket ravishda ma'lumot kiritish mumkin bo'lgan siljitish registrlari mavjud. Demak, xuddi shunday parallel yoki ketma-ket ravishda ma'lumotni chiqarish ham mumkin. Yuqorida aytib o'tilganidek, universal registrlar ham mavjud bo'lib, ular ma'lumotlarni chapga va o'ngga siljitadi.

To'g'ri va teskari kod tartibida ma'lumot chiqaruvchi registrlar ham mavjud. To'g'ri kodda ma'lumot chiqaruvchi registrlar turli vaqt masshtabida ishlaydigan yozuv qurilmalarini muvofiqlashtirishda qo'llaniladi. Masalan, diskka ma'lumot yozish qurilmasi bilan printerni muvofiqlashtirish uchun qo'llash mumkin. Bu vaqtda registrga ma'lumotni ancha katta tezlikda kiritish, printerdan esa ma'lumotni ancha past tezlikda olish mumkin. Teskari kodda ma'lumot chiqaruvchi registr mikroprotssessor XQlarida ishlatilishi mumkin.

Mustaqil tanlovga ega bo'lgan triggerlar asosidagi registrlar alohida guruhni tashkil etadi. Bunday registrda har bir trigger turli manbalardan ma'lumot olib, mustaqil ravishda o'z vazifasini bajarishi mumkin.

Masalan, registrning bir necha bitlarida mos ravishda ma'lumotlar saqlanishi mumkin, boshqa bitlari esa boshqaruv maqsadlarida qo'llanilishi mumkin.

6.4.2. Parallel registr

Parallel registr ma'lumotlar ustidan quyidagi mikroamallarni bajarishga mo'ljallangan: parallel shaklda kirishdagi ma'lumotlarni yozish, saqlash va uzatish. Bu amallarni bajarishdan avval registr dastlabki holatga (0) o'rnatiladi. Ma'lumot parallel ravishda qayta ishlangani tufayli, registrni tashkil etuvchi triggerlar ham razryadlar sonidan kelib chiqqan holda o'zaro bog'lanmagan. Parallel registrlar asinxron yoki sinxron ishlash prinsipida ixtiyoriy triggerlardan tuzilishi mumkin.

Sodda ikki razryadli parallel registrning funksional sxemasi 6.12-rasmda keltirilgan.

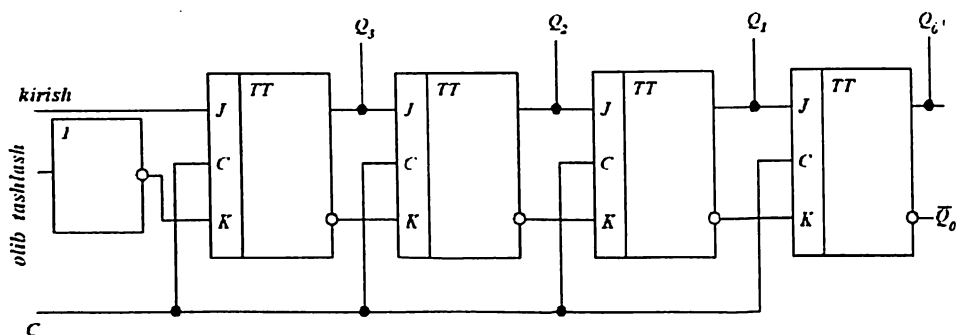
Registrnlarni boshqa registrlar yoki raqamli tizim qurilmalari bilan bog'lovchi elektr zanjirlar **shinalar** deb ataladi.

Registrning dastlabki holatida «kirish» shinasida «0» signalga egamiz. Bu vaqtda RS-trigger kirishlarida HAM-EMAS MENing x_1 va x_2 kirishlaridagi (nol va birlar) signallar kombinatsiyasidan qat'iy nazar «1» o'rnatiladi. Masalan, ikkilik son registriga yoziladigan kod 01, ya'ni x_2 «0», x_1 esa «1» bo'lsin. U holda «kirish» shinasiga «1» kelsa, ME qayta ulanadi va T1 trigger chiqishida «0» o'rnatiladi. So'ngra T1 trigger $Q_1=1$ holatiga qayta ulanadi. T2 trigger chiqishida «1» o'rnatiladi va demak T2 trigger $Q_2 = 0$ bo'ladi.

Shunday qilib, triggerlarga registr kirishlariga uzatilayotgan qo'shimcha ma'lumot ham yoziladi. Saqlash rejimida ishlayotgan registr chiqishlarida «1» mavjud. «Chiqish» shinasiga «1» berilsa, ME3 qayta ulanadi va y_1 chiqishda «1», y_2 chiqishda esa «0» hosil bo'ladi. Demak, yozilgan ma'lumot o'qiladi.

6.4.3. Ketma-ketli registr

Ketma-ketli registr kirishdagi ma'lumotlarni ketma-ket tartibda yozish, saqlash va uzatish uchun mo'ljallangan. Ma'lumot yozishdan avval registr dastlabki holat (0)ga o'rnatiladi.



6.13-rasm. To‘rt razryadli ketma-ketli siljitish registri funksional sxemasi.

JK-triggerlar asosidagi to‘rt razryadli ketma-ketli siljitish registrining funksional sxemasi 6.13-rasmda keltirilgan. Registr tarkibiga kiruvchi razryadli triggerlar o‘zaro ulanganligi sababli, bunday registr yuqorida aytib o‘tilgan mikroamallardan tashqari saqlanayotgan ma’lumotni o‘ngga siljitish amalini ham bajaradi.

Bu turdagi triggerda ikkilik son razryadlari (masalan, 0101) kichik razryaddan boshlab vaqt bo‘yicha ketma-ket yoziladi va o‘qiladi. Kirishga 1 berilganda Q_3 chiqishda takt impulsi tugagach 1 hosil bo‘ladi. Bir vaqtning o‘zida keyingi takt impulsi bilan birga kirishga ikkinchi razryad soni – 0 beriladi. Takt impulsi tugagach Q_3 chiqishda 1 hosil bo‘ladi.

Shunday qilib, ikkinchi razryad qiymatini yozish bilan birga birinchi (chapdagi) triggerda yozilgan birinchi razryad soni keyingi triggerga uzatiladi (siljiydi). Uchinchi takt impulsidan so‘ng ma’lumot o‘ngga uzatiladi, to‘rtinchi 0 takt impulsidan so‘ng 1, 0 va 1 sonlari mos ravishda chapdan birinchi, ikkinchi, uchinchi va to‘rtinchi triggerlarga yozilgan bo‘ladi va Q_0 – Q_3 chiqishlardan ularni o‘qib olish mumkin.

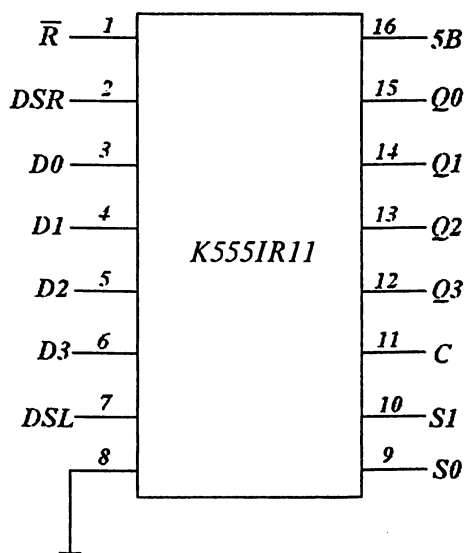
Registrda ma’lumotni saqlab turish uchun takt impulslari berish to‘xtatiladi.

Siljituvchi registrlarda faqat ikki pog‘onali yoki dinamik boshqaruvli triggerlar qo‘llaniladi. Bu esa sinxrosignal berilishi bilan ma’lumotni faqat bitta razryadga siljitishni kafolatlaydi. Ko‘p hollarda arifmetik

qurilmalarni tuzishda ma'lumotni chonga surish talab etiladi. Ma'lumotlarni ikkala yo'nalishda siljitish imkoniga ega bo'lgan ketma-ketli registrlar **reversiv registrlar** deb ataladi.

Siljitish registri parallel kodni ketma-ketli kodga o'zgartirishda ham qo'llanilishi mumkin. Bu holda triggerlar parallel kodga mos keluvchi dastlabki holatga o'rnatiladi. Registrdan son ketma-ketli chiqishda ketma-ket kod ko'rinishida olinadi. Teskari o'zgartirishni amalga oshirish uchun registr kirishiga ketma-ket kod kiritib, triggerning parallel chiqishidan parallel kod olinadi.

Sanoat barcha turdagi registrnlarni ishlab chiqaradi. Bular jumlasiga universal registrlar ham kiradi, masalan K555IR11 mikrosxemasi. U 70 taga yaqin MEga ega. Bu mikrosxema universal to'rt razryadli siljitish registri bo'lib, uning yordamida raqamli sonni aniq sinxronlikda chapga va o'ngga siljitish mumkin. K555IR11 sokolevkasi 6.14-rasmda keltirilgan. Registr bir qator amallarni bajarishi mumkin, chunki u bir necha *S0*, *S1*, *DSR*, *DSL* rejim tanlash kirishlariga ega. Agar *S0* va *S1* tanlov kirishlariga «0» ga mos kuchlanish berilgan bo'lsa, ma'lumotlar *D0–D3* parallel kirishlardan registrga uzatiladi va shuning uchun ma'lumotlar *Q0–Q3* chiqishlarda keyingi takt impulsi berilgandagina paydo bo'ladi. *S1* kirishga «0», *S0* kirishga «1» berilsa, *DSR* ketma-ketli ma'lumotlar kirishiga berilayotgan kod, registr yordamida o'ngga siljiydi (*Q0* dan *Q3*ga). *S1* va *S0* kirishlarining teskari munosabatida esa kod ketma-ketli *DSL* kirish orqali qabul qilinadi va takt impulsining har fronti bilan chapga, ya'ni *Q3* dan *Q0* ga siljiydi.



6.14-rasm. IR11 registr sokolevkasi.

6.5. Hisoblagichlar

Trigger o'zini ikkiga bo'luvchi kabi tutadi, chunki har takt impulsi-ning sinxronizatsiya siklida ma'lumot faqat bir marta o'zgaradi. Natijada trigger chiqishidagi signal o'zgarish chastotasi takt impulslari chastotasidan ikki marta kichik bo'ladi. Bir necha triggerli chastotani ikkiga bo'lish sxemalarini ketma-ket ulab, ikkilik ma'lumotlarni nafaqat saqlash, balki chastotani bo'lish va uning kirishiga kelayotgan impulslarni sanash uchun ishlatish mumkin. Agar qurilma uning kirishlariga berilayotgan impulslarni hisoblashni amalga oshirsa, bu qurilma **hisoblagich** deb, agar chastota bo'lishlarini hisoblasa **chastota bo'luvchi** deb ataladi. Hisob natijalari hisoblagich chiqishida ikkilik son ko'rinishida berilgan kod va talab etilyotgan vaqt davomida saqlanishi mumkin.

Hisoblagichlar va chastota bo'luvchilari EHM va boshqa raqamli avtomat qurilmalari, hamda aloqa va nazorat-o'lchov apparaturasida hisob-kitob amallarini boshqarishda keng qo'llaniladi.

Hisoblagichning asosiy **statik parametri** bo'lib, **K sanoq moduli** hisoblanadi. U hisobning bo'lish koeffitsiyenti va hisoblagich tomonidan o'qilishi mumkin bo'lgan maksimal impulslar soni bilan aniqlanadi. K ta impuls kelgach, hisoblagich dastlabki holatiga qaytadi. $K=2^n$ ga teng bo'lib, n — hisoblagichning ikkilik razryadlari sonini bildiradi. Sanoq moduli qiymatiga ko'ra, hisoblagichlar **ikkilik** (sanoq moduli 2 ning to'liq darajasiga teng bo'lgan) va **ikkilik-kodli** (sanoq moduli 2 ning to'liq darajasiga teng bo'lmagan ixtiyoriy sonni qabul qilishi mumkin bo'lgan) turlarga bo'linadi.

Hisoblagichning asosiy **dinamik parametri** bo'lib, **t_K chiqish kodining o'rnatilish vaqti** hisoblanadi. Bu kattalik kirish signali berilgan vaqt momentidan chiqishda yangi kod hosil bo'lish vaqt momenti oralig'iga teng. t_K hisoblagich tezkorligini ifodalaydi.

Hozirgi kunda turli variantdagi hisoblash sxemalari ishlab chiqariladi va qo'llaniladi: asinxron (ketma-ketli) va sinxron (parallel); ikkilik va o'nlik; hisob ortishi yoki kamayishi mumkin bo'lgan bir yo'nalishli (jamlovchi va ayiruvchi) va ikki yo'nalishli (reversiv).

Bu sxemalarning asosi bo'lib, bir necha triggerdan tashkil topgan elementlar ketma-ketligi hisoblanadi. Hisoblagich va chastota bo'luv-

chilaridagi triggerlar siljitish yoki sanoqning bir sikli davomida bitta komanda yordamida avval yozilgan ma'lumotni keyingisiga uzatish va oldindagi triggerlardan yangi ma'lumotni qabul qilishlari kerak. Shuning uchun ikki pog'onali yoki dinamik boshqaruvli triggerlar qo'llaniladi. Bundan tashqari, triggerlar o'z holatlarini qarama-qarshi (teskari) holatga o'zgartirish talab etilganda sanoq rejimida ishlashlari kerak, ya'ni EO ma'lumot kirishida «1» berilishi bilan.

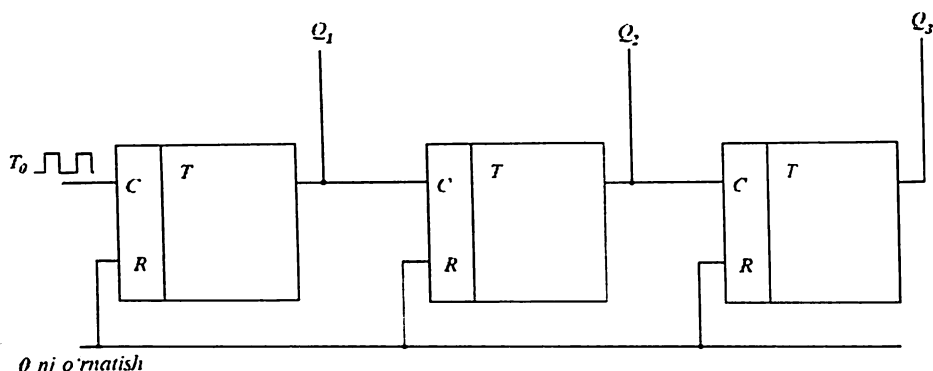
Hisoblagichlar T, D va JK-triggerlar asosida tuziladi. Talab etilgan hollarda razryadlararo va teskari mantiqiy bog'lanishlarda MELar qo'llash mumkin. Talab etilgan elementlar sonini minimallashtirish uchun to'rt razryadli hisoblagich sxemalari ikkilik va o'nlik variantlarda ishlab chiqariladi.

Ketma-ketli hisoblagichlar. Soddalik uchun statik boshqaruvli uchta triggerdan tashkil topgan jamlovchi hisoblagich ishini ko'rib chiqamiz. Bunday hisoblagichning o'tishlar jadvali 6.6-jadvalda, uning funksional sxemasi esa 6.15-rasmda keltirilgan. Odatda, triggerlar, demak hisoblagichlar ham, qo'shimcha hisoblagich chiqishlarida oldindan belgilangan sonni o'rnatuvchi C o'rnatish kirishiga yoki hisoblagichni dastlabki holatiga qaytaruvchi signal beruvchi R olib tashlash kirishlariga ega.

6.6-jadval

Jamlovchi hisoblagichning holatlar jadvali

m	Q_3	Q_2	Q_1
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	0

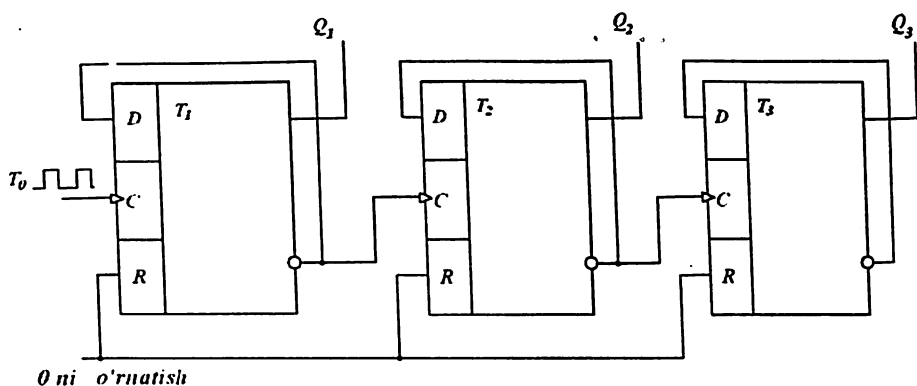


6.15-rasm. Ketma-ket uzatiluvchi ikki pog'onali T-triggerli uch razryadli jamlovchi hisoblagich sxemasi.

Sanoq boshlanishidan oldin barcha triggerlar chiqishlarida nol daraja ($Q_3=Q_2=Q_1=0$) bo'lgan dastlabki holatga keltiriladi. Buning uchun hisoblagich sxemasida R kirishlari o'rnatilgan bo'lib, ular «0 ni o'rnatish» umumiy shinasiga ega. Bu shinaga olib tashlash impulsi beriladi. Ma'lumotlarni ketma-ket uzatuvchi hisoblagichlarda sanoq impulslari triggerning birinchi razryad kirishiga beriladi. Bu C kirish. Keyingi keluvchi har bir razryad uchun qayta ulanish signallari avvalgi razryadning invers chiqishidan uzatiladi, ya'ni hisoblagich razryadlari ketma-ket qayta ulanadi. Triggerning invers chiqishlari ishlatilmaydi, C o'rnatish kirishlarida esa mantiqiy 0 potentsiali mavjud bo'ladi. Bu yerda m — sanoq boshidan berilayotgan kirish impulsi raqami.

Hisoblagich ishini 6.6-jadvalga asosan tahlil qilamiz. Ko'p razryadli ikkilik sonning kichik razryadiga mos keluvchi Q_1 o'z holatini har sanoq impulsi kelishi bilan; Q_2 har ikkinchi impuls kelishi bilan, Q_3 esa har to'rtinchi impuls kelishi bilan o'zgartiradi. Uch razryadli hisoblagich impulslarining maksimal soni 7 ga teng. Sakkizinchi impuls kelganda hisoblagich 0 ga o'tadi va hisobni yangidan boshlaydi. Agar hisoblagich chiqishlarida $Q_3=1$, $Q_2=0$, $Q_1=1$ kombinatsiya yoki 101 ikkilik uch razryadli son mavjud bo'lsa, bu hisoblagichga beshinchi impuls kelganini anglatadi.

Statik boshqaruvli triggerlarda C chiqishning T_0 aktiv mantiqiy darajasi bo'lib mantiqiy bir signali hisoblanadi. Shuning uchun bu



6.16-rasm. Ketma-ket uzatishli dinamik D-triggerlarda bajarilgan uchrazryadli jamlovchi hisoblagich sxemasi.

signal berilishi davomida trigger S kirishdagi xalaqitlarni (shovqinlarni) bema'lol qabul qilishi mumkin. Yolg'on ishga tushib ketishni bartaraf etish uchun C kirishda signal mavjud bo'lgan vaqt mobaynida S ma'lumot kirishida signal mantiqiy 0 ga teng miqdorda o'zgarishsiz qolishi kerak. Amalda bu talab raqamli qurilmaning murakkablashib ketishiga olib keladi.

Dinamik boshqaruvli triggerlar yuqorida aytib o'tilgan kamchilikdan holi. Ketma-ket uzatishli dinamik D-triggerlarda bajarilgan uchrazryadli jamlovchi hisoblagich sxemasi 6.16-rasmda keltirilgan.

Ketma-ket keluvchi har razryad holatining o'zgarishi avvalgi razryadning 1 dan 0 ga o'zgarishi, ya'ni boshqaruv impulsining kesimi bilan amalga oshiriladi. Bu esa trigger qisqa vaqt mobaynida qayta ulanishi mumkinligini anglatadi.

Ayiruvchi hisoblagichlar. Ketma-ketli ayiruvchi hisoblagichlarda navbatdagi sanoq impulsi kelishi bilan hisoblagichdagi son bittaga kamayadi. Bu hisoblagichlarda birinchi impuls kelishi bilan maksimal ikkilik son (uchrazryadli hisoblagichda $Q_1=Q_2=Q_3=1$) yoziladi, keyin har yangi impuls kelishi bilan 0 qiymatgacha kamayib boradi.

6.15-rasmda keltirilgan hisoblagich ayiruvchi bo'lib ishlashi mumkin. Buning uchun keyingi triggerlarning C kirishini o'zidan avvalgi triggerning invers chiqishlariga ulash, S asinxron kirishni esa biror boshlang'ich sonni o'rnatish uchun ishlatish kerak.

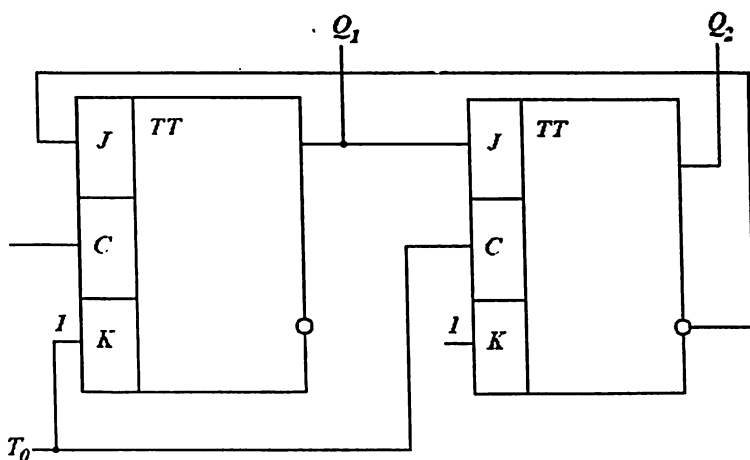
Ayiruvchi hisoblagichning holatlar jadvali

m	Q_3	Q_2	Q_1
0	1	1	1
1	1	1	0
2	1	0	1
3	1	0	0
4	0	1	1
5	0	1	0
6	0	0	1
7	0	0	0
8	1	1	1

Agar trigger 6.16-rasmda keltirilganidek, kirish impulsining kesimi bilan boshqarilsa, ayiruvchi hisoblagich sxemasini tuzishda keyingi keluvchi trigger kirishi avvalgi triggerning to'g'ri (noinvers) chiqishi bilan ulanadi.

Ixtiyoriy sanoq moduliga ega bo'lgan ketma-ketli hisoblagichlar. Umuman olganda, $K \neq 2^n$ bo'lgan hisoblagichlar tuzishda, mos keluvchi ikkilik hisoblagich sxemasiga ortiqcha holatlarni bartaraf etuvchi teskari aloqa kiritiladi. Masalan, sanoq moduli 3 ga teng bo'lgan hisoblagich tuzish uchun ikki razryadli ikkilik hisoblagichni ($K=2^2=4$) qo'llash kerak. Unda ikkilik soni 11 ga teng bo'lgan bitta ortiqcha holatni ($K=2^2-1=3$) bartaraf etish mumkin, ya'ni triggerlar to'rtinchi emas, uchinchi impuls kelishi bilan nolga o'tishi kerak. Bunday sxemalarni tuzish uchun JK-triggerlar qulay hisoblanadi. Ikkita JK-triggerida bajarilgan, sanoq moduli 3 ga teng bo'lgan hisoblagich sxemasi 6.17-rasmda keltirilgan. Ketma-ketli hisoblagichlarni JK-triggerlarini kiritib turlicha ulash yordamida ixtiyoriy K sonini hosil qilish mumkin.

Reversiv hisoblagichlar. Hisoblagichlardagi sanoq yo'nalishi (tartibi) razryadlararo aloqalar turini o'zgartirib turlicha bo'lishi mumkin. Masalan, har bir triggerning sanoq kirishlariga $T_0 = \overline{MQ_{K+1}} \overline{MQ}$ ama-



6.17-rasm. Sanoq moduli $K=3$ bo'lgan ketma-ketli hisoblagich sxemasi.

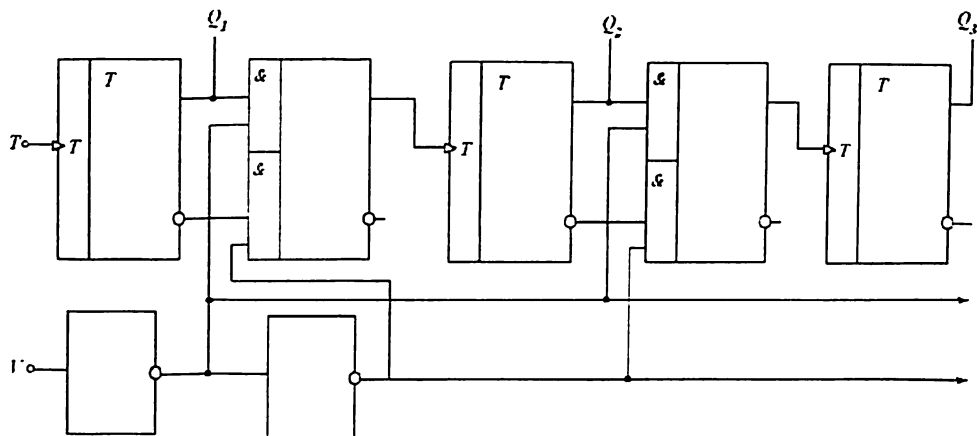
lini bajaruchi, ya'ni multipleksor bo'lgan HAM-YOKI-EMAS MELarini kiritib, reversiv hisoblagich hosil qilish mumkin. Dinamik T-triggerda bajarilgan bunday reversiv hisoblagichning sxemasi 6.18-rasmda keltirilgan.

✓kirish trigger ishini to'xtatadi va unga yozilgan ma'lumot ancha muddat ichida saqlanishi mumkin. Ketma-ket uzatishli hisoblagichlar ichki tuzilmasining soddaligi bilan ajralib turadi, lekin kichik tezkorlikka ega, chunki triggerning har bir ulanishi, avvalgisi qayta ulangan-dan so'ng amalga oshadi. Shuning uchun chiqishda ma'lumot o'rnatilishining minimal vaqti quyidagiga teng:

$$t_{KJ.min} = Nt_K,$$

bu yerda: N — hisoblagich razryadlari soni; t_K — hisoblagich bir razryadining qayta ulanish vaqti.

Parallel hisoblagichlar. Bu turdagi hisoblagichlarda T_0 sanoq impuls-lari barcha razryadlarda triggerlarning C sinxrokirishlariga bir vaqtda (parallel) uzatiladi. Parallel hisoblagichlar yoki parallel o'tuvchi hisob-lagichlar odatda front yordamida sinxronlashadigan RS-, JK-, D-triggerlar asosida tuziladi. Hisoblagich ish algoritmini 6.6-jadvalni tahlil qilib tushunish mumkin. Undan ko'rinib turibdiki, mazkur algo-ritm matematik usulda MAF yordamida quyidagicha ifodalanadi:



6.18-rasm. Reversiv hisoblagich fragmenti.

$$Q_{i,n+1} = \overline{Q_{i,n}p_i} + Q_{i,n}\overline{p_i} = Q_i \oplus p_i, \quad (6.1)$$

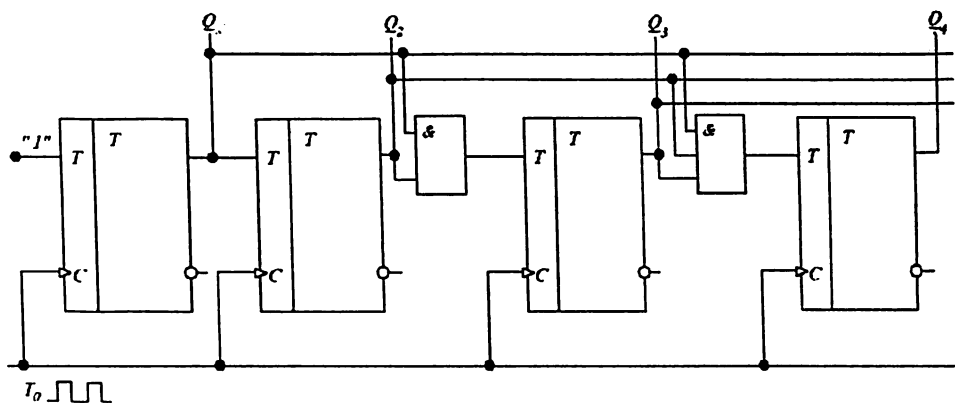
bu yerda: $Q_{i,n+1}$ – $(n+1)$ -vaqt momentida hisoblagich chiqish kodidagi i -razryad qiymati; $Q_{i,n}$ – n -vaqt momentida hisoblagich chiqish kodidagi i -razryad qiymati; $p_i = Q_1, nQ_2, nQ_{i-1}$, n – o'tkazish signali. (6.1) ifoda asosida parallel hisoblagichning so'z yordamida ifodalangan ish algoritmi quyidagicha bo'ladi: navbatdagi sinxronizatsiya signali kelishi bilan keyingi triggerlarning qayta ulanishi faqat barcha avvalgi triggerlar o'rnatilganda, ya'ni ularning chiqishlarida mantiqiy birga teng signal mavjud bo'lganda sodir bo'ladi.

Mazkur qayta ulanishni amalga oshiruvchi (6.1-ifodaga asosan) elektr sxema 6.19-rasmda keltirilgan.

Shunday qilib, parallel hisoblagichda barcha triggerlar bir vaqtda (sinxron ravishda) takt impulsi oladilar, chunki ularning takt kirishlari parallel ulangan. Shuning uchun triggerlar deyarli bir varakayiga qayta ulanadilar. Bu vaqtda chiqishda ma'lumot o'rnatilish vaqti bir triggerning qayta ulanish vaqtiga teng:

$$t_{KI.min} = t_K.$$

Lekin tezkorlikni oshirish sxemani murakkablashishi hisobiga amalga oshiriladi. Parallel hisoblagichga maxsus shifrador kiritiladi, ular tezkor o'tish sxemasi (TO'S) deb ataladi. U Q_i chiqishlarga ulanadi.



6.19-rasm. Parallel o'tishli hisoblagich sxemasi fragmenti.

Parallel hisoblagichlarda sanoq tartibi (jamlash yoki ayirish) triggerning dinamik kirishiga (to'g'ri yoki invers) emas, balki triggerning qaysi chiqishi o'tishni shakllantirish uchun ishlatilayotganiga bog'liq. Agar triggerning to'g'ri chiqishi ishlatilayotgan bo'lsa, bunday hisoblagich jamlovchi, agar invers kirishi ishlatilayotgan bo'lsa, ayiruvchi hisoblanadi. Yuqorida ko'rib o'tilgan hisoblagich — jamlovchidir.

Reversiv hisoblagichlarda ikkita $T_{(+)}$ va $T_{(-)}$ sanoq kirishlari mavjud. Sanoqni boshqarish kirishiga berilayotgan «ko'proq/kamroq» komandasiga mos ravishda navbatdagi takt impulsi kelishi bilan hisoblagich natijasini 1 qiymatiga oshirish yoki kamaytirish mumkin. Reversiv hisoblagich razryad sxemalariga 2×2 HAM-YOKI elementlarida bajarilgan multipleksorlar kiritiladi.

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, IMS ko'rinishida asinxron va sinxron to'rt razryadli hisoblagichlar ikki: ikkilik va o'nlik variantida ishlab chiqariladi:

6.6. Negiz matritsali kristallar

Elektronika rivojining asosida elektron apparatura bajaradigan funksiyalarni murakkablashtirib borish yotadi. Yangi masalalarni (muam-molarni) ishdan chiqish ehtimolligi, tannarxi, o'lchamlari, iste'mol

quvvati va boshqa ko'rsatkichlari kichik bo'lgan element bazani qo'llagan holdagina ijobiy hal qilish mumkin. ISlar aynan shunday element baza hisoblanadi.

Avvaliga har bir qobiqda alohida integral MElar (ventillar) joylashar edi. Keyinchalik, chiqish sonlarini oshirib, bir qobiqqa bir nechta ventillar joylashtiriladigan bo'ldi. Bu faqat apparaturadagi qobiqlar sonining kamayishiga olib keldi. Bir kristallda joylashgan oddiy ISlarni metall tutashtirgichlar yordamida murakkab funksional majmualarga birlashtirilgandan so'ng, sifat ko'rsatkichlarining o'zgarishlariga erishildi. O'rta (O'IS), so'ngra katta (KIS) va o'ta katta (O'KIS) ISlar paydo bo'ldi.

Bunday ISlarga TTM, EBM va boshqa mantiqiy ventillar misol bo'la oladi. 8–10 ta ventildan tashkil topgan JK-triggerlar sodda va katta ISlar o'rtasidagi bog'lovchi bo'g'in hisoblanadi. KISlarga jamlagichlar, hisoblagichlar, hajmi 256–1024 bit bo'lgan OXQ va DXQlar kiradi. KISlarga misol qilib, EHMning arifmetik-mantiqiy va boshqaruv qurilmalari, raqamli filtrlarni kelitirish mumkin. **Birjinsli** tuzilmaga ega bo'lgan xotira qurilmalari katta integratsiya darajasiga ega. Ular O'KISlarga kiradi.

Integratsiya darajasini ikki usul yordamida oshirish mumkin: **elementlar joylashish zichligini oshirib** (ya'ni, tranzistor va metall tutashtirgichlar egallayotgan sirtini kichraytirib) va **kristall o'lchamlarini kattalashtirib**. Birinchi usulda ikki muammo yuzaga keladi va ularni mikroelektronikaning rivojlanish jarayonida hal qilish kerak: **issiqlik uzatilish muammosi** va **o'zaroulanishlar muammosi**. Issiqlik uzatilish muammosi tranzistorlarning mikrorejimini qo'llash va mikrorejim xos bo'lgan sxemalarni qo'llash orqali bartaraf etiladi. Bunday sxemalarga I²M yoki KMDYA turdagi MElar kiradi. O'zaroulanishlar (kommutatatsiya) muammosi esa ikki yoki uch tekislikda joylashgan **ko'pqatlamli tutashtirgichlarni** qo'llash orqali bartaraf etiladi.

Ammo ishlab chiqarilayotgan standart KISlar, ishlab chiqaruvchilarning maxsus talablarini har doim ham qoniqtiravermaydi. Ko'rinib turibdiki, maxsus «buyurtma» KISlar yuqori narxga va kam songa ega bo'ladi.

Negiz matritsali kristallarni qo'llash nomenklaturasi cheklangan va optimal narxi ma'lumotlarni raqamli sifatli qayta ishlash bo'yicha turli masalalarni hal qiluvchi kam sonli KIS va O'KISlarni loyihalashtirish va ishlab chiqarishga imkon beradi.

Negiz matritsali kristall (NMK) kristallda bir tekis joylashtirilgan yarimo'tkazgichli asboblarning majmuyi bo'lib, ularning oralig'ida o'zaro-ulanishlarni hosil qilish uchun maxsus (bo'sh) zonalar qoldirilgan.

Bitta NMK asosida yuzlab funksional jihatdan turlicha bo'lgan KISlarni hosil qilish mumkin. Bunda ular bir-biridan kommutatsiya qatlamlari bilan farqlanadi. NMKlar universal kristallar bo'lib, buyurtmachining talablariga mos qilib bajariladi. Bu kristallar tegishli bog'lanishlarni hosil qilish mumkin bo'lgan yarimtayyor mahsulot hisoblanadi. NMK negiz kristall deb ataladi, chunki ularni tayyorlash jarayonida fotoshablonlarning ko'p qismi o'zgarishsiz qoladi va faqat kommutatsiya qatlamlarini 2–3 fotoshabloni IS bajaradigan funksiyaga mos ravishda o'zgartiriladi. Sodda elementlar kristallda to'g'ri burchakli katak tugunlarida joylashadi, shuning uchun ular matritsali deb ataladi.

NMKlar maxsus analog, raqamli yoki aralash IS variantlari hosil qilish uchun ishlab chiqariladi. Raqamli NMKlar, o'z navbatida, ventilli matritsalar va kommutatsiyalanmagan mantiqiy matritsalar turlariga bo'linadi.

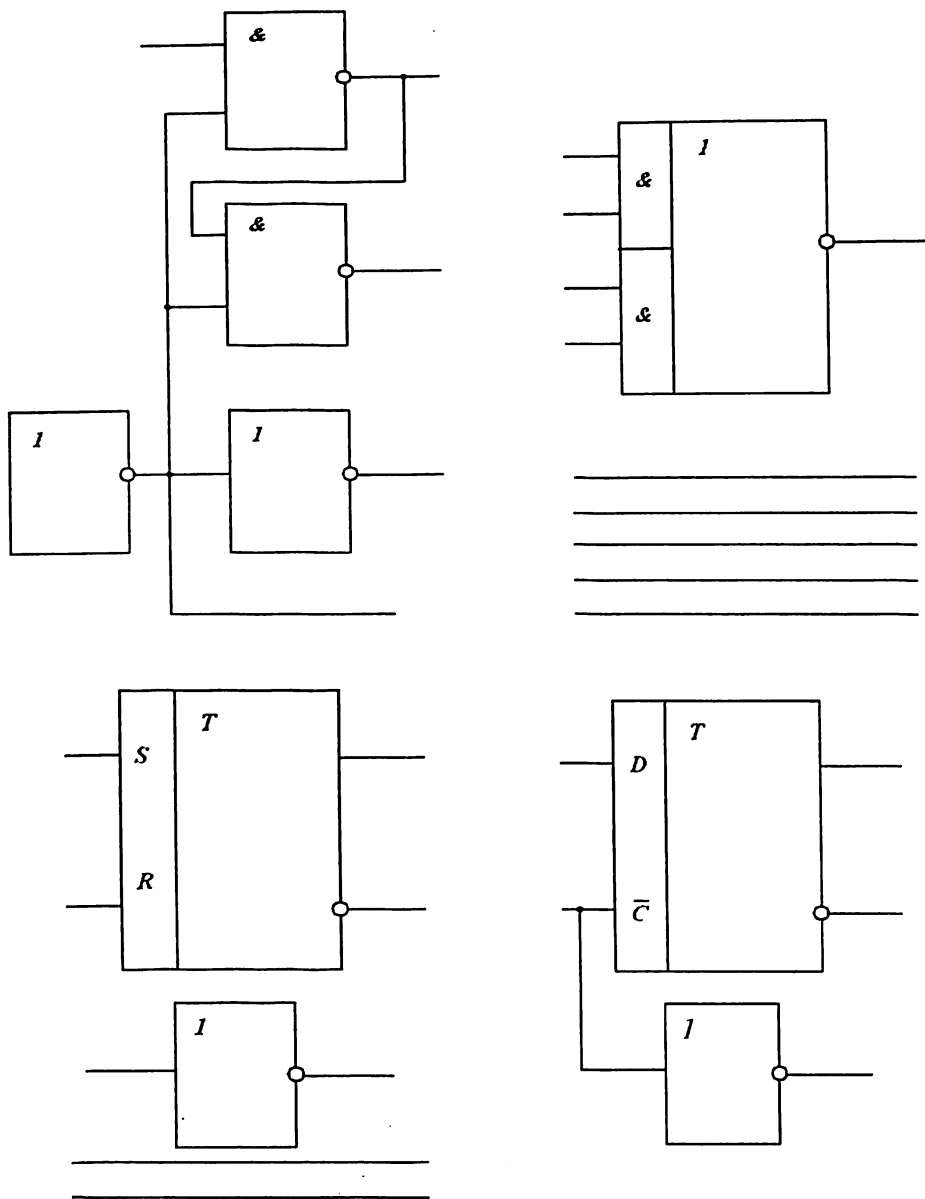
Raqamli sxemalarning murakkab funksional bloklari asosida tuziladigan NMKlar uch qismdan ibolat bo'ladi:

- kristallda to'g'ri burchakli matritsa ko'rinishida joylashadigan negiz (topologik) BYAlar majmuasi;

- BYAlarni funksional tugallangan KISlarga birlashtiruvchi, metall o'tkazgichlar joylashtiriladigan, maxsus (trassirovkali) zonalar;

- KIS ishini ta'minlovchi va tashqi simlarni ulash uchun kontakt yuzalar joylashtiriladigan periferiya sohasi.

NMKlarda BYA matritsalarini ikki usulda tashkil etish mumkin. Birinchi usulda yacheyka elementlari asosida sodda funksiya bajaruvchi bitta negiz MEni shakllantirish mumkin. Yacheyka elementlari tarkibiga 4 tadan 30 tagacha bir-biriga yaqin joylashgan tranzistorlar yoki ularning to'plami, rezistorlar yoki ularning to'plamidan tashkil topgan majmua kiradi. Murakkabroq funksiyalarni amalga oshirish uchun bir nechta yacheyka ishlatiladi.



6.20-rasm. NMK makroelementlari.

Ikkinchi usulda yacheyka elementlari asosida ixtiyoriy funksional element (makroelement) shakllantirish mumkin. Makroelementlarning turi va ularning soni eng murakkab funksional elektr sxemasi yordamida aniqlanadi.

Sodda makroelementlarni hosil qilishning bir necha usullari 6.20-rasmda keltirilgan.

Trassirovka zonasi manbaga ulanish, signallarni uzatish va boshqa maqsadlar uchun o'tkazilgan metall simlar ortogonal joylashtirilgan tizim hisoblanadi. Biri ikkinchisining ustida joylashtirilgan ikki-uch sath o'tkazgichlar dielektrik qatlami (SiO_2) bilan ajratiladi.

NMKning periferiya qismida kichik qarshilikli aloqa liniyalari, ichki kichik signalli MELarni KMDYA, TTM va EBM turli IMSlar darajalarini o'zaro muvofiqlashtiruvchi translyatorlar ishini ta'minlovchi sxemalar joylashadi. NMKlarda EBM elementlarida periferiyada tayanch kuchlanish manbai va siljitish sxemalar hosil qilinadi. KISlarning tashqi chiqishlari ulanadigan metall kontakt yuzalar yana metallizatsiyaning yuqori darajasida kristall periferiyasiga joylashtiriladi.

6.7. Raqamli-analog va analog-raqamli o'zgartirgichlar

MikroEHMlar stanoklar, turli avtomatlar, ilmiy tajribalarni olib borishni boshqaradi. Bu va boshqa qurilmalar, o'lchov asboblari va tizimlarida uzluksiz (analog) elektr signallari bilan ishlaydigan elektr datchiklar ishlatiladi. Datchik va ijro organlari (masalan, elektr dvigatellar)ni mikroEHM bilan bog'lash uchun analog signalni shu signal amplitudasiga proporsionl songa o'zgartirish va aksincha o'zgartirish talab qilinadi.

Analog shakldagi ma'lumotni raqamli shaklga o'zgartirish prinsipini richagli tarozilarda o'lchash jarayoni bilan solishtirish mumkin. Tarozi o'lchashni amalga oshirish uchun uning bir yelkasiga noma'lum og'irlikdagi yuk, ikkinchi yelkasiga esa toshlar qo'yiladi. Toshlar (masalan 1 g og'irlikdagi) tarozi muvozanat holga kelguncha qo'yilib boriladi. Toshlar soni yukning grammlardagi vazniga to'g'ri keladi. 1 g og'irlikdagi toshlar bilan o'lchanganda analog kattalik 0,5 g xatolik, 10 g li toshlar bilan o'lchanganda esa 5 g xatolik bilan o'lchanadi. Bu xatolik **kvantlash** xatoligi deb ataladi.

O'lash algoritmiga mos ravishda r'chag'li tarozi rolini ikki kirishli solishtirish sxemasi (komparator) bajaradi. Tarozining bir yelkasiga o'zgaras kattalikdagi o'lanayotgan kuchlanish o'rnatiladi, ikkinchi yelkasiga raqamli datchik nazorati ostida pog'onasimon ortib borayotgan kuchlanish beriladi. Kuchlanishning har bir pog'onasi tarozi yelkasiga qo'shimcha tosh qo'yish amaliga mos keladi. Olingan ma'lumot esa tarozilar muvozanatga kelgach qayd etiladi.

Solishtirish jarayoni maxsus signal yordamida startstop trigger sxemasining ishga tushirilishi bilan boshlanadi. Triggerli sxemani pog'onasimon ortib boruvchi kuchlanish generatori va ikkilik hisoblagichni boshqaruvchi to'g'ri burchakli impulsar shakllantiradi. Bu generator pog'onasimon kuchlanish ishlab chiqaradi, hisoblagich esa hisobni noldan boshlaydi.

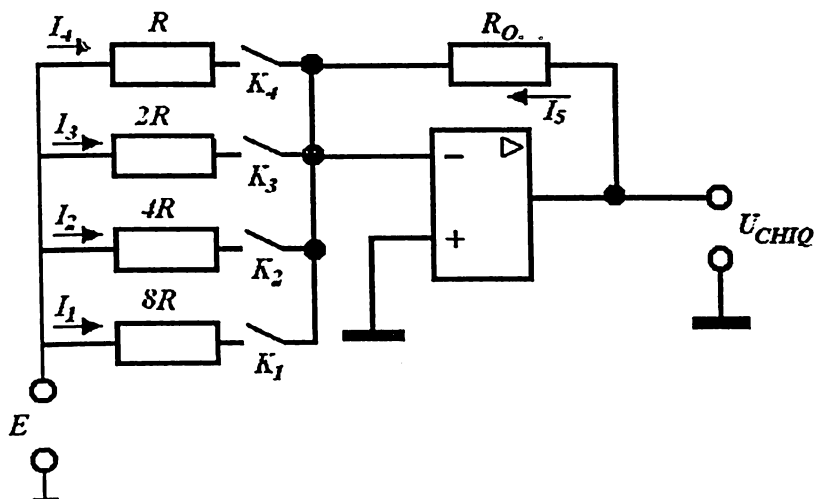
Pog'onasimon kulchanish kirish bilan tenglashsa, uni komparator qayd etadi, startstop trigger dastlabki holatiga qaytadi va to'g'ri burchakli signallarning kelishi qo'shimcha mantiqiy element yordamida blokirovka qilinadi.

Bunday sodda o'zgartirish sxemasi yordamida analog kattalik raqamli shaklga ancha uzoq vaqt davomida o'zgartiriladi, chunki pog'onasimon kuchlanish ketma-ket kiritiladi.

O'zgartirish vaqtini qisqartirish maqsadida pog'onasimon kuchlanish generatori raqamli-analog o'zgartirgich bilan almashtiriladi. Shuning uchun analog-raqamli o'zgartirgich (ARO') sxemasiga raqamli-analog o'zgartirgich (RAO') sxemasi bilan tanishib bo'lgach qaytamiz.

Raqamli-analog o'zgartirgich (ARO') raqamli kattalikni unga proporsioanl bo'lgan elektr tok yoki kuchlanish ko'rinishidagi analog kattalikka o'zgartirish uchun qo'llaniladi.

ARO'larni tuzishning turli usullari mavjud bo'lib, amaliyotda maxsus kuchaytirgich va rezistorlarda bajarilgan sxema keng qo'llaniladi. ARO' vazifasini 2.5-bandda ko'rib o'tilgan OKda bajarilgan jamlovchi kuchaytirgich bajarishi mumkin (6.21-rasm). Kirishlar soni o'zgartirilayotgan ikkilik kodning razryadlari soni bilan aniqlanadi. K_1-K_4 kalitlardan har biri ochiq yoki berk holatda bo'lishi mumkin. Soddalik uchun $K_4K_3K_2K_1$ ikkilik kirish so'ziga ega bo'lgan to'rt razryadli RAO'ni ko'rib chiqamiz.



6.21-rasm. OKda bajarilgan jamlovchi modda RAO' sifatida.

Mos razryadlardagi qarshilik qiymatlari 2 martaga farq qiladi. Bu holda mazkur RAO' sxemasi 0 dan 15 gacha bo'lgan natural qator sonlarini ikkilik sanoq tizimdan o'nlik sanoq tizimga o'zgartiradi. Bunday o'zgartirish mexanizmini ko'rib chiqamiz.

(2.5) ifodadan kelib chiqib jamlagich tomonidan bajarilayotgan amal, kirishdagi rezistorlarning berilgan qarshiliklari uchun quyidagi ifoda yordamida keltiriladi:

$$I_4 + I_3 + I_2 + I_1 + I_0 = 0. \quad (6.2)$$

Bundan
$$\frac{E}{R} + \frac{E}{2R} + \frac{E}{4R} + \frac{E}{8R} = -\frac{U_{CHIQ}}{R_0}. \quad (6.3)$$

Jamlagich kirishiga $x_i = 0001$ bo'lgan ikkilik signal berilgan bo'lsin. Bu holat K_1 kalit ulangan, K_4 , K_3 va K_2 kalitlar uzilgan bo'lsa sodir bo'ladi. 6.21-rasmdan ko'rinib turibdiki, bu holda kirishdagi tok faqat I_1 tokdan iborat bo'ladi. U holda (6.3) formulaga asosan chiqishdagi tok

$$U_{CHIQ} = -E \frac{R_0}{R} \frac{1}{8}$$

ga teng bo'ladi.

Agar K_1 va K_2 kalitlar ulansa, qolgan kalitlar esa uzilganicha qolsa, u holda kirishlarga $x_i = 0011$ bo'lgan ikkilik signal berilgan bo'ladi. Unga quyidagi chiqish signali mos keladi:

$$U_{CHIQ} = -E \frac{R_0}{R} \left(\frac{1}{8} + \frac{1}{4} \right) = -E \frac{R_0}{R} \frac{3}{8}.$$

Va nihoyat, agar kirishga $x_i = 1111$ signal berilgan bo'lsa (barcha kalitlar ulangan), u holda chiqishda quyidagiga teng bo'lgan signal hosil bo'ladi:

$$U_{CHIQ} = -E \frac{R_0}{R} \left(\frac{1}{8} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} + 1 \right) = -E \frac{R_0}{R} \frac{15}{8}.$$

E , R_0 va R lar mos tanlansa, $E \frac{R_0}{R} \frac{1}{8} = 1$ tenglik hosil bo'ladi.

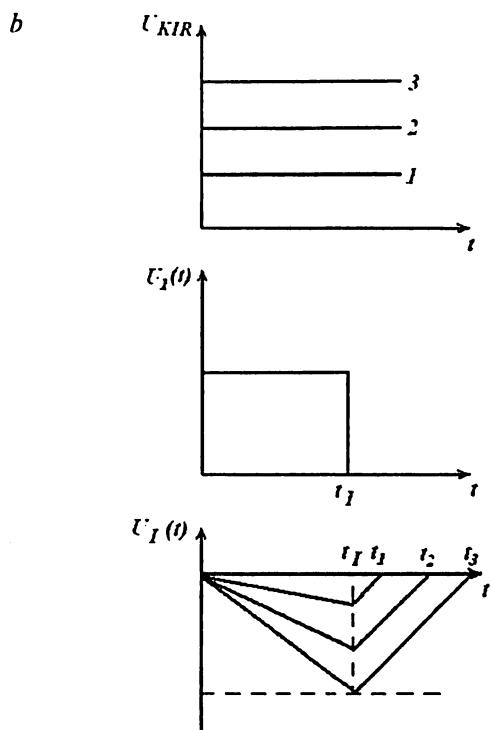
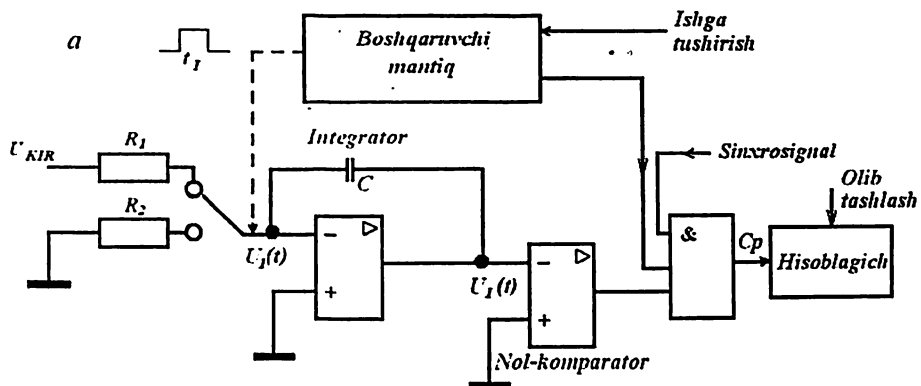
Demak, RAO' kirishidagi ikkilik sanog'idagi bir uning chiqishida o'nlik sanog'idagi birga, ikki — ikkiga, ..., 15 esa 15 ga mos keladi.

RAO' registrlariga, ayniqsa ARO' keng temperatura intervalida ishlaganda, barqarorlik va nominal aniqligi bo'yicha jiddiy talablar qo'yiladi. Bir xil va proporsional qarshilikli rezistorlarni texnologik jihatdan rezistorli matritsali mikroshemalar ko'rinishida yasash qulay. Shuning uchun rezistorli matritsali modifikatsiyalangan ARO' keng tarqalgan variant bo'lib hisoblanadi. U ikki marotaba ko'p sonli rezistorlardan tuzilgan bo'lib, ular atigi ikki nominalga R va $2R$ teng bo'ladi. Raqamli kodni boshqa usullarda kuchlanish va tokka o'zgartiruvchi ARO'lar ham mavjud.

6.22-rasmda keltirilgan ARO' sxemasi ikki marta integrallovchi yuqori aniqlikdagi ARO' deb ataladi.

Sxema ingeratorni boshqaruvchi kalitga ega bo'lib (2.6-bandga q.), uning ketidan nol-komparator deb ataluvchi solishtirish sxemasi joylashgan (2.7-bandga q.). Solishtirish sxemasi uchta kirishli HAM ME yordamida hisoblagichni boshqaradi.

Boshqaruv sxemasi (boshqaruv mantig'i) hisoblagichni boshqarish uchun Mp takt signallari ishlab chiqaruvchi kvarsli avtogeneratorga ega. U bo'luvchi yordamida K kalitni boshqaruvchi $U_i(t)$ signalning t_i vaqt intervalini shakllantiradi.



6.22-rasm. Yuqori aniqlikdagi AROʻ: sxemasi (a) va vaqt diagrammasi (b).

Ishlash prinsipini tushuntirish uchun 22.6, *b*-rasmda keltirilgan vaqt diagrammalaridan foydalanamiz.

Boshqaruvchi mantiq K kalitni analog kirish signali o'tishi uchun integrator kirishiga ma'lum t_1 vaqtga ulaydi. Bunda C integrallovchi kondensator 0 dan t_1 gacha bo'lgan vaqt intervalida ixtiyoriy tanlangan kirish signali qiymati bo'yicha (1, 2 yoki 3) deyarli to'g'ri chiziq qonuniga asosan zaryadlanadi. t_1 vaqt mobaynida kirish signali deyarli o'zgarmas bo'lganligi sababli, u vaqt diagrammasida vaqt bo'yicha o'zgarmas (1, 2 yoki 3) qilib ifodalangan.

t_1 vaqt momentida mantiqiy boshqaruv kirishni K kalit yordamida R_2 etalon rezistori orqali yerga ulaydi. Bu momentdan boshlab kondensator razryadlana boshlaydi va chiziqli qonunga asosan $U_1(t)$ absolut kattalik kamayib boradi. Razryadlanish potensial nolga teng bo'lguncha, ya'ni $U_1(t)=0$ gacha davom etadi. Bu vaqt momenti grafikda t_1 , t_2 va t_3 lar orqali ifodalangan. Bu vaqt momentida nol-komparator hisoblagichni to'xtatadi.

O'zgartirish aniqligi hisob chastotasini, ya'ni Olib tashlash, Ishga tushirish, C_p signallarini sinxronlash yo'li bilan keskin oshiriladi. Bunda ARO'ning o'zgartirish aniqligi 16 tagacha ikkilik razryadiga, ya'ni $(1/2)^{16}=1,5 \cdot 10^{-5}$ ga teng bo'ladi. Bunday ARO' kuchlanish o'lchash raqamli qurilmalarida qo'llaniladi. Bir marta hisoblash vaqti 0,5...2 s ni tashkil etadi.

Prarallel kodlovchi ARO'lar katta tezkorlikka ega. Ularda analog signalni n razryadli ikkilik kodga o'zgartirish uchun 2^{n-1} ta komparator ishlatiladi. Har bir komparatorning ikkita kirishidan biriga rezistorli bo'lgich yordamida shakllanuvchi tayanch kulchanish beriladi. Ikkita yonma-yon joylashgan komparatorlar tayanch kuchlanishlari farqi $U/2$ ga teng. Bu yerda U — o'zgartirilayotgan analog signalning maksimal qiymatiga mos keluvchi tayanch kuchlanish. Komparatorlarning boshqa kirishlari ulangan bo'lib, ularga kirish signali beriladi. Ustuvorli shifrador chiqishda, ishga tushuvchi eng katta komparatorga mos keluvchi raqamli signal shakllantiradi.

Parallel kodlash usuli juda katta tezkorlikka egaligi bilan ajralib turadi. O'zgartirishdagi kechikish vaqti bir necha o'n nanosekundni tashkil etadi.

6.8-jadvalda ko'rib o'tilgan ARO' ISlarinig parametrlari keltirilgan.

Turi	Razryadlar soni	Kirishdagi signal chastotasi, Gz
Ikki marotaba integrallash ARO'si	16	50...500
Parallel ARO'	8	10 ⁸

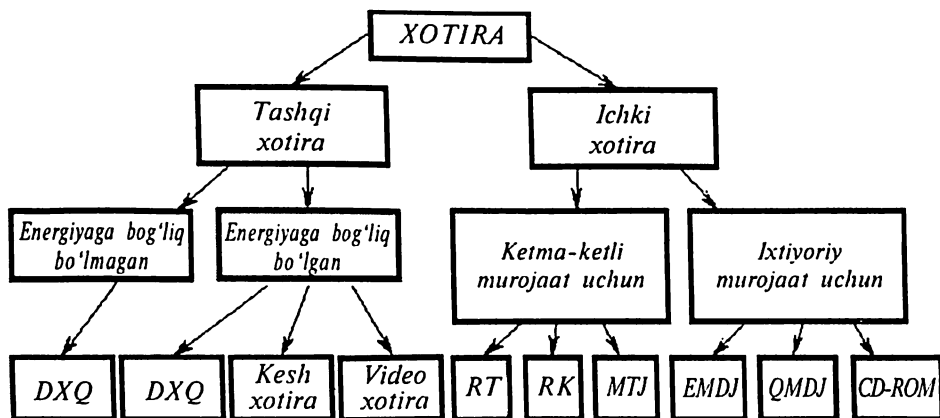
? Nazorat savollari

1. Ketma-ketli mantiqiy qurilmalarning xossalari va ulardagi triggerlar vazifasini aytib bering.
2. Bistabil yacheykaning ishlash prinsipi va regenerativ jarayonning ma'nosini tushuntiring.
3. Triggerli qurilmalarning sinflanishini keltiring.
4. Bir va ikki pog'onali turli triggerlar o'zaro nimasi bilan farqlanadi?
5. Universal JK-trigger asosida boshqa turdagi triggerlarni qanday yasash mumkinligini ko'rsating.
6. Qanday belgilarga ko'ra registrnlarni sinflash mumkin?
7. Parallel, siljitivchi va reversiv registrnlarni tuzilma sxemalari va shartli belgilanishlarini tasvirlab bering.
8. Registrlar orasida ma'lumot almashish qanday tashkil etilgan?
9. Universal registr ish prinsipini tushuntiring.
10. Hisoblagichlarning assoiy ishi va sinflanish belgilarini aytib bering.
11. Hisoblagichlarning razryad sxemalari orasidagi aloqa turlarini sanab bering.
12. Hisoblagichlarning tezkorligi qanday usullar bilan oshiriladi?
13. Dasturlanuvchi mantiqiy matritsa (DMM), negiz matritsali kristall ta'riflarini keltiring.
14. DMMni qanday loyihalashtirish uslublari mavjud?

VII BOB. YARIMO‘TKAZGICHLI XOTIRA MIKROSXEMALARI

7.1. Sinflanishi va asosiy parametrlari

Qurilma **xotirasi** deb dasturlar, kiritilayotgan ma’lumotlar, oraliq natijalar va olinayotgan ma’lumotlarni saqlash uchun mo’ljallangan qurilmalar majmuyiga aytiladi. 7.1-rasmda xotiraning sinflanishi tasvirlangan.



7.1-rasm. Xotiraning sinflanishi.

Ichki xotira mikroprotssessor tomonidan qayta ishlanayotgan unchalik katta bo'lmagan hajmdagi ma’lumotlarni saqlashga mo’ljallangan.

Tashqi xotira qurilma o’chirilgan yoki yoqilganidan qat’iy nazar katta hajmdagi ma’lumotlarni uzoq muddatga saqlash uchun mo’ljallangan.

Qurilma tarmoqdan o’chirilganda yo’qolib ketadigan xotira **energiyaga bog‘liq bo‘lgan xotira** deb ataladi, ma’lumotlar yo’qolib ketmasa **energiyaga bog‘liq bo‘lmagan xotira** deb ataladi.

Energiyaga bog‘liq bo‘lmagan ichki xotiraga **doimiy xotira qurilmasi** (DXQ) – ROM (Read Only Memory – faqat o’qish uchun xotira)

kiradi. DXQga ma'lumotlar ishlab-chiqaruvchi tomonidan o'rnatiladi va keyinchalik o'zgartirilmaydi. Bunday xotira kichik hajmdagi mikro-sxemalardan tuziladi. Odatda, DXQga qurilmalarning minimal boshqaruv funksiyalarini ta'minlovchi dasturlar kiritiladi. Qurilma tar-moqdan o'chirilganda, boshqaruv dastlab DXQdan qurilma kompo-nentlarini testlaydigan dasturga, so'ngra operatsion tizimni ishga tushiradigan dasturga uzatiladi.

Ma'lumotlarni kiritish usuliga ko'ra, DXQlar uch sinfga bo'linadi: **niqobli, dasturlanuvchi va qayta dastrulanuvchi.**

Energiyaga bog'liq bo'lgan ichki xotiraga **operativ xotira qurilmasi (OXQ), videoxotira va kesh-xotiralar** kiradi.

OXQda qayta ishlanayotgan ma'lumotlar, uni amalga oshirayotgan dastur, oraliq va yakuniy natijalar ikkilik sanoq tizimida saqlanadi. OXQlarda ixtiyoriy vaqtda ixtiyoriy tanlangan xotira yacheykasiga ma'lumot kiritish, o'qish va saqlab qo'yish mumkin. OXQlarning bu xususiyati ularning ingliz tilidagi nomida aniq aks etgan — RAM (Random Access Memory — ixtiyoriy murojaat uchun xotira). OXQlarda ixtiyoriy ma'lumotga tez murojaat amalga oshiriladi. Bun-day xotira murakkab elektron sxemalardan tashkil topgan bo'lib, qurilma qobig'ining ichiga joylashtiriladi.

Operativ xotiraning ma'lum qismi monitor ekranida hosil qilina-digan tasvirlarni saqlashga mo'ljallangan bo'lib, **videoxotira** deb ata-ladi. Videoxotira qancha katta bo'lsa, qurilma shunchalik murakkab va sifatli tasvirlarni hosil qilishi mumkin.

Katta tezlikdagi **kesh-xotira** qurilma tomonidan amallarni tez baja-rish imkonini beradi va mikroprotsessor va OXQ o'rtasidagi ma'lu-motlar almashinuvida qo'llaniladi. Kesh-xotira oraliq xotira qurilmasi (bufer) hisoblanib, uning ikki turi mavjud: protsessor ichiga o'rnatiladigan — ichki hamda bosmaga o'rnatiladigan — tashqi.

Tashqi xotira **ixtiyoriy murojaat va ketma-ketli murojaat** uchun bo'lishi mumkin.

Ixtiyoriy murojaat uchun xotira qurilmalari bir vaqtning o'zida ixtiyoriy ma'lumotlar blokiga murojaat qilish imkonini beradi. Ularning quyidagi asosiy turlari mavjud:

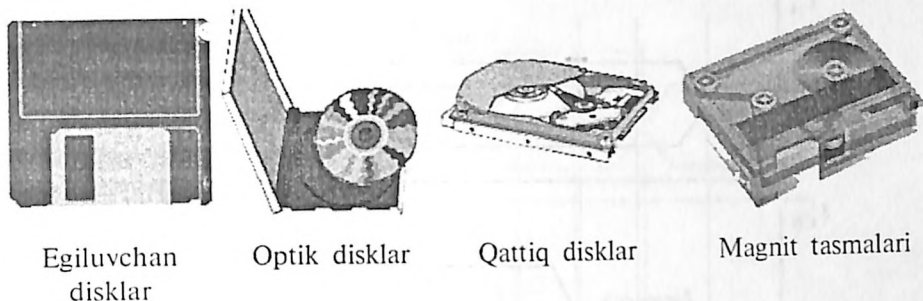
1. Qattiq magnit disklaridagi jamlagichlar (vinchesterlar) – yechilmaydigan qattiq magnit diskleri. Zamonaviy vinchesterlarning hajmi yuzlab megabaytlardan bir necha yuz gigabaytlargacha boʻlgan hajmni tashkil etadi. Birinchi qattiq disklar 30Mbaytli ikkita diskdan iborat boʻlgan, shu sababli 30/30 deb belgilash kiritilgan edi.

2. Yumshoq (egiluvchan) magnit disklardagi jamlagichlar (floppy-disk kirituvchilar) – uncha katta boʻlmagan magnit diskarga maʼlumot yozish va oʻqish uchun moʻljallangan boʻlib, plastik konvertlarga joylashtirilgan. Bunday disketlarning maksimal hajmi 1,2 Mbayt–1,44 Mbaytni tashkil etadi. Hozirgi kunga kelib bunday disklar maʼnaviy eskirgan boʻlib, qoʻllanilmaydi.

3. Optik disklar (CD-ROM – Compact Disk Read Only Memory) – kompakt disklardan maʼlumotlarni oʻqish uchun moʻljallangan qurilmalar. CD-ROM diskleri audio-kompakt diskларidan keyin keng tarqalgan. Nur qaytaruvchi yupqa material purkalgan bu plastik disk-larga lazer nuri yordamida maʼlumot yozilgan. Hozirgi kunda lazer disklar keng tarqalgan tashqi maʼlumot jamlagichlar hisoblanadi. Diametri 12 sm boʻlgan optik disk-larga 700 Mb maʼlumot kiritish mumkin. Hozirgi kunda DVD-ROM formatidagi kompakt disklar keng tarqalgan boʻlib, 4,3 Gb hajmdagi maʼlumot kiritish imkonini beradi. Bundan tashqari, bunday kompakt-disk-larga maʼlumot kirituvchi qurilmalar ham keng tarqalgan. Bunday texnologiya mos ravishda CD-RW va DVD-RW nomlarini olgan.

Ketma-ketli murojaat uchun xotira qurilmalari kerakli maʼlumotlarga ketma-ket murojaat qilish imkonini beradi. Bu usulda talab etilayotgan xotira blokidan maʼlumot olish uchun undan oldingi barcha blok-dagi maʼlumotlarni oʻqib chiqish kerak boʻladi. Ularning quyidagi asosiy turlari mavjud:

1. Magnit tasmalaridagi jamlagichlar – magnit tasmalaridan maʼlumot oʻqiydigan qurilma. Bunday jamlagichlar katta hajmda boʻlgani bilan ancha sekin ishlaydi. Zamonaviy magnit tasmalaridan maʼlumotlarni oʻqiydigan qurilmalar – strimerlar – sekundiga 5 Mbayt maʼlumot kiritish tezligiga ega. Shu bilan birga, videokassetalarga raqamli maʼlumotlarni kiritadigan va bir kassetada 2 Gbaytgacha maʼlumot saqlash imkonini beruvchi qurilmalar ham mavjud. Magnit



tasmalari asosan uzoq muddatga saqlanadigan arxiv ma'lumotlarini tuzishda qo'llaniladi.

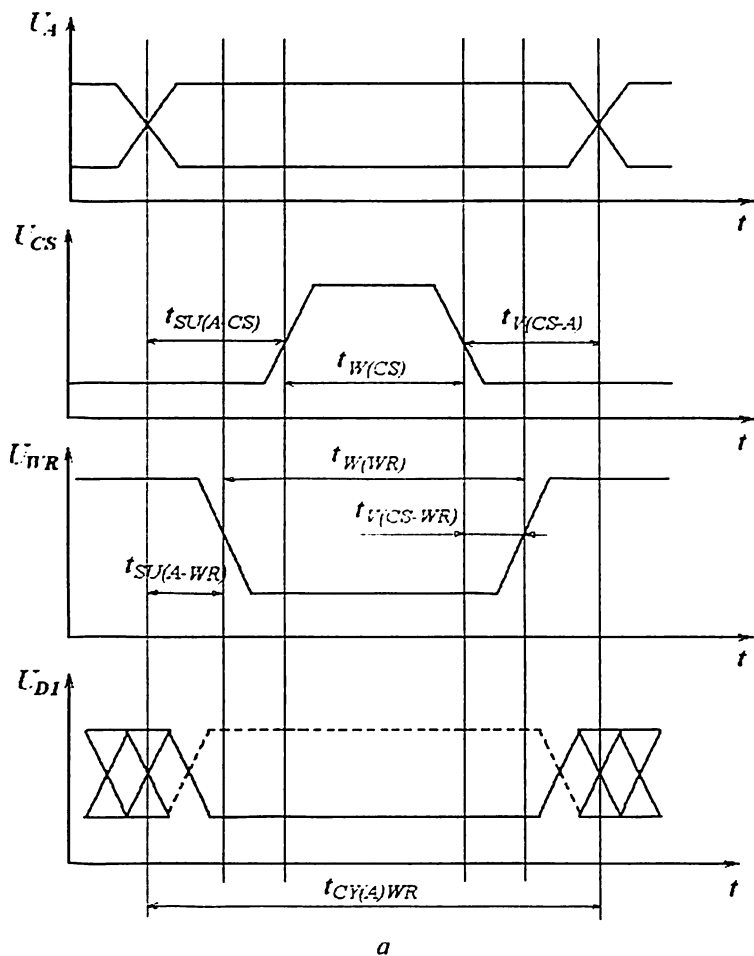
2. Perfokartalar — jipslangan qattiq qog'ozdan yasalgan kartochkalar (**perfotasmalar**) qog'oz tasmali g'altaklar bo'lib, ularga ma'lumotlar perforatsiyalanib, ya'ni teshiklar hosil qilib kiritilgan. Bunday ma'lumotlarni o'qish uchun ketma-ketli murojaat uchun qurilmalar qo'llaniladi. Hoziri kunga kelib bunday disklar ma'naviy eskirgan bo'lib, qo'llanilmaydi.

Xotira qurilmalarining barcha turlari o'zining afzalligi va kamchiliklariga ega. Ichki xotira katta tezlikka ega, lekin hajmi cheklangan. Tashqi xotira esa aksincha, kichik tezkorlikka ega, lekin hajmi cheklanmagan. Shu sababli, qurilmalarni ishlab chiqaruvchilar doimiy izlanishda bo'lib, ular orasida mutanosiblik bo'lishiga harakat qilishadi, chunki operativ xotira hajmi EHMLarining asosiy xarakteristikasi va mahsuldorligini belgilaydi.

Barcha XQLari yasalishi va bajaradigan vazifasidan qat'iy nazar qator asosiy parametrlar bilan xarakterlanadi.

XQ hajmi unda saqlanishi mumkin bo'lgan ma'lumotning maksimal hajmini belgilaydi.

Ma'lumot hajmining birligi bo'lib bir **bit** hisoblanadi. Bu ikkilik sanoq tizimidagi bir razryad ma'lumotga yoki bitta mantiqiy konstantaga mos keladi. Bit son jihatidan mantiqiy nol yoki mantiqiy bir qiymatlarini qabul qilishi mumkin. Odatda, bir bitga teng bo'lgan ma'lumot, bitta elementar xotira elementida (EXE) saqlanadi. Shuning uchun XQ hajmi bitlarda yoki razryadi ko'rsatilgan kod so'zlar soni bilan aniqlanadi. Shunga ko'ra, 8 razryadli kod so'zi bayt deb ataladi. Katta hajmdagi ma'lumotlarni aniqlash uchun mos ravishda

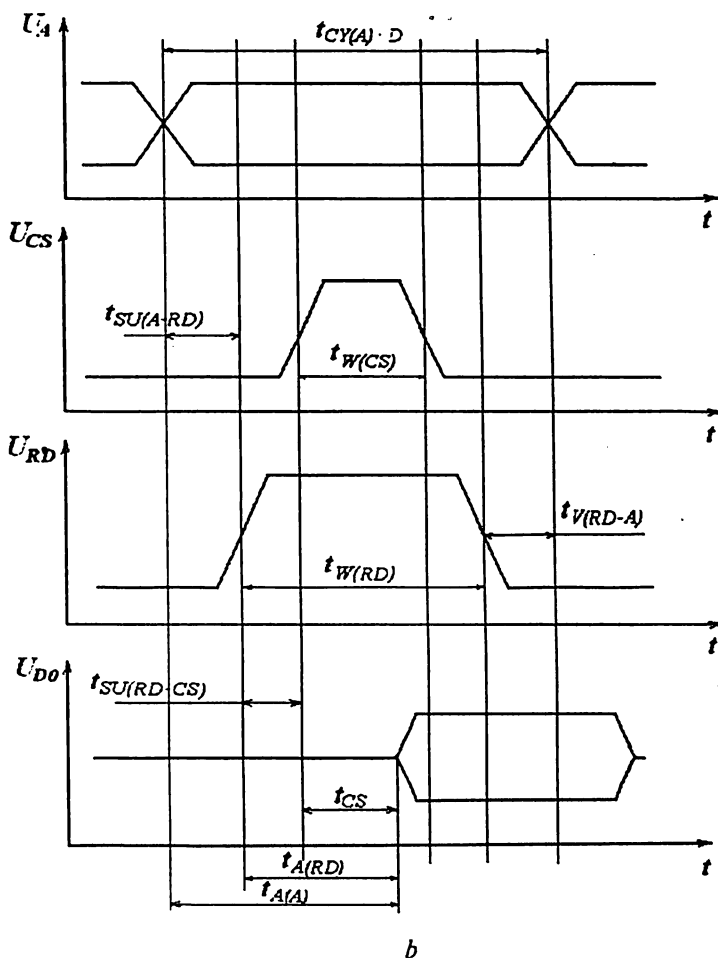


7.2-rasm. Yozish (a) va o'qish (b) rejimlarida XQ ishining vaqt diagrammalari.

kilo va mega qo'shimchalari kiritilgan bo'lib, $2^{10}=1024 \text{ bit}=1 \text{ Kbit}$ va $2^{20}=1\,048\,576 \text{ bit}=1 \text{ Mbit}$ ni anglatadi.

Yanada aniq tasavvurga ega bo'lish uchun «xotirani tashkil etish» ($N \times L$) tushunchasi kiritilgan bo'lib, u uzunligi (razryadi) (L) bo'lgan saqlanayotgan kod so'zlar soni (N)ni bildiradi. XQ hajmi uning tashkil etuvchilarning parametrlari bilan quyidagicha munosabat bilan bog'liq:

$$M = NL.$$



7.2-rasm (davomi).

Bunga ko'ra, bir xil hajmga ega bo'lgan ma'lumotlar uchun xotira turlicha tashkil etilishi mumkin. Masalan, ikkita 32×8 va bitta 256×1 tashkil etilgan xotira hajmlari bir xil, ya'ni 256 bit xotira hajmiga ega.

XQlarining dinamik xarakteristikallari, umumiy holda turli vaqt parametrlari bilan xarakterlanadi. Ulardan asosiylari bo'lib, tanlash (murojaat) vaqti hamda o'qish va yozish rejimlaridagi adres sikllari hisoblanadi.

Tanlash (murojaat) vaqti t_A deb, xotira kirishiga signal berilgan vaqt bilan uning chiqishida ma'lumot olingan vaqt oralig'i tushuniladi. Bunda qolgan barcha signallar berilgan bo'lishi shart. Demak, tanlash vaqtini ixtiyoriy xotira signallari uchun aniqlash mumkin.

Yozish rejimida adres sikl vaqti ($t_{CY(A)WR}$) deganda ma'lumotlarni ishonchli yozish uchun talab etiladigan xotiraning boshqaruv kirishlaridagi signallar mosligining minimal vaqti tushuniladi. Xuddi shunday, o'qish rejimi uchun ($t_{SY(A)RD}$) aniqlanadi.

XQ ishonchli ishlashi uchun turli boshqaruv signallari o'rtasida vaqt mutanosibligi saqlanishi talab etiladi. Bu mutanosibliklar signallarning sikl vaqti (t_{SY}), o'rnatilish vaqti (t_{SU}), harakat davri (t_W) va saqlanish muddat (t_V)lari bilan belgilanadi. Aytib o'tilgan parametrlar: t_{SY} – ISning ixtiyoriy boshqaruv kirishidagi signallarning boshlanish (tugallanish) orasidagi intervallarni; t_{SU} , t_V – turli ikki boshqaruv signallarining, mos ravishda, boshlanish va tugallanish orasidagi intervalni; t_W – berilgan boshqaruv signalining harakat davrini ko'rsatadi. Qayd etilgan parametrlar XQ IS ixtiyoriy boshqaruv signallari uchun taalluqlidir.

Turli ish rejimlarida XQ dinamik parametrlarini aniqlash 7.2-rasmda keltirilgan vaqt diagrammalari bilan tushuntiriladi.

Xotiraning tezkorligi haqida gapirganda, shuni yodda tutish kerakki, ma'lumotni o'qish uchun avval uning XQda joylashgan manzilini aniqlash kerak. Yarimo'tkazgichli XQlarini shakllantirishda ko'proq ixtiyoriy murojaatli usulni qo'llash tanlanadi, chunki bu usulda murojaat vaqti o'zgarmas va ma'lumot joylashgan massiv manziliga bog'liq bo'lmaydi.

7.2. Statik OXQlari

Statik OXQlarda yozilgan ma'lumot doim unga ajratilgan aniq joyda saqlanadi va ma'lumot o'qilganda yo'qolib ketmaydi. Ma'lumot faqat majburiy o'chirilganda yoki ta'minot manbasidan qurilma o'chirilganda yo'qolishi mumkin.

Statik yarimo'tkazgichli XQlar bipolyar va MDYA-tranzistorlarda bajarilgan xotira elementlari (triggerlar)dan tashkil topadi. Bu turlar-

ning har biri uning qo'llanish sohasini belgilab beradigan afzallik va kamchiliklariga ega.

Operativ xotiraning ishlash prinsipi. Eng kichik xotira elementi – bit yoki razryad eng kichik hajmga ega bo'lgan ma'lumot – bitta ikkilik sanoq tizimidagi raqamni saqlashga qodir. Bit – bu juda kichik ma'lumot birligi, shuning uchun xotirada bitlar baytlarga – sakkizta bitlarga birlashadi va **xotira yacheykalari** deb ataladi. Barcha xotira yacheykalari raqamlangan bo'lib, xotira adresi (manzili) deb ataladi. Yacheyka adresini bilgan holda asosiy ikkita amalni bajarish mumkin:

- 1) ma'lum adresdagi yacheykadan ma'lumotni o'qish;
- 2) ma'lum adresga ma'lumotlarni baytlar ko'rinishida yozish.

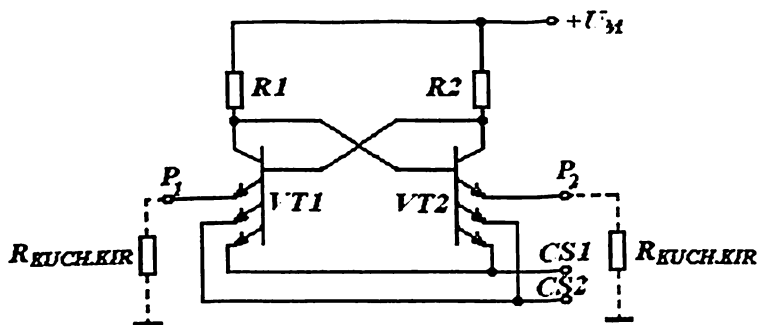
Ko'rsatilgan amallardan birini bajarish uchun protsessordan xotiraga yacheyka adresi ko'rsatilishi kerak va baytlar ko'rinishidagi ma'lumotlar yozish uchun protsessordan xotiraga yoki o'qish uchun xotiradan protsessorga uzatilishi kerak. Barcha signallar shinalarga birikkan simlar orqali uzatilishi kerak.

Manzil shinasidan xotira yacheyka adresi, ma'lumotlar shinasidan esa uzatilayotgan ma'lumotlar uzatiladi. Odatda, bu jarayonlar bir vaqtda amalga oshiriladi.

OXQlar ishlashi uchun 3 ta signal va mos ravishda 3 ta sim qo'llaniladi. Birinchi signal o'qishga ruxsat deb ataladi, agar bu signal qabul qilinsa xotiradan bayt ko'rinishidagi ma'lumot o'qiladi. Ikkinchi signal yozishga ruxsat deb ataladi va bu signal olingach bayt xotiraga yoziladi. Bir vaqtning o'zida ikkala signal uzatilishi mumkin emas. Uchinchi signal tayyorgarlik signali deb ataladi va xotira protsessorga murojaat qilib, buyruqlarni bajarishga tayyor yoki tayyor emasligini bildirish uchun ishlatiladi.

Bipolyar tranzistorlarda bajarilgan statik EXE turli triggerli elementlarda bajarilgan, narxi ancha qimmat bo'lgan qurilmalardir. Bu sinfga mansub sxemalar hozirgi kunda eng tezkor hisoblanadi.

Bipolyar tranzistorlarda bajarilgan EXEning prinsipial elektr sxemasi 7.3-rasmda keltirilgan. Mazkur element TTM texnologiyasida bajarilgan bo'lib, ikki o'lchamli XQlarni qo'llash uchun mo'ljallangan. U uch emitterli $VT1$ va $VT2$ tranzistorlarda bajarilgan ikkita invertordan iborat. Invertorlar ketma-ket ulangan bo'lib, chuqur musbat teskari



7.3-rasm. Bipolyar tranzistorlar asosida bajarilgan EXE prinsipial elektr sxemasi.

aloqa o'rnatilgan. Ikkita juft bo'lib ulangan tranzistorning emitterlari $CS1$ va $CS2$ tanlov elementining chiqishini hosil qiladi. Uchinchi tranzistorning emitterlari esa elementning to'g'ri $R1$ va invers $R2$ chiqishini hosil qiladi va umumiy shinaga o'qish kuchaytirgichining kirish qarshiliklari orqali ulangan.

Saqlash rejimida EXEning bitta yoki ikkala ($CS1$, $CS2$) tanlov kirishiga past darajadagi kuchlanish qiymati beriladi. Bu vaqtda inverterlar yordamida hosil qilingan trigger turg'un holatlardan birida bo'ladi. Deylik, $VT1$ to'yingan, $VT2$ berk bo'lsin. To'yingan $VT1$ ning to'liq toki elementning tanlov kirishlaridan biri orqali umumiy shinaga birikadi. Shuning uchun P_1 chiqish zanjirida tok mavjud bo'lmaydi va EXEdan ma'lumot o'qish kuchaytirgichi kirishiga kelib tushmaydi ($U_{R_{KUCH.KIR}} = 0$).

Ma'lumotni o'qish uchun elementning ikkala tanlov kirishiga yuqori darajali kuchlanish berish kerak. Bunda to'yingan tranzistorning yagona toki oqib o'tish yo'li bo'lib EXEning P_1 chiqishi hisoblanadi. Bu tok o'qish kuchaytirgichining kirish qarshiligida kuchlanish hosil qiladi va uning ishorasi elementga yozilgan ma'lumot ishorasiga mos keladi. Shuni ta'kidlash kerakki, elementdan ma'lumot o'qish jarayonida u yo'qolmaydi. EXEning bitta yoki ikkala ($CS1$, $CS2$) tanlov kirishiga past darajadagi kuchlanish qiymati berilsa, trigger o'z holatini saqlab qoladi.

Elementga yangi ma'lumot kiritish zarurati tug'lsa, yana uning kirishlariga dastlab tanlov signallari beriladi. So'ngra tasqi shinalarda yangi ma'lumotga mos keluvchi kuchlanish ishorasi o'rnatiladi. Ko'ri-
layotgan holat uchun P_1 chiqishga yuqori darajali kuchlanish, P_2 ga
esa past darajadagi kuchlanish beriladi. Bunda $VT1$ tranzistori emitter
toki zanjiri uzilgan bo'lganligi sababli, uning kollektorida yuqori
darajali kuchlanish shakllanadi. Bu kuchlanish $VT2$ ni to'yintiradi, u
esa o'z navbatida kollektorda past darajali kuchlanish shakllantirib,
 $VT1$ tranzistorning berk holatini tasdiqlaydi. EXEda yangi ma'lumot
yoziladi. Elementdan tanlov signallari olib tashlansa, yangi ma'lumot
triggerda navbatdagi ma'lumot yozilguncha saqlanadi.

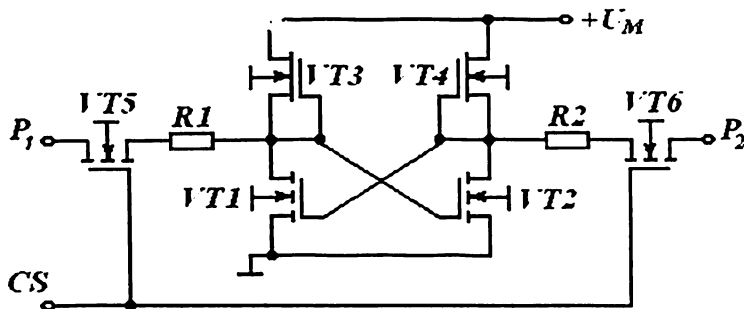
Shunday qilib, ko'rib chiqilayotgan EXEga yangi ma'lumot kiritish
kirish kuchlanishining yuqori qiymatlarida amalga oshiriladi.

Elementning ko'rib o'tilgan tuzilishi, birinchidan, ixtiyoriy sondagi
element chiqishlarini parallel ulash, ikkinchidan, chiqishlarni ham
yozish, ham o'qish uchun ishlatish imkonini beradi. Shuni alohida
ta'kidlab o'tish kerakki, mazkur holda ikkinchi tanlov kirishining
shakllanishi eng kam xarajat asosida bajarilgan va xotira elementining
murakkablashib ketishiga olib kelmaydi.

OXQlar statik EXElarida **maydoniy tranzistorlarning** qo'llanilishi
yuqori elementlar integratsiyasiga erishishga, tannarx va iste'mol quvvati-
ni kamaytirishga olib keladi. Lekin bu vaqtda OXQ tezkorligi pasayadi.

Maydoniy tranzistorlar asosidagi EXEning prinsipial elektr sxemasi
7.4-rasmda keltirilgan. U yuklamasi MDYA-tranzistorlarda bajarilgan
kalit sxemasi asosidagi ikkita invertordan tashkil topgan. Musbat teskari
aloqa zanjiri kiritilishi natijasida invertorlar trigger tuzilmasini hosil
qiladi. Trigger chiqishlari juft bo'lib, ketma-ket ulangan $R1$ va $R2$
cheklovchi rezistorlar hamda $VT5$ va $VT6$ tranzistorlar orqali EXEning
 P_1 va P_2 chiqishlari bilan ulangan. $VT5$ va $VT6$ tranzistorlarning umum-
lashgan zatvorlari CS tanlov elementi chiqishini hosil qiladilar.

Deylik, ma'lum vaqt momentida $VT1$ tranzistor ulangan, $VT2$ esa
berk bo'lsin. Agar tanlov kirishiga $VT5$ va $VT6$ tranzistorlarni berkitish
uchun yetarli bo'lmagan kuchlanish berilsa, trigger EXEning P_1 va
 P_2 chiqishlaridan uzilgan bo'ladi. Bu vaqtda shu kirishlarda ma'lumot
mavjud bo'lmaydi. EXE saqlash rejimida bo'ladi va bu holat keragicha
davom etishi mumkin.



7.4-rasm. Maydoniy tranzistorlar asosidagi EXEning prinsipial elektr sxemasi.

Agar tanlov kirishiga $VT5$ va $VT6$ tranzistorlarni berkitish uchun yetarli bo'lgan kuchlanish berilsa, triggerning chiqishlarida unga avval yozilgan ma'lumot hosil bo'ladi. Bizning misolda EXEning P_1 chiqishida past darajali, P_2 chiqishida esa yuqori darajali kuchlanish hosil bo'ladi. Bu kuchlanishlar ISning o'qish kuchaytirgichlarining ichki shinalariga ulangan deb hisoblanadi.

Yangi ma'lumot yozish uchun kerakli element tanlash sharti qo'yilganda P_1 va P_2 chiqishlarda kuchaytirgich tomonidan yangi kuchlanish qiymatlari shakllanadi. Ko'rilayotgan misolda avval yozilgan ma'lumotni o'zgartirish uchun P_1 chiqishiga yuqori darajali, P_2 chiqishiga esa past darajali kuchlanish berish kerak. Past kuchlanish darajasi $VT2$ tranzistorni shuntlab, $VT1$ ning zatvoridagi uni ulangan holatda ushlab turuvchi kuchlanish qiymatini oladi, bu vaqtda $VT1$ berkiladi. Uning stokidagi kuchlanish $VT2$ ning ochilish kuchlanish qiymatigacha ortadi. Natijada $VT2$ ochiladi va bu bilan $VT1$ ning berk holatini tasdiqlaydi. Triggerga yangi ma'lumot yoziladi va u navbatdagi qayta yozish momentigacha saqlanadi.

Ko'rib chiqilgan EXE, bipolyar tranzistorlardagi element kabi, ko'p marotaba ma'lumot yozish imkonini beradi. Bu vaqtda o'qilayotgan ma'lumot yo'qolib ketmaydi. Element kirishiga past darajali kuchlanish berilgan vaqtda ma'lumotning qayta yozilishi bu sxemaning o'ziga xos xususiyatidir. Bu juda qulay, chunki uzilish element kirishida

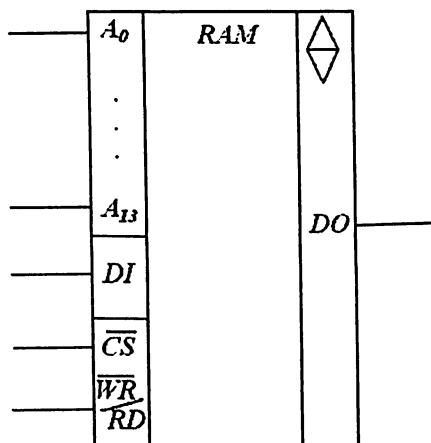
aktiv kuchlanish darajasini hosil qilmaydi, natijada ishlash ishonch-
liligi ortadi.

Mazkur element, bipolyar tranzistorlardagi EXElar kabi, bir shina-
lardan ham ma'lumot kritish, ham o'qish imkonini beradi. Bu esa,
o'z navbatida, ISni soddalashtirishiga olib keladi. OXQlarda qo'llani-
ladigan EXE IS turidan qat'iy nazar, uning kirish va chiqish zanjirlari
TTM elementi mantiqiy darajalari bilan muvofiq qilib bajariladi. Bu
esa ularni birgalikda qo'llagan holda, xotira ISlarini standartlashtirishga
imkon yaratadi.

n-MDYA-tranzistorlarida bajarilgan 132PY6 turdagi OXQning
shartli grafik belgisi 7.5-rasmda keltirilgan. Mazkur IS $16K \times 1$
ko'rinishda tashkil etilgan bo'lib, u 14 ta adres kirishlariga ($A_{13}...A_0$),
 DI ma'lumot kiritish kirishiga, DO ma'lumot chiqarish kirishiga, $\overline{CS}$
ishga ruxsat berish kirishiga va $\overline{WR}/RD$ o'qish-yozish rejimlarining
boshqaruv kirishlariga ega. Boshqaruv kirishiga past darajali kuchlanish
qiymati berilsa, ya'ni $\overline{WR}/RD = 0$ bo'lsa ma'lumot yoziladi, yuqori
darajali qiymati berilsa, ya'ni $\overline{WR}/RD = 1$ bo'lsa, ma'lumot o'qiladi.
ISning yuqoridagi o'ng qismida ko'rsatilgan — belgi IS uchta chiqish
holatiga ega bo'lishini anglatadi.

IS chiqish zanjirlarining ixti-
yoriy sxemotexnik holatida ular
umumiy ma'lumot shinasiga paral-
lel ulanish imkoniga ega bo'lish-
lari kerak.

Umuman olganda, MDYA-
tranzistorlarida bajarilgan EXElar
bipolyar tranzistorlarda bajarilgan
EXElarga nisbatan tejamli va
ixcham, lekin tezkorligi past.
Shuning uchun MDYA-tranzis-
torlarida bajarilgan OXQlar bi-
polyar tranzistorlarda bajarilgan
OXQlarga nisbatan keng qo'lla-
niladi.



7.5-rasm. 132PY6 turdagi OXQning
shartli grafik belgisi.

Integral OXQ parametrlari nomenklaturasiga quyidagi asosiy kattaliklar kiradi.

OXQlarning bitlarda ifodalanadigan **ma'lumot hajmi** kristalldagi elementlarning integratsiya darajasini ifodalaydi.

OXQning solishtirma quvvati — saqlash rejimidagi iste'mol quvvatidir (1 bitga nisbatan).

Xotiraga murojaatning minimal vatqi ($T_{muroj.min}$) — o'qishning birinchi va ikkinchi sikllari boshlari orasidagi interval. $T_{muroj.min}$ ga teskari bo'lgan kattalik **murojaatning maksimal chastotasi** deb ataladi. Yozish vaqtida bu parametrlar birmuncha boshqacha bo'lishi mumkin.

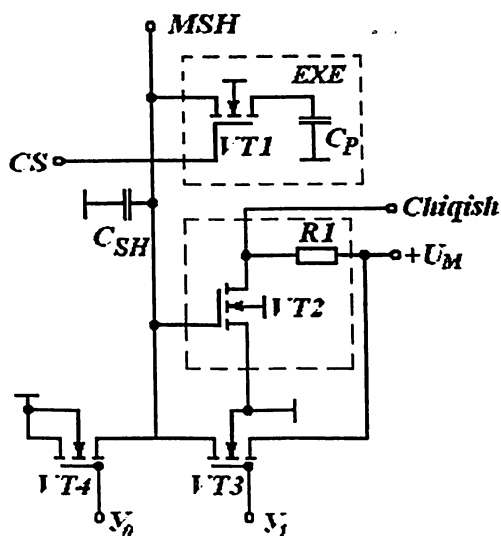
MDYA-tranzistorli OXQlar, umuman olganda, bipolyar tranzistorlarga nisbatan ma'lumot hajmi, solishtirma quvvati va solishtirma narxi kabi kattaliklari bo'yicha ustun turadi, lekin tezkorligi past. Bipolyar tranzistorli OXQlar ichida I³M bazisi asosidagi sxemalar alohida o'rin tutadi, chunki ular hajmi va solishtirma quvvati bo'yicha MDYA-tranzistorli OXQlarga yaqin. Hozirgi kunga kelib, KMDYA-sxemalar asosidagi OXQlar minimal solishtirma quvvatga, dinamik OXQlar esa minimal narxga ega. Bipolyar tranzistorli OXQlar ichida EBM bazisi asosida yaratilganlari maksimal tezkorligi bilan ajralib turadi.

7.3. Dinamik OXQlar

Dinamik OXQlarda ma'lumot doimiy ravishda unga ajratilgan massivda aylanib yuradi. Bunda ma'lumot o'qilsa, u yo'qoladi. Uni saqlab qolish uchun ma'lumotni qayta yozish talab etiladi.

Buning uchun EXEdagi ma'lumot davriy ravishda o'qib turiladi va talab etilgan kuchlanish darajasida qayta tiklanadi. Hozirgi kunda ishlab chiqarilayotgan OXQlarda EXE kondensatorlarining regeneratsiya zaryadi har 1...2 ms vaqt oralig'ida bajariladi, bu esa 0,1...1 kGs regeneratsiya chastotasiga mos keladi.

Statik OXQlarga nisbatan dinamik OXQlar kichik tezkorlikka ega, lekin ular nisbatan sodda, arzon va yuqori integratsiya darajasini ta'minlaydilar, ya'ni yuqori saqlanish hajmiga ega bo'lgan ISlarni ishlab chiqarishga imkon beradi.



7.6-rasm. Dinamik XQ tuzilmasining fragmenti.

Dinamik XQ tuzilmasining fragmenti 7.6-rasmda keltirilgan. Bu yerda EXElardan tashqari ma'lumotlarni yozish-o'qish prinsiplarini tushunish uchun kerak bo'lgan zanjirlar sodda ko'rinishda keltirilgan. EXE C_p kondensator va $VT1$ tranzistorli kalitdan iborat bo'lib, u kondensatorni ma'lumotlar shinasi (MSH)ga ulaydi. $VT1$ tranzistor zatvori deshifratorning CS adres chiqishiga ulangan. Shuning uchun deshifratorning mazkur chiqishida yuqori kuchlanish darajasiga ega bo'lgan signal hosil bo'lsa, $VT1$ ochiladi va C_p kondensatorni ulaydi. MSHga kerakli kondensator ulangan, kuchaytirgich chiqishidan C_p ning dastlabki kuchlanish qiymatiga proporsional kuchlanish hosil bo'ladi. Bu vaqtda ish rejimidan kelib chiqqan holda mavjud ma'lumotni o'qish yoki yangisini yozish mumkin.

Katta hajmdagi ma'lumotlarni saqlash uchun dinamik OXQ ISlari katta miqdordagi EXElarga ega bo'lishi kerak. Bu barcha EXElar o'z tranzistorlari orqali MSHga ulanadilar. Shuning uchun MSHlar juda katta uzunlikka ega va, demak, katta C_{SH} xususiy sig'imga ega. Odatda, $C_{SH} \gg C_p$ shart bajariladi. MSHga kichik hajmdagi kondensator ulanishi hisobiga C_{SH} va C_p sig'im zaryadlarining qayta taqsimla-

nishi hisobiga uning potentsiali sezilarsiz o'zgaradi. Buni aniqlash uchun shinaning dastlabki kuchlanish qiymatini bilish zarur, u esa ish jarayonida ixtiyoriy qiymat olishi mumkin. Shuning uchun ma'lumot o'qish jarayoni quyidagi ketma-ketlikni talab etadi:

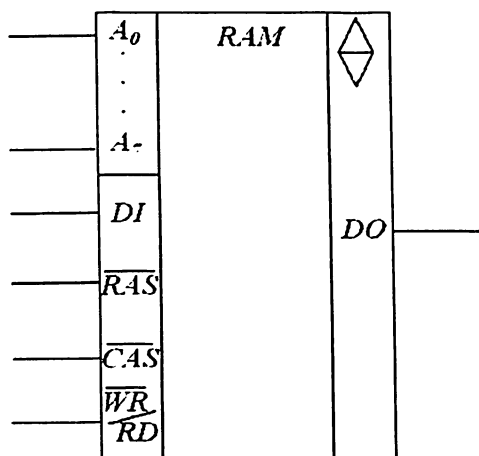
- ma'lumotni bevosita o'qishdan avval MSH darajasi belgilab olinadi, buning uchun VT3 kalit yordamida C_{SH} ni kuchlanish manbayi qiymatigacha zaryadlanadi;

- kerakli EXEga CS tanlov kirishiga signal beriladi; C_p C_{SH} ga ulanadi va natijada zaryad qayta taqsimlanib, MSHda mos o'zgarishlar sodir bo'ladi;

- kuchaytirgich chiqishidan tanlangan EXE kondensator zaryadiga proporsional signal o'qiladi.

Bayon qilingan algoritmgaga ko'ra, EXEdan ma'lumot o'qish doim uning yo'qolishi bilan amalga oshadi. Shuning uchun ma'lumotni keyinchalik ham saqlab qolish uchun u yana qayta yozilishi kerak.

EXEga ma'lumotni yozish VT3 va VT4 larni qo'llagan holda amalga oshiriladi, ular esa boshqaruv signaliga ko'ra MSHni yoki kuchlanish manbayiga, yoki umumiy shinaga ulaydi. Kerakli EXEni tanlashda uning kondensatori MSH kuchlanishi qiymatigacha zaryadlanadi.



7.7-rasm. 565PY5 turdagi dinamik OXQ ISning shartli grafik belgilanishi.

565PY5 turdagi dinamik OXQ ISning shartli grafik belgilanishi 7.7-rasmda keltirilgan.

Mazkur IS $16K \times 1$ ko'rinishda tashkil etilgan bo'lib, u 8 ta adres kirishlariga ($A_7 \dots A_0$), DI ma'lumot kiritish kirishiga, DO ma'lumot chiqarish kirishiga, ish rejimini boshqarish kirishlariga ($\overline{WR}/RD$ o'qish-yozish) va $\overline{RAS}$ hamda $\overline{CAS}$ ikkita strobirlash signallarini berish adresi kirishlariga ega. Oxirgi ikkita signal IS adres kirishlarini qisqartirishga imkon beradi. Haqiqatan

ham, 64K soʻzdan iborat maʼlumotga murojaʼat qilish uchun 16 razryadli adres soʻz talab etiladi. Bu razryadlarning yarmi kerak qatorni tanlashga, qolgan yarmi esa kerakli ustunni tanlashga javob beradi. Shuning uchun adres soʻzining kichik va katta razryadlari ISning aynan bir kirishlariga navbatma-navbat beriladi. Kirishiga past darajali signal berilgach, adres kirishlariga sakkizta kichik razryadli adres soʻzlari beriladi, ular, oʻz navbatida, EXE matritsasidan kerakli qatorni tanlaydi. Bundan soʻng past darajali kuchlanish qiymati kirishiga uzatiladi, adres chiqishlarida esa sakkizta katta razryadli adres soʻzlari shakllanib, ular, oʻz navbatida, EXE matritsasidan kerakli ustunni tanlaydi. Bunday tuzilmali dinamik OXQ IS statik OXQ ISga nisbatan kichik tezkorlikka ega.

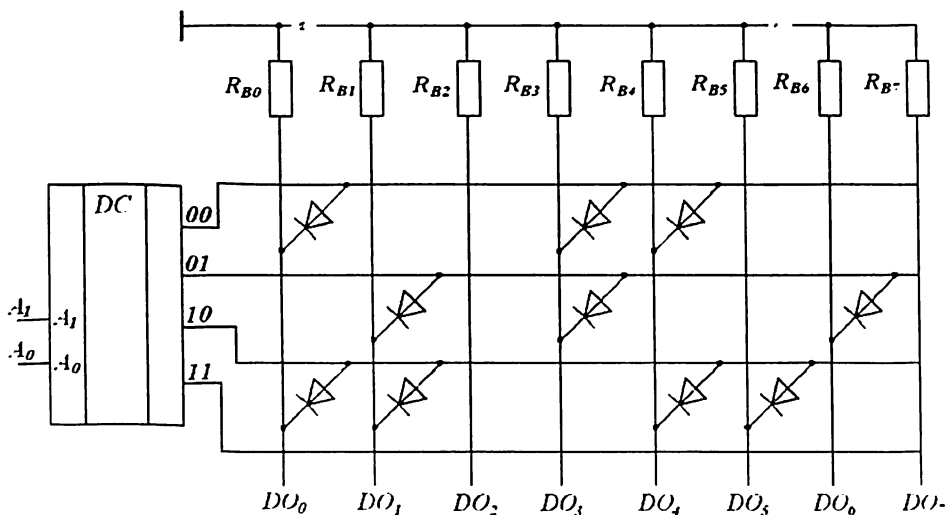
7.4. DXQ mikrosxemalari

Doimiy XQ (DXQ)lar qurilmaning ish faoliyati davomida oʻzgarishsiz qoladigan maʼlumotlarni saqlash uchun moʻljallangan. Bu maʼlumot qurilma manbadan oʻchirilgandan soʻng ham yoʻqolmaydi. Shuning uchun DXQlar faqat oʻqish rejimida ishlaydi va oʻqilgach maʼlumot yoʻqolmaydi.

DXQ sinfi bir turli emas va bir necha mustaqil sinflarga boʻlinishi mumkin. Lekin bu sinflarning barchasida maʼlumot bir xil prinsipda ifodalanadi. DXQlarda maʼlumot adres shinasi (ASH) va maʼlumot shinasi (MSH) orasidagi bogʻlanish mavjud yoki mavjud emasligi koʻrinishida ifodalanadi. Bu jihatdan DXQ EXEsi dinamik OXQ EXEsi kabidir. Chunki dinamik OXQ EXEsida C_p kondensator yoki qisqa tutashtirilgan yoki sxemadan olib tashlangan.

4×8 li tashkil etilgan sodda DXQ sxemasi 7.8-rasmda keltirilgan. U ikkita adres shinaga ega boʻlgan deshifrador, chiqish shinalari va diodlarning DXQda yozilgan maʼlumot soʻzi soni «1»ga teng boʻlgan sakkizta $R_{B0} - R_{B7}$ ballast rezistorlaridan iborat.

Deshifrador chiqishida yuqori darajadagi kuchlanish hosil boʻlsa, ASH va MSHlar orasida bogʻlanish mavjudligi tufayli, bu kuchlanish mos ballast rezistorga uzatiladi va bu toʻgʻri mantiqda shinada «1» signali qabul qilinganini anglatadi. Tegishli bogʻlanishlar mavjud



7.8-rasm. 4×8 li tashkil etilgan sodda DXQ sxemasi.

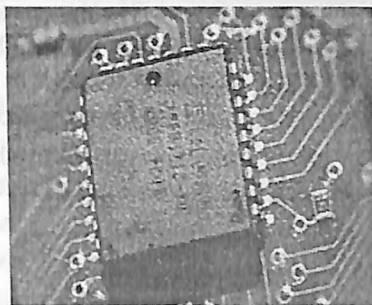
bo'lmasa, mos rezistorlardan tok oqib o'tmaydi, demak «0» signali qabul qilinganini anglatadi.

ASH va MSHlari orasidagi aloqa turi va tashkil etilishidan kelib chiqqan holda barcha DXQlar uch guruhga bo'linadi: **niqobli, eritiluvchi (dasturlanuvchi)** va **qayta dasturlanuvchi**.

Niqobli DXQlarda xotira adreslanuvchi yacheyka massivi (matritsasi) ko'rinishida hosil qilingan bo'lib, har bir yacheyka birlik ma'lumotni kodlashi mumkin. DXQlardagi ma'lumotlar ishlab chiqarish jarayonida litografik usulda niqob bo'yicha aluminiyli bog'lovchi yo'lklar hosil qilinadi. Mos joyda bunday bog'lanishning mavjudligi yoki mavjud emasligi «0» va «1» ni beradi. Niqobli DXQlar ma'lumotlarning takomillashganligi, hamda ishlab chiqarish sikliga ketadigan vaqt (4–8 hafta) bilan farqlanadi. Shuning uchun, zamonaviy dasturiy ta'minotlar mukammal emas va doimiy ravishda yangilanishni talab etganligi tufayli xotiraning bu turi keng qo'llanilmaydi.

Eritiluvchi yoki bir marotaba dasturlanuvchi DXQlarda xotira yacheykasi sifatida eruvchan simlar qo'llaniladi. Niqobli DXQlardan farqli ravishda, eritiluvchi DXQlarda yacheykalarni maxsus yozish qurilma (programmatör) yordamida kodlash («eritish») mumkin.

Eritiluvchi DXQlarda yacheykalarni dasturlash eruvchan simlarga katta kuchlanishli tok berish natijasida uni uzib yuborish orqali amalga oshiriladi. Ulardagi ma'lumotlarni mustaqil kiritish imkoniyati eritiluvchi DXQlarni donalab va kam nushada ishlab chiqarishga olib keldi.



7.9-rasm. Flesh-xotira.

Qayta dasturlanuvchi DXQlarda xotira yacheykasiga ma'lumot kiritishdan avval uni o'chirib tashlash kerak, ya'ni ma'lumotlarni qayta yozish mumkin. Qayta dasturlanuvchi DXQlarda yacheykalardagi ma'lumotlarni o'chirish chiplarni ultrabinafsha va rentgen nurlari bilan bir necha minut nurlantirish yo'li bilan butun mikrosxema uchun bir varakayiga amalga oshiriladi. Ular kvars darchalarga ega bo'lib, o'chirish jarayoni tugagach yelimlab tashlanadi. Qayta dasturlanuvchi DXQlarda o'chirishda barcha sohalarni bir holatga olib keladi (odatda, barcha bitlarga 1 yoziladi, kamdan-kam hollarda 0). Hozirgi kunda qayta dasturlanuvchi DXQlar flesh-xotiralar tomonidan siqib chiqarilgan (7.9-rasm).

Ularda mikroprotssessor qurilmasining standart tizim shinasiga ulash orqali qayta dasturlash mumkin. Fleshlarda elektr toki yordamida alohida yacheykadagi ma'lumotni o'chirish imkoni yuzaga keldi. Fleshlarda yacheykaga yangi ma'lumot yozilganda, avvalgisi avtomat tarzda o'chib ketadi, bu vaqtda boshqa yacheykalarga ziyon yetmaydi. O'chirish jarayoni odatda yozish jarayonidan uzoqroq davom etadi.

? Nazorat savollari

1. Xotira qurilmalarining (XQ) asosiy belgilarini keltiring.
2. XQlarning asosiy parametrlarini keltiring.
3. Bir o'lchovli va ikki o'lchovli adresatsiyali XQning tuzilish prinsipini tushuntiring.
4. XQning xotira hajmini oshirish bo'yicha texnik yechim variantlarini keltiring.

5. Bipolyar tranzistorlar asosida qanday turdagi XQlar bajariladi?
6. Maydoniy tranzistorlarda bajarilgan OXQlarining afzallik va kamchiliklarini sanab bering.
7. Dinamik EXElarining asosiy xususiyatlari nimada? Ular tranzistorlarning qaysi turlarida bajariladi va nima uchun?
8. DXQlar sxemalari qanday tashkil etilgan va qanday EXElarda bajariladi?
9. Niqobli DXQlarining yasash texnologiyasi qanday?
10. Elektr jihatdan dasturlanuvchi XQ EXElarining ish prinsipini tushuntiring.
11. Qayta dasturlanuvchi DXQlari qanday elementlarda bajariladi?

VIII BOB. MIKROPROTSESSORLAR

8.1. Mikroprotsessorlarning tuzilmalari

8.1.1. Integral sxemalar mikroprotsessor majmualarining sinflanishi

Raqamli tizimlarning zamonaviy element bazasi bo'lib, turli mikroprotsessorli majmualar (MPM) tarkibiga kiruvchi katta integral sxemalar (KIS) hisoblanadi. IMSlarning MPMLari ikkita masalani yechishga imkon yaratdi: birinchidan, ma'lumotlarni qayta ishlash tezligi va xotira hajmi keskin oshdi, ikkinchidan, ISlarning o'lchamlari, narxi va quvvat iste'moli shunchaga kamaydi.

Hisoblash matematikasi va mikrosxemalar ishlab chiqarish sohalarining birgalikdagi yutuqlari MPMLarni turli ma'lumotlar (ma'lumotnomalar, tajriba natijalari, maqola loyihalari va shu kabilar)ni jamlash, qayta ishlash va saqlash uchun keng qo'llash imkonini yaratdi. Shu bilan birga uy texnikasi, asboblari, stanoklar, robotlar va avtomobillar ishini avtomatlashtirish imkonini yaratdi.

Va nihoyat, arzon mikroprotsessorli tizimlar telefoniya va radioaloqa, o'lchov texnikasi kabi sohalarda keng qo'llanilmoqda.

Har bir KISning MPM asosini **mikroprotsessor** tashkil etadi.

Mikroprotsessor (MP) deb, berilganlar ustidan arifmetik va mantiqiy amallar bajaradigan dasturiy boshqariladigan qurilmaga aytiladi. MP bitta yoki bir nechta KIS ko'rinishida bajariladi. Lekin turli MPli texnika yaratishda bitta MP yetarli emas. Ixtiyoriy MP tizim dasturlari, berilganlar va berilganlarni qayta ishlash natijalari, ma'lumotlarni kiritish-chiqarish vositalari, boshqaruv obyektlari va qayta ishlash natijalarini aks ettiruvchi vositalar o'rtasida aloqa bog'lash kabi vositalardan tashkil topgan bo'lishi kerak.

Hozirgi kunga kelib KIS MPMLarining o'nlab turlari ishlab chiqariladi. Ular KISning jamlamasi va funksional to'liqligi, konstruksiyasi

va yasash texnologiyasi bilan ajralib turadi. KIS MPMlarining qo'llash samaradorligi ularning birinchi belgisi bo'lib hisoblanadi. Bu belgisiga ko'ra, barcha KIS MPMlari ikki guruhga bo'linadi: KISlarning universal va maxsus MPMlari.

KISlarning universal MPMiga shunday majmualar kiradiki, ular asosida mikrokontrollerdan tortib universal mikroEHM gacha turli hisoblash vositalarini tuzish mumkin bo'ladi.

MikroEHM yoki **mikrokompyuter** deb, bitta yoki bir nechta MPdan tashkil topgan, berilganlarni qayta ishlash qurilmasi, operativ va doimiy xotira KISi, ma'lumotni kiritish-chiqarishni boshqarish KISi va ba'zi boshqa sxemalardan tashkil topgan qurilmaga aytiladi. Bunday tarkibga ega mikrokompyuterni «yalang'och» deb ham atashadi, chunki unda periferiya qurilmalari (tashqi XQ va ma'lumot kiritish-chiqarish qurilmasi) mavjud emas. Bunday konfiguratsiyaga ega bo'lgan mikrokompyuterlar turli stanoklar, mashinalar, boshqaruv qurilmalarining texnologik jarayonlarini boshqarish qurilmalari (kontrollerlar) sifatida keng qo'llaniladi.

Mikrokontroller — bu mikrokompyuter bo'lib, u uncha katta bo'lmagan hisoblash resurslari va hisoblashlarni bajarish emas, balki turli qurilmalarni ma'ntiqiy boshqarish kabi jarayonlarni bajarishga mo'ljallangan soddalashtirilgan komandalar tizimiga ega. «Kontrollar» so'zi mazkur qurilmaning turli murakkablik va muhimlik (prioritet)ga ega bo'lgan nazorat va boshqaruv amalini bajarishga mo'ljallanganligini aks ettiradi.

KISlarning maxsus MPMlari faqat bir turdagi mikroEHM tuzish uchun mo'ljallangan.

KISning MPMlarining navbatdagi belgisi bo'lib, majmuadagi KISning MPLari soni xizmat qiladi. Bu belgisiga ko'ra, MPLar bir kristalli, ko'p kristalli va razryadli-modulli tashkil etilgan (seksiyali protsessorlar) turlarga bo'linadi.

Bir kristalli MP belgilangan komandalar tizimidagi belgilangan razryadga ega bo'lgan ma'lumotlarni qayta ishlash qurilmasi hisoblanadi. Uning asosida turli texnologik jarayonlarni boshqarish bilan bog'liq bo'lgan masalalarni yechadigan qurilmalar bajariladi.

Ko'p kristalli MPlarda alohidagi KISlar jir'ldiy aniqlikdagi amallar majmuyini bajarishga mo'ljallangan bo'lib, avtonom ishlashlari ham mumkin.

Razryadli-modulli tashkil etilgan MPlar bir nechta ma'lumot razryadlarini qayta ishlashga yoki ma'lum boshqaruv amallarini bajarishga mo'ljallangan KISlardan tashkil topgan. Bunday MPlar qayta ishlanayotgan ma'lumotlarni orttirib borish imkoniyatiga ega.

Yuqorida keltirib o'tilgan sinflanish KISlar MPmlari bilan dastlabki tanishuv uchun yetarli hisoblanadi.

MP KISlarini tashkil etish shakllarining turlichaligi ko'plab omillarga bog'liq bo'lib, integratsiya darajasi, tezkorlik, qobiqdagi chiqishlar soni bu omillarning asosiylari bo'lib hisoblanadi.

MPni ham IMS, ham hisoblash qurilmasi deb qarash mumkin. Mikrosxema sifatida MP yangi sifat ko'rsatkilarga ega emas. Hisoblash qurilmasi sifatida MP quyidagilar bilan xarakterlanadi: razryadligi, mikrodesturi boshqaruv komandalari soni, komandalarning bajarilish vaqti, uzilish darajalarining soni va shu kabilar.

Qayta ishlanayotgan so'zlar uzunligini belgilovchi razryadlik, ham hisoblash qurilmasi, ham KIS sifatida MPning asosiy xarakteristikalaridan biri hisoblanadi. Chunki razryadlik asosan KISdagi komponentlar sonini belgilaydi. MPni KIS sifatida xarakterlovchi asosiy parametri bo'lib, integratsiya darajasi, sochilish quvvati, qobiqdagi chiqishlar soni va boshqalar hisoblanadi. Bundan tashqari, MPlar tayyorlanish texnologiyasi (BTLi, MDYAli) va sxemotexnik tashkil etilishi kabi belgilari bo'yicha ham sinflanadi. Bir kristalli MPlarni tuzishda bevosita bog'lanishli MDYA-tranzistorlar (ayniqsa, KMDYA elementlari) va BT (I^2M elementlari) sxemotexnikasi keng qo'llaniladi.

8.1.2. Mikroprotssessor tuzilmasi

MP tuzilmasi deganda, apparat vositalari va ular orasidagi aloqa tushuniladi. Apparat vositalari — MP qurilmalari va boshqa KISlar tuziladigan elektron sxemalardir.

Har bir MP tuzilmasida ikkita asosiy qismni ajratib ko'rsatish mumkin: qayta ishlanayotgan va boshqaruvchi. Arifmetik-mantiqiy qurilma

(AMQ) MPning qayta ishlanuvchi qismi bo'lib hisoblanadi. Zamonaviy AMQlarda arifmetik qo'shish va ko'paytirish amallari bajariladigan asosiy amallar bo'lib hisoblanadi. Tuzilishiga ko'ra, AMQlar kombi-natsion qurilma hisoblanadi va xususiy xotira elementlariga ega bo'lmaydi. U yoki bu amallarni bajarish vaqtida oraliq natijalarni saqlash uchun o'zgaruvchilarni kiritish uchun AMQlar registrlar bilan to'ldiriladi.

Protsessor tuzilmalari turlicha bo'lishi mumkin. Lekin ularning ko'pchiligini shartli ravishda uchta turga kiritish mumkin: akku-mulyatorli, umumiy maqsadlarga mo'ljallangan registrli, stekli xotira blokili.

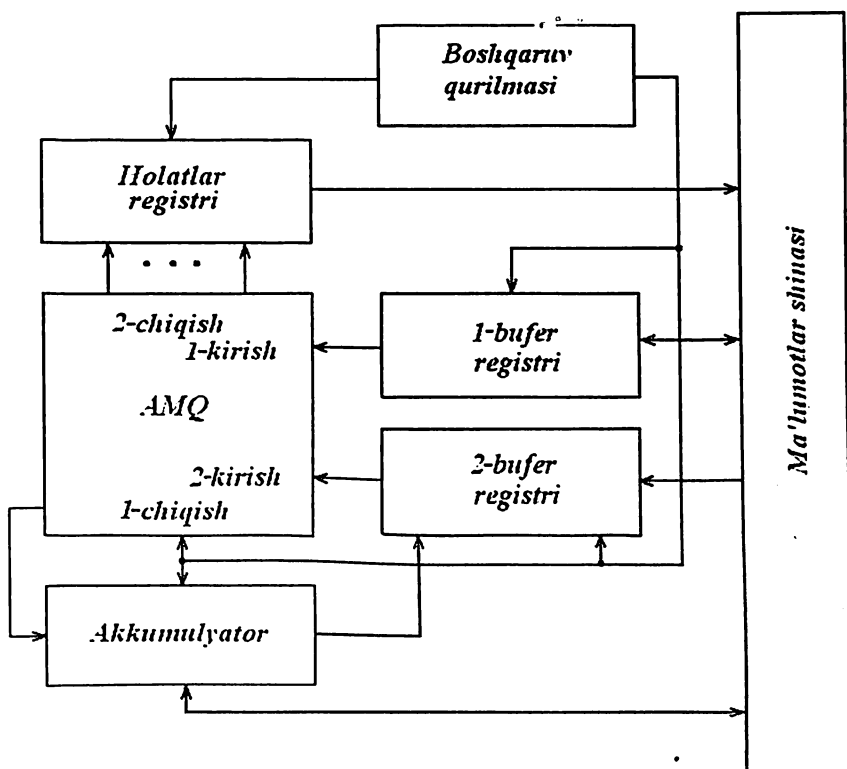
Sodda protsessorlar komandalar hisoblagichi, komandalar registri, adres (manzil) registri, holatlar registri, akkumulyator va buferli registrlardan tashkil topgan bo'ladi. Bunday protsessorlar odatda **akkumulyatorli protsessorlar** deb ataladi, chunki barcha arifmetik va mantiqiy amallar hamda ma'lumot uzatish bo'yicha amallar akku-mulyator yordamida bajariladi.

Registrlarning ko'pchiligi universal bo'lgan protsessorlar ham mavjud, ya'ni ular akkumulyatorlar, indeks registrlari, stek ko'rsatkichi va shu kabi amallarni bajarishi mumkin. Ular **umumiy maqsadlarga mo'ljallangan registrlar (UMR)** deb ataladi.

Stekli tashkil etilgan protsessorlarda akkumulyator ham, UMRlar ham mavjud emas. Oddiy hollarda ularning dasturiy-murojaat registrlari stek cho'qqisi adresi (stek ko'rsatkichi)ni va dasturning keyingi koman-dasi (komandalar hisoblagichi)ni ko'rsatish hamda protsessorning alohida qurilmalari holatlarini saqlash (holatlar registri) uchun xizmat qiladi.

AMQlar registrlar bilan birgalikda MPning operatsion qurilma (OQ) deb ataluvchi qayta ishlovchi qismini tashkil etadilar.

OQ tugunlari ishini boshqarish bilan boshqaruvchi qurilma (BQ) shug'ullanadi. U ma'lum vaqt ketma-ketligida boshqaruv signallari ishlab chiqaradi, bu signallar ta'sirida OQ tugunlarida berilgan qayta ishlash dasturi amalga oshiriladi. Boshqaruv qurilmasi (kontroller) hisoblagich va takt signallar generatori (taymer)ga ega. BQ OQ bilan birgalikda protsessorni tashkil etadi. Mikroshemalarda bajarilgan protsessor **mikroprotsessor** deb ataladi.



8.1-rasm. Akkumulyatorli protsessor tuzilmasi.

8.1-rasmda sodda akkumulyatorli protsessor tuzilmasi keltirilgan.

Odatiy AMQlar ikkita kirish (1-kirish va 2-kirish) va bitta chiqish (1-chiqish)ga ega bo'lib, chiqishga m razryadli shinalar ulangan ($m = 4, 8, 16, 32$). Bundan tashqari, AMQ yana bir guruh chiqish (2-chiqish)ga ega bo'lib, ular qo'shimcha ma'lumotlarni olish uchun mo'ljallangan. Kirishlarning ikkala guruhi (kirish portlari) ma'lumotlarni vaqtincha saqlash uchun mo'ljallangan bufer registrlari bilan ta'minlangan. Har bir bufer registri bir so'z ma'lumotni saqlashga qodir. Bu so'zning razryadligi MPning aniq turi bilan belgilanadi. 1-kirish ma'lumotlarni bevosita ma'lumotlar shinasidan, 2-kirish esa yoki ma'lumotlar shinasini yoki akkumulyatordan oladi.

AMQ ishi haqidagi qo'shimcha ma'lumot holatlar registrida joylashadi. Unda so'nggi amal natijalari haqidagi xizmat ma'lumoti saqlanadi.

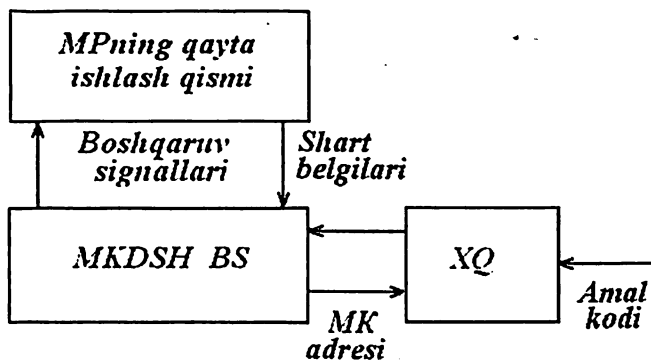
laʼzadi (akkumulyator olib tashlangan, soʻnggi amal bajarilishi natijasida salbiy natija olingan va h.k.).

Kirishlarga kelib tushayotgan maʼlumotlar AMQda mos boshqaruv signallari yordamida qayta ishlanadi. Boshqaruv signallari vaqt boʻyicha aniq taktlangan boʻlib, soʻzlar ustidan maʼlum arifmetik yoki mantiqiy amallarni bajarish boshqaruv signallarining maʼlum ketma-ketligi asosida bajariladi. 8.1-rasmda keltirilgan MPning qayta ishlovchi qismi tuzilmasi koʻplab modifikatsiyalarga ega.

MP boshqaruv qurilmasi (BQ)ning tashkil etilishini koʻrib chiqamiz. BQ quyidagi amallarni bajaradi: dastur komandasini kerakli ketma-ketlikda tanlash, ularni deshifratsiyalash, amallarni bajarishni boshqarish. BQlarni tashkil etishning ikki usuli mavjud: **mikrodasturiy** va **apparatli**.

Mikrodasturiy boshqaruvda barcha boshqaruv kirishlari alohida shinaga birlashadilar. Mazkur shinaning razryadligi boshqaruv kirishlari soniga teng. Bu shinaga algoritmning har qadamida mikrokomanda (MK) beriladi. Yaʼni MPning ish dasturi mikrodastur koʻrinishida (mikrokomandalar ketma-ketligi) berilgan. Bu turdagi MP 64–256 ta mikrokomandalarni bajaradi. Maʼlumki, komandalar majmuyiga ham nisbatan sodda, ham yetarlicha murakkablikdagi koʻpaytiruv va boʻluv komandalari kiradi. Bunday komandalarni amalga oshirish uchun **mikroamallar** deb ataluvchi bir nechta sodda komandalar ketma-ketligini bajarish zarur. Sodda komandalarga arifmetik qoʻshuv, konyunksiya, dizyunksiya, inversiya, chapga yoki oʻngga siljish, xotira yacheykalari va raqamli tizimning boshqa qurilmalari operandlari oʻrtasida qayta taqsimlash kiradi. Mikroamallar boshqaruvini amalga oshiruvchi komandalar **mikrokomandalar** deb ataladi. Har bir komanda uchun mikrokomandalar ketma-ketligidan iborat boʻlgan mikrodastur tuziladi. Mikrodasturlarni tuzish va sozlash koʻp vaqt talab etadi. Shuning uchun bu turdagi MP boshqariladigan maxsus KISlar ishlab chiqariladi. Dastur XQdan BQga navbatma-navbat kelib tushadigan komandalarning kodlangan ketma-ketligini tashkil etadi.

Mikrodasturiy BQli MP tuzilma sxemasi 8.2-rasmda keltirilgan boʻlib, unga mikrodasturlar XQsi, mikrokomandalar deshifratori (MKDSH) va ularning bajarilishini boshqaruvchi sxema (BS) kiradi.



8.2-rasm. Mikroplasturiy BQli MP tuzilma sxemasi.

XQda har bir amal uchun mikrokomandalar majmuyi (mikroplasturlar) saqlanadi. Mikrokomandalarni tanlash va ularni bajarish ketma-ketli, ya'ni mos boshqaruv kirishlariga signallarni uzatish, MPning qayta ishlash qismida amal kodiga mos keluvchi arifmetik va mantiqiy amallarning bajarilishini ta'minlaydi.

BQ quyidagicha ishlaydi. Amal kodi bo'yicha mikroplasturlar XQsi-dan mikroplasturning mazkur amalni bajaruvchi birinchi MKsi tanlanadi va u so'ngra MKDSHga uzatiladi. MKDSH MK kodini deshifratsiyalaydi va mos boshqaruv signallari ishlab chiqaradi. Bu signallar MPning qayta ishlash qismiga kelib tushadi. BQsi MKning adres kodi bo'yicha navbatdagi MK adresini shakllantiradi va u XQga uzatiladi. Bu jarayon mazkur mikroplasturning barcha MKlari tanlanib va bajarib bo'linmaguncha davom etadi.

BQning bunday tashkil etilishining afzalligi bo'lib, MP komandalariga nisbatan universalligi hisoblanadi. Yangi amalni kiritish uchun XQdagi dasturni almashtirish kerak. Dasturlar ma'lumotlar saqlanadigan shu XQda yoki dasturning alohida XQsida joylashishi mumkin. Agar tizim universal bo'lsa, u holda navbatdagi dastur yoki uning bir qismi tashqi qurilmalardan qo'shimcha qurilmalar orqali operativ XQ (OXQ)ga kiritiladi. Bu amal bajarilgach, OXQga yangi dastur yuklanadi. Demak, MPning mikroplasturiy tashkil etilishining kamchiligi bo'lib, kichik tezkorlik hisoblanadi. Chunki har bir taktida tizim MP XQsiga murojaat qiladi.

. BQning tashkil etilishining **apparat** prinsipi yoki aniq mantiq yordamida tashkil etilishi cheklangan aniq algoritm bo'yicha ishlashi uchun qo'llanadi. Barcha boshqaruv kirishlari maxsus mantiqiy sxemalarda bajarilgan alohida blokka keltiriladi. BQ elektr sxemasi shunday loyihalashtiriladiki, faqat berilgan algoritmlarni bajarilishini ta'minlaydigan boshqaruv siganllari ketma-ketligi shakllanadi. Aniq mantiqli tizim maksimal tezkorlik va kam quvvat iste'moli bilan xarakterlanadi. Lekin bunday qurilmalarni operativ qayta qurish mumkin emas bo'lib, bu turdagi BQlarning kamchiligi hisoblanadi.

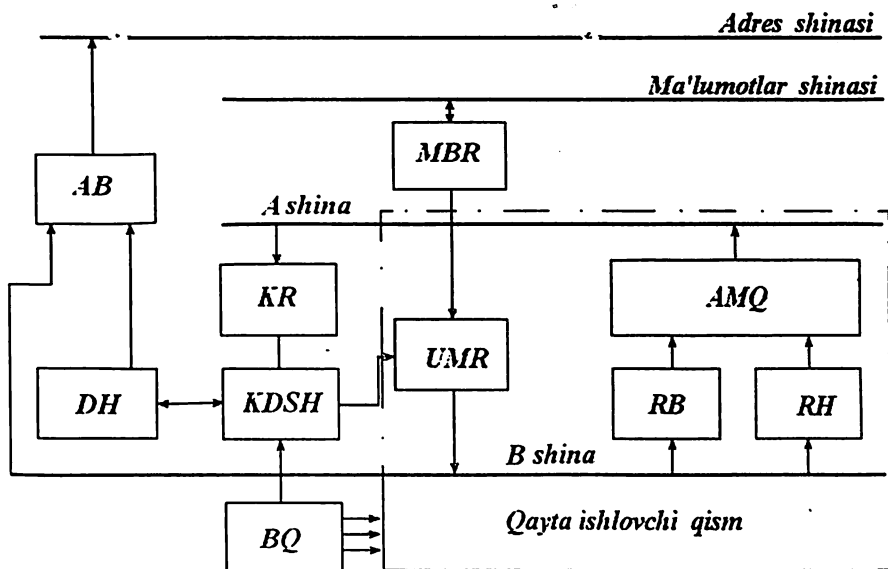
MPlarda adres bo'yicha murojaat qiluvchi XQlar (UMR)dan tashqari, xotira bloklari bilan ishlash imkoniyati ham ko'rib chiqilgan. Bu vaqtda xotira blokiga murojaat qilishda adres ko'rsatish talab etilmaydi va u **stek** deb ataladi. Stek ishining prinsipi quyidagicha: «oxirgi bo'lib yozilgan birinchi bo'lib o'qiladi». Stek yordamida kam vaqt sarflab, ichki registr holatlarini eslab qolish va tiklash amallari bajariladi.

Yuqorida ko'rib o'tilgan asosiy bloklardan tashkil topgan MP tuzilma sxemasi 8.3-rasmda keltirilgan.

Turli MPlarda turlicha shinalar ishlatiladi.

MP quyidagicha ishlaydi. Odatga ko'ra, amallarning bajarilish tartibini belgilovchi komanda kodlari (dastur) tashqi XQsida joylashadi. Shuning uchun komandani deshifratsiyalanish ketma-ketligidan kelib chiqqan holda komandalarni tanlash va amal kodini BQga uzatish kerak. MPda bu amallarni bajarish dastur hisoblagichi (DH), komanda registri (KR), adres shinasiga operandlar va BQdagi ma'lumotlarni uzatish sxemalari, tashqi ma'lumotlar shinasidan KRga ma'lumotlar va komandalarni qabul qilish sxemalari yordamida amalga oshiriladi.

DH registri bajarilib bo'lgan komanda ketidan keladigan komanda adresini saqlash uchun mo'ljallangan. KR adresi komanda hisoblagichi tomonidan o'rnatilgan komanda kodini saqlash uchun mo'ljallangan. AR tashqi XQsi yacheyka adresini eslab qoladi. XQdan ma'lum vaqt momentida operandni tanlab olish yoki saqlab qo'yish mumkin. Bajarilishi kerak bo'lgan va XQ registrida saqlanayotgan komanda adresi adres shinasi orqali tashqi XQning komandalar saqlanadigan adres kirishlariga uzatiladi. XQdan tanlangan amal kodi ma'lumot-



8.3-rasm. UMRLardan tashkil topgan MP tuzilma sxemasi.

larning bufer registri (MBR)dan KRga uzatiladi. Komanda kodi kod deshifratorida (KDSH) deshifratsiyalanadi va BQga uzatiladi. BQlar esa amal kodiga mos boshqaruv signallari ishlab chiqaradi va ular MPning qayta ishlash qismiga uzatiladi. Agar amalni bajarish uchun tashqi XQga murojaat talab qilinsa, u holda mos keluvchi adres AB orqali adres shinasiga kelib tushadi. DHda saqlanayotgan ma'lumot o'zgaradi va keyingi amalni bajarishga tayyorlanadi.

8.2. Mikroprotsessori registrlari

Ma'lumotlar qayta ishlanadigan joylarda ma'lumotlar doim uzoq yoki qisqa vaqt saqlanadi. Bu maqsadlarda registrlarni xotira elementlari sifatida qo'llash mumkin. MP tarkibida o'nlab turli maqsadlarga mo'ljallangan registrlar ishlatiladi. Ularning soni ma'lum darajada MPning hisoblash quvvatini belgilaydi. Lekin doim yodda tutish kerakki, aniq masalani yechish uchun nazariy jihatdan minimal registrlar soniga ega bo'lgan MPLi ixtiyoriy EHMni qo'llash mumkin.

Bu holda oddiy komandalarning soni ko'pligi tufayli mashina uzoq vaqt hisoblaydi.

Funksional belgisiga ko'ra, registrlarni uch guruhga bo'lish mumkin:

1. Saqlash registrlari.
2. Operatsion registrlar.
3. Yordamchi registrlar.

Saqlash registrlari ma'lumotlar, komandalar, adreslar va oraliq natijalarni bevosita protsessorida saqlash uchun xizmat qiladi.

Protsessor va AMQlarning saqlash registrlarini ko'rib chiqamiz.

Ma'lumotlar registri (MR). U ma'lumotlarni xotira va protsessor orasida almashinishida 16 razryadli so'zlarni vaqtincha saqlash uchun qo'llaniladi. Komanda, son yoki simvolni xotiradan protsessorga o'qish jarayonida bu so'z avval ma'lumotlar registriga kelib tushadi, so'ngra yoki komanda registriga, yoki protsessorning boshqa registrlariga uzatiladi. Ma'lumotlar protsessoridan xotiraga qayta uzatilayotganda ular avval MRga joylashtiriladi va so'ngra xotiraning tegishli yacheykalariga yoziladi.

Ma'lumot so'zi MRda joylashgan vaqtda, u arifmetik va mantiqiy amallar bajarish uchun qo'llanilishi mumkin.

Akkumulyator (A). A registri protsessorning asosiy elementlaridan biri hisoblanadi. Mashina bir vaqtning o'zida faqat ikki operandlar ustidan arifmetik va mantiqiy amallar bajarishi mumkin. Odatda, birinchi operand xotiradan MRga uzatiladi, bu vaqtda ikkinchi operand A da joylashadi. Komanda yordamida berilayotgan amal MR va A ichidagi operandlar ustida bajariladi va natija A ga joylashtiriladi, ya'ni to'planib (akkumulyatsiyalanib) boradi.

Uzatish registri (S). Bu bir razryadli registr bo'lib, akkumulyator to'lib qolgan holda ma'lumotlarni saqlash uchun xizmat qiladi. U yana siklik ravishda siljishlarni tashkil qilishda ham qo'llaniladi.

Komandalar registri (KR). Bu registr mashina tomonidan bevosita amal bajarilishi jarayonida amal kodini saqlab turadi. Komandaning amal kodi KRdan boshqaruv qurilmasiga uzatiladi va deshifratsiyalanadi. So'ngra komandani amalga oshirish yuzasidan vazifalar bajariladi: operandni o'qish yoki komanda tomonidan belgilangan amalni bajarish. Komanda so'zining adres qismi adres registrida saqlanadi.

Adres registri (AR). U xotira yacheykasining bajarilish adresi qiymatlarini saqlaydi. Agar mashina komandalar tanlovini amalga oshirayotgan bo'lsa, u holda komanda saqlanayotgan yacheyka adresini ko'rsatish uchun komanda hisoblagichi (KH)dagi ma'lumot ARga uzatiladi.

Bayroq registri (BR). Uni yana **to'lib ketish triggeri** deb ham atashadi. U biror amal bajarib bo'lingach natijaning razryadligi operandlar razryadligidan katta bo'lgan hollarda signal beradi.

Holatlar registri (HR). Dastur bajarilishining har momentida MP holatini va BQga komandaga o'tish signalini belgilab boradi. Komandaning adresi bu vaqtda komanda hisoblagichi deb ataluvchi maxsus registrda saqlanadi.

Saqlash registrarlari taktlanuvchi RS-, JK- yoki D-triggerlari asosida bajariladi. RS-triggerlar asosidagi registrlar apparat xarajatlari jihatidan iqtisodiy jihatdan yaxshi hisoblanadi: bitta razryad uchun atigi to'rtta ikki kirishli HAM-EMAS sxemasi talab etiladi. Ulardan biri albatta TTM kabi uchta holatga ega bo'lgan sxema bo'lishi kerak. Uchta holatga ega bo'lgan sxemalarning qo'llanilishi saqlash registrlarining ko'pchilik kirishlari va chiqishlari ulanadigan ichki ma'lumotlar shinasini tashkil etishga imkon beradi. Yozish (kirish) va o'qish (chiqish)ga ruxsat berish shinalarini boshqarib, registrlar o'rtasida ma'lumotlar almashinuvini ta'minlash mumkin.

Registrning bunday tashkil etilishining kamchiligi bo'lib, har bir sonni yozishdan avval nolga keltirish zarurligi hisoblanadi. Bu esa registrga murojaat qilish vatqini uzaytiradi. Bu kamchilik saqlash registrlarida D-triggerlarni qo'llaganda bartaraf etiladi. D-trigger nol holatiga olib kelinishni talab etmaydi, demak, tezkorlik ortadi. Lekin bunda apparat vositalari soni ortadi (5 ta mantiqiy sxema).

Operatsion registrlar. Operatsion registrlar saqlashdan tashqari, o'z holatini ma'lum tarzda o'zgartirish xossasiga ega. Masalan, komanda hisoblagichi, stek ko'rsatkichi va boshqalar kabi operatsion registrlar xotiraga murojaat qilgandan keyin o'z holatini bittaga o'zgartiradi.

Komanda hisoblagichi (KH). Bu registr dastur saqlanayotgan xotira yacheykalariga murojaatni tashkil qilish uchun xizmat qiladi. Har bir komanda bajarish siklining so'nggida hisoblagich dasturning keyingi

komandasi saqlanayotgan xotira yacheykasi adresini ko'rsatadi. Odatda, xotiradagi komandalar ketma-ket yacheykalarga yoziladi, bu holda joriy komandani bajarib bo'lgan hisoblagich holati bittaga ortadi va avtomatik ravishda keyingi komanda adresi ko'rsatiladi.

Stek ko'rsatgichi (SK). Bunday registr xotira magazinli yoki stekli tashkil etilgan MP modellarida mavjud bo'ladi. Stek xotiraga murojaat qilmasdan, turli arifmetik harakatlarni ketma-ket tartibda bajarilishini ta'minlaydi. Bu holat ko'p masalalarni yechishda qulay hisoblanadi.

Protsessor tuzilmalari yetarlicha turlichadir. Lekin ularning ko'p qismini uch turga kiritish mumkin:

- akkumulyatorli;
- umumiy maqsadlarga mo'ljallangan registrli;
- xotiraning stek tashkil etilishili.

Akkumulyatorli protsessorlar kam sonli registrlardan tashkil topadi: komandalar hisoblagichi, komandalar registri, adreslar registri, holatlar registri, akkumulyator va ikki buferli registr, ulardan biri ma'lumotlar registri deb ataladi. Barcha arifmetik va mantiqiy amallar hamda ma'lumotlar uzatish bo'yicha amallar akkumulyatorni qo'llagan holda bajariladi, ularning nomi ham shundan kelib chiqadi.

Protsessor samaradorligini oshirish maqsadida undagi registrlar soni oshiriladi: indeks registrlari, stek ko'rsatgichlari, qo'shimcha akkumulyatorlar kiritiladi. Lekin bu registrlarning hammasi faqat bitta amal bajarishga mo'ljallangan bo'lib, har bir amal uchun ikkitadan ortiq bo'lmagan akkumulyatorlar ishlatiladi. Bunday protsessor akkumulyatorli protsessorga kiradi.

Umumiy maqsadlarga mo'ljallangan registrli protsessorlarda ko'pchilik registrlar universal bo'lib, akkumulyatorlar, indeks registrlari, stek ko'rsatgichlari va shu kabi amallarni bajarishi mumkin. Bunday registrlar umumiy maqsadlarga mo'ljallangan registrlar (UMR) deb ataladi.

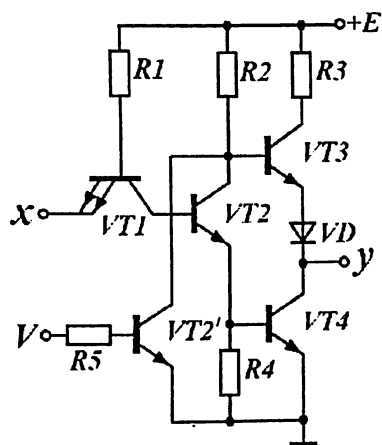
Stekli tashkil etilgan protsessorlar akkumulyator va UMRlarga ega emas. Eng sodda bunday protsessor dasturiy-murojaat registrlariga ega bo'lib, ular stek cho'qqisi (stek ko'rsatgichi) va navbatdagi dastur komandasini (komanda hisoblagichi) adreslarini, hamda protsessorning alohida qurilmalarining holatlari haqidagi ma'lumotlarni ko'rsatadi.

Yordamchi registrlar. Ular buferlash, qisqa muddatga saqlash va shu kabi yordamchi amallarni bajarishga mo'ljallangan.

Bufer registri. Bufer registri ma'lumot va komandalar, ma'lumotlarning tashqi shinasi va magistral tashkil etilgan MP-tizim komandalarini protsessor ichida mantiqan va elektr jihatdan ajratish uchun mo'ljallangan. Buferli sxemalarning tuzilish prinsipi buferli TTM kuchaytirgi misolida 8.4-rasmda keltirilgan. Murakkab invertorli TTMLarda bir nechta sxemalar chiqishlarini birlashtirishning mumkin emasligini eslatib o'tamiz.

Agar bunday birlashtirish amalga oshirilsa, u holda elementlardan birining U chiqishi past potensial U^0 ga, keyingisi esa yuqori potensial U^1 ga ega bo'lsa, ketma-ket ulangan bir sxemaning VT4 tranzistori va boshqa sxemaning VT3 tranzistori orqali katta sizilish toki oqib o'tadi. Bu tok qiymati $R3=100$ Omli rezistor bilan cheklangan. Bu vaqtda iste'mol qilinayotgan quvvat ortadi va sxema ishdan chiqishi mumkin. Chunki IMSdagi tranzistorlar uzoq vaqt katta toklar oqib o'tishiga mo'ljallanmagan.

Lekin bir nechta tugunlari va bloklari umumiy magistralga ishlaydigan raqamli qurilmalarda, chiqishlarning bunday ulanishi zarur hisoblanadi. Bu holda sxema V kirishga ega bo'lgan VT2' tranzistor bilan to'ldiriladi. Bunday sxema uchta holatli sxema deb ataladi. Agar V kirishga nol signal berilsa, kuchaytirgich X kirish o'zgaruvchisini Y chiqishga inverslab uzatadi. $V=1$ bo'lganda VT2 tranzistorga parallel ulangan VT2' tranzistor K nuqtada nolga yaqin potensial shakllantiradi. Natijada chiqishdagi VT3 va VT4 tranzistorlar berk rejimda bo'ladi. Y chiqishga «0 ham emas, 1 ham emas» holati uzatiladi.



8.4-rasm. Chiqishdagi signal uchta holatga ega bo'lishi mumkin bo'lgan magistral TTM kuchaytirgichi prinsipial sxemasi.

✓ boshqaruv signali berilganda sxemaning yuklamadan uzilish xossasi chiqishlarga umumiy liniya orqali ko'p signal manbalarini magistral bog'lashda qo'llaniladi.

8.3. Mikroprotsessorli tizimlar, ularning arxitekturası, asosiy tugunlari va bloklari

Mikroprotsessorli tizim (MP-tizim) deb, odatda mikroprotsessorli vositalar asosida tuzilgan ma'lumotli yoki boshqaruv tizimiga aytiladi.

Mikroprotsessorli vositalar – boshqaruv signallariga bog'liq ravishda turli amallarni bajaruvchi, cheklangan nomenklaturaga ega bo'lgan KISlar majmuasidir. Mikroprotsessorli vositalar turkumiga kiruvchi barcha KISlarni, bu esa MP, operativ va doimiy xotira, kirish-chiqishni boshqarish mikrosxemalari, takt signallari generatori va boshqalarni kuchlanish manbayi qiymati, signallar va ma'lumotni ifodalash turlari bo'yicha muvofiqlashtirish mumkin. Mikroprotsessorli vositalar majmuyiga ega bo'lib, turli murakkablikdagi raqamli apparaturlarni tuzish mumkin.

Ularni apparaturaga o'rnatish, xizmat ko'rsatish va dasturlash hozirgi kunda malakaga ega bo'lmagan, ya'ni mazkur dasrlikni o'rganayotganlar zimmasiga yuklatilishi mumkin. Shuning uchun, sizlar hozirgi yoki kelajakdagi faoliyatingizdan kelib chiqqan holda, shunday texnik qurilmalarni yaratish bilan shug'ullanishingiz mumkin.

Mikroprotsessorli vositalarning **mantiqiy tashkil etilishi** yoki **arxitekturası**: a) universal qo'llanishga; b) yuqori samaradorlikka; d) texnologiklikka erishishga yo'naltirilgan bo'lishi kerak.

Mikroprotsessorli vositalarning **universalligi** ularning turlicha qo'llanilishi imkoni bilan va MPni dasturiy boshqarish, tuzilishining magistral-modulli prinsipi hamda maxsus apparatli-mantiqiy vositalar:

- o'ta operativ registrli xotira;
- ko'p bosqichli uzilish tizimi;
- xotiraga to'g'ridan-to'g'ri murojaat;
- kirish-chiqish boshqaruvini dasturiy-sozlash sxemalari va boshqalar bilan aniqlanadi.

MPning nisbatan yuqori samaradorligiga ularni tuzishda tezkorligi yuqori bo'lgan KIS va O'KISlarni qo'llash va

- stekli xotira;
- adreslashning turlicha usullari;
- komandalarning egiluvchan tizimi va ularning formatlari;
- adreslanuvchi xotiraning razryadligi va hajmi;
- registrlar tuzilmasi va ularning funksiyasi hamda boshqa maxsus arxitektura yechimlari hisobiga erishiladi.

Mikroprotssessorli vositalarning **texnologikligiga** raqamli tizimlarni **modul prinsipida konstruksiyalash** hisobiga erishiladi. Bunda, birinchidan, ixtiyoriy amalni bajarishga mo'ljallangan raqamli tizim mos KISlar majmuasi bo'lib, unda barcha qurilmalar umumiy magistral (umumiy shina) orqali ma'lumot almashadilar.

Ikkinchidan, tizimning magistral tuzilish prinsipi alohida qurilmalarni yanada yangisiga almashtirish yo'li bilan modernizatsiyalashga imkon beradi.

Uchinchidan, tizimning magistral tuzilish prinsipida uning «intel-
lektual» imkoniyatlarini oshirish mumkin. Buning uchun tizimga qo'shimcha qurilmalar ulanadi. Shuning uchun tizim qurilmalari bir turli konstruksiya va magistralga ulanish uchun standart vositalar (interfeyslar)ga ega bo'lgan alohida modullar ko'rinishida ishlab chiqariladi.

MP-tizimlarning texnologik rivojlanishi quyidagi yo'nalishlarda ro'y beradi:

1. Integratsiya darajasini oshirish yoki kristalldagi sxema elementlari sonini oshirish. Mutaxassislarning bashoratlariga ko'ra, 2013-yilda chipda (kristallda) 2700 MGz chastotada ishlaydigan 1,4 mlrd. tranzistorni joylashtirish mumkin bo'ladi.

2. Qayta ishlanayotgan ma'lumotlarning razryadligini oshirish: birinchi MPlarda – 4, Itaniumda – 64.

3. BT va MDYA-tranzistorlarni birgalikda qo'llaydigan IMSlarni tuzish texnologiyasidan foydalanish. KMDYA-tuzilmalar BTga nisbatan kichik quvvat iste'moliga va o'lchamlarga ega. Natijada yuqori qayta ishlash tezligini saqlab qolgan holda, joylashtirish zichligini oshirish mumkin.

Mikroprotsessorlar arxitekturasini. MP-tizimni uchta ketma-ket murakkablashib boradigan detallash darajalari ko'rinishida ifodalash mumkin:

1) apparat vositalari — elektron sxemalar bo'lib, ular yordamida alohida qurilmalar tuziladi (avvalgi boblarda o'rganib chiqildi);

2) arxitektura -- tarkib, xarakteristikalar, qurilmalarning bog'lanishi, komandalar ro'yxati va ularning formatlari, adreslash usullari, adreslanuvchi xotira razryadligi va hajmi; registrlar tuzilmasi va ularning funksiyalari va boshqalar.

3) MPning dasturiy ta'minoti.

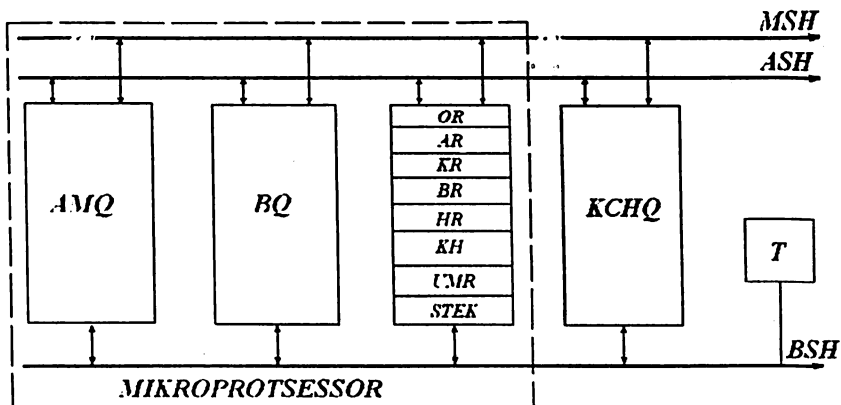
MP arxitekturasini ko'rib chiqishga o'tamiz. Yuqorida aytib o'tilganidek, MPlar shartli ravishda uch guruhga bo'linadi: akkumulyatorli, UMRli, stekli tashkil etilgan. Real mikroEHM protsessorlari tuzilmasini aytib o'tilgan turlarning biriga aniq kiritish mumkin emas. Masalan, sanoatda ishlab chiqariladigan KP1810BM86 MP biror amallarni bajarishda (ko'paytirish va bo'lish) akkumulyatorli protsessorlarga, boshqa amallarni bajarishda esa UMRlarga tegishli bo'lishi mumkin. Lekin sinflanish turli protsessorlar arxitekturasini, demak, ularning ish samaradorligini baholashni tushunishga yordam beradi.

Kombinatsion turli MPli MP-tizim arxitekturasini 8.5-rasmda keltirilgan.

MP quyidagi tugun va bloklardan tashkil topgan:

1. **Arifmetik-mantiqiy qurilma (AMQ).** Bu qurilma bevosita ikkilik kodida ifodalangan sonlar va adreslar ustidan arifmetik va mantiqiy amallarni bajaradi. Odatda, siljituvchili registrli AMQlar qo'llaniladi.

2. **Boshqaruv qurilmasi (BQ).** BQ AMQ va MP-tizimning boshqa bloklari ishini boshqaradi. U ketma-ketli qurilma bo'lib, mantiqiy elementlar (apparat tashkil qilinish) yoki DXQ, DMMLar (mikrodasturiy tashkil qilinish)da bajariladi. BQ xotira blokidan kelayotgan komandalar asosida ishlaydi. Bu yerda komandalar mazkur komandaning bajarilishini boshqarish uchun ikkilik signallariga aylantiriladi. BQ va butun MP-tizim ishi sinxronizatsiya va dastlabki o'rnatilish (taymer) sxemalari signallari ta'sirida sodir bo'ladi. Taymer (T) ko'p hollarda alohida kristall ko'rinishida bajariladi. U komandalarning bajarilish jarayonini vaqt bo'yicha taqsimlaydi.



8.5-rasm. MP-tizim tuzilmasi.

Biror amalni bajarishga mo'ljallangan komandalar – buyruqlar 8, 16, 24 razryadli va undan yuqori (64 tagacha) bo'lgan ikkilik so'zlardan iborat bo'ladi. Ularning bir qismi amal kodi bo'lib, qolganlari xotirada ma'lumotlar adreolari o'rtasida taqsimlanadi.

3. **Registrlar bloki (R).** Joriy ma'lumotni o'ta operativ saqlash uchun xizmat qiladi. Bajaradigan amaliga ko'ra, bloklar quyidagi registrlarga ega:

a) **OR va AR registrlari** amalni bajarish jarayonida AMQda ikkita ikkilik son (operand)larni saqlaydi. Amal bajarib bo'lingach, akkumulyator registri ARda son natija bilan almashtiriladi. So'ngra operand registri OR holati, keyingi amal bajariladigan boshqa operand bilan almashtiriladi. Agar akkumulyator holatini saqlab qolish talab etilsa, u holda maxsus komanda beriladi.

b) **Komandalar registri (KR)** mashina tomonidan bevosita bajarilayotgan komandani saqlash uchun ishlatiladi. Komanda kodi KRdan BQga uzatiladi va deshifratsiyalanadi. So'ngra komandani ishlatish bo'yicha amallar bajariladi.

c) **Bayroq registri (BR)** yoki o'tkazish registri akkumulyatorning davomi bo'lib, u to'lib qolgan hollarda ishlatiladi.

d) **Holatlar registri (HR).** Keyingi takt davomida BQ tomonidan beriladigan komandani tanlash MPning masalani yechish jarayonida yuzaga keladigan sharoitlarni alternativ hal qilish qobiliyatiga bog'liq.

Bunday shartlarni aniqlash uchun qurilmaning ikkirazryadli jo'riy holat registri (HR) xizmat qiladi. Bu registr dasturning bajarilish davomida har vaqt momentida MP holatini qayd etadi va BQga signal uzatadi. Bu signalda komanda hisoblagichi deb ataluvchi maxsus registrda joylashgan keyingi komanda adresi ko'rsatiladi.

e) **Komanda hisoblagichi (KH).** U dasturlar joylashgan xotira yacheykalariga murojaatni tashkil qilish uchun xizmat qiladi. Ba'zi hollarda KH tarkibi dastur yordamida o'zgartirilishi mumkin. Shunday qilib, dasturning boshqa qismini boshqarish amalga oshiriladi.

f) **Umumiy maqsadlarga mo'ljallangan registrlar (UMR).** UMRlar sxemotexnikasi ularni oraliq natijalar, adres va komandalarni saqlashda qo'llashga imkon beradi. UMRlarni o'zi esa umumiy shina orqali boshqa ishchi registrlar bilan bog'lanishi mumkin. UMRli MP arxitekturasida odatda 8 tadan 16 tagacha registrlar qo'llaniladi. Ularning har biri akkumulyator funksiyasini bajarishi mumkin. UMRlar sonining ortishi hisoblash tizimining samaradorligini oshiradi, lekin agar dastur uzilib qolsa, vaqt yo'qotilishiga olib keladi.

j) **Stekli tashkil etilgan registrlar (steklar).** Ularda sinxrosignal berilganda yozilgan sonlarni chap yoki o'ngga siljituvchi reversiv registrlar qo'llaniladi. Yuklash rejimida registrlar birinchi razryadga kirishga berilgan sonni qabul qiladi, so'ngra uni ketma-ket bir razryadga o'ngga siljitadi. Stek chiqarib yuborish rejimida kiritilgan son chapga siljiriladi va ketma-ket stekdan chiqarib yuboriladi. Natijada, stekka oxirgi bo'lib qabul qilingan son undan birinchi bo'lib chiqarib yuboriladi. Shuning uchun stek xotiraga murojaat qilmasdan to'g'ri ketma-ketlikda arifmetik amallarni tashkil etish imkonini beradi. Bu holat turli masalalarni yechishni soddalashtiradi. Lekin stekni apparatli tashkil etishni doim ham imkoni mavjud emas va shuning uchun mikroEHMLarda stek modellashtiriladi. Bu vaqtda stek sifatida adres xotirasining bir qismi ishlatiladi, natijada apparatura iqtisodlanadi.

AMQ, BQ va R bloklari markaziy MPni hosil qiladi (8.5-rasmda uzoq-uzoq chiziqlar bilan ajratilgan). AMQ ko'p razryadli so'zlar ustidan ko'p sonli arifmetik va mantiqiy amallarni bajaradi. Natija UMRga kiritiladi. Bundan tashqari, bir UMRdan keyingisiga ma'lumotlar uzatiladi, UMR holati siljiriladi, registrdan AMQ registriga

uzatiladi va h.k. Ko‘rinib turibdiki, bu va boshqa amallarni bajarish uchun vaqt bo‘yicha aniq taktlangan signallar berilishi kerak.

Amalni bajarish MP-tizim ishining bir yoki bir nechta siklini egallaydi. **Mashina sikli** deganda, MPning XQ (OXQ va DXQ) yoki tashqi qurilmalarga ikki marotaba murojaat etish orasidagi vaqt tushuniladi. Har mashina sikli odatda $n_t=3...5$ taktlarni tashkil etadi. Siklning davomiyligi $t_s = n_t T_s$ ga teng. Bu yerda $T_s = 1/f_s$ – davr, f_s – sinxronizatsiya chastotasi. **Takt** deb ataluvchi **sinxronizatsiya chastotasi** KIS elementlarining maksimal va cheklangan qayta ulanishdagi kechikishi bilan belgilanadi. Yuqorida aytib o‘tilganidek, 2013-yilga kelib $f_s=2700$ MGs ga yetadi.

MP tarkibida kirish-chiqishni boshqaruvchi sxemalar (KCHB) bo‘lishi mumkin. Ular MP va periferiya qurilmalari o‘rtasida ma’lumot almashishni amalga oshiradilar.

Ular asosida tuzilgan MP va mikroEHMlar inson faoliyatining barcha sohalarida qo‘llaniladi. Buning uchun mikroEHM tashqi muhit bilan periferiya qurilmalari orqali bog‘langan bo‘lishi kerak. Bunday qurilmalarni uch guruhga bo‘lish mumkin:

- **inson-mikroEHM o‘rtasida aloqa uchun qurilmalar** (klaviatura, indikatorlar, displeylar, grafoquruvchilar, o‘quvchi avtomatlar va h.k.);

- **boshqaruv obyektlari o‘rtasida aloqa uchun qurilmalar** (turli datchiklar va ijro organlari, hamda datchiklardan olinadigan uzluksiz signallarni raqamli signallarga aylantiruvchi va aksincha amalni bajaruvchi qurilmalar);

- katta hajmga ega bo‘lgan **tashqi xotira qurilmalari**.

MPning alohida bloklari ma’lum chiqishlarga ega bo‘lgan qobiqlarga joylashtirilgan bitta yoki bir nechta KIS yoki O‘KISlar ko‘rinishida bajariladi. MP ishlashi uchun uch turdagi signallar – ma’lumot, adres va boshqaruv signallari ishlatiladi. Ular bitta, ikkita va uchta shinalar orqali uzatilishi mumkin. Shina registr bitini uzatish uchun mo‘ljallangan parallel simlardan tashkil topgan. Ikkita 8 bitli registrlar o‘zaro 8 ta simdan tashkil topgan shina orqali ulanadi. Bunday shina kengligi 8 ga teng bo‘lgan shina deb ataladi. Haqiqatda esa shina bir nechta qo‘shimcha simlarga ham ega bo‘lib, ular sinxronizatsiya va boshqaruv signallarini uzatishda qo‘llaniladi.

Signallarni uzatish KIS chiqishlari yoki bosma plata kontak chiqishlari orqali amalga oshiriladi. KIS ko'rinishidagi protsessorga 75 dan ortiq chiqish talab etiladi, uning bosma platasini tayyorlashda esa ikkita 40 tali yoki 48 tali chiqishlar talab etiladi. KIS yoki bosma plataning bunday sondagi chiqishlari ularning geometrik o'lchamlari, og'irligi va narxining ortishiga olib keladi. KIS chiqishlari sonini kamaytirish uchun ikki yo'nalishli shinalar qo'llaniladi. Buning uchun maxsus sxemalar bir vaqt momentida ma'lumotni shinadan bir yo'nalishda, boshqa vaqt momentida esa teskari yo'nalishda uzatadilar.

MPlar uchun uch shinali tuzilma xos bo'lib, u adres shinasi, ikki yo'nalishli ma'lumotlar shinasi va boshqaruv shinasidan tashkil topgan. MP KISlar chiqishlarini yanada qisqartirish uchun adres va ma'lumotlar shinasini birlashtirish mumkin. Bunda multipleksiyalovchi shina hosil bo'ladi. Undan bir vaqt momentlarida adres, boshqa vaqt momentlarida esa ma'lumotlar uzatiladi.

8.4. Interfeys qurilmalar

Turli amallarni bajaradigan zamonaviy raqamli apparatura MPM tarkibiga kiruvchi KISlar yordamida tuziladi. RFda ishlab chiqariladigan MPMLarning asosiy parametrlari 8.1-jadvalda keltirilgan. U yoki bu MPM turini qo'llab, maxsus hisoblash tizimlari, avtomatika-ning raqamli qurilmalari, raqamli aloqa tizimlari, raqamli-o'lchov majmualari tuziladi.

Hisoblash tizimlari (mikro-, miniEHM) yuqori samaradorlikka ega universal va maxsus EHMlar) katta massivdagi ma'lumotlarni katta tezlikda qayta ishlaydi.

Avtomatikaning raqamli qurilmalari turli qurilmalar, mashinalar, mexanizmlar, texnologik jarayonlarni boshqaradi.

Raqamli aloqa tizimlari xizmat ko'rsatishning turli rejimlarida ma'lumot almashinuvini ta'minlaydi.

Ma'lumot-o'lchov komplekslarining raqamli tizimlari turli ma'lumotlar (ma'lumotnoma, tajriba-tadqiqot natijalari, loyiha hujjatlari, o'quv dasturlari, xizmat xatlari, maqolalar va h.k.)ni to'plash, o'zgartirish va saqlashni amalga oshiradi.

MPK belgisi	Negiz texnologiya	Seriyadagi ISlar soni	Razryad-ligi, bit	Tezkorligi, mks
K536	p-MDYA	12	6	10...30
K580, KP580	n-MDYA	17	8	0,5; 0,4
K581, KP581	n-MDYA	5,8	8	0,4
KP 582	I ² M	5	4	1,75
K 583	I ² M	12	8	1,0
K 584, KP 584	I ² M	4	4	2,0
K 586	n-MDYA	4	16	0,5...1,2
K 587, KP 587	KMDYA	4	4	2,0
K 588, KP 588	KMDYA	19	16	1,2
K 589	TTMSH	10	2	0,1
1604	KMDYA/KNS	6	4	0,6
K 1800	EBM	9	4	0,03
K 1801	n-MDYA	5	16	0,2
KP 1802	TTMSH	13	8	0,15
KP 1803	p-MDYA	4	4	33
K 1804	TTMSH	18	4	0,1
KB 1805	KMDYA/KNS	9	4	0,6
KP 1808	I ² M	9	8	30
1809	EBM	7	16	0,03
K 1810	n-MDYA	3	16	0,4
KP 1811	p-MDYA	5	8	0,2
1814	p-MDYA	4	4	3,0
1815	I ² M	7	16	0,12
U-83-K183	n-MDYA	4	8	1,4

U yoki bu MPMdan foydalangan holda tuzilgan maxsus ma'lumot yoki boshqaruv tizimi **mikroprotsessorli tizim** (MP-tizim) deb ataladi.

MP-tizimning vazifasiga bog'liq bo'lmagan holda, uni tizimning markaziy qismi — yadro va tashqi muhit bilan aloqa qilish uchun kerak bo'ladigan qurilmalar majmuyi deb qarash mumkin. Tizim

yadrosi MP. (ma'lumotlarni qayta ishlash qurilmasi) va OXQni o'z ichiga oladi. Tizim yadrosining tashqi muhit bilan bevosita aloqasi periferiya qurilmalari (PQ) orqali amalga oshiriladi. MP-tizim yadrosi va PQlar o'rtasida ma'lumot almashinishini tashkil etish ma'lumot **kirish-chiqish tizimiga (KCHT)** yuklatiladi.

Ma'lumotlarni turli shakllarda tasvirlash turli PQlarni ishlab chiqarishga olib keldi. Bunda juda kam hollarda PQni loyihalashtirishda ma'lum MPMga ulanish mo'ljalga olinadi. Bu PQ nomenklaturasi va ular bajaradigan amallarning sifatiga bog'liq. Lekin MPM turlari tez yangilanib bormoqda. Ikki tashkil etuvchilarning rivojlanishi bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda amalga oshmoqda, chunki PQlarning MP-tizim bilan bog'lanishi uchun maxsus boshqaruvchi qurilmalar – kontrollerlar qo'llaniladi. U holda yangi PQlarni ulash uchun faqat yangi kontroller ishlab chiqish va tayyorlash talab etiladi. Ko'rinib turibdiki, har bir PQ uchun maxsus kontrollerlar ishlab chiqish MPM va PQ loyihachilarini ham, foydalanuvchilarni ham qoniqtirmas edi. Shuning uchun kontroller va PQlar o'rtasida almashinuvchi **ma'lumot va boshqaruv signallari majmuyini standartlashtirish** istiqbolli yechim hisoblanadi. Natijada hozirgi kunda to'rt turdagi kontrollerlar ishlab chiqarilmoqdi:

- standart parallel ma'lumot uzatish kanali orqali MPning PQ bilan aloqasi;

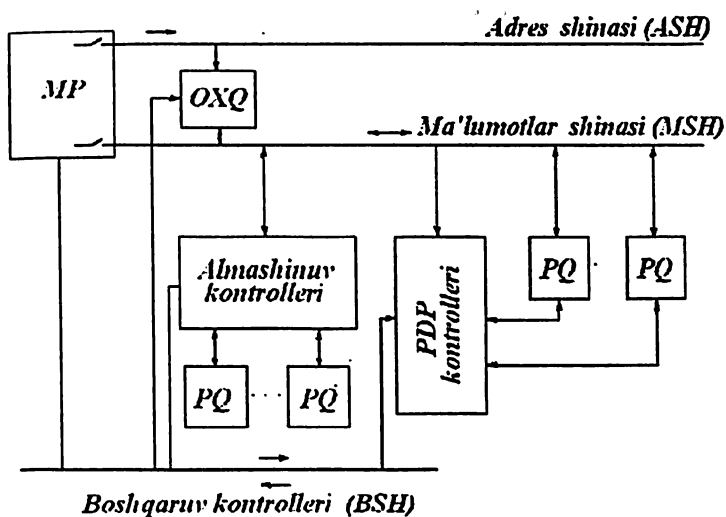
- standart ketma-ketli ma'lumot uzatish kanali orqali MPning PQ bilan aloqasi;

- berilgan aniqlikda analog shakldagi ma'lumotni raqamliga o'zgartirish;

- analog kattaliklarning berilgan o'zgarish diapazonida diskret shakldagi ma'lumotlarni analog ko'rinishga o'zgartirish.

Yuqoridagilarni hisobga olgan holda, MP-tizimning boshqaruvchi tuzilmasi 8.6-rasmda keltirilgan. Biror obyektни real vaqt masshtabida boshqarishga mo'ljallangan mikroEHMLar xuddi shunday tuzilmaga ega.

8.6-rasmda keltirilgan tuzilma **magistral-modulli tuzilmaga** ega bo'lgan ko'pgina mikroelektron raqamli tizimlar tuzilmasiga mos keladi. Bunday tuzilmada tizim tarkibiga kiruvchi alohida qurilmalar



8.6-rasm. Mikroprotessorli tizim.

umumiy magistral (kollektiv shina) orqali ma'lumot almashinadi. Magistral odatda bir necha o'nta aloqa liniyalari (o'tkazgichlar)dan tashkil topgan bo'lib, ular orqali qayta ishlanayotgan berilganlar va natijalar, komandalar, tashqi qurilma adreslari, maxsus boshqaruv signallari va shu kabilar uzatiladi.

Odatda, umumiy magistral tarkibidan maxsus turdagi ma'lumotlarni uzatish uchun alohida aloqa liniyalari — shinalar (magistrallar) ajratiladi. Ko'pincha ma'lumotlar, dasturiy-boshqaruv tizimlarida esa komandalar uzatiladigan **ma'lumotlar shinasini** (MSH), xotira yoki tashqi qurilmaning yacheyka adresi tanlanadigan **adres shinasini** (ASH) va protsessor, XQ va tashqi qurilmalar ish rejimlarini ta'minlovchi signallar almashinuvini amalga oshiruvchi **boshqaruv shinalari** (BSH) ajratiladi.

Har vaqt momentida faqat bitta qurilma ma'lumot olish va uzatish uchun magistralni egallashi mumkin. Qolgan qurilmalar bu vaqtda magistraldan uziladi yoki magistralni egallagan qurilmaga xizmat ko'rsatadi. Odatda, protsessor magistralni boshqaradi. Lekin ko'p hollarda ma'lum tashqi qurilmalar ham talab etilgan vaqt momentida magistralni egallashi mumkin. Bunda ular va raqamli tizim o'rtasida ma'lumot almashinadi.

MP-tizimning magistral-modulli tuzilish prinsipi ma'lum qurilmalarni almashtirib yoki qo'shimcha qurilmalar kiritib tizimni modernizatsiya qilish imkonini beradi. Masalan, qo'shimcha XQ modullarini kiritish xotira hajmini kengaytiradi, maxsus modullarni kiritish esa qo'shimcha amallarni bajarish imkonini beradi yoki ularning bajarilish tezligini oshiradi. Buning uchun tizim qurilmalari **bir turdagi konstruktsiya** va magistralga **ulanish uchun standart vositalarga** ega bo'lgan modullar ko'rinishida ishlab chiqariladi.

Modullarni muvofiqlashtirish **fizik interfeyslar** yordamida amalga oshiriladi. Fizik interfeyslar aloqalar, signallar va ma'lumot almashinish algoritmi tizimidir. Modullarning funksional, elektr va konstruktiv muvofiqlashtirish **interfeyslarni unifikatsiyalash** yordamida amalga oshiriladi. Bu maqsadda ma'lumot aloqalarini tashkil etishda qo'llaniladigan universal KISlar ishlab chiqariladi. Bu KISlar **interfeys elementlari** deyiladi.

Interfeys (ingl. *interface* – umumiy chegara) – hisoblash tizimlari qurilmalari o'rtasida aloqa almashinuvi uchun mo'ljallangan **unifikatsiyalangan signallar** va **apparaturalar** aloqa tizimidir.

Protsessorni xotira va PQ kontrollerlari bilan bog'lovchi zanjirlar majmuyi, signallarni bu zanjirlar orqali uzatish algoritmi, ularning parametrlari va bog'lovchi elementlar **tizim interfeysi** deyiladi.

Yuqorida aytib o'tilganidek, MP-tizim protsessoriga odatda turli tizimlar ulanadi. Bu PQlarning ko'pi (masalan, teletayp) MPMLardan avval yaratilgan. Bundan tashqari, PQlarga turli tezkorlik, turli boshqaruv signallari, turli elektr parametrlar xos. Ya'ni PQ interfeysi tizim interfeysi bilan muvofiq kelmaydi. Shuning uchun tizim interfeysini PQ interfeysi bilan muvofiqlashtirish uchun **PQ kontrollerlari** qo'llaniladi.

Muvofiqlashtiruvchi apparaturalarning soddalashuvi va unifikatsiyasi ma'lumotlarni parallel va ketma-ketli uzatuvchi oraliq standart interfeyslar kiritish orqali amalga oshiriladi. Bu holda MP-tizimga bunday standart interfeysli turli PQlarni ulash uchun bir xil parallel va ketma-ketli interfeys kontrollerlari qo'llaniladi. Bunday kontrollerlar (ba'zida ular **interfeys** yoki **adapter** deb ataladi) dasturlanuvchi KISlar ko'rinishida seriyali ishlab chiqariladi.

KISlarni ishlab chiqarishda quyidagilar inobatga olinadi:

- talab etilgan MP-tizim tezkorligini ta'minlash;
- aloqa liniyalarining uzunligi;
- narxni minimallashtirish;
- sxema va konstruktiv yechimlarning soddaligi;
- qurilmaning ish tezkorligidan qat'iy nazar ma'lumot almashinuv jarayonining soddaligi;
- tizimni kengaytirish va uni diagnostika qilishning soddaligi.

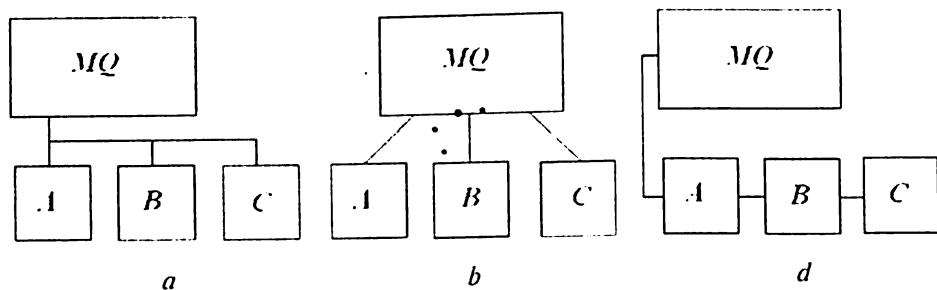
Quyida interfeyslarning sinflanishini ko'rib chiqamiz.

Funksional vazifasiga ko'ra, interfeyslarni quyidagi guruhlariga bo'lish mumkin: magistral interfeyslar; PQning tashqi interfeyslari; tizim interfeyslari (mahalliy tarmoq interfeyslari).

Ma'lumot almashinuvini yuqori tezlikda amalga oshirish uchun magistral interfeys sifatida MP-tizimlarda ma'lumotlarni parallel usulda uzatuvchi Microbus, Z-bus va boshqa interfeyslar kabi asinxron multipleksli interfeyslar qo'llaniladi. Ma'lumotlarni parallel usulda uzatuvchi ba'zi asinxron multipleksli interfeyslarning asosiy texnologik xarakteristikalarini 8.2-jadvalda keltirilgan.

8.2-jadval

Interfeys nomi	Texnik xarakteristikalar							
	Liniyalar soni				Ma'lumot uzatish tezligi, Kbod	Liniya uzunligi, m	Ulanuvchi abonentlar soni	Razryadligi
	Umumiy	Ma'lumot	Adres	Boshqaruvchi				
Microbus	37	8	16	13	10^3	Montaj platasi doirasida	10	8
Z-bus		8 birlashgan		9				8
Unibus	56	16	18	22	$(1 \div 2) 10^3$	15	30	16
Q-bus	43	16 birlashgan			800	15	15	32
Multibus	86	16	20	11	$(5 \div 10) 10^3$			16
Versabus	260	8,16,32	35		$20 \cdot 10^4$ gacha			32



8.7-rasm. PQLarning ulanish turlari.

Qurilmalarni bir-biriga ulanish turiga ko'ra: magistral (8.7, *a*-rasm), radial (8.7, *b*-rasm), zanjirli (8.7, *d*-rasm) va kombinatsiyali interfeyslarga bo'lish mumkin.

Magistral interfeyslarda barcha PQLar uchun kollektiv liniyalar ishlatiladi (vaqt bo'yicha ajratilgan).

Radial interfeyslarda har PQ uchun alohida individual liniyalar qo'llaniladi. Ular orqali faqat shu PQ va markaziy qurilma (MQ) ulanadi. Boshqaruv va kommutatsiya yuzasidan barcha amallar MQ zimmasiga yuklanadi. Shuning uchun MQ tarkibiga har bir PQ uchun maxsus interfeys bloklari kiradi. Bunday interfeys bloki ma'lumotlarni bufer registri, adres registri va PQLarning tayyorligini ko'rsatuvchi registrlardan tashkil topadi.

Zanjirli interfeyslarda ma'lumotlarni va adresni uzatish barcha PQLar orqali ketma-ket amalga oshiriladi. Bu esa adresatsiya jarayonini sekinlatadi.

Kombinatsiyali interfeyslar odatda barcha liniyalar uchun magistral tuzilmaga ega (barcha PQLardan ketma-ket o'tuvchi so'rov liniyasidan tashqari).

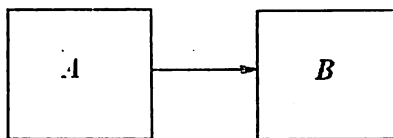
Ma'lumotni uzatish turiga ko'ra, interfeyslar parallel va ketma-ketli, asinxron va sinxron turlarga bo'linadi.

Parallel interfeyslarda ma'lumot ko'p simli liniya orqali uzatiladi. Bunday interfeysning tezkorligi apparaturani murakkablashtirish hisobiga erishiladi.

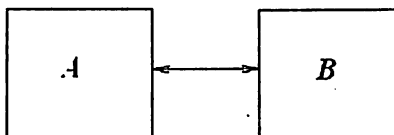
Ketma-ketli interfeysda ma'lumot ikki yo'nalishli liniyadan ketma-ket uzatiladi. Odatda, ketma-ketli interfeys uzoqda joylashgan PQLarni ulashda qo'llaniladi.

Interfeyslar o'zaro **ma'lumotlarni almashish rejimi** bo'yicha ham ajratiladi. Ma'lumot almashishning to'rtta rejimi mavjud.

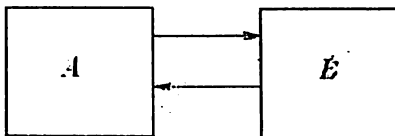
1) **Simpleks rejim:** *A* yoki *B* abonentlardan biri ixtiyoriy vaqt momentida ma'lumotni ikkinchisiga uzatishni boshlashi mumkin.



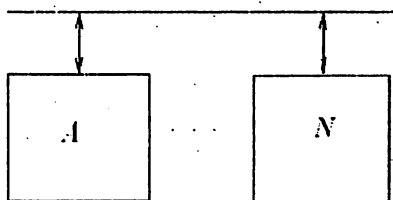
2) **Yarimdupleks rejim:** ixtiyoriy abonent, agar interfeysning aloqa liniyasi bo'sh bo'lsa, ma'lumotni ikkinchisiga uzatishni boshlashi mumkin.



3) **Dupleks rejim:** har bir abonent ixtiyoriy vaqt momentida ma'lumot uzatishni boshlashi mumkin.



4) **Multipleks rejim:** ixtiyoriy vaqt momentida ixtiyoriy juft abonentlar o'rtasida faqat bitta yagona yo'nalish bo'yicha aloqa o'rnatilishi mumkin.



Ma'lumot datchiklari o'rtasida aloqa o'rnatish uchun ijro organlari, uzoq masofada joylashgan protsessordan periferiya qurilmalari interfeyslari qo'llaniladi.

Keng tarqalgan periferiya qurilmalari interfeyslarining texnik xarakteristikalari 8.3-jadvalda keltirilgan.

Tashqi ketma-ketli ineterfeysni amalga oshirish uchun apparatura tarkibiga ma'lumot uzatish liniyasi (bir tomonlama o'tkazgich), o'ralgan juftlik, radiochastota kabeli, optik-tolali kabel; shuningdek, quyidagi asosiy funksiyalar: ma'lumot almashishni boshqarish; ma'lumot uzatish liniyasi bilan muvofiqlashtirishni amalga oshirish; ma'lumot

Interfeys nomi	Ma'lumotni uzatish tezligi, Kbod	Magistral uzunligi, m	Interfeys liniyalari soni	Ma'lumot almashish usuli	Almashish rejimi	Ulanadigan PQLar soni
IEEE 488-75	$8 \cdot 10^3$	20	16	parallel-ketma-ketli	yarimdupleksli	15
RS-232	20	15	1	ketma-ketli	simpleksli	1
RS-423	300	600	1	ketma-ketli	simpleksli	1
RS-422	10^4	1200	2	ketma-ketli	yarimdupleksli, simpleksli	1 (10)
Multipleksli ma'lumot kanali	125	100	2	ketma-ketli	yarimdupleksli, simpleksli multipleksli	31

uzatishni hamda aloqada ishtirok etuvchi qurilmalar holatini nazorat qilishni amalga oshirish, ya'ni o'z-o'zini nazorat qilishni amalga oshirishga mo'ljallangan qurilma kontrollerlari kiradi.

? Nazorat savollari

1. Mikroprotssessor deb nimaga aytiladi?
2. Arifmetik-mantiqiy qurilma (AMQ) tomonidan mantiqiy va arifmetik amallar qanday usullar bilan amalga oshirilishi mumkin?
3. Nima uchun AMQga qo'shimcha registrlar kiritiladi?
4. Mikroprotssessor tuzilmasini keltiring va har bir blok vazifasini tushuntiring.
5. Mikroprotssessor tomonidan bajariladigan qaysi amallar asosiy hisoblanadi?
6. Qanday raqamli qurilmalar mikroprotssessorli tizimlar deb ataladi?
7. Magistral-modulli MP-tizim tuzilmasini keltiring.

8. Aloqa liniyalarining alohida guruhlari (shinalari)dan ma'lumotlarning qanday turlari uzatiladi?
9. Oddiy MP-tizim protsessori va AMQdagi barcha registrlarning vazifasini tushuntiring.
10. MP-tizim arxitekturasini va tashkiliy tuzilmasini, uning asosiy tugunlari va bloklarini keltiring.
11. MP-tizim interfeysi deganda nima tushuniladi?
12. Abonentlar orasida ma'lumot almashish rejimi bo'yicha interfeyslar qanday sinflanadi?
13. Periferiya qurilmalari interfeyslari nima uchun qo'llaniladi?
14. Magistral interfeyslarning asosiy texnik xarakteristikalarini keltiring.

IX BOB. SXEMOTEXNIKANING ISTIQBOLLI YO'NALISHLARI

9.1. Yuzaga montaj qilish texnologiyasi uchun elementlar

Turli maqsadlarga xizmat qiluvchi zamonaviy elektron qurilmalarda yuzaga montaj qilish uchun **Surface Mounting Details (SMD)** texnologiyasi komponentlari qo'llaniladi.

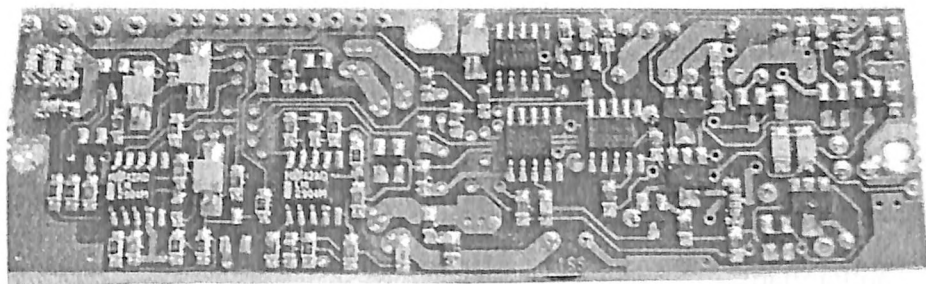
Bu texnologiya qator afzalliklarga ega bo'lib:

- mahsulotlarni avtomatik usulda yig'ish, yig'malarning yuqori sifatini va ishonchliligini;
- yuqori texnologiyalikni ta'minlaydi;
- yig'ish jarayoniga ketadigan vaqtni kamaytirish imkonini beradi.

SMD texnologiyasi tufayli bosma platalar o'lchamlari va mos ravishda ularni tayyorlash narxi 1,5–3 marta kamaydi. Bu SMD-komponentlar narxining pasayishi bilan mahsulot tannarxining arzonlashuviga olib keldi. Ishlab chiqaruvchilarda montajning boshqa usullari bilan o'rnatilishi murakkab bo'lgan ixtiyoriy kelishilgan o'lchamlardagi (eng kichik o'lchamlar bilan birgalikda kichik qadamlarni e'tiborga olgan holda) komponentlardan foydalanish imkoniyati paydo bo'ldi. Qutbli elementlarning noto'g'ri o'rnatilishi va yanglish nominaldagi komponentlar o'rnatilishi bilan bog'liq muammo mutlaqo yo'qoldi. Texnologik jarayonning moslashtiriluvchanligi va ishlab chiqarish liniyasini boshqa mahsulot ishlab chiqarishga qayta qurish tezligining kattaligi, hatto kam miqdordagi platalarni liniyalarda yig'ishni maqsadga muvofiq qildi.

SMD-komponentlar bosma platalar yo'lakchalariga to'g'ridan-to'g'ri kavsharlanadi (9.1-rasm).

Ko'p platalarada elementlarning pozitsiyalar bo'yicha belgilari mavjud. Belgilar harf va qurilma yoki funksional blok sxemada elementning shartli raqamini anglatuvchi bir necha raqamdan iborat



9.1-rasm. Yuzaga montaj qilish texnologiyasida tayyorlangan bosma plata.

bo'ladi. Q harfi bilan odatda analog tranzistorlar, D harfi bilan kalit tranzistorlar va diodlar, Z yoki ZD bilan stabilizatorlar, R bilan rezistorlar, C bilan kondensatorlar, L bilan induktivliklar belgilanadi (ilovada keltirilgan).

SMD-komponentlari o'lchamlari, ularning korpuslari standart markalar yozilishi uchun juda kichiklik qiladi. Shuning uchun bunday komponentlarni markalash uchun maxsus tizim mavjud: asbob korpusiga ikki yoki uch simvoldan iborat kod yoziladi (ilovada keltirilgan).

Tape Automated Bonding (TAB) texnologiyada kremniy kristallari chip oyoqchalarining ichki ulanishlarini takomillashtiruvchi polimer tasmaga o'rnatiladi. Chip oyoqchalarini ikkinchi sath yig'masiga (chuqur bosma plataga yoki boshqa asosga) ulash polimer tasmaning tashqi oyoqchalari yordamida amalga oshiriladi. TAB komponentlari tashqi oyoqchalarini asos bilan ulash uchun odatda kontakt kavsharlash, issiq gaz bilan kavsharlash yoki lazerli mikropayvand usullaridan foydalaniladi.

TAB texnologiya dunyoning juda chegaralangan sondagi yetakchi texnologik firmalari tomonidan to'liq o'zlashtirilgan.

Oxirgi yillarda **Ball Grid Array (BGA)** texnologiyasining barcha infrastrukturasi tez sur'atlar bilan rivojlandi va hozirda plastik, keramik, metall, shishakompozit, tasmali va boshqa hamda an'anaviy BGAni emas, ko'proq ochiq kristallarni eslatuvchi mikro-mBGA ma'lum.

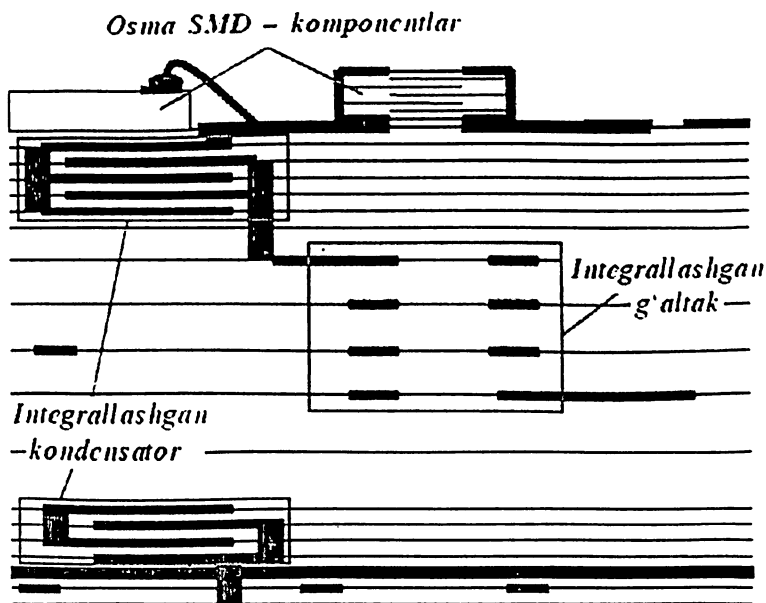
Hozirgi kunda bizga yaxshi tanish bo'lmagan **Chip-Scale Packages (CSP)** komponentlar o'zining rivojlanish davrini o'tmoqda. CSP

odatda o'lchami kristall o'lchamiga nisbatan 20% dan katta bo'lmagan komponent sifatida aniqlanadi. Bu komponentlar xotira qurilmalari (ayniqsa, flesh), boshqarish mikrosxemalari (analog-raqamli o'zgartgichlar, kirish-chiqish kanallari soni kam bo'lgan mantiqiy sxemalar va mikrokontrollerlar), raqamli ishlov berish sxemalari (masalan, signalga raqamli ishlov beruvchi protsessor (DSP)) hamda maxsus ishlarda qo'llaniluvchi mikrosxemalar (ASIC) va mikroprotsessorlarda qo'llaniladi.

9.2. Past temperaturali keramika texnologiyasi

Past temperaturali keramika texnologiyasi **Low Temperature Co-fired Ceramics** (LTCC) hozirgi kunda tez rivojlanmoqda va turli sohalarda foydalanish uchun, masalan, past va o'rta integratsiya darajasidagi yuqori va o'ta yuqori chastotalarda ishlovchi mikrosxemalarda qo'llanilmoqda. Nisbatan past chastotali sohada LTCC asosda GSM, CDMA, TDMA va Bluetooth uchun qurilmalar tayyorlanmoqda, millimetrlri to'liqin sohasida esa MMDS va LMDS keng tarqalmoqda. Ushbu texnologiya elektron sanoat sohasida elektron qurilmalarni tijorat va harbiy ehtiyojlar uchun ommaviy ishlab chiqarishda arzon yechimni ta'minlamoqda.

LTCC texnologiyasi asosida tayyorlangan an'anaviy modul mustahkamligini ta'minlash maqsadida pechda qotirib olinadigan ko'p qatlamli keramik material «butterbrod»ga o'xshaydi. Uning har bir qatlamida tok o'tkazuvchi «rasm» mavjud va presslashga to'liq tayyor ftoroplast yoki yuqori temperaturali keramika asosida tayyorlangan bosma platalardan farqli ravishda, LTCC texnologiyada topologiyani hosil qiluvchi va tok o'tkazuvchi siyoh xom keramika varaqlariga pishirish operatsiyasigacha yurgaziladi. Shundan so'ng qatlamlarda qatlamlararo elektr bog'lanishni va issiqlik olib ketilishini ta'minlovchi tok o'tkazuvchi pasta bilan to'ldiriluvchi darchalar ochiladi. Umumiy holda, har bir alohida qatlam LTCC asos stekida qaytarilmas qalinlikka va dielektrik xarakteristikalariga ega bo'lishi mumkinligi ishlab chiqaruvchilarga har bir qatlamda komponentni amalga oshirishning keng imkoniyatlarini ochadi. Boshqa so'z bilan aytganda, agar topolo-



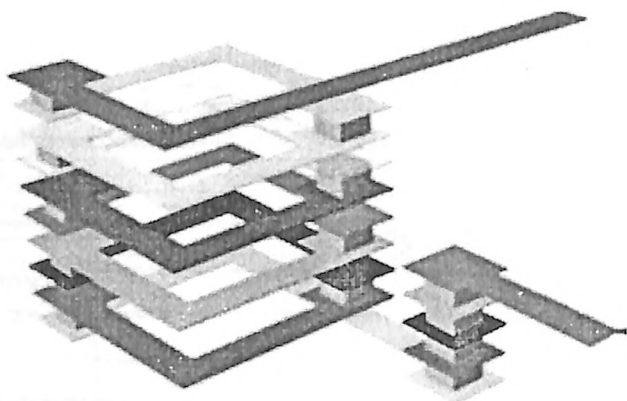
9.2-rasm. LTCC asos qatlamlari steyk namunasi.

giyaning qaysidir qismida o'ziga xos element yaratish zarur bo'lsa, prinsipial chegaralanishlar vujudga kelmaydi.

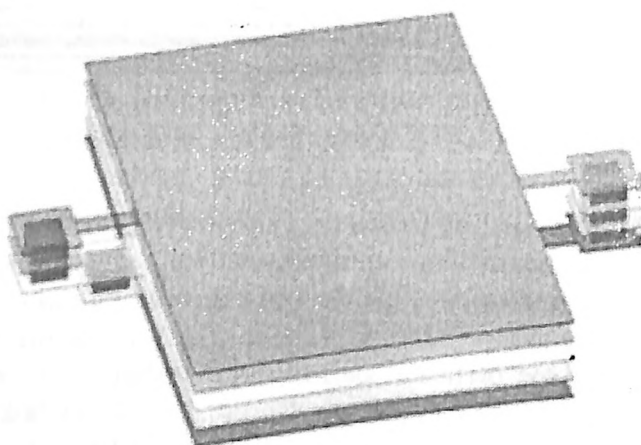
9.2-rasmida qatlamlar steki kesimi namuna sifatida ko'rsatilgan. Bu yerda yupqa qatlamlarda $Er = 20$ va ularning qalinligi 50 mkm ni tashkil etadi. Asos o'rtasida qalinligi 120 mkm va $Er = 8$ bo'lgan oltita qatlam mavjud. Kesimda spiralsimon g'altak, ikkita ko'p qatlamli kondensator hamda ikkita tashqi osma element ko'rsatilgan.

LTCC asoslar osma elementlari sifatida yuza bo'ylab montajga moslangan turli komponentlar bo'lishi mumkin, bu, o'z navbatida, montaj texnologiyalarining xilma-xilligini belgilaydi.

LTCC ko'p qatlamli platada osma komponentlar orasida bog'lanish hosil qilish bilan cheklanmaydi. Uning yordamida hosil qilingan rezistorlar, induktivlik g'altaklari, kondensatorlar va simmetriyalovchi qurilmalar bevosita asosga integratsiyalashgan bo'lishi mumkin, bu berilgan funktsionallikni ta'minlagan holda, diskret SMD-komponentlar sonini sezilarli kamaytirish imkoniyatini beradi.



9.3-rasm. Vertikal LTCC induktivlik g'altagi.



9.4-rasm. Ko'p qatlam plastinali kondensator.

9.3-rasmda keltirilgan vertikal induktivlik g'altagi hamda 9.4-rasmda keltirilgan ko'p qatlamli kondensatorlar qurilmalar o'lchamlarini va narxini kamaytirish imkoniyatini beradi.

Sxemotexnik elementlar modellari ikki sinfga bo'linadi: analitik va empirik. Umumiy holda har bir element ikkala model bilan aniqlanishi mumkin, qaysi modelni tanlash foydalanuvchi ixtiyoridadir.

9.3. Nanoelektronika asboblari

Mikroelektronika o'zining yarim asrlik tarixi davomida IMSlar elementlari o'lchamlarini kamaytirish yo'lida Mur qonuniga muvofiq rivojlanmoqda. 1999-yilda mikroelektronika texnologik ajratishning 100 nmli dovonini yengib, nanoelektronikaga aylandi. Hozirgi vaqtda 45 nmli texnologik jarayon keng tarqalgan. Bu jarayon optik litografiyaga asoslanadi.

Mikroelektron qurilmalar (IMSlar) yaratishning an'anaviy, planar jarayon kabi, usullari yaqin 10 yillik ichida iqtisodiy, texnologik va intellektual chegaraga kelib qolishi mumkin, bunda qurilmalar o'lchamlarini kamaytirish va ularning tuzilish murakkabligining oshishi bilan xarajatlarning eksponensial oshishi kuzatiladi. Muammoni nanotexnologiyalar usullarini qo'llagan holda yangi sifat darajasida yechishga to'g'ri kelinadi.

MDYA-tranzistorlarda zatvorosti dielektrigi sifatida an'anaviy ravishda SiO_2 ishlatiladi, 45 nm o'lchamli texnologiyaga o'tilganda dielektrik qalinligi 1 nm dan kichik bo'ladi. Bunda zatvor osti orqali sizilish toki ortadi. Kristallning 1 sm^2 yuzasida energiya ajralish 1 kVtga yetadi. Yupqa dielektrik orqali tok oqish muammosi SiO_2 ni dielektrik singdiruvchanlik koeffitsiyenti ϵ katta bo'lgan boshqa dielektrlarga, masalan, $\epsilon \sim 20 \div 25$ bo'lgan gafniy yoki sirkoniy oksidlariga almashtirish yo'li bilan hal etiladi.

Kelgusida, tranzistor kanali uzunligi 5 nm gacha kamaytirilganda, tranzistordagi kvant hodisalar uning xarakteristikalariga katta ta'sir ko'rsata boshlaydi va xususan, stok-istok orasidagi tunnellashuv toki 1 sm^2 yuzada ajraladigan energiyani 1 kVt ga yetkazadi.

Planar texnologiyaning zamonaviy protsessorlar, xotira qurilmalari va boshqa raqamli IMSlar hosil qilishdagi yutuqlari o'lchamlari 90 nm, 45 nm va hatto 28 nm ni tashkil etuvchi IMSlar ishchi elementlarini hosil qilish imkonini yaratganligi bugungi kunda ko'pchilik tadqiqotchilar tomonidan nanotexnologiyalarning qo'llanilishi natijasidek qaralmoqdaligini aytib o'tamiz. Bu mavjud ISO/TK 229 nuqtayi nazaridan to'g'ri. Lekin planar jarayon birinchi IMSlar paydo bo'lishi bilan, o'tgan asrning 60-yillarida hech qanday nanotexnologiyalar

mavjud bo'lmagan vaqtda paydo bo'ldi va shundan beri prinsipial o'zgargani yo'q.

Elektron qurilmalar 1958-yilda mikroelektron integral – IMSlar ko'rinishida yaratilgandan boshlab mikroelektronika davri boshlandi. Bunda «mikro» qo'shimchasi tranzistorlar o'lchamlari sezilarli darajada kichiklashganini anglatar edi. Aslida esa, IMSlar mikroolam obyektlari – atom va molekulalarga nisbatan «makro-asbob»ligicha qolaverdi.

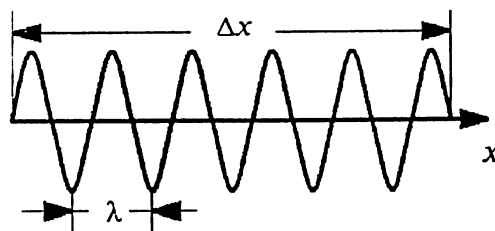
Mikrosxemalar ikkita afzallikka: narxining arzonligi va yuqori tezkorlikka ega edi. Ikkala afzallik ham miniaturizatsiya (o'lchamlarni kichiklashtirish)ning natijasi edi. Mikroelektronikaning keyingi rivoji tranzistorlar o'lchamlarini uzluksiz kichiklashuvi bilan bog'liq bo'ldi.

1999-yildan boshlab fazoviy koordinatalarning biri bo'ylab tranzistorning o'lchami bir necha o'n nmga ($1\text{ nm}=10^{-9}\text{ m}$) kamaydi, ya'ni mikroelektronika o'rniga nanoelektronika keldi. Ta'riflarning bittasiga muvofiq **nanoelektronika** o'lchamlari $0,1\div 100\text{ nm}$ gacha bo'lgan yarimo'tkazgich tuzilmalar elektronikasidir.

Mikro va nanoelektronika asboblari axborot signallar va energiyani o'zgartirish jarayonlari elektronlar harakati hisobiga yoki ularning bevosita qatnashishi hisobiga amalga oshadi. Ma'lumki, elektronlar va boshqa mikrozarra-halar harakati nazariyasi bo'lib kvant mexanikasi xizmat qiladi. Kvant mexanikasi qonunlariga muvofiq, elektron zarra-ha bo'la turib, to'liq o'xshaydi. Lekin mikroelektronika asboblari elektronning to'liq tabiatidan kelib chiqadigan kvant effektlar shunchalik kichikki, elektronning harakati klassik mexanika qonunlari chegarasida ifodalanadi.

Elektronlarning to'liq tabiatidan kelib chiquvchi fizik hodisalar o'zlarini nanoelektronika asboblari to'liq namoyon etadi. Bunday hodisalarga o'lchamli kvantlash, elektron to'liqlar interferensiyasi, potensial to'siqlar (baryerlar) orqali tunnellashuv kiradi. Kvant mexanikasiga muvofiq, v tezlik bilan harakatlanayotgan m massali zarra-halar bilan **de Broyl to'liqlari** tarqalishi bog'liq. De Broyl to'liqlarining uzunligi quyidagi formula yordamida topiladi:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}. \quad (9.1)$$



9.5-rasm. Uzilgan sinusoida.

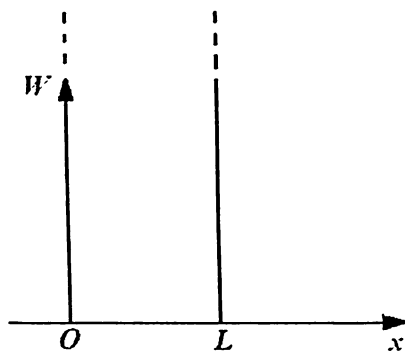
Masalan, bir volt tezlatuvchi potensial ta'sirida bo'lgan elektron to'liq uzunligi $12,25 \cdot 10^{-8}$ sm li to'liq bilan xarakterlanadi. Elektron tezligi qanchalik katta bo'lsa, uni xarakterlovchi to'liq shunchalik kichik bo'ladi. Elektron harakatlanishi davomida kristall panjara bilan to'qnashadi. To'qnashishlar orasidagi τ_0 vaqt davomida u to'liq uzunligi $\Delta x = \bar{v} \tau_0$ bo'lgan de Broyl to'liqlarini uzluksiz tarqatadi (9.5-rasm), bunda $\bar{v}$ – elektronning o'rtacha tezligi. Odatda Δx oraliqda bir necha o'n λ yotadi. Shuning uchun zarra koordinatasi Δx aniqlikda topilishi mumkin (Geyzenberg noaniqligi). Bunda uning berilgan joyda aniqlanish ehtimolligi haqidagina so'z yuritish mumkin.

Elementar zarrachalar harakatining to'liq nazariyasini E.Shredin-ger yaratdi. Ushbu nazariyaga muvofiq, bir o'lchamli holatda W energiyali mikrozarrachaning U potensial energiyali maydondagi harakati Shredinger tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (W - U) \psi = 0, \quad (9.2)$$

bu yerda: U – koordinatalar va vaqtga bog'liq funksiya, u teskari ishora bilan olingan kuchlanganlik maydoni potensialiga teng; W – zarrachaning to'liq energiyasi. Shredinger tenglamasi psi-funksiyani, ya'ni alohida olingan elektron fazoning turli nuqtalarida bo'lish ehtimolligini aniqlash imkonini beradi. Psi-funksiya nanoelementlarning asosiy xarakteristikasidir. U bog'langan tizimlar, ya'ni zarrachalari ma'lum chegaradan chiqmaydigan (atomdagi yoki kristalldagi elektronlar) tizimlarning statsionar holati haqida to'liq ma'lumotga ega.

Masalan, (9.2) tenglama va psi-funksiyaga qo'yiladigan shartlardan energiyaning kvantlanish qoidalari bevosita kelib chiqadi. Bog'langan tizimlarning statsionar holati faqat W_i energiyalarning ma'lum qiymatlaridagina ruxsat etilar ekan. Ruxsat etilgan W_i energiyalar to'plami uzlukli (kvantlangan) spektr hosil qiladi. Qattiq jismda ruxsat etilgan energiyalarning ikki zonasi — o'tkazuvchanlik va valent zonalarini esga oling.



9.6-rasm. L kenglikka ega kvant chuqurlik.

Qattiq jismda harakatlanayotgan elektron qanday diskret qiymatlarga ega bo'lishi mumkinligini ko'rib chiqamiz. Ma'lumki, elektronlar oddiy sharoitda kristalldan chiqib keta olmaydi. Demak, elektronlar potensial chuqurda joylashgan va ular harakati kristall o'lchamlari bilan **lokallashgan** (chegaralangan). Soddalashtirish uchun chuqurlik cheksiz baland va tik potensial to'siqlar bilan chegaralangan, elektron esa faqat Ox o'q bo'ylab

harakatlanishi mumkin deb qaraymiz (9.6-rasm). $0 \leq x \leq 1$ sohada elektron erkin harakat qila oladi, lekin chegaradan chiqa olmaydi. Elektronning bunday harakati bir o'lchamli potensial chuqurdagi harakat yoki **kvant chuqurlikdagi** harakat deb atalishi qabul qilingan.

Elektronning harakati de Broyl to'lqin tarqatish bilan amalga oshadi. To'lqin chuqurlik devorlaridan qaytadi hamda tushuvchi va qaytuvchi to'lqinlar interferensiyasi hisobiga turg'un to'lqinlar hosil bo'ladi. Bunda L uzunlikda **butun son yarim to'lqinlar joylashishi kerak**:

$$n \frac{\lambda_n}{2} = L \quad (n = 1, 2, 3, \dots). \quad (9.3)$$

Elektron tezligi $v_n = h/(m\lambda_n) = nh/(2mL)$ ifoda bilan aniqlanadi. Ko'rinib turibdiki, to'lqin uzunligi ham, elektron tezligi ham kvantlangan. Potensial chuqurga «bekilgan» elektronning to'lqin energiyasi W_n kvantlangan va quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$W_n = \frac{mv_n^2}{2} = \frac{n^2 h^2}{8mL^2} = W_0 n^2, \quad (9.4)$$

bu yerda W_0 – asosiy holat energiyasi, hech qanday o'ta past temperaturalarda nolga aylanmaydi va, odatda, $0,02 \div 0,2$ eV. Energetik sathlar (9.4) formuladan $n = 1, 2, 3 \dots$ qiymatlarni qo'ygan holda topiladi. Ikkita qo'shni sathlar orasidagi masofa

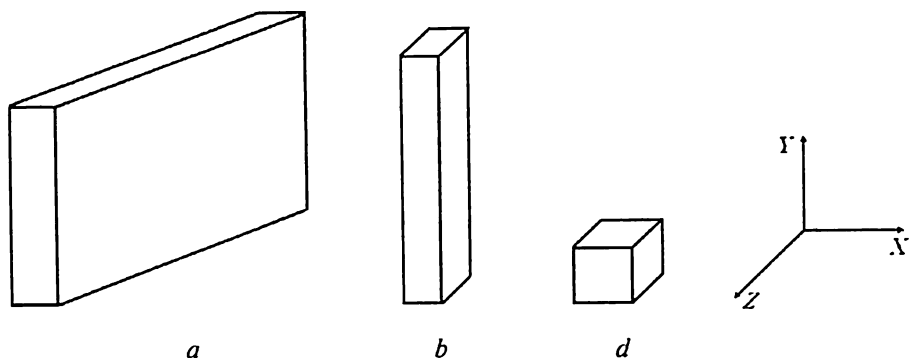
$$\Delta W = W_{n+1} - W_n = (2n + 1) \frac{n^2 h^2}{8mL^2} \quad (9.5)$$

ga teng va kvant soni n ning ortishi bilan ortib boradi, zarracha massasiga va chuqur kengligi L ga bog'liq. (9.5) formuladan hatto chiziqli o'lchamlari taxminan 10 mkm bo'lgan mikroskopik kristallarda ham sathlar orasidagi masofa $\Delta W = 10^{-12}$ eVdan oshmasligi kelib chiqadi. Bu – harakatlanayotgan elektron energiyasi amalda uzluksiz o'zgarishini anglatadi. Agar elektron harakati 10^{-8} sm o'lcham bilan chegaralangan bo'lsa, mutlaqo boshqa natija kuzatiladi. Bu holda $\Delta W \approx 10^2 n$ eV, energetik sathlar diskretligi juda sezilarli.

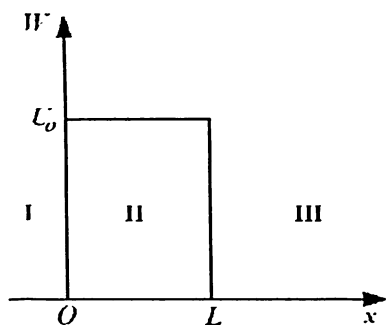
Shunday qilib, yarimo'tkazgich asbob o'lchamlaridan biri de Broyl to'lqin uzunligiga yaqinlashganda o'lchamli kvantlash sodir bo'ladi. Elektron energiyasining kvantlanishi **lokallashuv effekti** deb ataladi. Agar lokallashuv bitta yo'nalish bilan chegaralangan bo'lsa, bunday nanotuzilma **kvant chuqurligi** deb ataladi. Ikki yo'nalishda lokallashgan nanotuzilma **kvant sim** yoki **ip** deb, barcha uch yo'nalishda lokallashganlari **kvant nuqta** deb ataladi. 9.7-rasm shunday tuzilmalar to'g'risida tasavvur beradi.

Interferensiya effektlari (hodisalari). To'lqin interferensiyasi deb, to'lqinlar ustma-ust tushganda fazoning ba'zi nuqtalarida ularning o'zaro kuchayishi, boshqa nuqtalarida esa susayishi kuzatiladigan hodisaga aytiladi. Eng sodda holda **turg'un to'lqin** ikkita bir-biriga teskari tomonlarga tarqalayotgan to'lqinlarning ustma-ust tushishi natijasida, agar chastotalari, amplitudalari va tebranish yo'nalishlari bir xil bo'lsa, hosil bo'ladi.

Tunnellashuv. Nanoelektron asbob mikroelektron asboblardagi p - n o'tishlarga o'xshab potensial chuqurlar va potensial to'siqlardan



9.7-rasm. Nanotuzilmalarga misollar: kvant chuqurlik (a), sim (b) va nuqta (d).



9.8-rasm. Potensial to'siq.

tashkil topadi. Elektron chapdan o'ngga harakatlanadi va yo'lida U_0 balandlik va L kenglikka ega bo'lgan potensial to'siqqa ro'para keladi, deb faraz qilaylik (9.8-rasm).

Agar elektronning to'liq energiyasi $W < U_0$ bo'lsa, klassika nuqtayi nazaridan, u baryer sohasi II ga kira olmaydi, chunki u yerda uning kinetik energiyasi $W_{kin} = W - U$ manfiy bo'lib qoladi, bunday bo'lishi esa

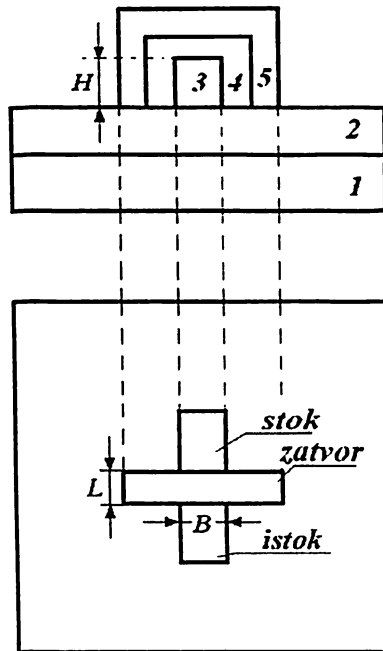
mumkin emas. Lekin elektronning to'liq tabiati e'tiborga olinsa, u to'liqindek, energiyasini yo'qotsa ham I sohadan III sohaga o'tishi mumkin. Tunnellashuv ehtimolligi Shredinger tenglamasidan topiladi va $\exp(-10^8 L \sqrt{U_0})$ eksponenta bilan xarakterlanadi. L ning qiymati 10 nm atrofida va undan kichik bo'lganida ushbu ehtimollik bilan hisoblashish kerak. Potensial to'siqni yengib o'tishda elektron baryerdagi tunneldan o'tgandek bo'ladi, shuning uchun bu hodisa **tunnel effekti** deb ataladi.

O'lchamli kvantlanish tunnellashuvga ham o'ziga xoslik beradi. Bir yo'nalishda davriy joylashgan juda yupqa ($1 \div 10$ nm) potensial

chuqurlardan tashkil topgan nanotuzilmalarda tunnelashuv **rezonans** xarakterga ega bo'ladi. Bunday tuzilmalar **o'ta panjara** deb ataladi. Bunda ikkita shart bajarilishi kerak. Birinchidan, potensial chuqurlar kengligi elektronlarning erkin yugurish yo'lidan kichik bo'lishi, lekin kristall panjara doimiysidan katta bo'lishi kerak. Ikkinchidan, bir potensial chuqurning asosiy holati keyingisining uyg'otilgan holati bilan bir xil bo'lishi kerak. Ushbu effekt de Broyl to'lqinlarining interferensiyasi bilan bog'liq.

Kremniyli maydoniy nanotuzilmalar. IMSlarning, shu jumladan, mikroprotsessorlar va xotira mikrosxemalarining asosiy aktiv elementi bo'lib kremniyli MDYA-tranzistorlar xizmat qiladi. MDYA-tranzistorlar «dielektrik sirtiga kremniy olish» (DSKO) texnologiyasi bo'yicha tayyorlanadi. Bunda tuzilmaning mexanik mustahkamligini ta'minlovchi, yetarlicha qalin kremniyli asos sirtiga kislorod ionlari implantatsiya qilinadi, natijada sirdan ma'lum chuqurlikkacha kirib borgan ionlar chuqurlashgan dielektrik qatlamni hosil qiladi. Shundan keyin molekular-nurli epitaksiya (MNE) yordamida asosning dielektrikli tomoni sirtiga berilgan o'tkazuvchanlik turiga ega yarimo'tkazgichning kristall tuzilishli mukammal monokristall qatlami o'stiriladi. MNE qalinligi bir necha kristall panjara davri qalinligiga ega qatlam olish imkonini beradi (bir davr $2 \text{ \AA}$ ga yaqin). Monokristall qatlam qalinligi N tranzistor kanali qalinligi bilan aniqlanadi. Keyin yuqori ajratuvchanlikka ega litografiya yordamida nanotranzistor kanali hosil qilinadi. Kanal SiO_2 sirtida joylashgan qalin brusok shakliga ega bo'ladi. Dielektrik qatlam yupqalashtirilgani sababli, u orqali oquvchi sizilish toki (tunnel tok) tranzistorlarni mikrominiaturalashda katta to'siq bo'lib turibdi. Amaliy natijalar bilan tasdiqlangan nazariy baholashlarning ko'rsatishicha, kremniyli MDYA-tranzistor kanali uzunligi 6 nm gacha, SiO_2 qatlam qalinligi 1,2 nm gacha kamaytirilganda «ochiq-berk» holatlar toklari nisbatini 10^8 tartibda saqlagan holda xarakteristikaning yuqori tikligiga ega bo'ladi. SiO_2 qatlam qalinligi yana ham yupqalashtirilganda sizilish toki ortib ketishi hisobiga tranzistorni boshqarish imkoniyati yo'qoladi.

Noqulay holatdan qutilish uchun dielektrik singdiruvchanligi yuqoriroq (high-k) boshqa dielektrikdan foydalanish zarur bo'ladi. Bunday



9.10-rasm. Uch zatvorli kremniyli nanotranzistor:

1 – kremniyli asos; 2 – chuqurlashgan SiO₂ qatlam; 3 – kanal;
4 – zatvorosti dielektrik (high-k); 5 – metall zatvor.

material sifatida Al₂O₃, ZrO₂, HfO₂ va boshqalar xizmat qildi. Natijada sizilish tokini o'n martadan ortiqroq kamaytirishga erishildi. Yangi dielektrik nanotranzistorlarda 2007-yildan qo'llanila boshlandi. Ushbu yutuqni G.Mur «60-yillardan buyon tranzistorlar texnologiyasida eng muhim o'zgarish» deb atadi.

Lekin yangi dielektrik polikremniyli zatvor bilan «chiqishmadi». Bu yuqori tezkorlikka erishishga qarshilik qildi. Shuning uchun zatvor materialini ham o'zgartirishga to'g'ri kelindi. Bu material tarkibi hozirgacha Intel korporatsiyasi tomonidan sir saqlanib kelinmoqda. Zatvor uzunligi 20 nmni tashkil etuvchi yangi tranzistor ochilishi va berkilishi uchun 30% kam energiya talab etiladi, mikroprotessorlar esa 10⁹ ta atrofidagi tranzistorlarga ega va 20 Gs chastotada 1 V dan kichik kuchlanishlarda ishlaydi. DSKO texnologiya AMD va Intel

kompaniyalari tomonidan yoppasiga ishlab chiqarilayotgan zamonaviy Pentium va Athlon seriyali mikroprotsessordlarda qo'llanilmoqda.

Zamonaviy kremniyli MDYA-nanotranzistorlar konstruksiyasi standart MDYA-mikrotranzistorlardan zatvor turi bilan ham farq qiladi. Zatvorlarning asosiy turlari: a) bir zatvorli planar; b) ikki zatvorli «baliq suzgichli» (adabiyotlarda FitFET deb nomlanadi); d) uch zatvorli.

DSKO texnologiya asosida yaratilgan kremniyli uch zatvorli nanotranzistor konstruksiyasi 9.9-rasmda ko'rsatilgan. Kanal uch tomondan zatvorosti dielektrik qatlam bilan o'ralgan. Uning nomi shundan kelib chiqadi.

Shunday qilib, kremniyli MDYA-tranzistorlar tezkorligi zatvor materiali va zatvorosti dielektrik turi o'zgartirilgandan keyin kanal uzunligini kamaytirish hisobiga oshiriladi.

MDYA-tranzistorlarning tezkorligi uning xarakteristika tikligi S bilan aniqlanishi ma'lum. U chegaraviy chastota f_{CHEG} bilan quyidagi ifoda orqali bog'langan:

$$f_{CHEG} = \frac{1}{2\pi} \frac{S}{C_{ZI}}, \quad (9.6)$$

bu yerda C_{ZI} — istokka nisbatan metall zatvor sig'imi. Xarakteristika tikligi

$$S = \mu_n C_0 \frac{B}{L} (U_{ZI} - U_{BO.S}), \quad (9.7)$$

bu yerda: μ_n — elektronlarning kanaldagi harakatchanligi; C_0 — dielektrikning solishtirma sig'imi; U_{ZI} — zatvor va istok orasidagi kuchlanish; $U_{BO.S}$ — bo'sag'aviy kuchlanish; L , B — mos ravishda, kanal uzunligi va kengligi.

(9.7) formulaga muvofiq, xarakteristika tikligi va mos ravishda tranzistor tezkorligini oshirishning ikkinchi yo'li kanalda zaryad tashuvchilar harakatchanligini oshirish bilan bog'liq.

Asbobning n -kanalida elektr toki elektronlarning bo'ylama elektr maydondagi dreyf harakati hisobiga hosil bo'ladi. Elektronlar harakatlenganda yarimo'tkazgichning tebranma harakat qilayotgan atomlari

(fononlari), kiritmalar ionlari va kristall panjara nuqsonlari bilan to'qnashadilar, ya'ni sochiladilar. Dreyf harakatning o'rtacha tezligi $\bar{v}_{DR}$ tezlanishni to'qnashuvlar orasidagi o'rtacha vaqt τ_0 ga ko'paytirilganiga teng:

$$\bar{v}_{DR} = \frac{q\tau_0}{m^*} \bar{E} = \mu \bar{E}. \quad (9.8)$$

Elektronlar (kovaklar) harakatchanligi fononlardagi

$$\mu_l \approx (m^*)^{-5/2} T^{-3/2} \quad (9.9)$$

va kiritmalar ionlaridagi

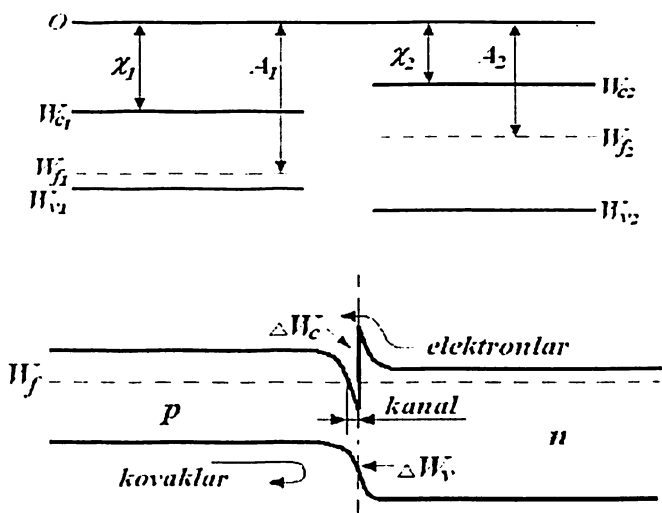
$$\mu_i \approx (m^*)^{-1/2} Ni^{-1} T^{-3/2} \quad (9.10)$$

sochilish bilan chegaralanadi. Bu yerda m^* – erkin zaryad tashuvchining kristalldagi effektiv massasi, Ni – ionlashgan kiritmalar konsentratsiyasi. Natijaviy harakatchanlik $\mu = \left(\frac{1}{\mu_l} + \frac{1}{\mu_i} \right)^{-1}$.

(9.9) va (9.10) formulalardan maydoniy tranzistor tezkorligini kanalni kichik effektiv massali zaryad tashuvchilarga ega bo'lgan materialdan hosil qilib yoki legirlovchi kiritmalar konsentratsiyasini kamaytirib (kiritmalar ionlarida sochilishni butunlay yo'qotib) oshirish mumkin. Buni geteroo'tishli nanotuzilmalarda amalga oshirish qulay.

Geterotuzilmalar asosidagi maydoniy tranzistorlar. Yarimo'tkazgich geterotuzilmalar eng yuqori chastotali tranzistorlar, lazerlar hamda integral sxemalar (chiplar) yaratilishiga asos bo'ldi. **Geteroo'tish** deb, taqiqlangan zonalar kengligi bir-biridan farq qiluvchi yarimo'tkazgichlar hosil qilgan o'tishlarga aytiladi. Geteroo'tishlar monokristall va polikristall materiallar orasida hosil qilinishi mumkin. Ular, shuningdek, anizotip (p - n -geteroo'tishlar) va izotip (p - p - va n - n -geteroo'tishlar) bo'lishi mumkin. Geteroo'tishlar **geterotuzilmani** hosil qiladi.

9.10-rasmda keng taqiqlangan zonaga ega n - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ va nisbatan tor taqiqlangan zonaga ega p -GaAs larning (a) va ular orasida



9.10-rasm. $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ va $p\text{-GaAs}$ yarimo'tkazgichlarning (a) va $p\text{-}n$ -geteroo'tishning zonalar energetik diagrammalarining tuzilishi (b).

hosil qilingan geteroo'tishning energetik diagrammasi (b) keltirilgan. $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ning taqiqlangan zonasi kengligi qattiq eritma tarkibidagi aluminiyning molyar miqdoriga bog'liq va $1,43 \div 2,16$ eV oraliqda (AlAs birikmaning taqiqlangan zonasi kengligi) o'zgarishi mumkin.

Bu yerda vakuumdagi elektron energiyasi nol sath sifatida qabul qilingan. χ – kattalik elektronning yarimo'tkazgichdan vakuumga asl chiqish ishi. Termodinamik chiqish ishi A deb belgilangan.

Yarimo'tkazgichlar kontaktga keltirilganda ularning Fermi sathlari E_f bir xil bo'ladi. $\chi_1 > \chi_2$ bo'lgani uchun n -sohaning chegaradosh qismidan p -sohadan kelgan elektronlarga nisbatan ko'proq elektronlar narigi sohaga o'tadi.

Taqiqlangan zona kengligi katta yarimo'tkazgichning chegaradosh qismi elektronlari bilan kambag'allashadi, unda musbat fazoviy zaryad hosil bo'ladi, energetik zonalar cheti yuqoriga egiladi. Nisbatan tor zonali yarimo'tkazgichning chegaradosh qismi elektronlar bilan boyiydi, bu elektronlar manfiy fazoviy zaryad (kanal) hosil qiladi va zonalar cheti pastga egiladi. χ_1 va χ_2 kattaliklar qiymatlari turlicha, shuning uchun yarimo'tkazgichlar chegarasida o'tkazuvchanlik zonolari orasida

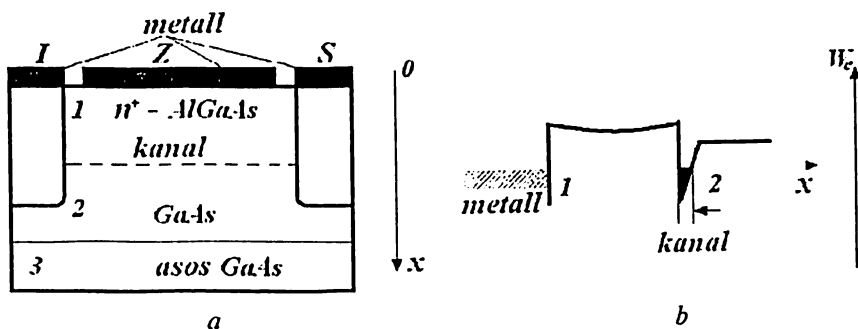
ΔW_c va valent zonalari orasida ΔW_v uzilishlar hosil bo'ladi. O'tkazuvchanlik zonasida uzilish qiymati $\Delta W_s = \chi_2 - \chi_1$ ga teng. Valent zonada esa uzilish qiymatiga kontaktlashuvchi yarimo'tkazgichlar taqirlangan zonalari farqi qo'shiladi. Shuning uchun elektron va kovaklarda potensial to'siqlar balandligi har xil bo'ladi. Ko'rib chiqilayotgan holda kovaklar uchun to'siq katta. To'g'ri yo'nalishda kuchlanish berilganda elektronlar uchun bo'lgan potensial to'siq kamayadi va elektronlar n -yarimo'tkazgichdan p -yarimo'tkazgichga injeksiyalanadi. Kovaklarning potensial to'sig'i ham kamayadi, lekin u kattaligicha qoladi va p -yarimo'tkazgichdan n -yarimo'tkazgichga amalda injeksiya bo'lmaydi. Shunday qilib, geteroo'tishlarda **bir tomonlama injeksiya rejimi** amalga oshadi. Agar keng zonali yarimo'tkazgich p -turda bo'lsa, to'siq balandligi elektronlar uchun katta bo'ladi.

Zatvor sifatida Shottki baryeridan foydalanilgan va geteroo'tishli maydoniy tranzistor tuzilishi 9.11, a -rasmda, kanal ko'ndalang kesimidagi zonalar diagrammasi 9.11, b -rasmda ko'rsatilgan.

Asos 3 sifatida odatda yarimisolatsiyalovchi galliy arsenidi qo'llaniladi. Asos sirtiga legirlanmagan yuqori omli GaAs qatlam 2 o'stiriladi. Keyin o'tish hosil qilish uchun yuqori legirlangan keng zonali n^+ AlGaAs qatlam 1 o'stiriladi. Qatlam 1 qalinligi 50÷60 nm ni tashkil etadi, shuning uchun u dielektriklik xususiyatini namoyon etadi, chunki elektronlarning bir qismi zatvor metalliga o'tadi, boshqa qismi esa kanalga o'tadi. Shunday qilib, bunday tuzilmada kanal sohasi va legirlovchi kiritmali soha fazoviy ajratilgan va elektronlar harakatchanligi sezilarli oshadi.

Tranzistorning ishlash prinsipi. Zatvorda kuchlanish bo'lmagan holda stok toki $U_{st} > 0$ bo'lganda maksimal qiymatga ega bo'ladi. Zatvordagi manfiy kuchlanish ortgan sayin potensial chuqurligi kamayadi, u bilan birgalikda kanal o'tkazuvchanligi ham kamayadi. Zatvordagi kuchlanishning ma'lum qiymatida chuqur yo'qoladi. Bu kanalning to'liq berkilishiga to'g'ri keladi.

Zaryad tashuvchilar harakatchanligining ortishiga asoslangan tranzistorlar harakatchanligi yuqori yoki NEMT (High Electron Mobility Transistor) tranzistorlar nomini olgan. Amalda zaryad tashuvchilar harakatchanligi yuqoriligidan to'liq foydalanib bo'lmaydi. Katta integ-



9.11-rasm. Geteroo'tishli maydoniy tranzistor tuzilishi (a) va zonalar diagrammasi (b).

ral sxemalarda kanal uzunligi 1 mkm dan kichik. Bunda bo'ylama maydon kuchlanganligi shunchalik kattaki, dreyf tezlik v_{DR} to'yinishga ega bo'ladi. Bu elektronlar harakatchanligining kamayishini anglatadi va (13.8) ifodada tezlik hamda maydon kuchlanganligi orasidagi proporsionallik buziladi. Shuning uchun maydoniy tranzistorlar tikligini katta darajada oshirishning iloji yo'q. Shunga qaramasdan, geterotuzilmali maydoniy tranzistorlar sun'iy yo'ldoshli aloqa tizimlarining kam shovqinli kuchaytirgichlarida keng ishlatiladi, chunki shovqin ko'effitsiyenti zatvor uzunligiga proporsional. Hozirgi zamonda bunday tranzistorlar asosida $f = 20$ GGs chastotada shovqin ko'effitsiyenti $K_{Sh} < 1$ dB, kuchaytirish ko'effitsiyenti $K_R \approx 12$ dB bo'lgan kuchaytirgichlar ishlab chiqilmoqda, chastota 60 GGsdan yuqori bo'lganda $K_R \approx 4$ dB, $K_{Sh} < 3$ dB ni tashkil etadi.

Axborotlarni qayta ishlash va uzatishning optik usullari rivojlanishi bilan optoelektron qurilmalar va tizimlarni ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Ular uchun samaradorligi yuqori bo'lgan fotoqabulqilgichlar va lazerlar yaratilgan. Bundan keyin keng tarqalgan ko'chkili fotodiodlar va geterotuzilmalar asosidagi nanoelektron lazerlar ko'rib chiqiladi.

Optik tizimli aloqa (optoelektronika)ning elektron komponentlari. Optik aloqa tizimlari uzatuvchi (UOM) va qabul qiluvchi (QQOM) optik modullarga ega. UOM elektr signallarni optik signallarga o'zgartirish uchun xizmat qiladi. UOMning bosh elementi nurlanuvchi

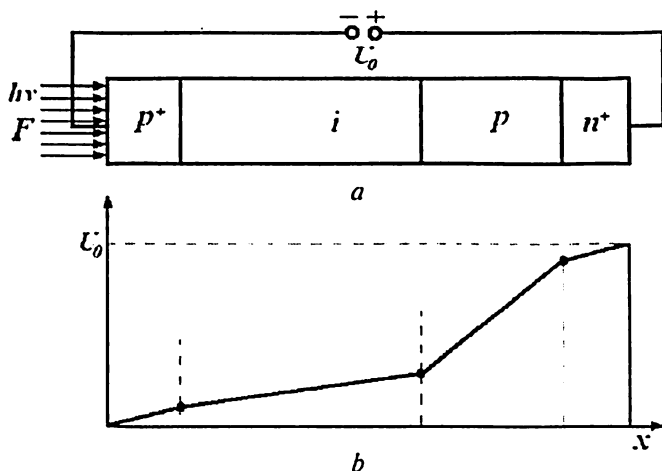
manba nulanuvchi diod (ND) yoki yarimo'tkazgich lazerdan iborat. ND va lazerning bir-biridan nurlanish spektri kengligi bilan farqlanadi. NDlarda $\Delta\lambda = 30 \div 50$ nm ni, bir modali lazerlarda esa $\Delta\lambda = 0,1 \div 0,4$ nm ni tashkil etadi. QQOM optik toladan olingan optik signalni elektr signalga aylantirish uchun xizmat qiladi. QQOM ning bosh elementi fotoqabulqilgich fotodioddan (FD) iborat. FDllarning bir qancha turlari mavjud. Ko'chkili FDllarda zaryad tashuvchilarning ko'chkisimon ko'payishi amalga oshadi va shuning hisobiga sezgirligi yuzlarcha-minglarcha marta oshadi. Shottki to'siqli FDllar tezkorligi yuqori bo'ladi. Geterootishga ega ko'chkili FDllar boshqa turdagi FDllarga nisbatan yaxshiroq xususiyatlarga ega. Turli materiallardan tayyorlangan FDllarning ishchi to'lqin uzunligi turli qiymatlarga ega bo'ladi. Bu to'lqinlarda ular samaradorligining maksimal qiymatiga erishiladi.

Optik aloqa tizimining tok uzatish koeffitsiyenti K , muhim parametrlardan hisoblanadi. U nurlatgich, fotoqabulqilgich va optik muhitning spektral muvofiqlashtirilgani, optik muhitning (optik tolaning) shaffofligi, kvant chiqishi va fotoqabulqilgichning ichki kuchaytirish koeffitsiyenti bilan aniqlanadi. Bitta nurlanish kvanti ta'sirida hosil bo'ladigan elektron-kovak juftliklar soni kvant chiqishni belgilaydi. An'anaviy optik tolalarda uchta shaffoflik sohasi mavjud. Bu shaffoflik sohalarida tarqalayotgan nur yutilishi kam bo'ladi. Ularga 850, 1300, 1550 nm to'lqin uzunlikdagi sohalar kiradi.

Ko'chkili fotodiodlar (KFD) optik tolali aloqa liniyalarida (OTAL) keng qo'llaniladi va ichki kuchaytirishga ega fotoqabulqilgichdan iborat, shuning uchun yuqori sezgirlikka ega bo'ladi.

Qabul qilinadigan nur to'lqin uzunligi kremniyli FDllar uchun $\lambda = 0,4 \div 1,0$ mkm, $A^{III}B^V$ birikmalar asosidagi fotoqabulqilgichlar uchun $\lambda = 1,0 \div 1,7$ mkm ni tashkil etadi. Shuning uchun $\lambda = 0,8 \div 0,9$ mkm to'lqin uzunligida ishlovchi OTALda kremniyli KFDlar, $\lambda = 1,3 \div 1,6$ mkm li larda esa $A^{III}B^V$ yarimo'tkazgich birikmalar asosidagi KFDlar ishlatiladi.

Kremniyli KFDning tuzilishi, ulanishi va unda potensial taqsimlanishi 9.12, *a* va *b*-rasmda ko'rsatilgan.



9.12-rasm. Kremniyli KFD tuzilishi, ulanishi (a) va unda potensialning taqsimlanishi (b).

KFD ko'chki hosil qiluvchi katta teskari kuchlanishlarda ishlaydi. FDga tushayotgan fotonlar uning legirlanmagan, amalda erkin zaryad tashuvchilarga ega bo'lmagan i -sohasida yutiladi. p^+ -qatlam qalinligi iloji boricha yupqa bo'lishi kerak. p^+ -soha taqiqlangan zonasi kengligidan katta energiyaga ega bo'lgan F fotonlar oqimi bilan yoritil-sin. Bunda fotonlar yarimo'tkazgich i -qatlamda yutilgani hisobiga elektron-kovak juftliklar hosil bo'ladi. Elektr maydon ta'sirida ular ajratiladi va o'z elektrodleri tomon harakatlanib, fototok hosil qiladi. Yarimo'tkazgich i -qatlam qalinligi yetarli darajada katta bo'lganda tushayotgan nur to'liq yutiladi, bu esa, o'z navbatida, kvant chiqishini oshiradi.

To'qnashib ionlashtirishni hosil qilish uchun i -qatlam orqasida elektr maydon kuchlanganligi yuqori ($E > 10^5$ V/sm) bo'lgan p -qatlam hosil qilinadi. Bu qatlamda zaryad tashuvchilarning ko'chkili ko'payishi sodir bo'ladi. FD tezkorligi taxminan 0,3 ns bo'lganda ko'paytirish koeffitsiyenti M 1000 ni tashkil etish mumkin.

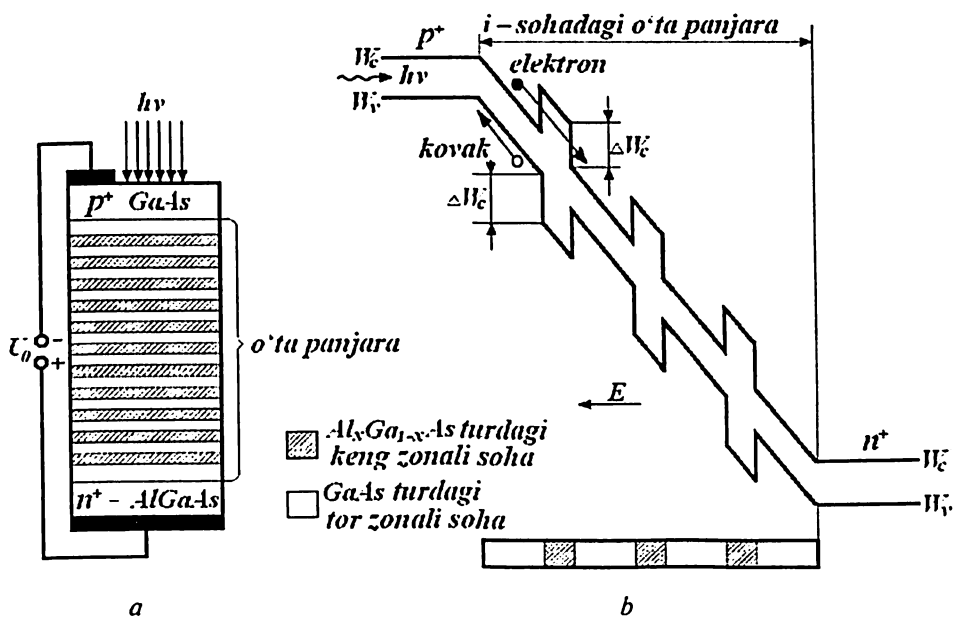
Shuning uchun QQOM ko'chkili ko'payish shovqinlaridek sust optik signallarni aniqlash uchun qo'llaniladi. Shovqin ko'chkisimon ko'payish tasodifiy jarayonligi sababli hosil bo'ladi. Bu o'ziga xos

ortiqcha shovqin qiymati ionlashtirish koeffitsiyentlarining nisbatiga bog'liq bo'ladi. Ushbu koeffitsiyentlar birlik yo'lda zaryad tashuvchilar yordamida hosil qilinadigan elektron-kovak juftliklarning o'rtacha soni sifatida aniqlanadi. Agar $\alpha_n = \alpha_p$ bo'lsa, tushayotgan nurlanish hisobiga hosil qilinayotgan har bir fotozaryad tashuvchiga ko'paytirish sohasida uchta zaryad tashuvchi (birlamchi zaryad tashuvchi va ikkilamchi elektron va kovak) to'g'ri keladi. Agar zarbdan ionlashtirish koeffitsiyentlarining biri kechib yuborsa bo'ladigan darajada kichik (masalan $\alpha_p \rightarrow 0$) bo'lsa, ko'chki shovqini sezilarli kichik bo'ladi. Demak, KFD qo'llansa bo'ladigan darajadagi ko'chkili shovqin hosil bo'lishi uchun elektron va kovaklarning zarbdan ionlashtirish koeffitsiyentlari bir-biridan katta farq qilishi kerak.

To'lqin uzunligining $\lambda = 0,8 \div 0,9$ mkm oralig'ida ishlovchi KFDlarda $\alpha_n / \alpha_p \cong 50$ ni tashkil etadi. Magistral OTALlarda 1,3 va 1,55 mkmli optik «oyna»lardan foydalaniladi. Optik toladagi yo'qotishlar $\lambda = 1,3$ mkm da taxminan uch marta, $\lambda = 1,55$ mkm da esa $8 \div 10$ marta kamayadi. Shuning uchun rentranslatsiyasiz o'ta uzoq sohalarida to'lqin uzunligi $\lambda = 1,55$ mkm li nurlardan foydalaniladi.

To'lqin uzunligi kattaroq sohaga o'tish uchun taqiqlangan zonasi kremniyga nisbatan kattaroq materiallardan foydalaniladi. Bunday material bo'lib, $A^{III}B^V$ yarimo'tkazgich birikmalar va ular asosidagi qattiq eritmalar xizmat qiladi. Bu yarimo'tkazgichlarning ko'plari uchun $\alpha_n / \alpha_p \cong 1$, shuning uchun ularni shovqin jihatdan qo'llab bo'lmaydi. *i*-sohasi o'ta panjara tuzilishga ega geteroo'tishli KFDlarda *i*-soha kuchli elektr maydon ta'sirida bo'lganda α_n / α_p nisbatni zarur qiymatlargacha ko'tarish imkoni tug'iladi. 9.13-rasmda o'ta panjarali KFD zonalarining energetik diagrammasi va tuzilishi keltirilgan. Geteroo'tishli KFDda kvant chiqishi *p*+-soha qalinligiga juda ham kritik bog'liq emas, chunki katta taqiqlangan zonaga ega bo'lgan material $\lambda = 1,55$ mkmli nurlarni yutmasdan ichkariga o'tkazib yuboradi.

KFDda o'ta panjara taxminan 50 ta o'zaro almashuvchi, qalinligi 45 nmni tashkil etuvchi legirlanmagan GaAs va qalinligi 55 nmni tashkil etuvchi keng zonali $A_{1-x}Ga_xAs$ yarimo'tkazgichlardan iborat.



9.13-rasm. O'ta panjarali KFD konstruksiyasi (a) va zona diagrammasi (b).

GaAs/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ geterotuzilmada x ning mos molyar qiymatlarida o'tkazuvchanlik zonadagi uzilish $\Delta W_c \approx 0,48$ eV ni, valent zonadagisi esa $\Delta W_v \approx 0,08$ eV ni tashkil etsin. Chekkalarda joylashgan qatlamlarning yuqori darajada legirlanganligi ularni elektr o'tkazuvchan qatlamlarga aylantiradi. i -qatlamda elektr maydon kuchlanganligi 105 V/sm dan katta qiymatga yetadi.

Bunday maydon ta'sirida zaryad tashuvchilar zarb bilan ionlash-tirishga yetarli energiya oladi. Agar ta'sir etuvchi nurlanish oqimi bo'lmasa, FDdan boshlang'ich teskari tok oqadi, u tok qorong'ulik toki deb ataladi. To'lqin uzunligi $\lambda = 1,55$ mkml nurlanish (yorug'lik) oqimi mavjud bo'lganda, i -qatlamning nisbatan tor zonali qismida (GaAs qatlamlarda) erkin elektron-kovak juftliklar hosil bo'ladi. Elektron tashqi elektr maydon E ta'sirida keng zonali yarimo'tkazgichda tezlatiladi. Undan keyin tor zonali GaAs qatlamga o'tib, u o'z energiyasini $\Delta W_c \approx 0,48$ eV ga oshiradi. Bu zarbdan ionlashishning bo'sa-

g'aviy kuchlanishi shu qiymatga tushganiga ekvivalent. Zarbdan ionlashish koeffitsiyenti α_n bo'sag'aviy energiya kamaygan sari eksponensial ortgani sababli, α_n ning elektronlar uchun effektiv qiymati keskin ortadi. Navbatdagi $A_{1-x}Ga_{1-x}As$ baryer qatlamda bo'sag'aviy kuchlanish ΔW_s qiymatga ortadi. Bunda α_n kamayadi. Ammo taqiqlangan energetik zonalarning farqi hisobiga α_n ning o'rtacha qiymati o'ta panjaraning ikkita yonma-yon qatlamida sezilarli darajada ortadi.

$\Delta W_v \ll \Delta W_c$ sababli, xuddi shunday effekt α_n kovaklar koeffitsiyenti uchun sezilarli darajada kichik bo'ladi. Shunday qilib, ko'chkili ko'payish jarayoni asosan elektronlar hisobiga amalga oshadi. Ko'chkili ko'payish sohasi 25 baryer qatlamga ega bo'lgani uchun $\alpha_n / \alpha_p \gg 1$ bo'ladi. Bu kichik signallarni yuqori darajada kuchaytirgan holda dioddagi shovqinlar darajasi kichik bo'lishini ta'minlaydi.

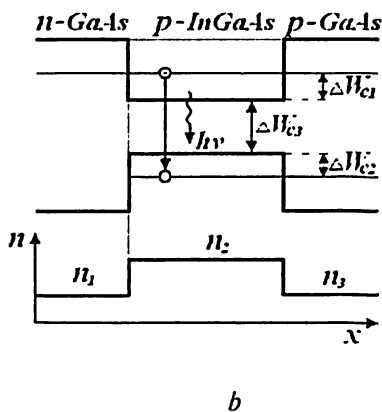
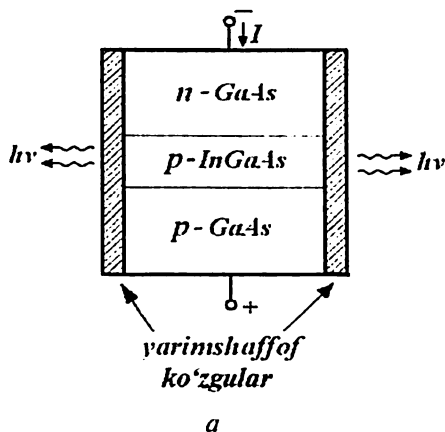
Nanoelektron lazerlar. Lazer optik diapazondagi elektromagnit tebranishlarni kuchaytirish va generatsiyalash uchun xizmat qiluvchi kvant asbobdir. Uning ishlashi yarimo'tkazgichdagi elektronlar ichki energiyasini o'zgartirishga asoslanadi. Optik diapazondagi kvant asboblari inglizcha *Light Amplification by Stimulation Emission of Radiation* iborasiga muvofiq, ya'ni majburiy nurlanish yordamida nurni kuchaytirish ma'nosini anglatadi. Nurlanish elektron-kovak juftliklarning rekombinatsiyasi hisobiga yuz beradi, elektron energiya yo'qotib uni elektromagnit nurlanish (foton) kvanti ko'rinishda chiqaradi. Bunday rekombinatsiya **nurlanuvchi rekombinatsiya** deb ataladi. Rekombinatsiya o'z-o'zidan boshqa nurlanishlar bo'lmagan holda amalga oshishi mumkin. Bunda hosil bo'luvchi nurlanish spontan nurlanish deyiladi. Bunday nurlanish ma'nosi shundaki, foton o'tkazuvchanlik elektroni bilan ta'sirlashib, uni valent zonadagi bo'sh sathga o'tishga majburlaydi, bunday o'tishda elektron o'zining ortiqcha energiyasini foton sifatida chiqaradi. Majburiy nurlanish hisobiga hosil bo'lgan fotonlar nurlanish hosil qilgan fotonlarning aynan nusxasi bo'lib, xuddi shunday chastota, o'sha harakat yo'nalishiga, bir xil boshlang'ich faza va bir xil qutblanishga ega. Natijada bitta kvant o'rniga ikkita kvantga ega bo'linadi, ya'ni nur kuchayishi kuzatiladi. Bunday nurlanish **lazer nurlanish** deb ataladi.

Foton elektronning valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasining bo'sh holatiga o'tishi hisobiga yutilishi ham mumkin. Ikkala jarayon — yutilish va majburiy nurlanish jarayonlari ehtimolligi bir xil. Kristall valent zonasidagi elektronlar soni uning o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar soniga qaraganda ancha ko'p bo'lgani sababli, yutilish aktlari soni nurlanish aktlari soniga qaraganda bir necha marta ko'p bo'ladi, ya'ni bunday yarimo'tkazgich faqat nur yutadi.

Yarimo'tkazgich nurni kuchaytirish imkoniyatiga ega bo'lishi uchun ikkita asosiy shart bajarilishi zarur. Birinchidan, yarimo'tkazgichda **energetik sathlarning to'ldirilishida inversiyaga** erishish, ya'ni o'tkazuvchanlik zonasida valent zonaga nisbatan ko'proq elektronlar bo'lishiga erishish lozim. Bu holda nurlanish aktlari soni yutilish aktlariga nisbatan ko'proq bo'ladi va yarimo'tkazgich nurni kuchaytiradi. Ikkinchidan, yarimo'tkazgichda shunday sharoit hosil qilish kerakki, fotonlar faqat majburiy o'tishlarda hosil bo'lsin. Buning uchun majburiy nurlanish aktlari sodir bo'ladigan aktiv muhitni optik rezonatorga yoki qaytarish koeffitsiyenti yetarli katta ko'zgular tizimiga joylashtirish zarur. Shunda aktiv sohada yuzaga keluvchi birlamchi spontan foton harakati davomida o'ziga o'xshash foton chiqaradi. Demak, modda hajmida 2 ta foton bo'ladi, keyin 4 ta va h.k. Rezonator ko'zgulariga yetib borgan deyarli har bir foton qaytadi va yana aktiv modda hajmiga kiradi, u yerda yangi fotonlar hosil bo'lishida qatnashadi. Rezonator ichida lazer nurlanish zichligi rezonator hajmidan tashqariga chiqayotgan fotonlar soni rezonator ichida majburiy o'tishlar hisobiga yuzaga kelayotgan fotonlar soniga tenglashmaguncha ortib boraveradi. Shundagina turg'un generatsiya rejimi yuzaga keladi.

Injeksiya nurlanish hosil qilishning eng muhim usulidir. $p-n$ o'tish to'g'ri siljirilganda noasosiy zaryad tashuvchilarning o'tish orqali injeksiyasi effektiv nurlanuvchi rekombinatsiyaga olib keladi, chunki bu holda elektr energiya bevosita fotonlar energiyasiga o'zgartiriladi.

Gomo $p-n$ o'tishlarda hosil qilingan birinchi injeksion lazerlar generatsiyasi va ekspluatatsiya (foydalanish) parametrlari nisbatan past edi: $20 \div 100 \text{ kA/sm}^2$ gacha katta bo'sag'aviy tok, xizmat qilish davri qisqa va kichik FIK. Bu lazer generatsiyalash jarayonining kvant samaradorligi pastligi va katta optik yo'qotishlar bilan bog'liq edi.



9.14-rasm. Injeksion geterolazer: ikki tomonlama geterotuzilma (a), uning energetik diagrammasi (b) va sindirish ko'rsatikichi.

Optik yo'qotishlar lazerning aktiv sohasida erkin zaryad tashuvchilar va nuqsonlar tomonidan nurning yutilishi bilan bog'liq edi. Gap shundaki, gomoo'tishlarda invers to'ldirilish yuqori legirlangandagina amalga oshirilardi, natijada muvozanat holatda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi katta bo'lar va aktiv sohada kristall panjara nuqsonlari ortib ketardi. Bundan tashqari, aktiv sohada hosil bo'layotgan nurlar aktiv bo'lmagan qo'shni sohalarga tarqalardi. Lazer generatsiyalash jarayonining kvant samaradorligining pastligi asosan ko'p elektronlarning tezligi katta bo'lgani hisobiga aktiv sohadan sakrab o'tishi va kovaklar bilan rekombinatsiyalashib ulgurmasligi bilan bog'liq edi.

Geteroo'tishli tuzilmalardan foydalanish masalani mutlaqo o'zgartiradi. 9.14-rasmda ikki tomonlama geterotuzilmaga ega lazerning tuzilishi, uning energetik diagrammasi va sindirish ko'rsatkichining taqsimlanishi ko'rsatilgan.

Ko'zgular kristallni sindirib yoki o'tish tekisligiga tik ikkita yon tomonlarini sayqallab hosil qilinadi. Qolgan ikki yon tomon sirti nur boshqa tomonlarga tarqalmasligi uchun notekis qilib tayyorlanadi. Bunday tuzilma Fabri-Pero rezonatori deb ataladi.

Aktiv qatlam sifatida taqiqlangan zonasi kengligi kichikroq va dielektrik doimiysi katta (katta sindirish ko'rsatkichga ega) materialdan

foydalaniladi. Rekombinatsiya, nur hosil bo'lish va invers egallanganlik sohalari o'zaro ustma-ust tushadi va o'rta qatlamda joylashadi. Lazer ishlashi quyidagicha amalga oshadi: n - p o'tish to'g'ri siljirilganda elektronlar n -GaAs dan aktiv sohaga injeksiyalanadi va unda invers egallanganlikni hosil qiladi. Shundan keyin, elektronlar o'tkazuvchanlik zonasidan valent zonaga o'tib, elektromagnit nurlanish kvantlarini hosil qiladi. Bu nurlar chastotasi

$$h\nu = \Delta W_{TZ} + W_{C1} + W_{C2} \quad (9.11)$$

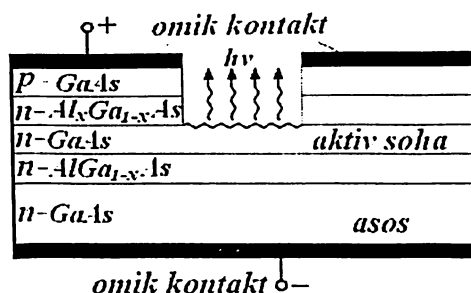
ga teng. Geteroo'tishlar chegarasida potensial to'siqlar hisobiga passiv sohalarda rekombinatsion yo'qotishlar bo'lmaydi, elektron-kovakli plazma o'rta qatlamning kvant chuqurlarida joylashadi. Generatsiya-lanayotgan nurlanish aktiv va passiv sohalarda sindirish ko'rsatkichlarining farqi hisobiga asbobning aktiv sohasiga to'planadi. Agar qatlamlarning sindirish ko'rsatkichlari

$$n_2 > n_1 \geq n_3$$

shartni qanoatlantirsa, elektromagnit nurlanish qatlamlar chegaralariga parallel yo'nalishlarda tarqaladi. Shuning hisobiga passiv sohalarda nurlanish yo'qolishi e'tiborga olmasa bo'ladigan darajada kichik bo'ladi.

Aktiv qatlam qalinligi yetarli kichik bo'lganda u o'zini kvant chuqurdek tutadi. Unda energetik spektr kvant chuqurlikli lazerning parametrlarini aktiv qatlam qalinligini o'zgartirish hisobiga o'zgartirib qayta sozlash mumkin. Chuqur o'lchamlari kamaytirilganda elektronlarning minimal energiyasi W_{C1} va W_{C2} ortadi va (9.11)ga muvofiq, lazer nurlari chastotasi ham ortadi. Kvant chuqurligi kengligini tanlab, OTALLar uchun $\lambda = 1,6$ mkm li lazer hosil qilamiz. Bundan tashqari, kvant chuqurliklarida spektri infraqizil nurlardan havoranggacha o'zgaradigan NDlar yaratilgan.

Ikki tomonlama geterotuzilmalarda qatlam qalinligi $0,1 \div 0,2$ mkm bo'lganda bo'sag'aviy tokning zichligi $1 \div 3$ kA/sm² gacha kamayadi. Kvant chuqurlikli lazerlarda ushbu tokning minimal chegaraviy qiymati 30 A/sm² atrofida bo'ladi. Bo'sag'aviy tokning sezilarli kamayishiga volnovod effekti va aktiv sohaning kichik qalinligidan tashqari, yana ikkita holat ko'maklashadi. Birinchidan, aktiv sohaga injeksiyalangan



9.15-rasm. Vertikal rezonatorli nanoelektron lazer tuzilishi.

va kovaklar bilan birinchi marta ta'sirlasha olmagan elektronlar potensial to'siqlardan qaytadi va aktiv sohaga kiradi. Bunda ularning kovaklar bilan rekombinatsiyalashish ehtimolligi yuqori bo'ladi. Ikkichidan, keng taqiqlangan zonaga ega emitting elektronlari nisbatan tor taqiqlangan zonaga ega n -GaAs li aktiv sohaga o'z potensial energiyasini, xuddi «tog'dan yumalab tushgandek» yo'qotib kiradi. Ushbu hodisa **superinjeksiya** deb ataladi.

Ikki tomonlama geteroo'tishga ega lazerning xona temperaturasida uzluksiz ishlash rejimdagi xizmat qilish vaqti hozirgi vaqtda 10 ming soatni tashkil etadi, unda elektr quvvatning 60%i yorug'lik nuriga aylantiriladi.

Fabri–Pero rezonatorli lazerida nur volnovod qatlamning yon tomonidan, ya'ni **gorizontal joylashgan rezonatorlar** orqali chiqadi. Lazerda volnovod qatlam uyg'otilgan nur volnovoddan bo'ylama yo'nalishda chiqquncha kuchaytiriladigan qatlam-kesim. Bunda aktiv soha qalinligi kichikligi hisobiga volnovod qatlamga tik yo'nalishda nur dastasi $800 \div 600$ mrad burchak ostida tarqaladi.

Hozirgi vaqtda ingichka yo'nalgan nurlanish hosil qilish uchun nur volnovod qatlam sirtiga yuritilgan difraksion panjara orqali chiqariladi. Bu holatda nur tarqoqligi aktiv soha qalinligi bilan emas, spektral chiziq yarim kengligi bilan aniqlanadi va bir necha o'n burchak minutni tashkil etadi. Difraksion panjarali injeksion geterolazerning tuzilishi 9.15-rasmda ko'rsatilgan.

Bunday lazer Fabri–Pero rezonatori davri yorug'lik to'liq uzunligiga teng yoki unga karrali bo'lgan difraksion panjara bilan hosil

qilinadi. Bunday davrli panjara yassi ko‘zgu sifatida xizmat qiladi, chunki unda Vulf–Bregg sharti bajarilgan nur modalari qaytadi.

Vulf–Bregg sharti kristall atom qatlamlari to‘plamiga tushayotgan nurlarning qaytishi natijasida hosil bo‘ladigan to‘lqinlar intensivligi holatini aniqlaydi. Difraksion panjaralar (Bregg ko‘zgulari) asosga parallel joylashgan, rezonator o‘qi va nur tarqalish yo‘nalishi yarim-o‘tkazgich plastina tekisligiga nisbatan tik (vertikal). Shuning uchun bunday lazer **vertikal rezonatorli lazer** deb ataladi. Bu turdagi lazerlar VCSEL (Vertical-cavity surface emitting laser) yoki VCL (Vertical-cavity laser) nomini olgan.

9.4. Funktsional elektronika

Yarimo‘tkazgich IMSlar analog mikroelektron apparatlar hisoblash texnikasi tizimlari va qurilmalarining element bazasini tashkil etadi. Mikroelektronika rivojining asosiy tendensiyasi integratsiya darajasini Mur qonuniga muvofiq orttirishdan iborat. Integratsiya darajasini oshirishning bitta yo‘li tranzistor tuzilmalarning o‘lchamlarini kichiklashtirishdan iborat. Bunda bipolar IMSlar komponentlari bir-biridan va yarimo‘tkazgich asosdan qo‘shimcha konstruktiv elementlar yordamida elektr jihatdan izolatsiyalanadi. Komponentlar ichki ulanishlarni metallash yo‘li bilan funktsional sxemaga birlashtiriladi, chunki ulanayotgan sohalar turli elektr o‘tkazuvchanlikka (elektron yoki kovakli) ega. Sxema elementlari o‘lchamlarining kichiklashishi (diod, tranzistor, rezistorlar) sxema zichligini oshiradi va, natijada, signal o‘tish vaqtini, ya’ni qurilmalar tezkorligini oshiradi. Integratsiya darajasining oshishi bilan kristallning o‘zaro ulanishlar bilan band pogon sig‘imga ega ulushi ortadi. Aloqa liniyasi C pogon sig‘imga ega bo‘lsin. Agar aloqa liniyasi uzunligi l bo‘lsa va u orqali t sekund davomida amplitudasi U bo‘lgan impuls uzatilsa, har bir impuls bilan liniyaga $P = (CU^2)/t$ quvvat kiritiladi. Impuls quvvatini oshirib mantiq element qayta ulanish tezligini oshirishi mumkin. Sxemaga kiritilayotgan impuls quvvat oshirilishi bilan unda ko‘proq ajralayotgan issiqlikni olib ketish ham kerak. Shuning uchun zamonaviy sxemotexnik elektronika qurilmalarida axborotlarni qayta ishlash tezligi sekundiga

$10^9 \div 10^{10}$ operatsiyadan oshmaydi. Bunday xarakteristikalar axborotlarning katta massivlariga real vaqt masshtabida ishlov berishga imkoniyat bermaydi (obrazlarni aniqlash, konstruksiyalarni sintez qilish, bilimlar bazasini boshqarish, sun'iy intellekt yaratish va h.k.).

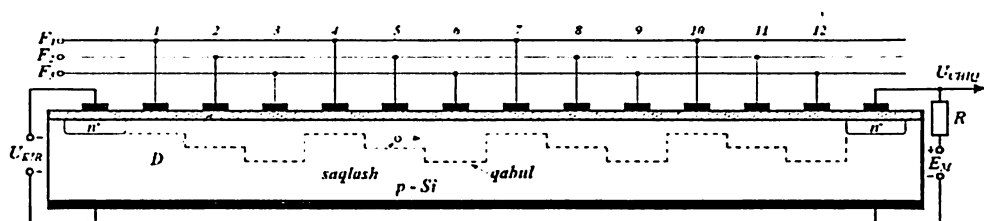
Elektronika rivojining tezkorlikni oshirishga yo'naltirilgan alternativ yo'llaridan biri an'anaviy elementlardan chetlashishda va katta massivga ega axborotlarga ishlov berishda axborot tashuvchi sifatida qattiq jismdagi **dinamik nobirjinsliklardan** foydalanishdan iborat. Bu bir jinslimasliklarning dinamik deb atalishiga sabab shundaki, ular turli fizik hodisalar yordamida hosil bo'ladi, siljishi, shaklini, holatini o'zgartirishi, boshqa nobirjinsliklar bilan ta'sirlashishi mumkin.

IMSlarda komponentli tuzilishdan chetlashish va dinamik bir jinslimasliklardan foydalanishga asoslangan yo'nalish «**funksional elektronika**» nomiga ega. Hozirda funksional elektronika (FE) rivojlanishining boshlang'ich bosqichida turibdi. FEning ko'p qurilmalari mikroelektronikaning raqamli qurilmalari bilan ishlashga moslashgan. Ular birinchi navbatda yuqori tezkorlik va $10^5 \div 10^7$ bit sig'imga ega xotira qurilmalaridir.

Funksional elektronikaning ba'zi eng istiqbolli asboblari ishlash prinsiplarini ko'rib chiqamiz.

Zaryad aloqali asbob (ZAA) (9.16-rasm) yupqa dielektrik qatlam D bilan qoplangan va yuzasiga 12 ta boshqaruvchi metall elektrodlar tizimi joylashtirilgan yarimo'tkazgich kristalldan (masalan; *p*-turdagi) iborat. Shunday qilib, 12 ta MDYA-tizim hosil qilinadi. Tizimlar soni *N* elementlar orasidagi masofaga, yozuvchi impuls davomiyligiga bog'liq bo'ladi va 200 ga yetishi mumkin. Har bir elektrod kengligi $10 \div 12$ mkm ni, ular orasidagi masofa esa $2 \div 4$ mkm ni tashkil etishi mumkin.

MDYA-tuzilmadagi barcha elektrodلarga bo'sag'aviy kuchlanish U_0 berilganda dielektrik bilan yarimo'tkazgich orasida kambag'al-lashgan soha hosil bo'ladi, bu soha **potensial chuqur** deb ataladi. Alohida elektroddagi kuchlanish qiymati axborotni saqlash kuchlanishi $U_{SAQ} > U_0$ gacha o'zgartirilganda, ushbu elektrod ostidagi kambag'allashgan soha yarimo'tkazgichning boshqa yuzalariga qaraganda «chuqurroq» bo'ladi. Potensial chuqurda elektronlarni (paketini)



9.16-rasm. ZAA turkumidagi uch fazali siljituvchi registr tizimida zaryad ko'chishi.

to'plash mumkin. Demak, MDYA-tuzilma ma'lum vaqtgacha potensial chuqurdagi zaryadga mos axborotni eslab qoluvchi element sifatida xizmat qilishi mumkin. Elektron paket dinamik bir jinslimaslikni tashkil etadi. Elektron paketni saqlash jarayonida ma'lum elektrod (zatvor) ostida termogeneratsiya hisobiga qo'shimcha elektronlar hosil bo'lishi mumkin. Agar zaryad o'zgarishining ruxsat etilgan qiymati 1% ni tashkil etsa, axborotni saqlash vaqti esa bir necha sekunddan oshmaydi. Shuning uchun ZAA **dinamik turdagi asbobdir**. Birlamchi to'plangan va ma'lum aniq potensial chuqur bilan bog'liq zaryadlar, yarimo'tkazgich sirti bo'ylab potensial chuqur siljirilgan holda ko'chirilishi mumkin. Buning uchun zatvorlardagi kuchlanishlar aniq ketma-ketlikda o'zgartirilishi mumkin.

Zaryadni ma'lum yo'nalishda ko'chirish uchun har bir elektrod uch fazali boshqarish tizimining F_1 , F_2 , F_3 takt shinalaridan biriga ulanadi. Demak, ZAAning bir elementi uchta MDYA-tuzilmali yacheykadan iborat bo'ladi. Agar ZAA qo'shni elektrodlariga berilgan kuchlanishlar qiymat jihatdan bir-biridan farq qilsa, qo'shni potensial chuqurlar orasida elektr maydon hosil bo'ladi. Ushbu maydon yo'nalishi shundayki, elektronlar kattaroq potensialga ega sohaga dreyf harakat qiladi, ya'ni «sayozroq» potensial chuqurdan nisbatan «chuqurroq»qa ko'chadi.

Agar zaryad birinchi elektrod ostida to'plangan bo'lsayu, uni ikkinchi elektrod ostiga siljitish zarur bo'lsa, unga kattaroq kuchlanish beriladi, bunda zaryad yuqoriroq kuchlanishli elektrod ostiga ko'chadi. Keyingi takt da yuqoriroq kuchlanish navbatdagi elektrodga beriladi va zaryad unga ko'chadi. Zaryad ko'chirishning uch taktli tizimida

1, 4, 7, 10 va shunga o'xshash elektrodlar F_1 shinaga, 2, 5, 8, 11 elektrodlar F_2 shinaga, 3, 6, 9, 12 va shunga o'xshash elektrodlar esa F_3 shinaga ulanadi.

Zaryadlarning elektrodlararo sirkultatsiyasi barcha ZAAlar qo'llanishlarning asosi hisoblanadi. Zaryadlarni ko'chirish imkoniyati ZAAlar asosida siljituvchi registrlar va xotira qurilmalar yaratish imkonini beradi. **Registr** deb, ikkilik kod asosida berilgan ko'p razryadli axborotni yozish, saqlash yoki siljitish uchun qo'llaniladigan qurilmaga aytiladi.

Signalning zaryad paketlarini bir necha usullar bilan, masalan, p - n o'tishdan zaryad tashuvchilarni metall elektrodlar ostiga injeksiyalash, MDYA-turdagi tuzilmada yuza bo'ylab ko'chkisimon teshilish yoki metall elektrodlar orasidagi aniq joylar orqali yorug'lik kiritib elektron-kovak juftliklarni generatsiyalash bilan hosil qilish mumkin.

Nomuvozanat zaryad hosil qilish va uni p - n^+ o'tishlardan foydalangan holda ZAAdan chiqarish usuli 9.16-rasmda ko'rsatilgan.

Elektronlar paketini birinchi zatvor ostiga kiritish uchun n^+ - p o'tishga to'g'ri siljitish beriladi. Paket zaryadi qiymati kirish signali amplitudasi ortishi bilan p - n o'tish VAXiga muvofiq eksponensial qonun bilan ortadi va uning uzluksizligiga bog'liq bo'ladi. Signal kiritishning ushbu usulining afzalligi bir necha nanosekundni tashkil etuvchi tezkor ishlashidan iborat. Chiqishdagi n^+ - p o'tishga teskari siljitish berilgani uchun 11-zatvordan 12-zatvorga o'tuvchi elektronlar elektr maydon ta'siriga uchraydi va chiqish zanjirida tok impulsi hosil qiladi.

ZAAning ikkita: axborot zaryadini saqlash va uzatish rejimlari mavjud. Ushbu turdagi ZAAlar uchun axborotni saqlashning maksimal vaqti $100 \text{ msek} \div 10 \text{ sekni}$ tashkil etadi. Takomillashgan (yashirin kanalli va ikki fazali boshqaruvga ega ZAAlarda hamda kremniy oksidiga purkalgan kremniy nitridi Si_3N_4 li dielektrik qatlamli MDYA-tuzilmalarda) yozib olingan axbortni saqlash vaqti bir necha o'n ming soatlarni tashkil etadi. ZAAlarda yaratilgan xotira qurilmalar raqamli texnikada qo'llaniladi va katta ($8 \div 16 \text{ Kbit}$) sig'imga ega.

Fotogabulqiluvchi ZAAlar. Zaryadli paket nafaqat injeksiya yo'li bilan, balki sirtni lokal yoritish yo'li bilan ham hosil qilinishi mumkin.

Bu holda zaryad aloqali fotosezgir asbob (ZAFa) hosil bo'ladi. Yoritilganda mos zatvor ostida yoritilganlik F ga proporsional zaryad hosil bo'ladi. Natijada zatvorlar ostidagi zaryadlar majmuyi tasvirni xarakterlaydi. Elektrodlar chiziq (satr) yoki matritsa shaklida joylashadi. Elektrodarga xos o'lchamlar: uzunligi 5 mkm, kengligi 40 mkm. Elektrodlar orasidagi masofa $1 \div 2$ mkm. Matritsa ko'rinishidagi ZAFada elektrodlar soni 10^6 dan katta bo'lishi mumkin. Shuning uchun ZAA katta integral sxemadek qaralishi mumkin.

Uch fazali boshqarish amalga oshirilganda ZAFAning elementar yacheykasi (piksel) bitta satrning uchta qo'shni elektrodi 1, 2, 3 (4, 5, 6 va h.k.)ga ega bo'lishi shart. Bunda yacheykaning har bir elektrodi uchta boshqa-boshqa takt shinalari (fazalari) F_1, F_2, F_3 ga (9.16-rasmdagidek) ulanadi. Birinchi takt davomida 2 (5, 8, 11 va sh.o.) elektrodga musbat saqlash kuchlanishi $U_{SAQ} > U_0$ ($10 \div 20$ V) beriladi. Natijada ushbu elektrod ostida kambag'allashgan soha hosil bo'ladi. Bu soha elektronlar uchun potensial chuqurni hosil qiladi. Sirt yoritilganda elektron-kovak juftliklar soni lokal yoritilganlik va yoritish vaqti bilan belgilanadi. Bunda elektronlar potensial chuqurlikda yig'ilib, zaryadli paketni hosil qiladi. Paket yetarli vaqt ($1 \div 100$ ms) saqlanishi mumkin.

Ikkinchi takt davomida 3 elektrodga o'qish kuchlanishi U_{OQ} beriladi. O'qish kuchlanishi qiymati saqlash kuchlanishidan katta bo'ladi. Natijada elektronlar 3 elektrod ostidagi chuqurroq potensial chuqurlikka dreyf siljiydi.

Uchinchi takt davomida 3 elektroddagi kuchlanish qiymati saqlash kuchlanishi qiymatigacha kamayadi, 2 elektroddan esa potensial olinadi. Saqlash yoki o'qish kuchlanishi berilmagan elektrodga hamma vaqt katta bo'lmagan siljituvchi kuchlanish berib qo'yiladi. Shu bilan zaryadli paketlar harakatining bir tomonlama bo'lishiga erishiladi. Har bir satr oxirida 9.16-rasmdagidek chiquvchi element mavjud. $n^+ - p$ o'tish orqali chiquvchi zaryad paketlar R yuklama rezistorida videoimpulslar ketma-ketligini ta'minlaydi. Videoimpulslar amplitudasi turli sohalar yoritilganligiga proporsional bo'ladi. Matritsasifat ZAFada butun kadr bir vaqtning o'zida hosil bo'ladi, chiziqlida esa ketma-ket ikkinchi koordinata bo'yicha qo'shimcha

yoyish bilan hosil qilinadi. Bunday tasvir signallarni hosil qiluvchilardan foydalanish kichik o'lchamli, kam energiya sarflovchi yarimo'tkazgichni uzatuvchi televizion kameralar, jumladan, rangli televideniye uchun ham yaratish imkonini beradi. Piksellarning maksimal formati pikselning minimal o'lchami $3 \div 5$ mkm ni tashkil etganda 4080×4080 mkm ni tashkil etadi. Chastota 30 kadr/sek bo'lganda iste'mol etilayotgan quvvat $0,03 \div 0,1$ mVt/pikselni tashkil etadi.

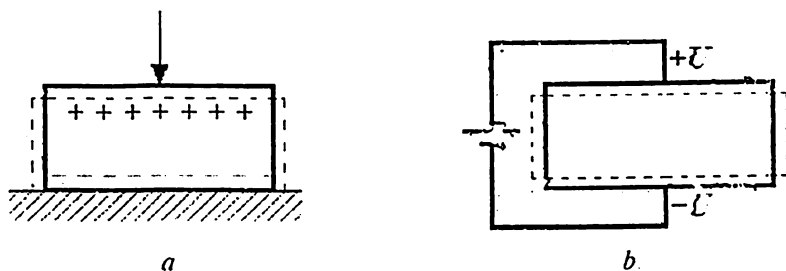
ZAFA faqat tasvirni qabul qiluvchi funksiyani bajarishini aytib o'tish kerak. Televizion signal hosil qilish uchun boshqaruvchi sxemalar, har bir ustun chiqishida o'quvchi analog kuchaytirgichlar, analog-raqamli o'zgartgich va qator boshqa bloklar bo'lishi zarur.

Hozirgi zamonda ZAFAlarni takomillashtirishdan tashqari kristall hajmida joylashgan boshqaruvchi sxemalarga va tasvirga ishlov beruvchi bir kristalli ZAFAlar ishlab chiqilayapti. Bir kristalli fotoqabulqiluvchi qurilmalarning element bazasi sifatida FD va komplementar MDYA-tranzistorlar asosida hosil qilingan aktiv fotosezgir elementlar (aktiv piksellar) matritsasi xizmat qiladi. Shuning uchun u O'KIS deb ataladi. KMDYA-fotodiodli qurilmaning asosiy afzalligi iste'mol quvvatining kichikligi, foydalanuvchilarni qiziqtirgan «oynalarni» dasturlash imkoniyati va o'qish tezligining kattaligi bilan aniqlanadi. Asosiy kamchiliklari – shovqinlarning yuqoriligi, fotosezgirlikning kichikligi, aktiv element o'lchamlarining kattaligi, ZAFAlarga qaraganda kichikroq ajratish xususiyatiga egaligidan iborat. KMDYA-fotodiodli O'KISlar yordamida bir kristalli xonadonbop foto- va videokameralar, avtomobillarni qo'riqlash tizimlari, videotelefonlar hosil qilinadi.

Shunday qilib, ZAAlar universal tuzilmalar bo'lib xizmat qiladi. ZAAlar asosida sig'imi katta xotira qurilmalari, boshqariluvchi kechiktirish liniyalari, moslashtirilgan va polosali filtrlar, hamda yuqorida aytib o'tilgan raqamli kameralar ishlab chiqilgan.

Akustoelektronika asboblari. Akustoelektron asboblarning ishlatishi elektr signalni ultratovush to'lqinlarga, uni tovush o'tkazuvchi orqali tarqalishiga va keyinchalik chiqish elektr signalga o'zgartirilishiga asoslanadi.

Shunday qilib, bunday asboblarda kirish bilan chiqish orasida axborot tashuvchi bo'lib ultratovush (akustik) signal deb ataluvchi dinamik



9.17-rasm. To'g'ri (a) va teskari (b) pyzeoeffekt.

bir jinslimaslik xizmat qiladi. U 10^{13} Gs chastotali tebranishlardan iborat bo'lib, qattiq jismda $1,5 \div 5,5$ km/s tovush tezligida tarqaladi. Akustik to'lqin tezligi elektromagnit tebranishlar tarqalish tezligiga nisbatan 5 tartibga kichikligi ko'rinib turibdi. Shuning uchun ushbu xususiyatdan birinchi navbatda kichik o'lchamli kechiktirish liniyalarini ishlab chiqishda foydalanildi. Akustoelektron asboblarda mikroelektronikada qo'llaniladigan usullar bilan hosil qilinishiga IMSlarga o'xshashligi bilan e'tiborga loyiq.

Ultratovush to'lqinlar pyezoaktiv materiallarda (pyzeoelektriklarda) hosil qilinishi mumkin. Shuning uchun ushbu sinf asboblari uchun ishchi muhit sifatida pyzeoeffekt juda yaqqol namoyon bo'ladigan dielektrik va yarimo'tkazgich kristallar xizmat qiladi. **To'g'ri pyzeoeffekt** deb, mexanik kuchlanish natijasida pyzeoelektrikning qutblanish hodisasiga aytiladi (9.17, a-rasm). Qutblanish natijasida pyzeoelektrikning qarama-qarshi tomonlarida pyezo-EYuK deb ataluvchi potensiallar farqi hosil bo'ladi. **Teskari pyzeoeffekt** deb, berilgan tashqi kuchlanish ta'sirida jismning geometrik o'lchamlari o'zgarishiga aytiladi (9.17, b-rasm). Rasmda jismning deformatsiyadan keyingi o'lchamlari uzun chiziqli bilan ko'rsatilgan.

Kuchlanish berilgan joyda elektr maydon kuchlanganligi yo'nali-shiga bog'liq holda pyzeoelektrik siqildi yoki kengiyadi. Natijada, tovush o'tkazuvchi deb ataladigan, kristall plastinada ko'ndalang yoki bo'ylanish akustik ultratovush chastotasi berilgan plastinaning chastotasi teng bo'ladi. Pyzeoelektrik ma'lum xususiy mexanik tebranishlar chastotasiga ega bo'lgani sababli, tashqi EYuK chastotasi bilan plastina

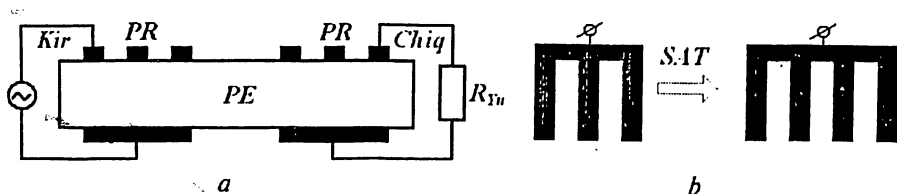
xususiy tebranishlar chastotasi bir-biriga teng bo'lganda (rezonans hodisasi) plastinaning tebranishlari amplitudasi eng katta qiymatga ega bo'ladi.

Akustoelektronika asboblari chastotasi $1 \div 10$ GGs bo'lgan, kvars, litiy niobiti va tantalati hamda CdS, ZnS, ZnO, GaAs, InSb va boshqa yupqa yarimo'tkazgich qatlamlarda generatsiyalanadigan ultratovush to'lqinlar ishlatiladi. Ushbu diapazonda hajmiy va sirt akustik to'lqinlar (SAT) ishlatiladi. SATlarda ishlaydigan akustoelektron asboblari keng tarqalgan. Ularga kechiktirish liniyalari, polosali filtrlar, rezonatorlar, turli datchiklar va shunga o'xshashlar kiradi. Bu asboblarda elektr signallarni akustik signalga va aksincha o'zgartirish maxsus o'zgartirgichlar yordamida amalga oshadi. SATlar o'zgartirgichlarining 7 turi mavjud bo'lib, amalda ikki: metall elektrodli sinfaz va qoziqsimon joylashgan turlari keng tarqalgan.

SATlar asosidagi sodda akustoelektron asbob — sinfaz o'zgartirgichli kechiktirish liniyalarining tuzilishi 9.18-rasmda ko'rsatilgan.

Sinfaz o'zgartirgich pyezoelektrik plastinaning astoydil sayqallangan qarama-qarshi yuzalariga joylashtiriladigan ikkita elektroddan tashkil topadi. O'zgartirgichlar qalinligi $0,1 \div 0,5$ mkm ni tashkil etuvchi yupqa metall parda ko'rinishida bo'ladi.

Yuqorida joylashgan elektrod taroqsimon tuzilishga ega bo'lib, fazoviy davri sirt to'lqin uzunligiga teng bo'lishi kerak. Chapdagi sinfaz o'zgartirgich kiruvchi elektr signal ta'sirida kristalda sirt to'lqinini uyg'otadi (teskari pyezoeffekt hodisasi). Akustik to'lqin uzunligi akustik tebranishlarning tarqalish tezligi v_{ak} va elektr tebranishlar chastotasi f ga bog'liq: $\lambda_{ak} = v_{ak} / f$.



9.18-rasm. Elektroakustik kechiktiruvchi liniyaning tuzilishi: yon tomondan (a) va ostidan (b) ko'rinishi.

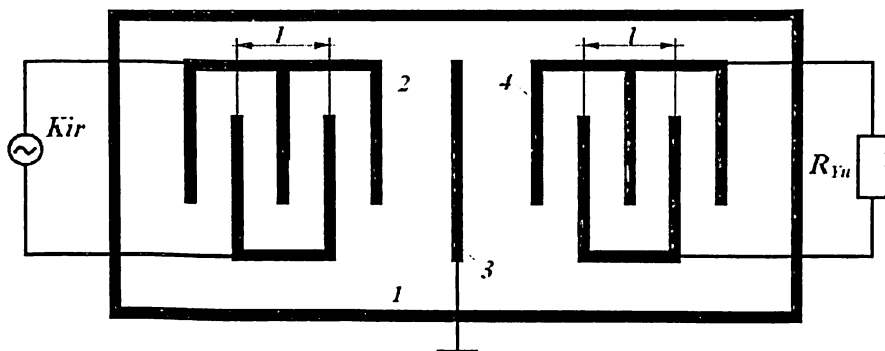
To'liqin uzatgichda bo'ylama garmonik akustik to'liqin hosil qilindi, deylik. Ushbu to'liqin kristallda qalinligi taxminan to'liqin uzunligiga teng bo'lgan sirtqi qatlam bo'ylab bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga bosimni o'zgartirib tarqaladi. Bosimning o'zgarishi kristallning deformatsiyalanishiga va qarama-qarshi ishorali zaryadlar (pyezo-EYuK) hosil bo'lishiga olib keladi. Kristall siqilgan joylarda zaryadlar ishoralari bir xil taqsimlanadi, kristall cho'zilgan joylarda esa zaryadlar taqsimlanishi teskarisiga o'zgaradi. Bu kristallda, jumladan, chiqish sinfaz o'zgartgich elektrodleri orasida ham o'zgaruvchan elektr maydon hosil bo'lishiga olib keladi. Natijada chiqishdagi o'zgartgich (unga R_{yu} yuklama ulangan) akustik signalni elektr signalga aylantiradi (to'g'ri pyezoeffekt). Signal kechikish vaqti akustik to'liqinning o'zgartgichlar orasidagi o'tish vatqi bilan aniqlanadi.

Bunday qurilmaning asosiy kamchiligi tovush o'tkazgichda sochiladigan quvvatning kattaligidadir. Gap shundaki, akustik to'liqin kristalldagi erkin elektronlar bilan ta'sirlashib, ularni to'liqin tarqalish yo'nalishida olib ketadi. Bunda to'liqin qo'shimcha so'nadi. Agar kristallga zaryad tashuvchilarni to'liqin tarqalish yo'nalishida $v_e \geq v_{ak}$ tezlik bilan dreyf harakat qildiruvchi kuchlanish berilsa, zaryad tashuvchilar o'zlarining ma'lum energiyasini to'liqinga uzatadi, natijada akustik to'liqin kuchayadi. Bunda akustik signallar kuchaytirgichi yoki aktiv ultratovushli kechiktirish liniyasi hosil bo'ladi.

Qandaydir f_1 dan f_2 gacha chastotalar orasidagi tebranishlarni o'tkazuvchi polosali filtrlar va keng polosali kechiktirish liniyalari hosil qilishda qarama-qarshi qoziqsimon o'zgartgichlar ishlatiladi (QQQO').

Kirishdagi QQQO'ning geometrik o'lchamlari va shakli elektr signalni akustik to'liqinga aylantirish samaradorligini belgilaydi. Har bir chastota uchun QQQO'ning ma'lum o'lchamlardagina eng samarali o'zgartirish hosil bo'ladi. QQQO' asosida hosil qilingan SAT filtrining tuzilishi 9.19-rasmda keltirilgan.

Filtr pyezoelektrik asos 1 (masalan, litiy niobiti, pyezokvars, pyezokeramika) va unga fotolitografiya usullari bilan hosil qilingan ikkita QQQO' 2, 4 hamda ekranlovchi elektrod 3 dan tuzilgan. Kirishdagi QQQO' signal manbayi bilan, chiqishdagisi esa elektr signal hosil qiluvchi yuklama bilan ulangan.



9.19-rasm. QQQO'li SATli filtr.

Berilgan f_0 chastota uchun taroq qadami l akustik to'liqin uzunligi λ_{ak} bilan bir xil bo'lishi kerak. QQQO'da filtrning o'tkazish polosasi qoziqlar soni N bilan aniqlanadi:

$$\Delta f_l = f_0 / N.$$

Qoziqlar soni $N = 2$ bo'lganda filtr eng keng o'tkazish polosasiga ega bo'ladi. Qoziqlar soni ortishi bilan filtrning o'tkazish polosasi kengligi torayadi. Akustoelektron filtrning yuqori ishchi chastotasi fotolitografiyaning ajratish xususiyati bilan belgilanadi. QQQO'lar elektrodleri kengligi $\lambda_{ak}/4$ ga teng qilib olinadi. Bunda 100 MGs chastotali SATli filtr elektrodleri 8 mkm ni tashkil etadi.

SATli filtrlar ko'p kanalli elektr aloqa va kosmik aloqa tizimlari filtrlari sifatida keng ishlatiladi. Hozirda ular televizion qabulqilgichlarning tasvir orqali chastota kuchaytirgich bloklarida LC-filtrlarni almashtirmoqda. Hozirgi vaqtda tasvirni tashish chastotasi 38 va 38,9 MGs ni tashkil etuvchi SATli televizion filtrlar seriyali ravishda ishlab chiqarilmoqda.

Zamonaviy SATli filtrlar $\Delta f = 0,05 - 50\%$ o'tkazish polosasiga ega, o'tkazish polosasidagi so'nish $2 \div 6$ dB, selektivligi 100 dB gacha. Bunday filtrlar 900 MGs gacha chastotalarda ishlaydi.

Magnitoelektronika asboblari. Magnitoelektron asboblarda ferromagnit materiallar ishlatiladi. Ular domen tuzilishga ega, ya'ni butun hajmi ko'p sonli lokal sohalar — domenlardan tashkil topadi. Domenlar

to'yinguncha spontan magnitlangan. Ular **polosali, labirintsimon** va **silindrik** shaklga ega bo'lishi mumkin. Domenning chiziqli o'lchamlari millimetrning minglarcha ulushidan o'nlarcha ulushiga teng. Domenlar o'zaro **chegaradosh devorlar** (Blox devorlari) bilan ajralib turadi. Bu devorlarda bitta domen magnitlanganlik vektoriga nisbatan asta o'zgarishlari sodir bo'ladi.

Magnitoelektronika asboblari axborot signalini tashuvchi sifatida quyidagi dinamik birjinslimasliklarning biridan foydalaniladi:

1) silindrik shakldagi domenlar;

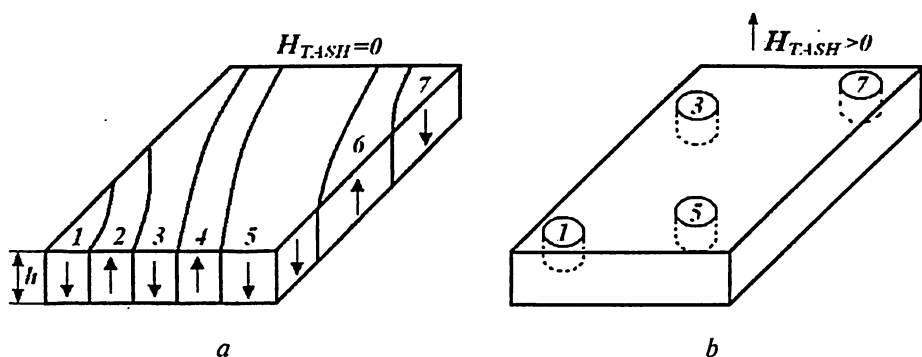
2) chiziqli domenlarda vertikal Blox chiziqlar (VBCh). Qo'shni VBChlar orasidagi masofa yetarli kichik, o'lchami 0,5 mkm bo'lgan chiziqli domen devorida 100 bitgacha axborot saqlash mumkin;

3) ferromagnit materialning chastotasi kvant o'tishlar chastotasiga teng yorug'lik bilan yoritilganda hosil bo'luvchi rezonanslar va to'lqinlar;

4) spin to'lqinlari va boshqalarning kvant tebranishlarini aks ettiruvchi kvazizarrachalar — magnonlar.

Silindrik magnit domen (SMD)lar asosidagi funkisonal elektronika asboblarning tuzilish va ishlash prinsipi bilan tanishamiz.

Barcha magnitoelektron qurilmalarda domenlar ishtirokidagi jaryonlar ishlatiladi, qurilmalarning o'zi esa ikkilik sanoq tizimida aks ettirilgan axborotni qayta ishlash va saqlash uchun ishlatiladi. SMD ma'lum sharoitda umumiy formulasi $RFeO_3$ bo'lgan monokristall plastinalar yoki ba'zi ferritlarning yupqa pardalarida hosil bo'ladi. Agar formuladagi R — yer ishqoriy element bo'lsa, modda **ortoferrit**, agar ittriy bo'lsa **granat** deb ataladi. Qalinligi $h = 3 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-3}$ smli ortoferrit plastina yoki granat pardasi tashqi magnit maydon mavjud bo'lmagan holda magnitlanganlik vektorlari qarama-qarshi yo'nalgan chiziqli domenlardan tuziladi. Keltirilgan qalinliklarda domenlar materialning butun ko'ndalang kesimini egallaydi va turli shaklga ega bo'ladi. Yettita chiziqli domenga ega parda (kristall)ning bir qismi 9.20, a -rasmda ko'rsatilgan. Parda sirtiga tik yo'nalgan tashqi magnit maydon N_{TASH} ta'sir etganda maydon vektori yo'nalishi tashqi maydonniki bilan bir xil bo'lgan domenlar kattalashadi, maydon vektoriga teskari yo'nalgan domenlar esa kichiklashadi va tashqi magnit



9.20-rasm. Chiziqli (a) va silindrik (b) domenlarning tuzilishi.

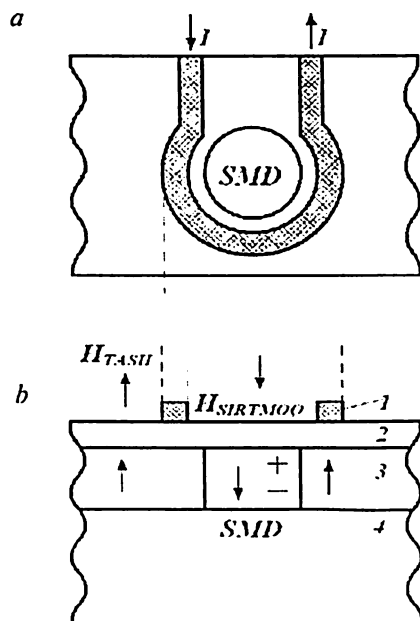
maydonning ma'lum qiymatida SMDlarga aylanadi (9.20, b-rasm). Tashqi magnit maydon ortgan sari domenlar diametri ular yo'qolib ketgunicha kamayadi va parda bir tekis magnitlanadi, ya'ni bitta yaxlit domen hosil bo'lgandek bo'ladi.

SMDlar diametri ferrit materialiga qarab $50 \div 1$ mkm bo'ladi. SMDlarning turg'un saqlanishi tashqi magnit maydon borligi hisobiga amalga oshadi. SMDlarning borligi (yoki yo'qligi) ikkilik sanoq tizimida aks ettirilgan axborotning saqlanishiga teng deb qaralishi mumkin. Ushbu holat katta hajmga ega xotira qurilmalarini hosil qilish uchun ishlatiladi, chunki ortoferrit kristallining 1 sm^2 yuzasida chamasini 10^7 bit axborot saqlanishi mumkin.

Boshqa tomondan yondashilganda, agar kristallning ma'lum pozitsiyalarida SMDlar generatsiyasi ta'minlansa, ular diskret siljitish axborotlarni yozish va o'qish hamda o'chirish uchun ishlatilishi mumkin.

Xotira qurilmasining magnit ISlarida SMDlar tokli sim sirtmoq ko'rinishidagi domenlar generatori yordamida hosil qilinadi (9.21, a-rasm). Tokli sirtmoq 1 asos 4 sirtida joylashgan asosiy ferrit parda 3 sirtidagi izolatsiyalovchi parda 2 ga purkash bilan hosil qilinadi. Monokristall pardalar (ferritlar, granatlar) bug' fazadan magnitlanmaydigan, masalan, gadoliniiy-galliyli granat asosga kimyoviy o'tkazish yo'li bilan olinadi.

SMD halqa orqali pardaning lokal sohasini qayta magnitlash uchun yetarli amplitudasi yuzlarcha mAni tashkil etuvchi 1 tok impulsi o'tkazilganda hosil bo'ladi. Domenlarni o'chirish davomiyligi 1 mks,



9.21-rasm. SMD asosidagi xotira qurilmasi:
ustidan ko'rinishi (a) va qirqimi (b).

amplitudasi 200 mA va yo'nalishi SMD hosil qiluvchi tok yo'nalishiga teskari tok o'tkazish bilan amalga oshiriladi.

Musbat (+) va manfiy (-) ishoralar bilan, mos ravishda, SMDning janubiy va shimoliy qutblari belgilangan.

SMDni yupqa pardaning ma'lum sohasida fiksatsiya qilish uchun magnetostatik tutgichlardan foydalaniladi. Tutgich maxsus magnit yumshoq material – permalloydan yasalgan ma'lum shakldagi applikatsiyalardan iborat. Applikatsiya ostidagi sohada tashqi magnit maydon ekranlanadi va potentsial chuqur – tutgich hosil bo'ladi. Shuning uchun SMD chuqurga tushib istalgancha uzoq vaqt saqlanishi mumkin.

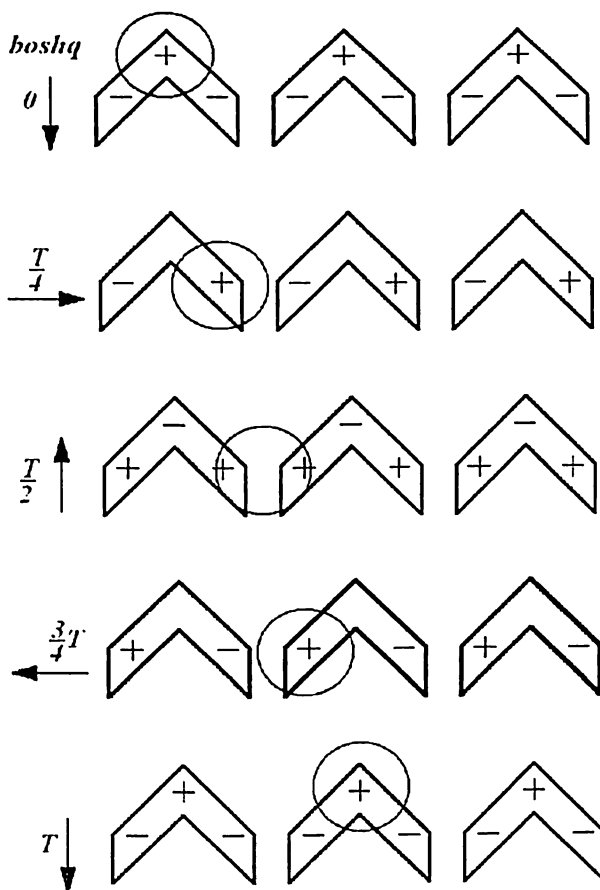
SMDning ma'lum nuqtaga (manzilga) siljilishi quyidagicha amalga oshiriladi. Asosiy yupqa parda sirtida applikatsiyalarga aylanish o'qi asosiy parda sirtiga tik yo'nalgan aylanib turuvchi tashqi N_{BOSHQ} maydon ta'sir etadi. Aylanib turuvchi magnit maydon bir-biriga nisbatan 90° ga burilgan, ikki fazali tok bilan ta'minlanuvchi ikkita g'altak yordamida

hosil qilinadi. Bu holda natijalovchi maydon N_{BOSHO} vektori soat strelkasi bo'ylab ω burchak tezlik bilan tekis buraladi. N_{BOSHO} maydon SMDga amaliy ta'sir ko'rsatmaydi, lekin permalloyli applikatsiyalarda magnit zaryadlar qutblarining davriy qayta taqsimlanishini hosil qiladi. Aytib o'tilgan qutblarning SMDga ta'siri uni chapdan o'ngga siljishiga olib keladi.

SMDlarning siljishi T-simon yoki shevronli permalloy applikatsiyalar orqali amalga oshishi mumkin. Chevronli applikatsiyalar keng qo'llaniladi. Ular zich joylashib, diametri 1 mkm atrofida bo'lgan domenlar siljishini ta'minlaydi. Uchta shevronli applikatsiyadan tashkil topgan tuzilma, N_{BOSHO} yo'nalishi, applikatsiyalarda magnit qutblar holati va maydonning turli holatlaridagi SMDning holati 9.22-rasmda ko'rsatilgan. Applikatsiyalar domenning janubiy qutbiga tegadi, deb faraz qilinadi.

Applikatsiyalar bir-biridan ~ 1 mkm masofada joylashib registrni hosil qiladi. SMD asosidagi xotira qurilmalarida 8 ta yoki 16 ta bir-biriga yaqin joylashgan domenlar generatorlari hosil qilinadi va ular 8 yoki 16 razryadli sonlarni yozuvchi registrni tashkil etadi. Domenlar siljish tezligi sekundiga yuzlarcha metrni tashkil etishi mumkin, axborotni yozish tezligi esa $10^5 \div 10^6$ bit/s ni tashkil etadi. Axborotni o'qish uchun magnitorezistiv effektga ega yarimo'tkazgich halqadan foydalaniladi. Magnitorezistiv effekt sodir bo'lganda yarimo'tkazgich ostidan SMD o'tganda uning elektr qarshiligi o'zgaradi. Buning uchun halqa (datchik) orqali o'zgarmas tok o'tkaziladi. Agar datchik ostidan SMD o'tsa, halqadagi magnit maydon o'zgaradi. U bilan birgalikda halqa qarshiligi va undan o'tadigan tok qiymati ham o'zgaradi. Mantiqiy ko'priksxemaga ulangan bunday mikrovoltli datchikning signali keyinchalik kuchaytiriladi.

SMDlar asosida KIS va O'KISli yarimo'tkazgich xotira qurilmalar yaratiladi. Ularning axborot sig'imi 92 yoki 250 Kbitli, katta bo'lmagan seksiyalar bilan oshirib boriladi. Shunday qilib, kerakli sig'imli xotirani hosil qilish mumkin. SMD asosidagi xotira qurilmalari yuqori ishonchlilikka ega va magnit disklardagi shunday qurilmalarga nisbatan tezkor ishlaydi, xotirasida saqlovchi axborotning ko'pligi va massa hamda



9.22-rasm. SMDlarning shevronli applikasiyalar bo'ylab siljishi.

o'lchamlarining kichikligi bilan farq qiladi. Ular ancha kam energiya iste'mol qiladi. Bundan tashqari, SMD asosidagi asboblarda yordamida mantiq elementlarning to'liq to'plamini hosil qilish mumkin.

? Nazorat savollari

1. SMD-komponentlarning afzalliklari.
2. SMD-komponentlarning belgilanish tizimi.
3. TAB-texnologiyasi haqida ma'lumot bering.

4. BGA-texnologiyasi haqida ma'lumot bering.
5. CSP-texnologiyasi haqida ma'lumot bering.
6. LTCC-texnologiyasi haqida ma'lumot bering.
7. SMD-komponentlarining modellari.
8. Nanotuzilmalarning qanday ko'rinishlarini bilasiz?
9. Mur qonunini aytib bering.
10. Elektronlarning kvant-mexanik harakati mikrozarralarning mexanik harakatidan qanday farqlanadi?
11. Kvant chuqurlari bo'lgan yarimo'tkazgich tuzilmalarga misol keltiring.
12. Tunnel effektning fizik ma'nosini tushuntiring.
13. Kvant chuqurlari va simlarida energetik holatlar zichligi taqsimlanishining o'ziga xosligi nimadan iborat?
14. Geteroo'tishlar yordamida qanday qilib kvant chuqurini hosil qilish mumkin?
15. Potensial chuqurdagi nanozarraga ega bo'ladigan minimal energiya-ni qiyamati qanday bo'ladi?
16. Kremniyli nanotranzistorning ishlash prinsipini tushuntiring.
17. Ko'chkili fotodiod ishlash prinsipini tushuntiring.
18. Dielektrik sirtiga kremniy olish texnologiyasi nimadan iborat?
19. Zaryad tashuvchilari harakatchanligi yuqori bo'lgan tranzistorning ishlash prinsipini tushuntiring.
20. Kvant chuqurlikli lazerlar tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
21. Oddiy yarimo'tkazgich lazerlarga nisbatan kvant chuqurlikli lazerlar afzalliklarini tushuntiring.
22. Funktsional elektronika asboblari ta'rif bering.
23. Zaryad aloqali asboblarning ishlash prinsipini tushuntiring.
24. Akustoelektron asboblarga ta'rif bering.
25. Sirt akustik to'liqinli asboblarning tuzilishi va ishlashini tushuntiring.
26. Magnitoelektron asboblarga ta'rif bering.
27. Silindrik magnit domenlar asosidagi magnitoelektron asboblarning ishlash prinsipini tushuntiring.

X BOB. LabVIEW: LABORATORIYA AMALIYOTI

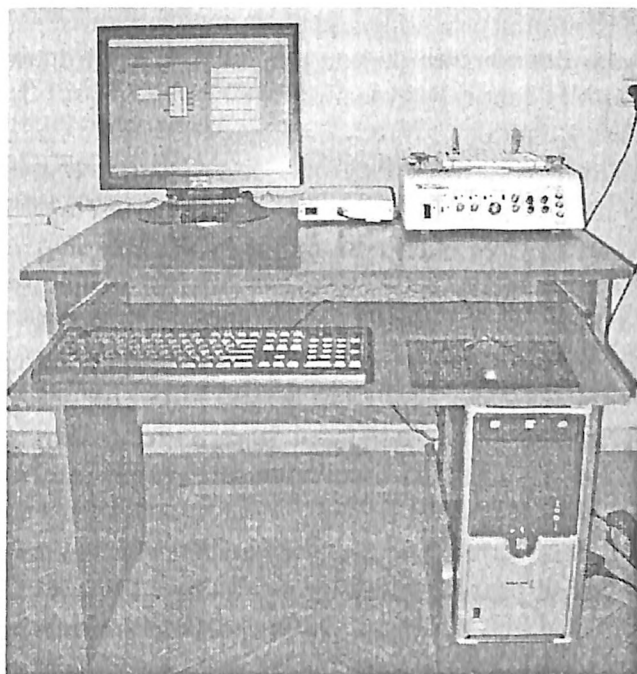
Umumiy ma'lumotlar

Zamonaviy axborot texnologiyalari ta'lim sohasida yangi vosita va usullarni yaratish imkonini beradi. Bu masalani hal qilishda kompyuterda laboratoriya amaliyotlarini yaratish eng muhim va murakkab jarayon hisoblanadi.

Ixtiyoriy fan bo'yicha laboratoriya amaliyoti asosini o'rgani-layotgan hodisa va jarayonlarni imitatsiya qiladigan laboratoriya maketlari bilan ulangan o'lchov asboblari majmuyi tashkil etadi. Hozirgi kungacha o'quv laboratoriyalarida asosan an'anaviy o'lchov asboblari qo'llanib kelinardi. Hozirda virtual o'lchov asboblari yordamida yaratilgan kompyuterdagi o'lchov asboblardan foydalanish talab etilmoqda. O'quv laboratoriyasidagi **virtual asbob** (VA) — qo'shimcha maxsus dasturiy ta'minot va turli o'lchov modullari, masalan, ko'p-funksional kirish-chiqish platasi bilan ta'minlangan kompyuterdir. VA o'lchanayotgan axborotni yig'ish, qayta ishlash va aks ettirishni avtomatlashtirish imkonini beradi, foydalanuvchi uchun qulay interfeysga ega, uning dasturiy va apparat vositalari esa an'anaviy o'lchov vositalariga xos bo'lgan vazifalarni amalga oshirish imkonini beradi, natijalarni monitor ekranida foydalanuvchiga qulay shaklda aks ettiradi. Laboratoriya amaliyotida qo'llaniladigan VA sxemasi 10.1-rasmda keltirilgan.

VA dasturiy ta'minoti ham Visual C++, Visual Basic va shu kabi standart dasturlash vositalari yordamida, ham maxsus dasturlar yordamida tuzilishi mumkin. Hozirgi kunda maxsus dasturiy ta'minot sifatida National Instruments kompaniyasining LabVIEW amaliy dasturiy paketi eng mos va qulay vosita hisoblanadi.

O'lchov jarayonlarini avtomatlashtirish bo'yicha yaratilayotgan zamonaviy apparat vositalarining deyarli barchasi LabVIEW drayverlari bilan mos keladi. Mazkur muhitda ilovalar yaratish vizual vositalar



10.2-rasm. Laboratoriya stendining tashqi ko'rinishi.

yordamida amalga oshiriladi va dasturlash bo'yicha maxsus bilimga ega bo'lish talab qilinmaydi.

Laboratoriya amaliyotini bajarish uchun Windows 9x yoki yanada yuqori versiya va maxsus apparat vositalari hamda original dasturiy ta'minotga ega bo'lgan zamonaviy kompyuter bilan jihozlangan asosiy laboratoriya stendi kerak bo'ladi.

Shassi sifatida PCI-6251 turdagi analog va raqamli kirish-chiqish platasiga ega bo'lgan ko'pfunksional NI ELVIS laboratoriya stansiyasi tanlanadi. Stend o'lganayotgan sxemalar yig'ilgan laboratoriya modullari jamlanmasidan tashkil topgan. Laboratoriya stendining tashqi ko'rinishi 10.2-rasmda ko'rsatilgan.

Darslikda keltirilayotgan amaliy dasturiy ta'minot 8.2-versiyadagi LabVIEW muhitida loyihalashtirilgan. Laboratoriya amaliyoti resurslariga masofadan ulanish rejimi National Instruments texnologiyasi yordamida amalga oshiriladi.

Laboratoriya amaliyotini installatsiyalash jarayonlari ketma-ketligi va ko'rsatmalar ilovada hamda kompakt diskda keltirilgan. Darslikda keltirilgan barcha laboratoriya ishlarini bajarishda talaba faqat VA tashqi panelida ishlaydi, ya'ni VAni yaratish bo'yicha diagrammalarga murojaat etishning imkoni yo'q.

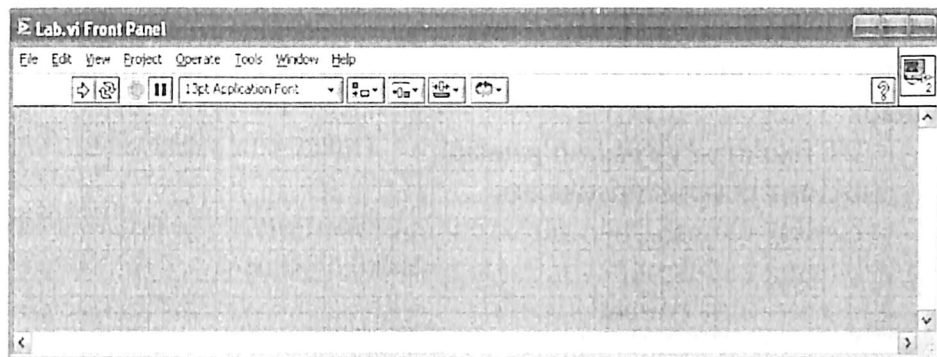
Tashqi panel VA tashqi ko'rinishini va foydalanuvchi bilan o'zaro bog'lanish interfeysini belgilab beradi. Tashqi panelda: VAni boshqarish bo'yicha turli elementlar (qayta ulagichlar, kiritish maydoni va boshqalar) va o'lchanayotgan axborotni aks ettirish bo'yicha elementlar (raqamli indikatorlar, grafik ekranlari va boshqalar) joylashgan. Taqdim etilayotgan interfeys foydalanuvchi uchun juda qulay bo'lib, laboratoriya ishini bajarishda undan faqat kompyuterda ishlash malakasi bo'lishi va albatta, ishni bajarish yuzasidan maqsad va vazifalarni to'g'ri belgilab olish talab qilinadi.

Laboratoriya ishlarini bajarishga tayyorlanayotganda birinchi navbatda «**Ish bajarish yuzasidan ma'lumotlar**» bo'limida keltirilgan vazifalarga e'tiborni qaratish kerak. Bunda talabalar asosiy va qo'shimcha adabiyotlarda keltirilgan ma'lumotlarni o'zlashtirgan bo'lishlari talab qilinadi.

Laboratoriya ishini bajarish uchun barcha holatlarda kompyuter ishga tushirilgandan so'ng, amaliyotni ta'minlaydigan dasturiy papkani ochish kerak va laboratoriya ishi dasturini ishga tushirish kerak (laboratoriya ishi tartib raqamiga mos ravishda fayl nomi aniqlanib ikki marta bosiladi). Monitor ekranida 10.3-rasmda ko'rsatilgan darcha ochiladi. Dasturni ishga tushirish  tugmasi bilan ifodalangan RUN tugmasini bosish bilan amalga oshiriladi.

Laboratoriya ishini bajarish jarayonida «**Laboratoriya stendi tavsifi**» bo'limidagi axborotlar bilan tanishib chiqish va «**Topshiriqlar**» bo'limida keltirilgan ko'rsatmalarni ketma-ket bajarish kerak. Ishni bajarish jarayonida monitor ekranida ma'lum qo'shimcha tavsiyalar berilib borilishi ham mumkin. O'lchov va kuzatuv natijalarini darhol hisobotga kiritib borish mumkin. Buning uchun **MS Word** matn muharririni qo'llash qulay hisoblanadi.

Laboratoriya ishini bajarish jarayonida yarimo'tkazgich asboblari va elektr sxemalarni ulash bo'yicha elektr parametrlarning berilgan



10.3-rasm. LabVIEW dasturi darchasining tashqi ko‘rinishi.

qiymatlariga rioya qilish tavsiya etiladi. Lekin tavsiya etilgan qiymatlardan uncha katta bo‘lmagan (10% atrofida) chetlashishga ruxsat etiladi. Shuni aytib o‘tish kerakki, yig‘ilgan maketlarda maxsus dasturiy ta‘minotlardan foydalangan holda boshqa, qo‘shimcha tadqiqotlar ham o‘tkazish mumkin. Bu ishlarning bajarilish tartibi o‘qituvchi tomonidan belgilanib, PC1-6251 turdagi kirish-chiqish platasi imkoniyatlaridan kelib chiqqan holda bo‘lishi lozim.

Hisobotlarni tuzishda tavsiya etilgan jadvallardan va elektron ko‘rinishda saqlangan tajriba natijalaridan foydalanish mumkin. O‘qituvchining tavsiyasiga ko‘ra bu ma‘lumotlarga qo‘shimchalar va o‘zgartirishlar kiritilishi mumkin.

1-laboratoriya ishi.

Bipolyar tranzistor (BT) xarakteristikalarini tadqiq etish

1. Ishning maqsadi:

- BTni o‘zgarmas tok bo‘yicha uzatish koeffitsiyentini aniqlash;
- umumiy emitter sxemada ulangan BT kirish xarakteristikasini o‘lchash;
- umumiy emitter sxemada ulangan BT chiqish xarakteristikalar oilasini o‘lchash;
- umumiy emitter sxemada ulangan BTli kaskad ishchi nuqtasini o‘rnatish.

2. Ish bajarish yuzasidan ma'lumotlar.

Ish bajarishdan avval quyidagilar bilan tanishib chiqish tavsiya etiladi:

- BT tuzilmasi va ishlash prinsipi;
- BT asosiy xarakteristikalar;
- BTning ulanish sxemalari va ishchi rejimlari;
- BTning kichik signal rejimida ishlash xossalari.

3. Laboratoriya stendi tavsifi.

Laboratoriya stendi tarkibiga quyidagilar kiradi:

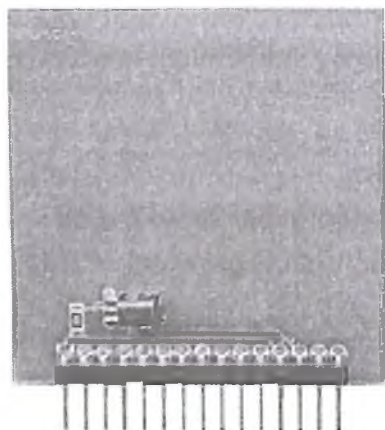
- asosiy laboratoriya stendi;
- KT3102D BT xarakteristikalarini tadqiq etish uchun **Lab4A** laboratoriya moduli.

4. Topshiriqlar.

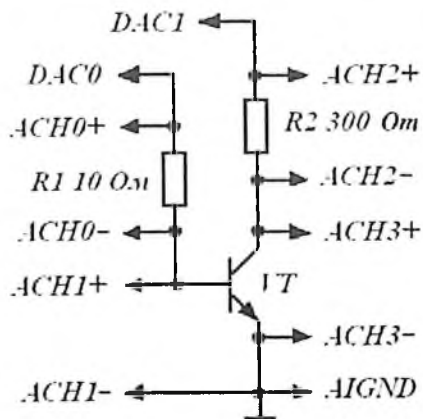
MS Word tahririda hisobot shablonini tayyorlang.

NI ELVIS laboratoriya stansiyasining maket platasiga **Lab4A** laboratoriya modulini o'rnatish. Modulning tashqi ko'rinishi 10.4-rasmda keltirilgan.

BT xarakteristikalarini tadqiq etish uchun 10.5-rasmda keltirilgan sxemadan foydalaniladi.



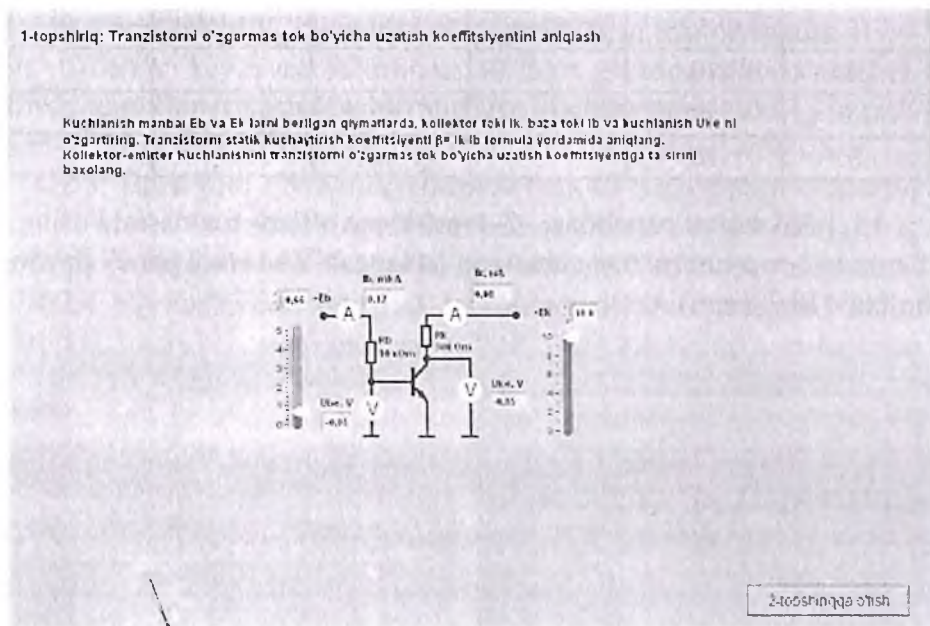
10.4-rasm. BT xarakteristikalarini tadqiq etishda qo'llaniladigan Lab4A modulining tashqi ko'rinishi.



10.5-rasm. BT xarakteristikalarini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

Lab-4.vi dasturini ishga tushiring.

Ishning maqsadi bilan tanishib chiqqach, «Ishni boshlash» tugmasini bosing. Ekranda 1-topshiriqni bajarishda qo'llaniladigan VA tasviri paydo bo'ladi (10.6-rasm).



10.6-rasm. 1-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

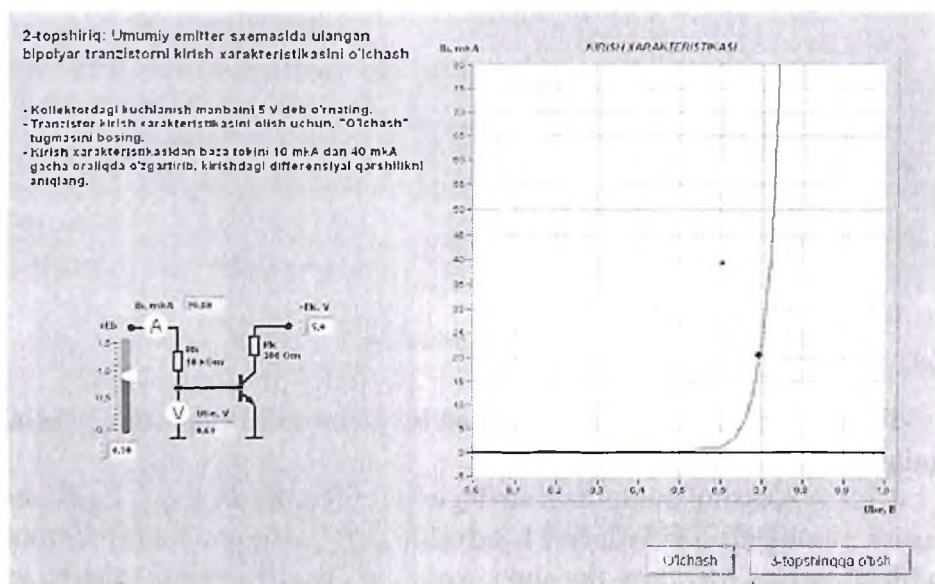
1-topshiriq. BTning o'zgaras tok bo'yicha uzatish ko'effitsiyentini aniqlash.

4.1.1. VA tashqi panelidagi sozlagichlar yordamida E_b va E_k kuchlanish manbalari qiymatlarini 1-jadvaldagi qiymatlarga taxminan mos qilib o'rnatish va, mos ravishda, kollektor toki I_k , baza toki I_b va kollektor-emitter kuchlanishi U_{ke} qiymatlarini o'lchang. Olingan natijalarni 1-jadvalga kiriting.

4.1.2. Tranzistor statik kuchaytirish ko'effitsiyenti β_{DC} qiymatini hisoblang va 1-jadvalga kiriting. Kollektor-emitter kuchlanishi U_{ke} ning tranzistor kuchaytirish ko'effitsiyentiga ta'sir ko'rsatishi haqida xulosa chiqaring.

E_B, V	E_K, V	I_K, mA	I_B, mA	U_{KE}, V	β_{DC}
1,25	5				
2,5	5				
5	5				
1,25	10				
2,5	10				
5	10				

4.1.3. VA tashqi panelidagi «2-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosing. Ekranda 2-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.7-rasm).



10.7-rasm. 2-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

2-topshiriq. Umumiy emitter sxemada ulangan BT kirish xarakteristikasini o'lchash.

4.2.1. VA tashqi panelidagi raqamli boshqaruv elementidan foydalanib, kollektordagi kuchlanish manbayi qiymati E_K ni 5 V qilib

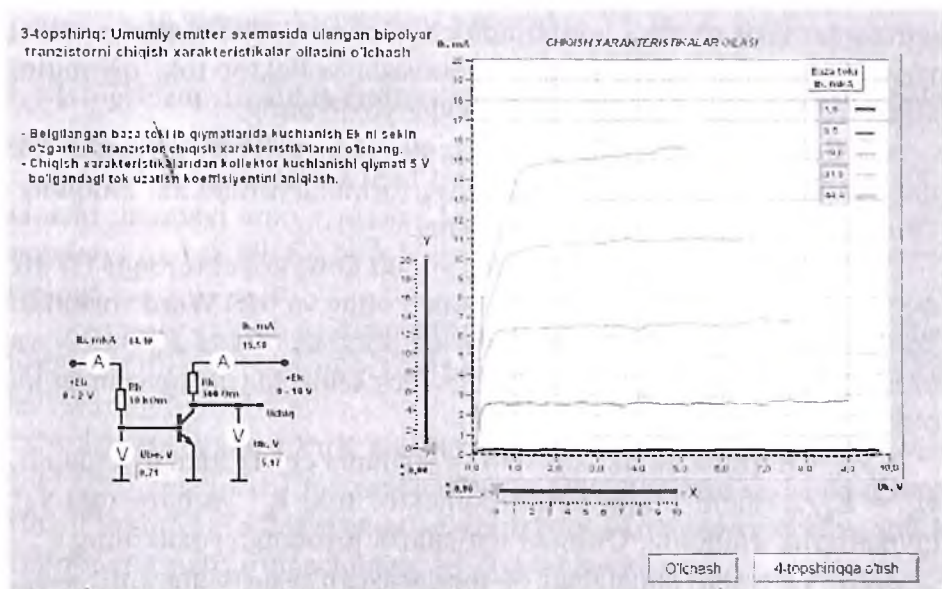
oʻrnatish. VA panelidagi «Oʻlchash» tugmasini bosish. VA ning grafik indikatorida tranzistor kirish toki I_B ning kirish kuchlanishi U_{BE} ga bogʻliqlik grafigi hosil boʻladi.

Grafik indikatorida hosil boʻlgan tasvirni hisobotga koʻchirish.

4.2.2. VA panelida joylashgan sozlagich yordamida bazadagi EYuK manba kuchlanishi E_B qiymatini oʻzgartirib, baza toki qiymatini avvaliga 10 mKA, keyin esa taxminan 40 mKA ga teng qilib oʻrnatish. Kirish xarakteristikasining bu nuqtalari uchun baza toki I_B hamda baza-emitter kuchlanishi U_{BE} qiymatlarini hisobotga yozib oling.

4.2.3. Baza toki qiymatini 10 mKA dan 40 mKA gacha oʻzgarish oraliqʻi uchun tranzistorning differensial qarshiligini $r_{KIR} = \Delta U_{BE} / \Delta I_B$ formula yordamida hisoblang. Olingan natijani hisobotga yozib oling.

4.2.4. VA tashqi panelidagi «3-topshiriqqa oʻtish» tugmasini bosish. Ekranda 3-topshiriqni bajarishga moʻljallangan VA tashqi paneli paydo boʻladi (10.8-rasm).



10.8-rasm. 3-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

3-topshiriq. Umumiy emitter sxemada ulangan BT chiqish xarakteristikalar oilasini o'lash.

4.3.1. VA grafik indikatorida tranzistor kollektoridagi kuchlanish 0 V dan 10 V gacha tekis o'zgarganda va baza EYuK manbayi kuchlanishining $E_B = 0,6 \text{ V}; 0,74 \text{ V}; 0,88 \text{ V}; 1,02 \text{ V}; 1,16 \text{ V}$ belgilangan qiymatlarida I_K kollektor tokining U_{KE} kollektor-emitter kuchlanishga bog'liqlik grafiklari paydo bo'ladi.

4.3.2. Grafik indikatorda hosil bo'lgan tasvirni hisobotga ko'chiring. MS Word vositalari yordamida har bir egri chiziq uchun tranzistorning mos baza toki qiymatini belgilab oling.

4.3.3. Kollektor kuchlanishining belgilangan $U_{KE} = 5 \text{ V}$ qiymatida baza toklarining kirish xarakteristikallari o'lchangan qiymatlariga mos kollektor toki I_K qiymatlarini o'rnatish.

Buning uchun VA panelidagi «X» sozlagich yordamida vertikal vizir chiziqni chiqish xarakteristikasining gorizontal o'qidagi 5 V qiymati ro'parasiga o'rnatish. So'ngra «Y» sozlagichdan o'zgartiriladigan gorizontal vizir chizig'i yordamida chiqish xarakteristikallari vertikal vizir chiziq bilan kesishadigan nuqtalarda kollektor toki qiymatini aniqlang. Olingan natijalarni hisobotga yozib oling.

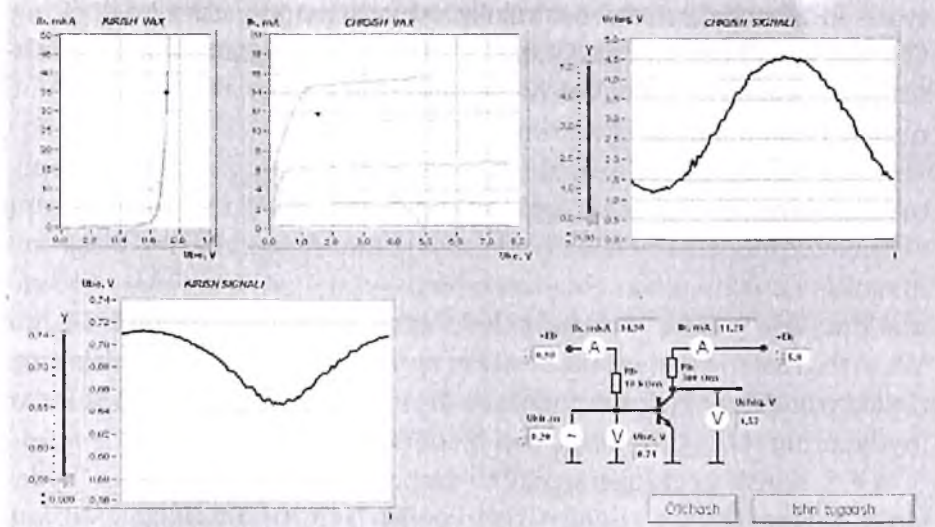
4.3.4. Baza tokining 10 mkA dan 40 mkA gacha o'zgarganda tok uzatish koeffitsiyentini $\beta_{AC} = \Delta I_K / \Delta I_B$ formula yordamida aniqlang. Olingan natijani hisobotga yozib oling.

4.3.5. Kollektor qarshiligini $R_K = 300 \text{ Ohm}$, kollektordagi EYuK manbayi qiymatini $E_K = 5 \text{ V}$ deb tanlab oling va MS Word vositalari yordamida chiqish xarakteristikallari abssissa o'qida $E_K = 5 \text{ V}$ va ordinata o'qida $I_K = E_K / R_K$ nuqtalarga mos keluvchi yuklama chizig'ini o'tkazish.

4.3.6. Chiqish xarakteristikallari va yuklama chizig'idan foydalanib, $U_K = E_K / 2$ ishchi nuqta uchun kollektor toki I_K^* va baza toki I_B^* qiymatlarini aniqlang. Olingan natijalarni hisobotga yozib oling.

4.3.7. VA tashqi panelidagi «4-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosish. Ekranida 4-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.9-rasm).

4-topshiriq: Umumiy emitter sxemada ulangan tranzistorli kaskad ishchi nuqtalarini o'rnatish



10.9-rasm. 4-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

4-topshiriq. Umumiy emitter sxemada ulangan BTli kaskad ishchi nuqtalarini o'rnatish.

4.4.1. VA boshqaruv organlari yordamida kirish garmonik kuchlanishi manbai amplitudasini $U_{KIR.m} = 0$ V va kollektordagi EYuK manbai qiymatini $E_K = 5$ V deb o'rnatish. «O'lchash» tugmasini bosing.

Tranzistor chiqish xarakteristikalarida yuklama chizig'i tasviri paydo bo'ladi. Olingan tasvirni 4.3.5-bandni bajarishda olingan tasvir bilan solishtiring.

4.4.2. Bazadagi EYuK siljish manbai E_B qiymatini sozlab, baza toki I_B^* qiymatini 4.3.6-bandda olingan qiymatga mos ravishda o'rnatish. Umumiy emitter sxemadagi tranzistorli kuchaytirgichning statik rejimi parametrlarini o'lchang va 2-jadvalga kiriting.

2-jadval

I_B , mA	U_{BE} , V	I_K , mA	U_K , V

4.4.3. Kirish signali amplitudasi $U_{KIR,m}$ ni sekin o'zgartirib, VA grafik indikatorida maksimal buzilmagan chiqish signalini hosil qiling. Chiqish signali tasvirini hisobotga ko'chiring. Ossilogrammalarni solishtiring va kuchaytirgich kirishi va chiqishidagi signallarning fazalari nisbati haqida xulosa chiqaring.

4.4.4. VA yordamida kirish U_{KIR} va chiqish U_{CHIQ} signallari amplitudalari qiymatlarini o'lchang. Buning uchun grafik indikatorlarining vizir chiziqlaridan foydalanib, kirish va chiqish signallari ossilogrammalarida ko'rsatilgan kuchlanish qiymatlari uchun maksimal va minimal oniy qiymatlarni aniqlang. Kuchlanish qiymatlarini hisoblashda VA sozlagichlari bilan moslashtirilgan raqamli indikatoridan foydalaning. Signal amplitudalarini aniqlashda $U_m = (U_{max} - U_{min})/2$ formuladan foydalaning. Olingan natijalarni hisobotga yozib oling.

4.4.5. Kirish va chiqish signallari amplitudalari qiymatlaridan foydalanib, kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyentini aniqlang. Natijani hisobotga kiriting.

4.4.6. Kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblab toping. Natijani hisobotga yozib oling. Bu kattalikning o'lchangan va hisoblab topilgan natijalarini solishtiring. Olingan natijani tushuntiring.

4.4.7. Ishchi nuqtaning kuchaytirgich ishiga ta'sirini tadqiq eting. Buning uchun bazadagi EYuK siljish manbayi E_B qiymatini sozlab, 4.3.6-bandda olingan baza toki I_B^* qiymatini taxminan 30% ga avval oshiring, so'ngra kamaytiring. Chiqish signali buzilishini kuzating. Ikkala holat uchun VA grafik indikator ko'rsatmalarini hisobotga ko'chiring. Chiqish signalidagi buzilishlar sabablarini tushuntiring.

4.4.8. VA ni o'chiring, buning uchun VA ning tashqi panelidagi «Ishni tugatish» tugmasini bosing.

5. Nazorat savollari.

1. BTning mavjud ulanish sxemalarini tasvirlang.
2. BT kollektoridan oqib o'tadigan tok kuchini belgilovchi omilni ko'rsating.
3. β_{DC} koeffitsiyent kollektor tokiga bog'liqmi? Agar bog'liq bo'lsa, qay darajada? Javobni asoslang.
4. Chiqish xarakteriskalaridan kollektor tokini baza toki va kollektor-emitter kuchlanishiga bog'liqligi haqida nimalar deyish mumkin?

5. BTning kirish differensial qarshiligi emitter tokiga bog'liqmi?
6. BT ishchi nuqtasining holati nima bilan belgilanadi?
7. Qanday shartlarda bipolyar tranzistor berk rejimda bo'ladi?
8. To'yinish rejimida kollektor va emitter orasidagi kuchlanish pasayishi qanday tushuntiriladi?
9. Umumiy emitter sxemada ulangan kuchaytirgich kaskadi kirish va chiqish garmonik signallari orasidagi fazalar farqi qanday?
10. Umumiy emitter sxemada ulangan kuchaytirgich kaskadining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
11. Laboratoriya ishi topshiriqlarini bajarishda VA qanday ishlashini tushuntiring.
12. BT parametrlari qanchalik aniq o'lchangan? Olingan natijalarning sifati nimalarga bog'liq?

2-laboratoriya ishi.

Maydoniy tranzistor (MT) xarakteristikalarini tadqiq etish

1. Ishning maqsadi:

- umumiy istok sxemada ulangan MT uzatish xarakteristikasini o'lchash;
- MT qarshiligining zatvor-istok kuchlanishiga bog'liqligini o'lchash;
- umumiy istok sxemada ulangan MT chiqish xarakteristikalar oilasini o'lchash;
- umumiy istok sxemada ulangan MTli kaskad ishini tadqiq etish.

2. Ish bajarish yuzasidan ma'lumotlar.

Ish bajarishdan avval quyidagilar bilan tanishib chiqish tavsiya etiladi:

- MT tuzilmasi va ishlash prinsipi;
- MTning asosiy xarakteristikalari;
- MTning ulanish sxemalari va ishchi rejimlari.

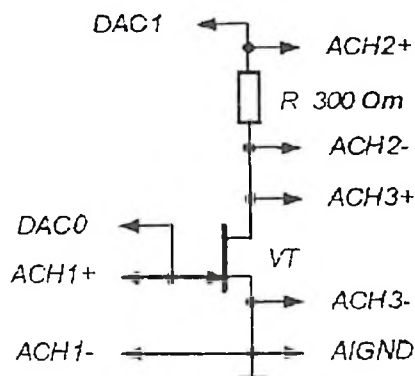
3. Laboratoriya stendi tavsifi.

Laboratoriya stendi tarkibiga quyidagilar kiradi:

- asosiy laboratoriya stendi;
- KP303V MT xarakteristikalarini tadqiq etish uchun **Lab5A** laboratoriya moduli.



10.10-rasm. MT xarakteristikalarini tadqiq etish uchun qo'llaniladigan Lab5A modulning tashqi ko'rinishi.



10.11-rasm. MT xarakteristikalarini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

4. Topshiriqlar.

MS Word tahririda hisobot shablonini tayyorlang.

NI ELVIS laboratoriya stansiyasining maket platasiga Lab5A laboratoriya modulini o'rnatish. Modulning tashqi ko'rinishi 10.10-rasmda keltirilgan.

MT xarakteristikalarini tadqiq etish uchun 10.11-rasmda keltirilgan sxemadan foydalaniladi.

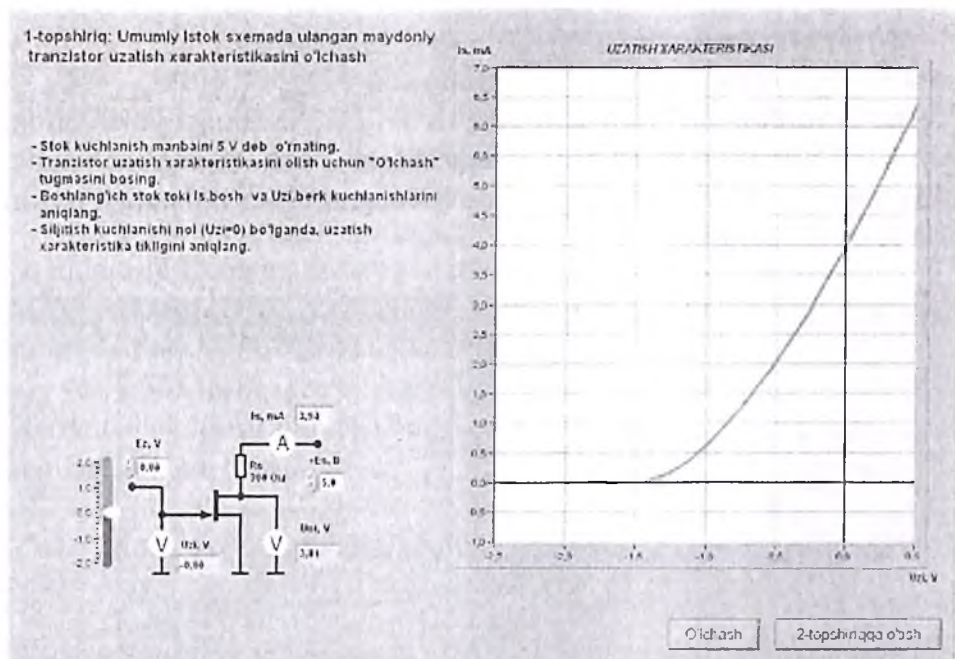
Lab-5.vi dasturini ishga tushiring.

Ishning maqsadi bilan tanishib chiqqach, «Ishni boshlash» tugmasini bosing. Ekranda 1-topshiriqni bajarishda qo'llaniladigan VA tasviri paydo bo'ladi (10.12-rasm).

1-topshiriq. Umumiy istok sxemada ulangan MT uzatish xarakteristikasini o'lchash.

4.1.1. VA tashqi panelidagi raqamli boshqaruv elementidan foydalanib, stokdagi kuchlanish manbai qiymati E_s ni 5 V qilib o'rnatish. VA panelidagi «O'lchash» tugmasini bosing. VA ning grafik indikatorida tranzistor chiqish toki I_s ning kirish kuchlanishi U_{z1} ga bog'liqlik grafigi hosil bo'ladi.

Grafik indikatorida hosil bo'lgan tasvirni hisobotga ko'chiring.



10.12-rasm. 1-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

4.1.2. VA panelidagi sozlagich yordamida zatvordagi EYuK manbaini kuchlanishi E_Z qiymatini o'zgartirib, stok toki I_S qiymatini taxminan 0,01 mA deb o'rnatish. Zatvor-istokdagi berkilish kuchlanishi qiymati $U_{ZI,berk}$ ni hisobotga yozib oling.

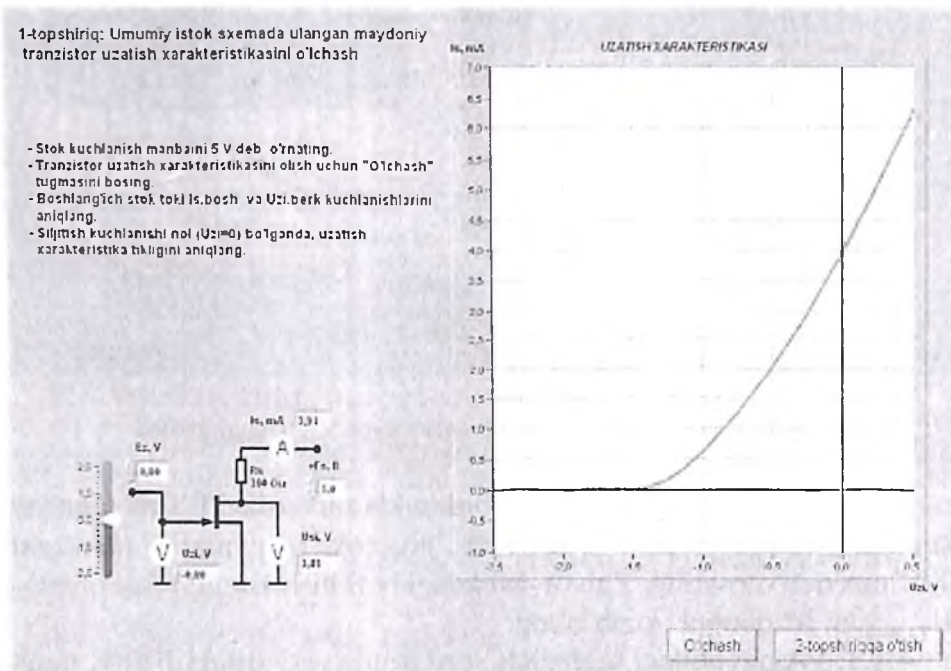
4.1.3. VA panelidagi sozlagich yordamida zatvordagi EYuK manbaini kuchlanishi E_Z qiymatini o'zgartirib, zatvor-istok kuchlanishini $U_{ZI} = 0$ V qilib o'rnatish. Stok tokining boshlang'ich qiymati $I_{S.bosh}$ ni hisobotga yozib oling.

4.1.4. Tranzistorning konstruktiv va texnologik parametrlarini hisobga oluvchi koeffitsiyent k qiymatini $k = I_{S.bosh} / (U_{ZI,berk})^2$ formuladan foydalanib hisoblang.

4.1.5. VA panelidagi sozlagich yordamida zatvordagi EYuK manbaini E_Z qiymatini o'zgartirib, avvaliga $U_{ZI,1} = -0,1$ V, so'ngra $U_{ZI,2} = +0,1$ V qiymatni o'rnatish. Uzatish xarakteristikasining bu qiymatlari uchun stok toklari $I_{S,1}$ va $I_{S,2}$ qiymatlarini hisobotga yozib oling.

4.1.6. Maydoniy tranzistor uzatish xarakteristikasidagi $U_{ZI} = 0$ V holat uchun xarakteristika tikligi kattaligini $S = (I_{S,2} - I_{S,1}) / (U_{ZI,2} - U_{ZI,1})$ formula yordamida hisoblab toping va natijani hisobotga yozib oling.

4.1.7. VA tashqi panelidagi «2-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosing. Ekranda 2-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.13-rasm).



10.13-rasm. 2-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

2-topshiriq. MT kanali qarshiligining zatvor-istok kuchlanishga bog'liqligini o'lchash.

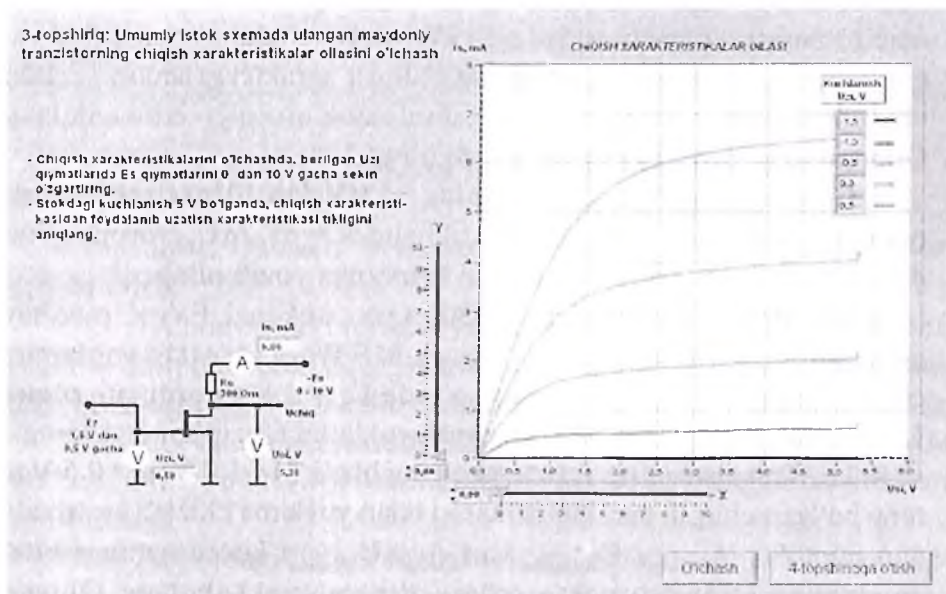
4.2.1. VA tashqi panelidagi raqamli boshqaruv elementidan foydalanib, stokdagi kuchlanish manbaini qiymati E_s ni 5 V qilib o'rnatning. VA panelidagi «O'lchash» tugmasini bosing. VAning grafik indikatorida kanal qarshiligi R_k ni zatvor-istok kuchlanish U_{ZI} ga bog'liqlik grafigi hosil bo'ladi.

Grafik indikatorida hosil bo'lgan tasvirni hisobotga ko'chiring.

4.2.2. VA panelidagi sozlagich yordamida zatvordagi EYuK manbayi E_Z qiymatini o'zgartirib, I_S stok toki qiymatini taxminan 0,01 mA qilib o'rnatib. Zatvor-istokdagi berkilish kuchlanishi qiymati $U_{ZL,berk}$ ga mos keluvchi qarshilik $R_{K,maks}$ qiymatini hisobotga yozib oling (tranzistorning berk holati).

4.2.3. VA panelidagi sozlagich yordamida zatvordagi EYuK manba kuchlanishi E_Z qiymatini o'zgartirib, zatvor-istok kuchlanishini $U_{ZI} = 0$ V qilib o'rnatib. Bu vaqtdagi qarshilik $R_{K,min}$ qiymatini hisobotga yozib oling (tranzistorning ochiq holati).

4.2.4. VA tashqi panelidagi «3-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosing. Ekranda 3-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.14-rasm).



10.14-rasm. 3-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

3-topshiriq. Umumiy istok sxemada ulangan MT chiqish xarakteristikalar o'lchash.

4.3.1. VA panelidagi «O'lchash» tugmasini bosing. Bunda VA grafik indikatorida tranzistorning stokidagi kuchlanish 0 V dan 10 V gacha

tekis o'zgartirilib, zatvor kuchlanishining berilgan $U_{z1} = -1,5 \text{ V}; -1,0 \text{ V}; -0,5 \text{ V}; 0 \text{ V}; 0,5 \text{ V}$ qiymatlarida I_s stok tokining U_{z1} kuchlanishga bog'liqlik grafiklari hosil bo'ladi. U_{z1} kuchlanishining muvozanat qiymatlari grafik maydonida aks ettiriladi.

4.3.2. Grafik indikatorida hosil bo'lgan tasvirni hisobotga ko'chiring. **MS Word** vositalari yordamida har bir egri chiziq uchun mos ravishda tranzistor zatvor-istok kuchlanishi qiymatlarini belgilab oling.

4.3.3. $U_{s1} = 5 \text{ V}$ bo'lgan chiqish xarakteristikasidan o'lgangan zatvor kuchlanishi qiymatlariga mos keladigan stok toki I_s qiymatini aniqlang.

Buning uchun VA panelidagi «X» sozlagich yordamida vertikal vizir chiziqni chiqish xarakteristikasining gorizont al o'qidagi 5 V qiymati ro'parasiga o'rnatish. So'ngra «Y» sozlagichidan o'zgartiriladigan gorizont al vizir chizig'i yordamida chiqish xarakteristikalari vertikal vizir chiziq bilan kesishadigan nuqtalarda stok toki qiymatini aniqlang. Olingan natijalarni hisobotga yozib oling.

4.3.4. Zatvor-istok kuchlanishining $-1,0 \text{ V}$ dan 0 V gacha o'zgarishi oralig'ida tranzistor xarakteristika tikligini $S = \Delta I_C / \Delta U_{z1}$ formula yordamida aniqlang. Olingan natijani hisobotga yozib oling.

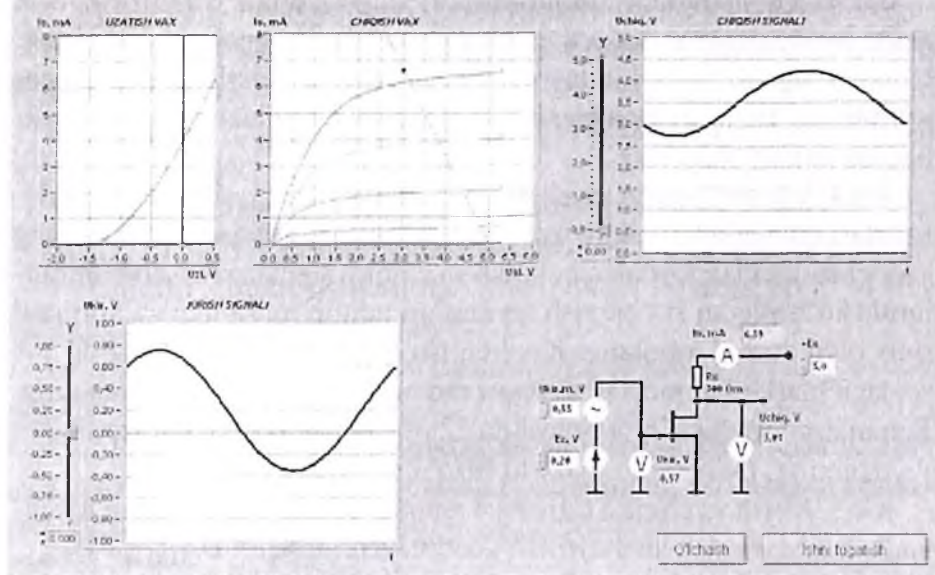
4.3.5. Stok qarshiligini $R_s = 300 \text{ Om}$, stokdagi EYuK manbayi qiymatini $E_s = 5 \text{ V}$ deb tanlab oling va **MS Word** vositalari yordamida chiqish xarakteristikalari abssissa o'qida $E_s = 5 \text{ V}$ va ordinata o'qida $I_s = E_s / R_s$ nuqtalarga mos keluvchi yuklama chizig'ini o'tkazish.

4.3.6. Tranzistorning zatvor-istok kuchlanishi $-1,0 \text{ V}$ va $+0,5 \text{ V}$ ga teng bo'lgan chiqish xarakteristikalari bilan yuklama chizig'i kesishadigan nuqtalar ($I_{C.maks}$, $U_{s1.maks}$ va $I_{C.min}$, $U_{s1.min}$) koordinatalari bilan aniqlanuvchi tranzistor aktiv rejimi chegaralarini baholang. Olingan natijalarni hisobotga kiriting.

4.3.7. Aktiv rejimning o'rta nuqtasi uchun stok tok qiymati $I_C^* = I_{C.maks} - I_{C.min}$ ni hisoblang va uzatish xarakteristikasidan unga mos keluvchi zatvor-istok kuchlanishi U_{z1}^* qiymatini aniqlang.

4.3.8. VA tashqi panelidagi «4-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosish. Ekranda 4-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.15-rasm).

4-topshiriq: Umumiy istok sxemada ulangan maydonly tranzistorli kaskad ishini tadqiq etish



10.15-rasm. 4-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

4-topshiriq. Umumiy istok sxemada ulangan MTli kaskad ishini tadqiq etish.

4.4.1. VA boshqaruv organlari yordamida kirish garmonik kuchlanish manbai amplitudasini $U_{KIR.m} = 0$ V va stokdagi EYuK kuchlanish manbai qiymatini $E_S = 5$ V qilib o'rnating. «O'lchash» tugmasini bosing.

Tranzistor chiqish xarakteristikalarida yuklama chizig'i tasviri paydo bo'ladi. Olingan tasvirni 4.3.5-bandni bajarishda olingan tasvir bilan solishtiring.

4.4.2. Zatvordagi EYuK siljish manbai E_Z qiymatini sozlab zatvor-istok kuchlanishi U_{Z1}^* qiymatini 4.3.7-bandda olingan qiymatga mos ravishda o'rnating. Umumiy istok sxemadagi tranzistorli kuchaytirgichning statik rejimi parametrlarini o'lchang va 1-jadvalga kiriting.

1-jadval

U_{Z1}, V	I_C, mA	U_{SI}, V

4.4.3. Kirish signali amplitudasi $U_{KIR.m}$ ni sekin o'zgartirib, VA grafik indikatorida maksimal buzilmagan chiqish signalini hosil qiling. Chiqish signali tasvirini hisobotga ko'chiring. Ossilogrammalarni solishtiring, kuchaytirgich kirishi va chiqishidagi signallar fazalari nisbati haqida xulosa chiqaring.

4.4.4. VA yordamida kirish U_{KIR} va chiqish U_{CHIQ} signallari amplitudalari qiymatlarini o'lchang. Buning uchun grafik indikatorlarining vizir chiziqlaridan foydalanib, kirish va chiqish signallari ossilogrammalarida ko'rsatilgan kuchlanish qiymatlari uchun maksimal va minimal oniy qiymatlarni aniqlang. Kuchlanish qiymatlarini hisoblashda VA sozlagichlari bilan moslashtirilgan raqamli indikatoridan foydalaning. Signal amplitudalarini aniqlashda $U_m = (U_{max} - U_{min})/2$ formuladan foydalaning. Olingan natijalarni hisobotga yozib oling.

4.4.5. Kirish va chiqish signallari amplitudalari qiymatlaridan foydalanib, kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyentini $K_U = U_{CHIQ.m} / U_{KIR.m}$ formula yordamida aniqlang. Natijani hisobotga kiriting.

4.4.6. Kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyentini $K_U = S \cdot R_C$ formula yordamida hisoblab toping. Bu yerda 4.3.4-bandda hisoblab topilgan S qiymatidan foydalaniladi. Natijani hisobotga yozib oling. Bu kattalikning o'lchangan va hisoblab topilgan natijalarini solishtiring. Olingan natijani tushuntiring.

4.4.7. Ishchi nuqtaning kuchaytirgich ishiga ta'sirini tadqiq eting. Buning uchun zatvordagi EYuK siljish manbayi E_z qiymatini sozlab 4.3.7-bandda olingan U_{zi}^* qiymatini taxminan 30% ga avval oshiring, so'ngra kamaytiring. Chiqish signali buzilishini kuzating. Ikkala holat uchun VA grafik indikator ko'rsatmalarini hisobotga ko'chiring. Chiqish signalidagi buzilishlar sabablarini tushuntiring.

4.4.8. VA ni o'chiring, buning uchun VA ning tashqi panelidagi «Ishni tugatish» tugmasini bosing.

5. Nazorat savollari.

1. Qanday tranzistorlar maydoniy yoki unipolyar deb ataladi? Bu nomlarning kelib chiqish sabablarini tushuntiring.

2. Zatvori izolatsiyalangan tranzistor qanday tuzilishga ega? Nima sababdan ular MDYA-tranzistorlar deb ataladi?

3. $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan MTlar qanday tuzilishga ega?

4. $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan va zatvori izolatsiyalangan MTlarning ishlash prinsipida qanday farq bor?

5. Kanali qurilgan va induksiyalangan MDYA-tranzistorlar nimasi bilan farqlanadi?

6. Sizga ma'lum bo'lgan MTlarning VAXlari bir-biridan nimasi bilan farqlanadi?

7. Turli MTlarning chiqish xarakteristikalarida farq bormi?

8. MTlarning VAXlarida qanday sohalarni ajratib ko'rsatish mumkin?

9. Chiqish xarakteristikasidagi ishchi nuqta holatiga ko'ra MTlar qo'llanilish xususiyatlari qanday?

10. MTning qanday ulanish sxemalari ma'lum? Ularning asosiy xarakteristikalarini keltiring.

11. MTlar bipolyar tranzistorlarga nisbatan qanday afzalliklarga ega?

12. MT parametrlari qanchalik aniq o'lchangan? Olingan natijalarning sifati nimalarga bog'liq?

3-laboratoriya ishi.

Operatsion kuchaytirgich (OK) asosidagi sxemalarni tadqiq etish

1. Ishning maqsadi:

- OK xarakteristikalari bilan tanishish;
- OK asosidagi analog signallarni o'zgartirish sxemalarining tuzilish prinsiplari bilan tanishish;
- OK asosidagi inverslaydigan va inverslamaydigan kuchaytirgichlarni tadqiq etish;
- analog signallarni integrallovchi va differensiallovchi sxemalarni tadqiq etish.

2. Ish bajarish yuzasidan ma'lumotlar.

Ish bajarishdan avval quyidagilar bilan taniishib chiqish tavsiya etiladi:

- OK tuzilmasi va asosiy xarakteristikalari;
- OK asosida kuchaytirgichlar qurish usullari;
- OK asosida analog signallarni o'zgartiruvchi qurilmalarini qurish usullari.

3. Laboratoriya stendi tavsifi.

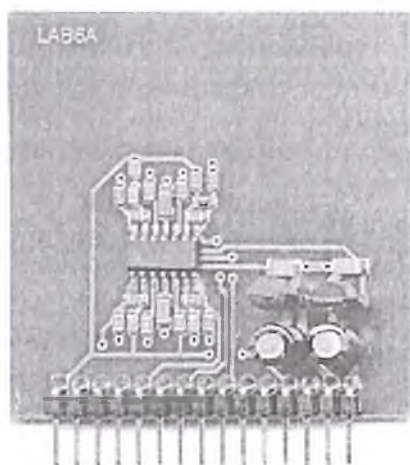
Laboratoriya stendi tarkibiga quyidagilar kiradi:

- asosiy laboratoriya stendi;
- OK asosidagi sxemalarni tadqiq etish uchun **Lab6A** laboratoriya moduli.

4. Topshiriqlar.

MS Word tahririda hisobot shablonini tayyorlang.

NI ELVIS laboratoriya stansiyasining maket platasiga **Lab6A** laboratoriya modulini o'rnatish. Modulning tashqi ko'rinishi 10.16-rasmda keltirilgan.



10.16-rasm. OK asosidagi sxemalarni tadqiq etishda qo'llaniladigan **Lab6A** modulining tashqi ko'rinishi.

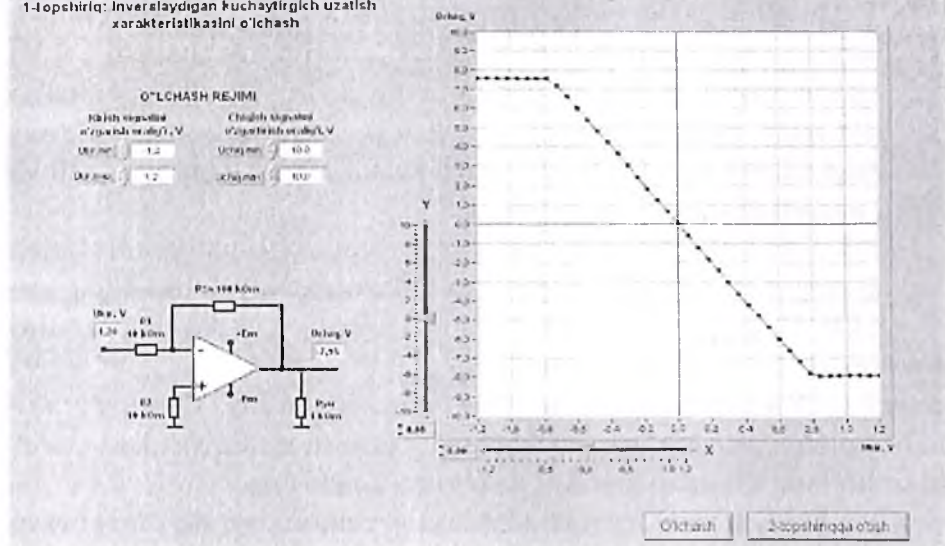
Lab-6.vi dasturini ishga tushiring.

Ishning maqsadi bilan tanishib chiqqach «**Ishni boshlash**» tugmasini bosing. Ekranda 1-topshiriqni bajarishda qo'llaniladigan VA tasviri paydo bo'ladi (10.17-rasm).

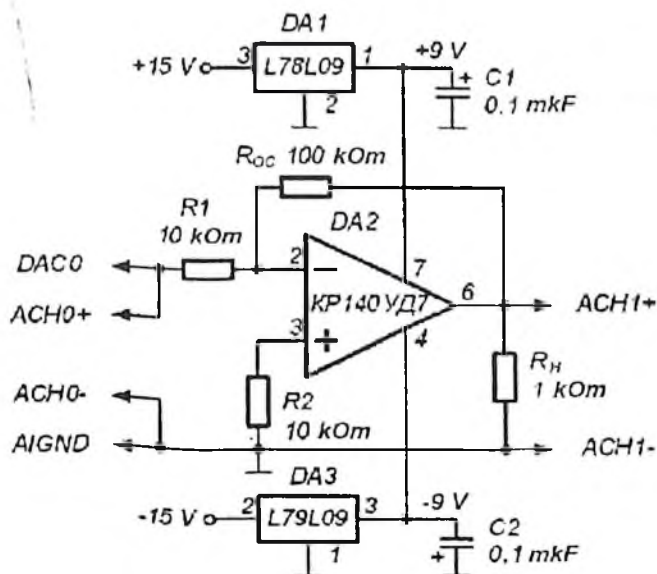
1-topshiriq. Inverslaydigan kuchaytirgich uzatish xarakteristikasini o'lchash.

Inverslaydigan kuchaytirgich xarakteristikalarini tadqiq etish uchun 10.18-rasmda keltirilgan sxemadan foydalaniladi.

1-topshiriq: Inverslaydigan kuchaytirgich uzatish xarakteristikasini o'lchash



10.17-rasm. 1-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.



10.18-rasm. Inverslaydigan kuchaytirgich xarakteristikalarini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

Izoh: OK asosidagi barcha sxemalarda kuchlanish manbayi qiymatini ± 15 V dan ± 9 V gacha pasaytirish maqsadida DAI L78L09 (chiqish kuchlanishi +9 V) hamda DA3 L79L09 (chiqish kuchlanishi -9 V) turdagi kuchlanish stabilizatorlari qo'llanilgan bo'lib, ular operatsion kuchaytirgich chiqishidagi signalning o'zgarish diapazonini DAQ-platadagi analog-raqamli o'zgartirgich kanali o'lchash oralig'i (± 10 V) bilan muvofiqlashtirish uchun zarur.

4.1.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv elementlari yordamida kirish signali o'zgarish diapazonini (tavsiya etilayotgan qiymatlar $U_{KIR.min} = -1,2$ V, $U_{KIR.max} = 2$ V) hamda chiqish signali o'zgarish diapazonini (tavsiya etilayotgan qiymatlar $U_{CHIQ.min} = -10$ V, $U_{CHIQ.max} = 10$ V) o'rnatish. VA panelidagi «O'lchash» tugmasini bosish. VA ning grafik indikatorida inverslaydigan kuchaytirgich uzatish xarakteristikasi tasviri hosil bo'ladi. Olingan grafikni hisobotga ko'chirish.

4.1.2. Uzatish xarakteristikasidan sxema chiqishidagi signalni chegaralovchi musbat U_{cheg+} va manfiy U_{cheg-} kuchlanish qiymatlarini aniqlang. Buning uchun VA sozlagichi yordamida o'zgartiriladigan gorizontali vizir chiziqdan foydalaning. Natijani hisobotga kiritish.

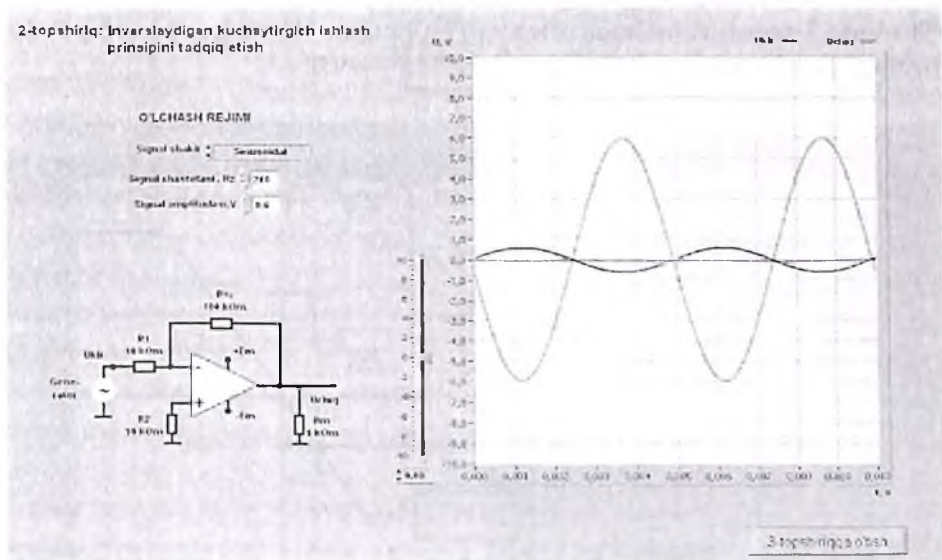
4.1.3. Inverslaydigan kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyentini aniqlang. Buning uchun vizir chiziqlari yordamida uzatish xarakteristikasining tik sohasida ixtiyoriy ikki nuqta koordinatalarni belgilab oling va $K_U = (U_{CHIQ.2} - U_{CHIQ.1}) / (U_{KIR.2} - U_{KIR.1})$ formula yordamida hisoblashni amalga oshiring. Natijani hisobotga kiritish.

4.1.4. VA tashqi panelidagi «2-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosish. Ekranida 2-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.19-rasm).

2-topshiriq. Inverslaydigan kuchaytirgich ishlash prinsipini tadqiq etish.

4.2.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv elementlari yordamida quyidagi o'lchash rejimini o'rnatish: signal shakli – **sinusoidal**, signal chastotasi – **200 Gs**. Kirish signali amplitudasi kattaligi shunday tanlanadiki, VA grafik indikatorida kuzatilayotgan chiqish signali buzilishlardan holi va kuzatuv uchun qulay bo'lsin. Hosil bo'lgan chiqish signali tasvirini ma'lumotlar buferiga, so'ngra esa hisobot varag'iga ko'chirish.

2-topshiriq: Inverslaydigan kuchaytirgich ishlash prinsipini tadqiq etish



10.19-rasm. 2-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

4.2.2. VA grafik indikatorlaridagi kirish va chiqish signallari tasviri-dan, VA gorizontaal vizir chiziqlari yordamida kirish signali amplitudasi $U_{KIR.m}$ hamda chiqish signali amplitudasi $U_{CHIQQ.m}$ ni aniqlang. Olingan natijalar yordamida inverslaydigan kuchaytirgichning kuchaytirish koef-fitsiyentini $K = R_{TA}/R_1$ formula orqali hisoblang.

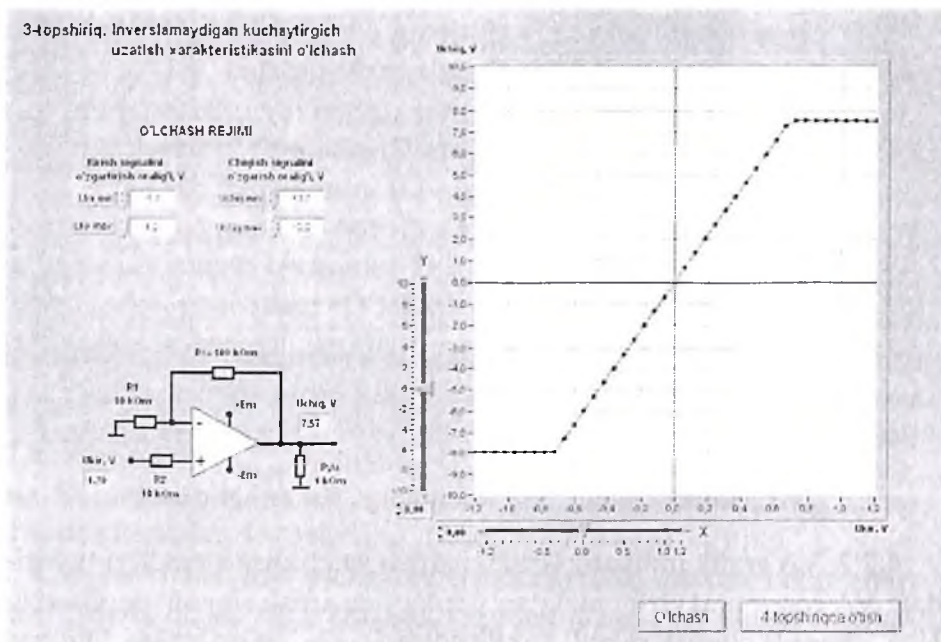
Izoh: Signal amplitudasini aniqlash uchun uni maksimal U_{max} va minimal U_{min} oniy qiymatlarini aniqlash va $U_m = (U_{max} - U_{min})/2$ formula yordamida hisoblashni amalga oshirish kerak.

VA grafik indikatoridagi tasvirlardan foydalanib, inverslaydigan kuchaytirgich kirishi va chiqishidagi signal fazalarini taqqoslang. Inverslaydigan kuchaytirgich signal fazalarini o'zgartirishi haqida xulosa chiqaring va uni hisobotga yozib oling.

4.2.3. Inverslaydigan kuchaytirgich kuchaytirish koefitsiyentini hisoblang. Buning uchun $K = R_{TA}/R_1$ formuladan foydalaning. Natija-ni hisobotga yozib oling.

Uzatish xarakteristikasidan (4.1.3-b.), o'lchash natijalari (4.2.2-b.) hamda hisoblab topilgan (4.2.3-b.) kuchaytirish koefitsiyentlari qiymatlarini taqqoslang. Xulosa chiqaring va uni hisobotga kiriting.

4.2.5. VA tashqi panelidagi «3-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosib. Ekranda 3-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.20-rasm).



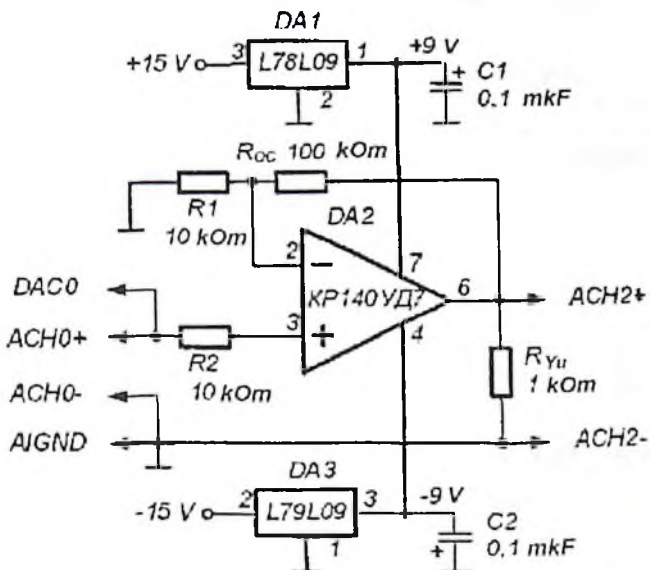
10.20-rasm. 3-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

3-topshiriq. Inverslamaydigan kuchaytirgich uzatish xarakteristikasini o'lchash.

Inverslamaydigan kuchaytirgich xarakteristikalarini tadqiq etish uchun 10.21-rasmda keltirilgan sxemadan foydalaniladi.

4.3.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv elementlari yordamida kirish signali o'zgarish diapazonini (tavsiya etilayotgan qiymatlar $U_{KIR.min} = -1,2 \text{ V}$, $U_{KIR.max} = 2 \text{ V}$) hamda chiqish signali o'zgarish diapazonini (tavsiya etilayotgan qiymatlar $U_{CHIQ.min} = -10 \text{ V}$, $U_{CHIQ.max} = 10 \text{ V}$) o'rnatib. VA panelidagi «O'lchash» tugmasini bosib. VA ning grafik indikatorida inverslamaydigan kuchaytirgich uzatish xarakteristikasi tasviri hosil bo'ladi.

Olingan grafikni hisobotga ko'chiring.



10.21-rasm. Inverslamaydigan kuchaytirgich xarakteristikalarini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

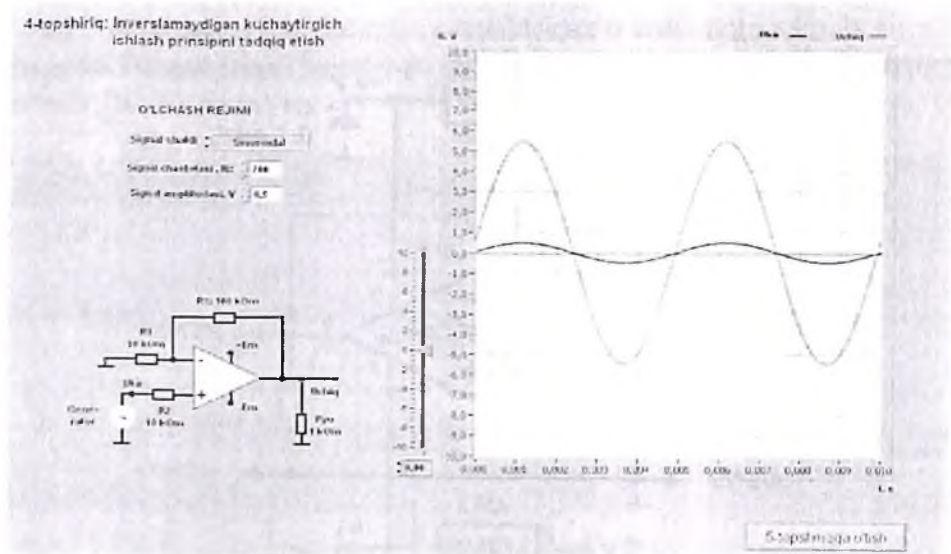
4.3.2. Uzatish xarakteristikasidan sxema chiqishidagi signalni chegaralovchi musbat U_{cheg+} va manfiy U_{cheg-} kuchlanish qiymatlarini aniqlang. Buning uchun VA sozlagichi yordamida o'zgartiriladigan gorizontal vizir chiziqdan foydalaning. Natijani hisobotga kiriting.

Sxemaning kuchaytirish koeffitsiyentini 4.1.3-bandda keltirilgan usul bilan aniqlang. Natijani hisobotga yozib oling.

4.3.3. VA tashqi panelidagi «4-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosing. Ekranda 4-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.22-rasm).

4-topshiriq. Inverslamaydigan kuchaytirgich ishlash prinsipini tadqiq etish.

4.4.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv elementlari yordamida quyidagi o'lchash rejimini o'rnatish: signal shakli — **sinusoidal**, signal chastotasi — **200 Gs**. Kirish signali amplitudasi kattaligi shunday tanlanadiki, VA grafik indikatorida kuzatilayotgan chiqish signali buzilishlardan holi va kuzatuv uchun qulay bo'lsin. Hosil bo'lgan chiqish signali tasvirini ma'lumotlar buferiga, so'ngra esa hisobot varag'iga ko'chiring.



10.22-rasm. 4-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

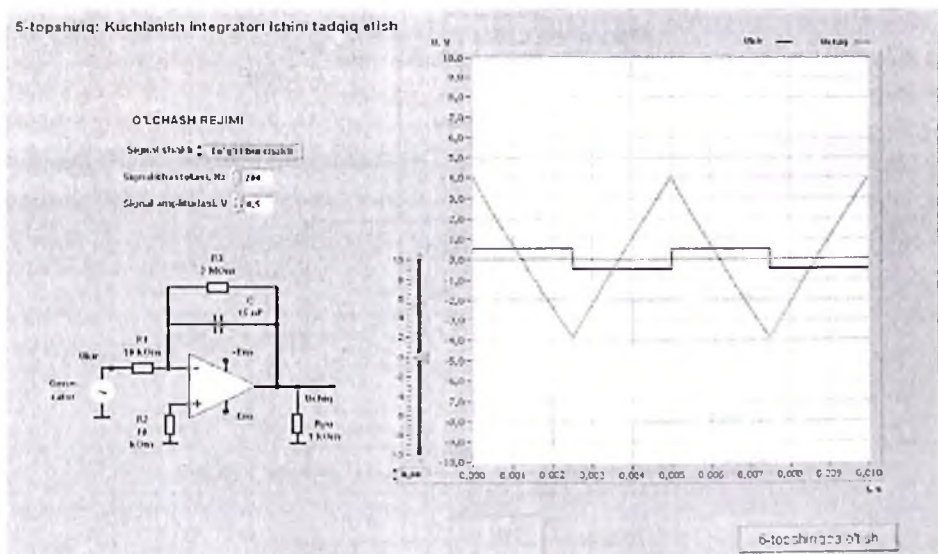
VA grafik indikatoridagi tasvirlardan foydalanib, inverslamaydigan kuchaytirgich kirishi va chiqishidagi signal fazalarini taqqoslang. Inverslamaydigan kuchaytirgichda signal fazasi o'zgarishi haqida xulosa chiqaring va uni hisobotga yozib oling.

4.4.2. Inverslamaydigan kuchaytirgich kuchaytirish ko'effitsiyentini hisoblang. Buning uchun $K = R_{TA}/R_1$ formuladan foydalaning. Natijani hisobotga yozib oling.

4.4.3. Ossilogrammadan VA vizir chiziqlari yordamida kirish signali amplitudasi $U_{KIR.m}$ hamda chiqish signali amplitudasi $U_{CHIQ.m}$ ni aniqlang. Inverslamaydigan kuchaytirgich kuchaytirish ko'effitsiyentini $K = U_{CHIQ.m}/U_{KIR.m}$ formula yordamida hisoblang. Natijani hisobotga yozib oling.

Uzatish xarakteristikasidan (4.3.2-b.), o'lchash natijalari asosidagi (4.4.3-b.) hamda hisoblab topilgan (4.4.2-b.) kuchaytirish ko'effitsiyentlari qiymatlarini taqqoslang. Xulosa chiqaring va uni hisobotga kiriting.

4.4.4. VA tashqi panelidagi «5-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosing. Ekranda 5-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.23-rasm).



10.23-rasm. 5-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

5-topshiriq. Kuchlanish integratori ishini tadqiq etish.

Kuchlanish integratori ishini tadqiq etish uchun 10.24-rasmda keltirilgan elektr sxemani yig'ing.

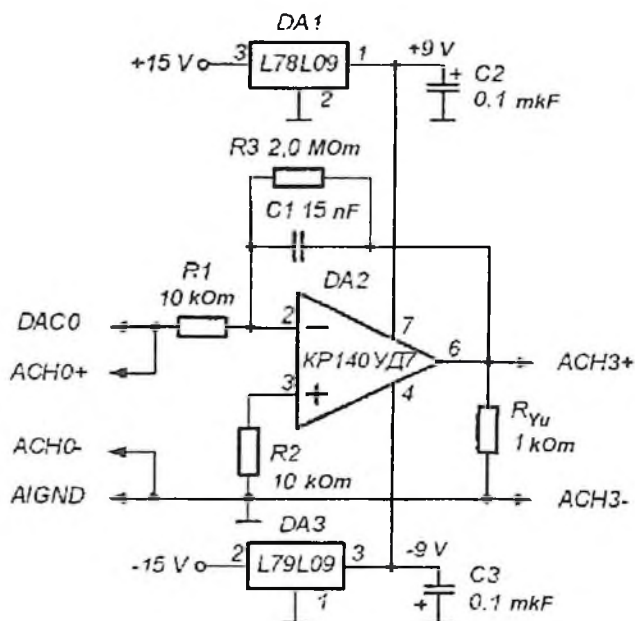
4.5.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv elementlari yordamida quyidagi o'lchash rejimini o'rnatish: signal shakli — **to'g'ri burchak**, signal chastotasi — **200 Gs**. Integrator kirishidagi signal amplitudasi kattaligi shunday tanlanadiki, VA grafik indikatorida kuzatilayotgan chiqish signali buzilishlardan holi va kuzatuv uchun qulay bo'lsin.

VA grafik indikatorida uchburchak shakliga yaqin ko'rinishdagi chiqish signali (integrallash natijasi) hosil bo'ladi va uning tasvirini ma'lumotlar buferiga, so'ngra esa hisobot varag'iga ko'chiring.

4.5.2. VA grafik indikatorida hosil bo'lgan chiqish signali tasviridan foydalanib, uning o'zgarish tezligini aniqlang va hisobotga kiriting. Buning uchun vizir chiziqlari yordamida signalning maksimal $U_{\max}$ va minimal $U_{\min}$ oniy qiymatlarini aniqlang va

$$\frac{\Delta U_{\text{CHIQ}}}{\Delta t} = \frac{2(U_{\max} - U_{\min})}{T}$$

kattalikni hisoblang.



10.24-rasm. Kuchlanish integratori ishini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

Sxema elementlari parametrlari qiymatlaridan foydalanib, ideal integrator formulasi

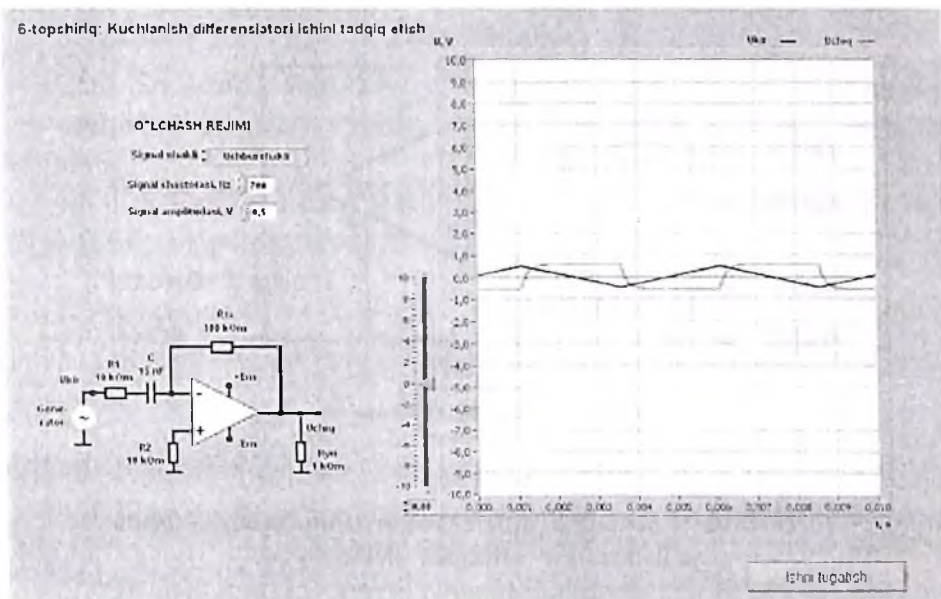
$$\frac{\Delta U_{CHI0}}{\Delta t} = - \frac{U_{KIR}}{R_1 \cdot C}$$

dan chiqish signalining o'zgarish tezligini aniqlang va hisobotga yozib oling.

O'lchash hamda hisoblashlar natijalarida olingan integrator chiqishi-dagi signal qiymatini taqqoslang. Integratorning ideallik darajasi haqida xulosa chiqaring.

4.5.3. **Sinusoidal, uchburchak va arrasimon** shakldagi kirish sinallari uchun ham chiqish signali ossilogrammalarini hosil qiling va hisobotga kiriting. Olingan natijalarni izohlang. Sinusoidal shakldagi kirish sinali uchun integrator kirishi va chiqishidagi signal fazalari farqini baholang. Olingan natijani izohlang.

chiqish signali tasvirini ma'lumotlar buferiga, so'ngra esa hisobot varag'iga ko'chiring.



10.25-rasm. 6-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

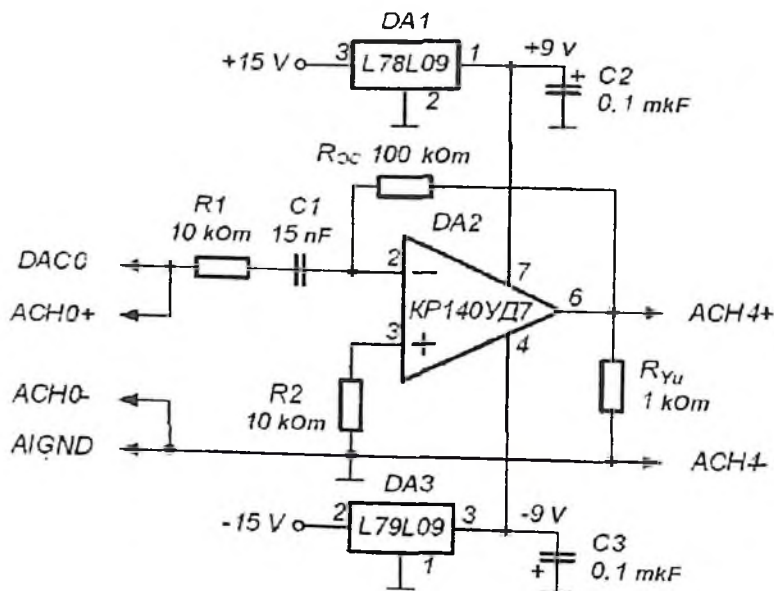
4.5.4. VA tashqi panelidagi «6-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosib. Ekranda 6-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.25-rasm).

6-topshiriq. Kuchlanish differentsiatori ishini tadqiq etish.

Kuchlanish differentsiatori ishini tadqiq etish uchun 10.26-rasmda keltirilgan elektr sxemani yig'ing.

4.6.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv elementlari yordamida quyidagi o'lchash rejimini o'rnatib: signal shakli — **uchburchak**, signal chastotasi — **200 Gs**. Differentsiator kirishidagi signal amplitudasi kattaligi shunday tanlanadiki, VA grafik indikatorida kuzatilayotgan chiqish signali buzilishlardan holi va kuzatuv uchun qulay bo'lsin.

VA grafik indikatorida shakli to'g'ri burchakka yaqin ko'rinishdagi chiqish signali (differentsiallashtirish natijasi) hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan



10.26-rasm. Kuchlanish differentsiatori ishini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

4.6.2. VA grafik indikatorida hosil bo'lgan chiqish signali tasviridan foydalanib, VA vizir chiqiziqlari yordamida muvozanatlashgan qiymati sohasida chiqish signali amplitudasi $U_{CHIQ.m}$ ni aniqlang. Natijani hisobotga yozib oling.

4.6.3. VA grafik indikatoridagi kirish signali tasviridan foydalanib, uning o'zgarish tezligini aniqlang va hisobotga kiriting. Buning uchun

$$\frac{\Delta U_{KIR}}{\Delta t} = \frac{4U_m}{T}$$

formuladan foydalaning.

4.6.4. Berilgan sxema elementlari parametrlari hamda 4.6.3-bandda aniqlangan kirish sinalining o'zgarish tezligi qiymatidan foydalanib, ideal differentsiator formulasi

$$U_{CHIQ} = -R_{TA} \cdot C \cdot \frac{\Delta U_{KIR}}{\Delta t}$$

dan chiqish kuchlanishi amplituda qiymatini aniqlang.

4.6.5. O'lchash (4.6.2-b.) hamda hisoblashlar (4.6.4-b.) natijalarini taqqoslang. Differentsiatorning ideallik darajasi haqida xulosa chiqaring.

4.6.6. Sinusoidal, to'g'ri burchak va arrasimon shakldagi kirish sinallari uchun ham chiqish signali ossilogrammalarini hosil qiling va hisobotga kiriting. Olingan natijalarni izohlang.

4.6.7. Sinusoidal shakldagi kirish sinali uchun differensiator kirishi va chiqishidagi signal fazalari farqini baholang. Olingan natijani izohlang.

4.6.8. VA ni o'chiring, buning uchun VA ning tashqi panelidagi «**Ishni tugatish**» tugmasini bosing.

5. Nazorat savollari.

1. OK nima?

2. OKning asosiy xarakteristikalar va ularni o'lchash usullarini sanab bering.

3. OK asosidagi masshtabli o'zgartirgichlar sxemalari va uzatish koefitsiyentini hisoblash ifodalarini keltiring.

4. OK asosidagi inverslaydigan kuchaytirgich kirishi va chiqishidagi signal fazalari farqi qanday? Sababi?

5. OK asosidagi inverslamaydigan kuchaytirgich kirishi va chiqishidagi signal fazalari farqi qanday? Buning sababi nima?

6. OK asosidagi kuchaytirgich chiqish kuchlanishining doimiy tashkil etuvchisi nima bilan aniqlanadi ?

7. Kuchlanish integratori sxemasini hamda uning kirishi va chiqishidagi signallarning vaqt diagrammalarini keltiring.

8. Intregator chiqishidagi signalning o'zgarish tezligi qanday hisoblanadi?

9. Kuchlanish integratori sxemasini va chiqish signallarini hisoblash ifodasini keltiring.

10. Differensiator chiqishidagi signal uning kirishidagi signal o'zgarish tezligiga qanday bog'liq ?

11. Qanday holda OK asosidagi elektr sxemalar ishlash prinsipini izohlashda ideal OK ishini ifodalovchi munosabatlardan foydalanish mumkin?

12. OK asosidagi elektr sxemalar parametrlari qanchalik aniq o'lchangan? Olingan natijalarning sifati nimalarga bog'liq ?

4-laboratoriya ishi.

Analog kuchlanish komparatori xarakteristikalarini tadqiq etish

1. Ishning maqsadi:

- analog kuchlanish komparatorlari xarakteristikalarini bilan tanishish;
- bir bo'sag'ali komparator ishini tadqiq etish;
- gisterezisli komparator ishini tadqiq etish.

2. Ish bajarish yuzasidan ma'lumotlar.

Ish bajarishdan avval quyidagilar bilan tanishib chiqish tavsiya etiladi:

- analog komparatorlarning vazifasi, ishlash prinsipi va sinflanishi;
- OKning analog signallarni taqqoslash sxemasi sifatida ishlash xossalari;
- OK asosidagi bir bo'sag'ali komparator tuzilish prinsipi va xarakteristikalarini;
- OK asosidagi gisterezisli komparator tuzilish prinsipi va xarakteristikalarini.

3. Laboratoriya stendi tavsifi.

Laboratoriya stendi tarkibiga quyidagilar kiradi:

- asosiy laboratoriya stendi;
- analog kuchlanish komparatorlari xarakteristikalarini tadqiq etish uchun **Lab7A** laboratoriya moduli.

4. Topshiriqlar.

MS Word tahririda hisobot shablonini tayyorlang.

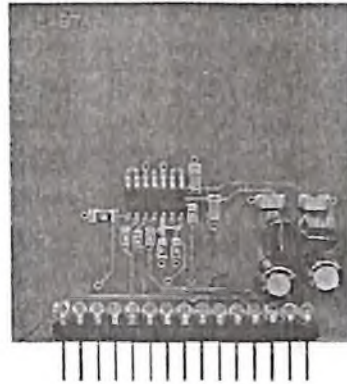
NI ELVIS laboratoriya stansiyasining maket platasiga **Lab7A** laboratoriya modulini o'rnatish. Modulning tashqi ko'rinishi 10.27-rasmda keltirilgan.

Lab-7.vi dasturini ishga tushiring.

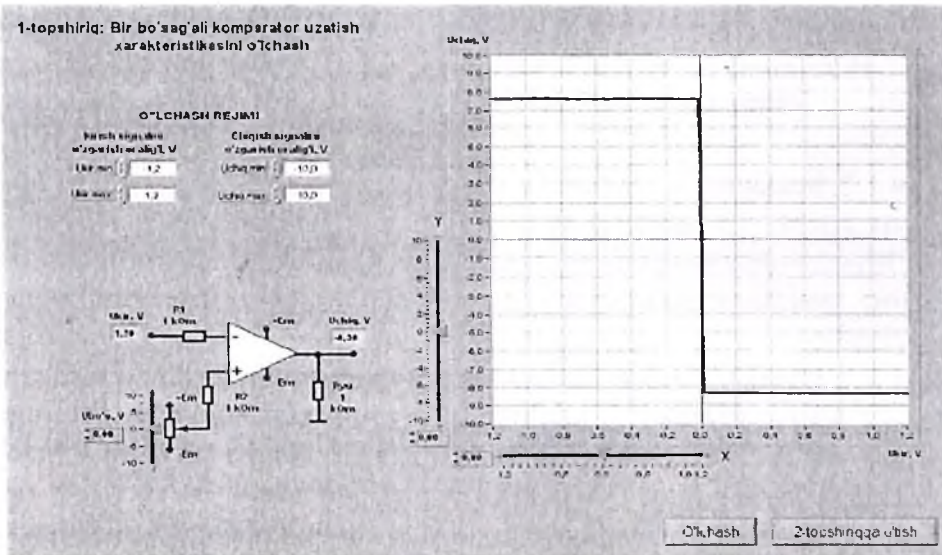
Ishning maqsadi bilan tanishib chiqqach «**Ishni boshlash**» tugmasini bosish. Ekranda 1-topshiriqni bajarishda qo'llaniladigan VA tasviri paydo bo'ladi (10.28-rasm).

1-topshiriq. Bir bo'sag'ali komparator uzatish xarakteristikalarini o'lchash.

Bir bo'sag'ali komparator uzatish xarakteristikalarini o'lchash uchun 10.29-rasmda keltirilgan sxemadan foydalaniladi.

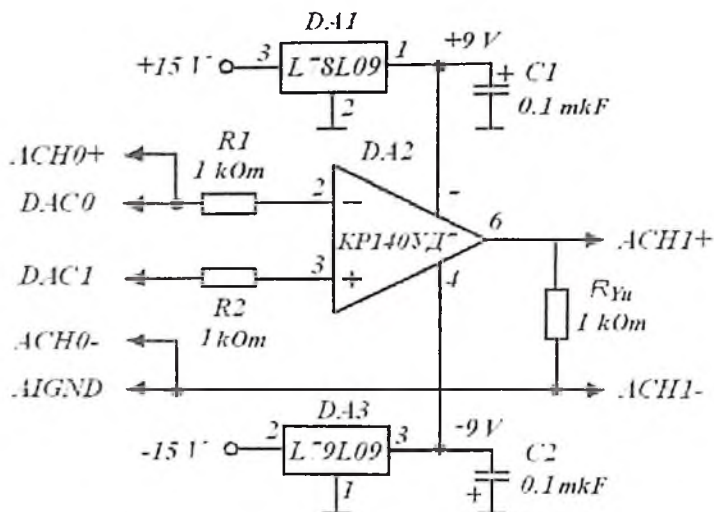


10.27-rasm. Analog kuchlanish komparatorlari xarakteristikalarini tadqiq etishda qo'llaniladigan Lab7A modulining tashqi ko'rinishi.



10.28-rasm. 1-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

4.1.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv elementlari yordamida kirish signali o'zgarish diapazonini (tavsiya etilayotgan qiymatlar $U_{KIR.min} = -10$ V, $U_{KIR.max} = 10$ V) hamda chiqish signali o'zgarish chegarasini (tavsiya etilayotgan qiymatlar $U_{CHIQ.min} = -10$ V, $U_{CHIQ.max} = 10$ V) o'rnatish.



10.29-rasm. Bir bo'sag'ali komparator uzatish xarakteristikalarini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

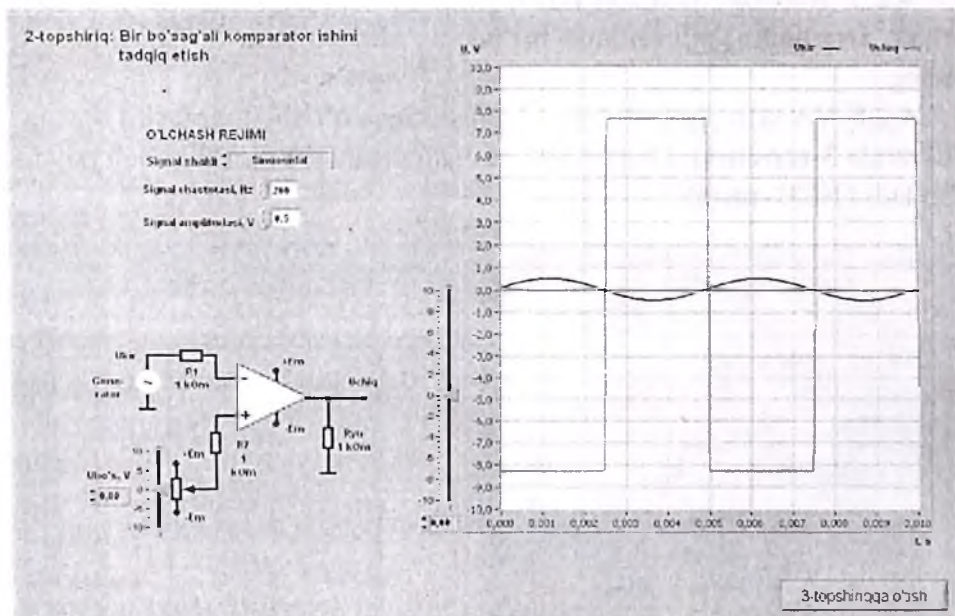
4.1.2. Sozlagich yordamida komparator ishlay boshlaydigan bo'sag'aviy kuchlanish qiymati $U_{bo's} = 0$ V ni o'rnatish. VA panelidagi «O'lchash» tugmasini bosish. VA ning grafik indikatorida komparator uzatish xarakteristikasi tasviri hosil bo'ladi. Olingan grafikni hisobotga ko'chiring.

4.1.3. Uzatish xarakteristikasidan komparator chiqishidagi musbat U_{CHIQ+} va manfiy U_{CHIQ-} kuchlanish qiymatlarini aniqlang. Buning uchun VA «Y» sozlagichi yordamida o'zgartiriladigan gorizontaal vizir chiziqdan foydalaning. Natijani hisobotga kiriting.

4.1.4. Komparatorning qayta ulanish sodir bo'ladigan kirish signali U_{KIR} kattaligini aniqlang. Buning uchun VA «X» sozlagichi yordamida o'zgartiriladigan vertikal vizir chiziqdan foydalaning. Olinayotgan natijalarning aniqligini oshirish maqsadida uzatish xarakteristikasidagi kirish signallarining o'zgarish diapazonini ($U_{KIR.min}$, $U_{KIR.max}$) qulay qilib o'rnatish va «O'lchash» tugmasini qayta bosish kerak. Natijani hisobotga kiriting. Olingan qiymatni o'rnatilgan komparator ishlay boshlaydigan bo'sag'aviy kuchlanish qiymati $U_{bo's}$ bilan taqqoslang.

4.1.5. Komparator ishlay boshlaydigan bo'sag'aviy kuchlanish qiymatini $-2,5\text{V}$ va $+1,7\text{V}$ qilib o'rnatib, 4.1.2–4.1.4-bandlardagi amallarni bajarang.

VA tashqi panelidagi «**2-topshiriqqa o'tish**» tugmasini bosang. Ekranda 2-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.30-rasm).



10.30-rasm. 2-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

2-topshiriq. Bir bo'sag'ali komparator ishini tadqiq etish.

4.1.6. VA tashqi panelidagi boshqaruv elementlari yordamida quyidagi o'lchash rejimini o'rnatang: signal shakli — **sinusoidal**, signal chastotasi — **200 Gs**, kirish signali amplitudasi — **7,0 V**.

4.1.7. Sozlagich yordamida komparator ishlay boshlaydigan bo'sag'aviy kuchlanish qiymatini $U_{bo's} = 0\text{V}$ qilib o'rnatang. VA ning grafik indikatorida komparator kirishi va chiqishidagi signallar tasviri hosil bo'ladi. Olingan grafikni hisobotga ko'chiring.

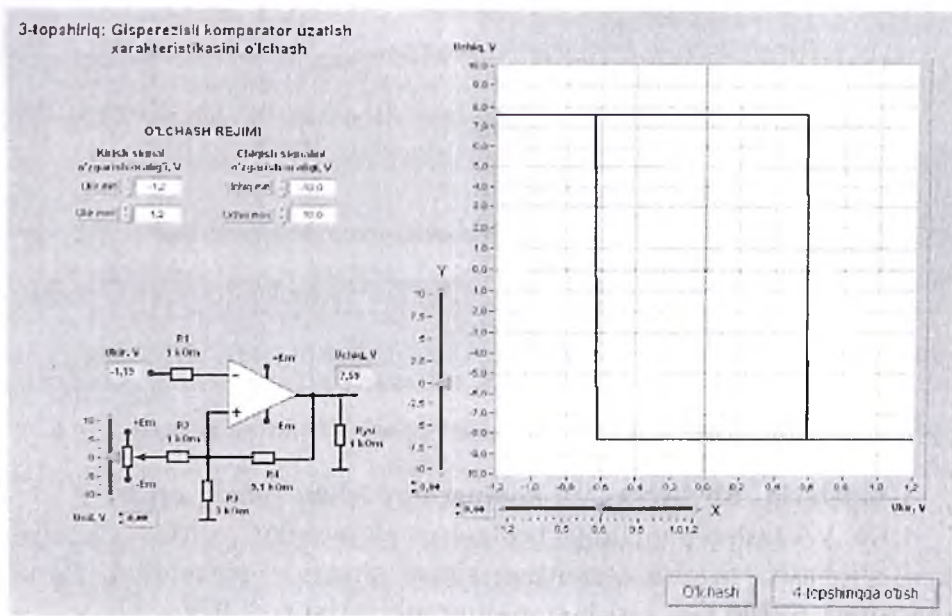
4.1.8. Hosil bo'lgan tasvirlarni ma'lumotlar buferiga, so'ngra esa hisobot varag'iga ko'chiring.

VA grafik indikatoridagi tasvirlardan foydalanib, VA vizir chiziqlari yordamida kirish kuchlanishining bo'sag'aviy qiymati $U_{KIR.bo's}$ ni aniqlang. Natijani hisobotga yozib oling.

4.2.4. Komparator ishlay boshlaydigan bo'sag'aviy kuchlanish qiymatini -5 V va $+5\text{ V}$ qilib o'rnatib, 4.2.2–4.2.3-bandlardagi amallarni bajarang.

4.2.5. Boshqa shakldagi kirish signallari (**uchburchak, to'g'ri burchak, arrasimon**) uchun ham bir bo'sag'ali komparator ishini tadqiq eting.

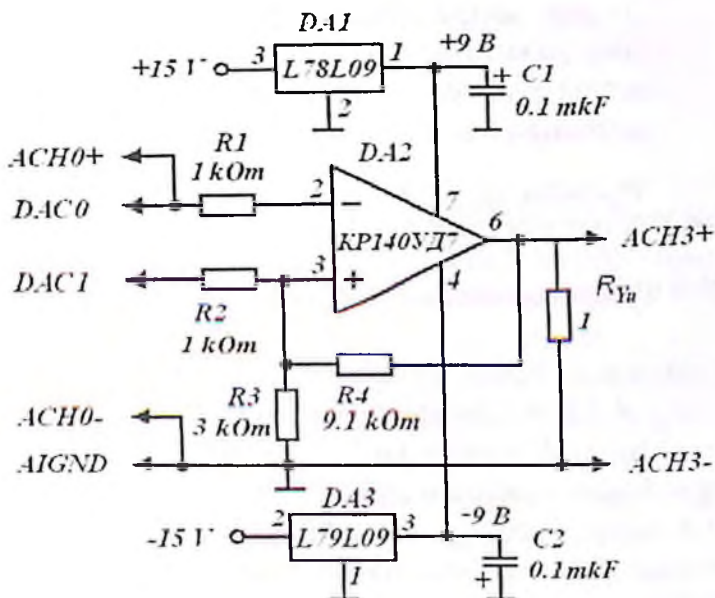
4.2.6. VA tashqi panelidagi «3-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosing. Ekranda 3-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.31-rasm).



10.31-rasm. 3-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

3-topshiriq. Gisterezisli komparator uzatish xarakteristikalarini o'lchash.

Gisterezisli komparator uzatish xarakteristikalarini o'lchash uchun 10.32-rasmda keltirilgan sxemadan foydalaniladi.



10.32-rasm. Gisterezisli komparator uzatish xarakteristikalarini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

4.3.1. VA tashqi panelida joylashgan boshqaruv elementlari yordamida kirish signali o'zgarish diapazonini (tavsiya etilayotgan qiymatlar $U_{KIR.min} = -10\text{ V}$, $U_{KIR.max} = 10\text{ V}$) hamda chiqish signali o'zgarish chegarasini (tavsiya etilayotgan qiymatlar $U_{CHIQ.min} = -10\text{ V}$, $U_{CHIQ.max} = 10\text{ V}$) o'rnatish.

4.3.2. Sozlagich yordamida uzatish xarakteristikasining siljituvchi kuchlanish manbai qiymati $U_{sil} = 0\text{ V}$ qilib o'rnatish. VA panelidagi «O'lchash» tugmasini bosish. VA ning grafik indikatorida komparator uzatish xarakteristikasi tasviri hosil bo'ladi. Bir bo'sag'ali komparatoridan farqli ravishda, gisterezisli komparator uzatish xarakteristikasida ikkita qayta ulanish darajasi mavjud: kirish signali monoton oshirib borilganda ishlab ketish kuchlanishi (U_{ishl}) va kirish signali monoton kamaytirib borilganda qo'yib yuborish kuchlanishi ($U_{qo'y}$). Uzatish xarakteristikasi tasvirini hisobotga ko'chirish.

4.3.3. Uzatish xarakteristikasidan komparator chiqishidagi musbat U_{CHIQ+} va manfiy U_{CHIQ-} kuchlanish qiymatlarini aniqlang, hamda

komparatorning qayta ulanish kuchlanishlari U_{ishl} va $U_{qo'y}$ ni aniqlang. Natijalarni hisobotga kiriting.

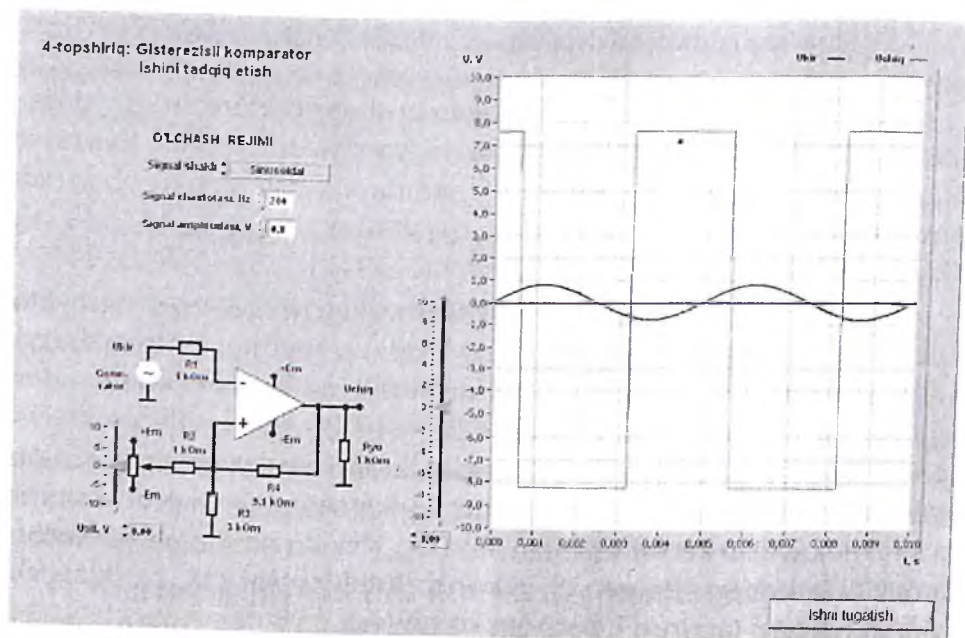
Komparatorning qayta ulanish va qo'yib yuborish kuchlanishlarini quyidagi formulalardan hisoblab toping:

$$U_{ishl} = \frac{U_{sil}/R2 + U_{CHIQ}^+/R4}{1/R2 + 1/R3 + 1/R4}; \quad U_{qo'y} = \frac{U_{sil}/R2 + U_{CHIQ}^-/R4}{1/R2 + 1/R3 + 1/R4}.$$

Hisoblab topilgan qiymatlarni tajribada olingan natijalar bilan taqqoslang.

4.3.4. Siljish kuchlanishi qiymatlarini -10 V , -5 V , 5 V va $+10\text{ V}$ qilib o'rnatib, 4.3.2–4.3.3-banddagi amallarni bajarang. Bu vaqtda komparator ishga tushib ketish kuchlanishi qiymati hamda gisterzis kattaligi qanchaga o'zgarishini aniqlang.

4.2.6. VA tashqi panelidagi «4-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosang. Ekranda 4-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.33-rasm).



10.33-rasm. 4-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

4-topshiriq. Gisterezisli komparator ishini tadqiq etish.

4.4.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv elementlari yordamida quyidagi o'lchash rejimini o'rnatish: signal shakli – **sinusoidal**, signal chastotasi – **200 Gs**, kirish signali amplitudasi – **7,0 V**.

4.4.2. Sozlagich yordamida komparator uzatish xarakteristikasini siljituvchi kuchlanish manbai qiymati $U_{sil} = 0 \text{ V}$ ni o'rnatish. VA ning grafik indikatorida komparator kirishi va chiqishidagi signallar tasviri hosil bo'ladi. Olingan grafiklarni hisobotga ko'chiring.

4.4.3. VA grafik indikatoridagi kirish signali grafigidan foydalanib, VA gorizontal vizir chiziqlari yordamida komparatorning ishga tushish U_{ishl} va qo'yib yuborish $U_{qo'y}$ kuchlanishlarini aniqlang. Natijalarni hisobotga yozib oling.

4.4.4. Uzatish xarakteristikasida siljish kuchlanishi qiymatlarini $-5,0 \text{ V}$ va $+5,0 \text{ V}$ qilib o'rnatib, 4.4.2–4.4.3-bandlardagi amallarni bajaring.

4.4.5. Boshqa shakldagi kirish signallari (**uchburchak, to'g'ri burchak, arrasimon**) uchun ham gisterezisli komparator ishini tadqiq eting.

4.4.6. VA ni o'chiring, buning uchun VA ning tashqi panelidagi «**Ishni tugatish**» tugmasini bosish.

5. Nazorat savollari.

1. Komparator sxemasi kuchaytirgich sxemasidan nimasi bilan farq qiladi?
2. Komparator chiqishida qanday kuchlanishlar shakllanishi mumkin?
3. OKning komparator rejimi deganda nimani tushunasiz?
4. Solishtirish sxemasining xatoligi nimada va bir bo'sag'ali komparatorida qanday qilib uni kamaytirish mumkin?
5. Gisterezisli komparator qanday uzatish xarakteristikasiga ega?
6. Bir bo'sag'ali komparatorning ishlab ketish bo'sag'asini qanday qilib o'zgartirish mumkin?
7. Gisterezisli komparatorlarda uzatish xarakteristikani siljituvchi kuchlanish qanday beriladi?
8. Gisterezisli komparator bir bo'sag'ali komparatorga nisbatan qanday afzalliklarga ega?
9. Ishda analog komparatorlar parametrlari qanchalik aniq topilgan? Olingan natijalarning sifati nimalarga bog'liq bo'ladi?

5-laboratoriya ishi.

Raqamli sxemalarni tadqiq etish

1. Ishning maqsadi:

- raqamli mantiqiy elementlar ishini tadqiq etish;
- deshifратор ishini tadqiq etish;
- multipleksor ishini tadqiq etish;
- triggerlar ishini tadqiq etish;
- hisoblagichlar ishini tadqiq etish.

2. Ishni bajarish yuzasidan ma'lumotlar.

Ishni bajarishdan avval quyidagilar bilan tanishib chiqish tavsiya etiladi:

- mantiqiy elementlarning sinflanishi, vazifasi va xossalari;
- deshifраторlar va multipleksorlarning qurilish prinsipi va ish rejimlari;
- triggerlarning sinflanishi, ishlash prinsipi va ulanish sxemalari;
- impuls hisoblagichlari turlari, ularning ishlash prinsipi va qo'llanish xossalari.

3. Laboratoriya stendi tavsifi.

Laboratoriya stendi tarkibiga quyidagilar kiradi:

- asosiy laboratoriya stendi;
- triggerlar va hisoblagichlar ishini tadqiq etish uchun **Lab8A** va **Lab9A** laboratoriya modullari.

4. Topshiriqlar.

MS Word tahririda hisobot shablonini tayyorlang.

Lab-8.vi dasturini ishga tushiring.

Ishning maqsadi bilan tanishib chiqqach, «**Ishni boshlash**» tugmasini bosing. Ekranda 1-topshiriqni bajarishda qo'llaniladigan VA tasviri paydo bo'ladi (10.34-rasm).

NI ELVIS laboratoriya stansiyasi manbasini ulang. Initsializatsiyalash amallarini ketma-ket bajaring. Initsializatsiyalash tugagach ekranda 1-topshiriqni bajarish uchun mo'ljallangan VA tashqi paneli hosil bo'ladi (10.35-rasm).

1-topshiriq. Raqamli mantiqiy elementlar ishini tadqiq etish.

4.1.1. «**Ro'yxat**» nomli VA boshqaruv elementlari yordamida talab etilayotgan raqamli mantiq element turini aktivlashtiring.

NI ELVIS laboratoriya stantsiyasining raqamli kanalini initsializatsiya qilish

1-qadam. NI ELVIS stantsiyasi oldi panelidagi "COMMUNICATION" qayta ulagichini "NORMAL" xolatga o'rnatish va "OK" tugmasini bosish



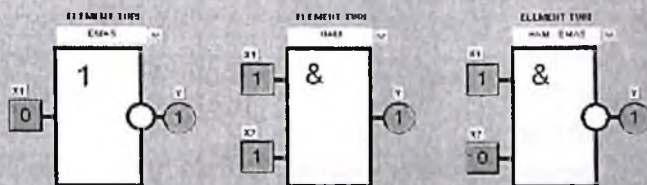
2-qadam. NI ELVIS stantsiyasining oldi panelidagi "COMMUNICATION" qayta ulagichini "BYPASS" xolatga o'rnatish va "OK" tugmasini bosish



10.34-rasm. NI ELVIS laboratoriya stantsiyasining raqamli kanalini initsializatsiyalash uchun VA tashqi paneli.

1-topshiriq: Raqamli mantiqiy elementlar ishini tadqiq etish

- Quyidagi mantiqiy elementlar uchun haqiqiylik jadvalini tuzing:
EMAS, HAM, HAM-EMAS, YOKI, YOKI-EMAS, Ixtisnoli YOKI, Ixtisnoli YOKI-EMAS;
- "Ro'yxat" dan mantiqiy elementlar turini tanlang.



2-topshiriqqa o'tish

10.35-rasm. 1-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

4.1.2. Tanlangan raqamli mantiq element kirishlariga 1-jadvalda keltirilgan mantiqiy sathlarga mos elektr signallar bering. Mantiqiy sathlar mos kirishlar oldida tasvirlangan kvadrat shakl ustiga «sich-qoncha» bilan bir marta bosish orqali amalga oishiriladi. Bu vaqtda tugmada kirishlar holati («0» yoki «1») aks etadi.

1-jadval

Kirish X_1	Kirish X_2	Mantiqiy funksiyalar uchun Y chiqish					
		EMAS	HAM	HAM-EMAS	YOKI	YOKI-EMAS	Istisnoli YOKI
0	0						
0	1						
1	0						
1	1						

1-jadvalga mantiqiy element chiqishlari holatini kiriting. Bu holatlar VA tashqi panelidagi doira shakldagi indikator yordamida aks etadi.

4.1.3. Tadqiqotlarni 1-jadvalda keltirilgan barcha mantiqiy elementlar uchun takrorlang. Olingan haqiqiylik jadvalini hisobotga kiriting.

4.1.4. VA tashqi panelidagi «**2-topshiriqqa o'tish**» tugmasini bosing. Ekranda 2-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.36-rasm).

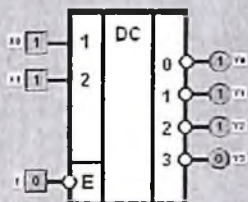
2-topshiriq. 2×4 deshifратор ishini tadqiq etish.

4.2.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv organlari yordamida deshifratorning ruxsat etuvchi «E» kirishiga mantiqiy «0» holatni o'rnating.

4.2.2. Deshifratorning « X_0 » va « X_1 » kirishlariga 2-jadvalga mos ravishda mantiqiy signallar bering hamda « Y_0 » va « Y_3 » chiqishlar holatini nazorat qiling. Olingan natijalarni 2-jadvalning mos kataklariga kiriting.

4.2.3. Tadqiqotlarni deshifratorning ruxsat etuvchi «E» kirishiga mantiqiy «1» berilgan holat uchun takrorlang. Tadqiqot natijalarini hisobotga kiriting. «E» kirishning qanday holati aktiv bo'lishini aniqlang.

2-topshiriq: 2 x 4 deshlfrator ishini tadqiq etish
(KP555UQ14 mikroexema misolida)



3-topshiriqqa o'tish

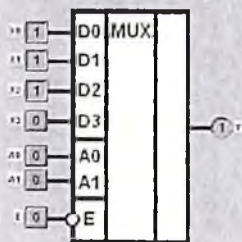
10.36-rasm. 2-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

2-jadval

Kirish E	Kirish X_1	Kirish X_0	Chiqish Y_0	Chiqish Y_1	Chiqish Y_2	Chiqish Y_3
0	0	0				
	0	1				
	1	0				
	1	1				
1	0	0				
	0	1				
	1	0				
	1	1				

4.2.4. VA tashqi panelidagi «3-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosib. Ekranda 3-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.37-rasm).

3-topshiriq: 4 x 1 multipleksor ishini tadqiq etish
(KP555KT12 mikroavtoma misolida)



4-topshiriqqa o'tish

10.37-rasm. 3-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

3-topshiriq. 4 x 1 multipleksor ishini tadqiq etish.

4.3.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv organlari yordamida multipleksorning ruxsat etuvchi «E» kirishiga mantiqiy «0» holatni o'rnatish.

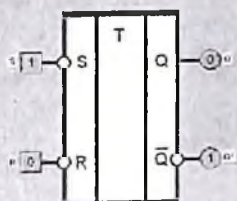
4.3.2. Multipleksorning «A₀» va «A₁» adres kirishlarida 3-jadvalga mos mantiqiy holatlar kombinatsiyasini o'rnatish.

4.3.3. O'rnatilgan manzil qiymatlarida to'rtta (X₀–X₃) axborot kirishlardan qaysi biri chiqish Y ga ulanganligini aniqlang. Buning uchun VA tashqi panelidagi «X₀»–«X₃» tugmalar yordamida multipleksor kirishi holatini ketma-ket o'zgartirib, «Y» chiqishdagi indikator holatini o'zgartirayotgan kirish raqamini aniqlang. Bu kirishning belgilanishini 3-jadvalga kiriting. Agar ulangan kirishni aniqlab bo'lmasa, jadvalga «X» simvolini yozib qo'ying.

4.3.4. Tadqiqotlarni multipleksorning ruxsat etuvchi «E» kirishiga mantiqiy «1» berilgan holat uchun takrorlang. Tadqiqot natijalarini hisobotga kiriting. «E» kirishning qanday holati aktiv bo'lishini aniqlang.

4.3.5. VA tashqi panelidagi «4-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosing. Ekranda 4-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.38-rasm).

4-topshiriq: Asinxron RS trigger ishini tadqiq etish



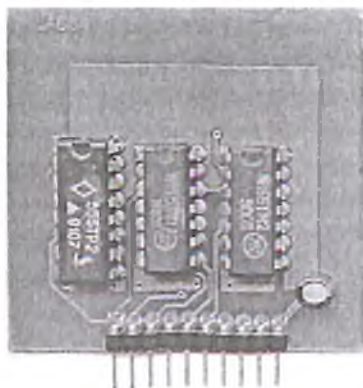
5-topshiriqqa o'tish

10.38-rasm. 4-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

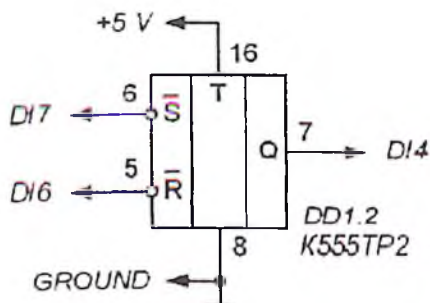
3-jadval

Kirish E	Kirish A_1	Kirish A_0	Chiqish $U = X_i$
0	0	0	
	0	1	
	1	0	
	1	1	
1	0	0	
	0	1	
	1	0	
	1	1	

Triggerlar ishini tadqiq etish uchun NI ELVIS laboratoriya stansiyasiga **Lab8A** laboratoriya modulini o'rnatish. Modulning tashqi ko'rinishi 10.39-rasmda keltirilgan.



10.39-rasm. Triggerlar ishini tadqiq etishda qo'llaniladigan Lab8A modulning tashqi ko'rinishi.



10.40-rasm. RS-trigger ishini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

4-topshiriq. Asinxron RS-trigger ishini tadqiq etish.

RS-trigger ishini tadqiq etishda 10.40-rasmda keltirilgan prinsipial elektr sxemadan foydalaniladi.

4.4.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv organlari yordamida triggerning **R** va **S** kirishlariga 4-jadvalda ko'rsatilgan mantiqiy holatlarni galma-gal o'rnatish.

Q_n – triggerning boshqaruv signallari berilguncha bo'lgan holati;

Q_{n+1} – triggerning boshqaruv signallari berilgandan keyingi holati;

X – kirishning ixtiyoriy holati.

4.4.2. Kirish signallaridan kelib chiqqan holda, «**Q**» indikator yordamida trigger chiqishidagi holatni aniqlang va holatlar jadvaliga kiriting (4-jadval).

4-jadval

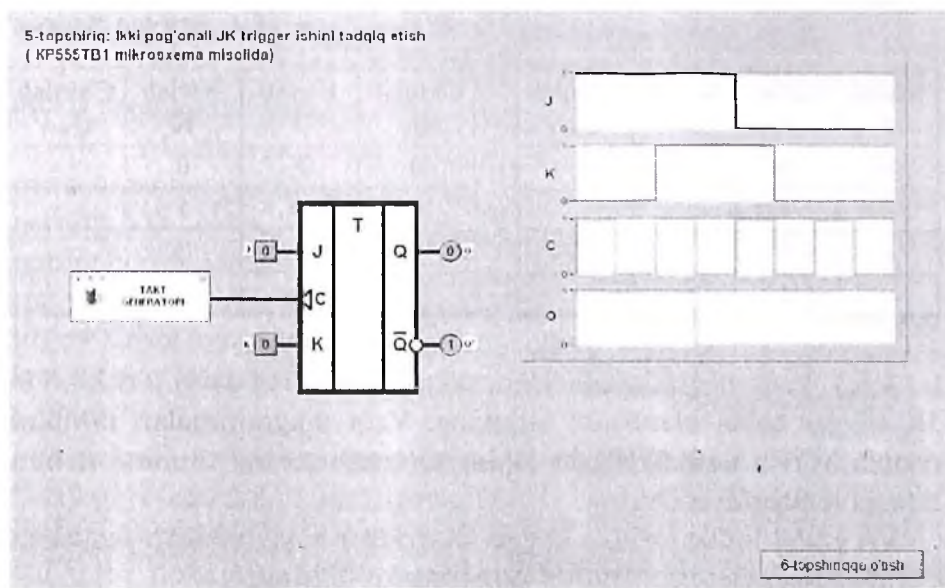
Kirish R	Kirish S	Chiqish Q_{n+1}
0	0	
	0	
	1	

4.4.3. RS-trigger kirishidagi holatlarni o'zgartirib borib, o'tishlar jadvalini to'ldiring (5-jadval). Trigger holati qanday o'tishlarda o'zgarishi hamda o'zgarmasligini belgilang.

5-jadval

Chiqish Q_n	Kirish R	Kirish S	Chiqish Q_{n+1}
0	X	0	
0	0	1	
1	1	0	
1	0	X	

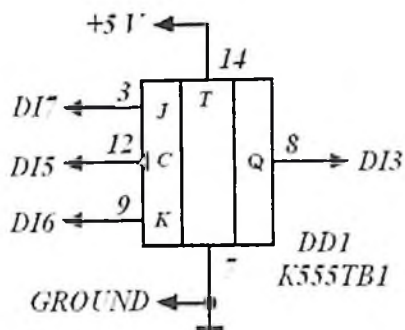
4.4.4. VA tashqi panelidagi «5-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosing. Ekranda 5-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.41-rasm).



10.41-rasm. 5-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

5-topshiriq. Ikki pog'onali JK-trigger ishini tadqiq etish.

JK-trigger ishini tadqiq etishda 10.42-rasmda keltirilgan prinsipial elektr sxemadan foydalaniladi.



10.42-rasm. JK-trigger ishini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

4.5.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv organlari yordamida JK-triggerning «S» sanoq kirishiga impuls berish uchun takt generatorini yoqing. VA grafik indikatorida trigger kirish va chiqishlaridagi signallarning vaqt diagrammalari paydo bo'ladi.

4.5.2. J va K-kirishlardagi mantiqiy holatlarni o'zgartirib, vaqt diagrammalari hamda «Q» chiqishdagi indikator holatini kuzatib borib, holatlar (6-jadval) va JK-trigger o'tishlar (7-jadval) jadvallari to'ldiring.

6-jadval

Kirish J	Kirish K	Kirish S	Chiqish Q_{n+1}
0	0		
	1		
	0		
	1		

7-jadval

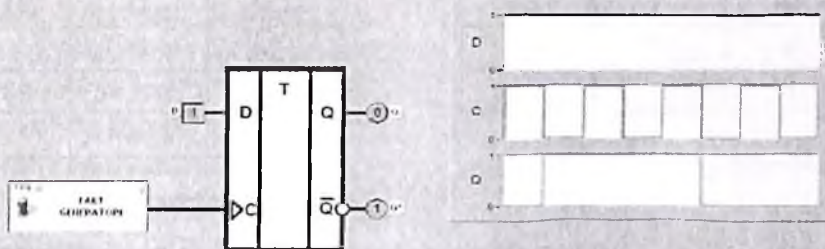
Chiqish Q_1	Kirish J	Kirish K	Chiqish Q_{n+1}
0	X	0	
0	0	1	
1	1	0	
1	0	X	

4.5.3. Vaqt diagrammalaridan, takt impulsining qaysi o'tishlarida JK-trigger qayta ulanishini aniqlang. Vaqt diagrammalari tahlilini osonlashtirish uchun trigger ishini to'xtatib turing, buning uchun takt generatorini o'chiring.

VA grafik indikatorida olingan JK-trigger qayta ulanish fazalarini aks ettiruvchi tasvirni hisobot varag'iga ko'chiring.

4.5.4. VA tashqi panelidagi «6-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosing. Ekranda 6-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.43-rasm).

6-topshiriq: Ikki pog'onali D-trigger ishini tadqiq etish
(KP555TM2 mikro sxema m/solda)



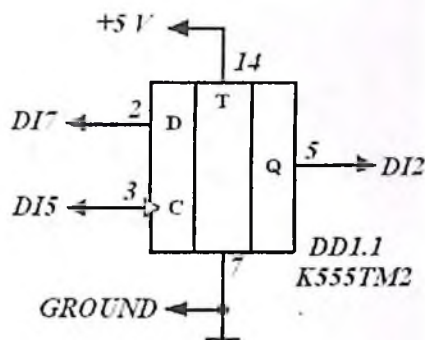
10.43-rasm. 6-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

6-topshiriq. Ikki pog'onali D-trigger ishini tadqiq etish.

D-trigger ishini tadqiq etishda 10.44-rasmda keltirilgan prinsipial elektr sxemadan foydalaniladi.

4.6.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv organlari yordamida JK-triggerning «D» sanoq kirishiga impuls berish uchun takt generatorini yoqing. VA grafik indikatorida trigger kirishi va chiqishidagi signal-larning vaqt diagrammalari paydo bo'ladi.

4.6.2. D-kirishdagi mantiqiy holatlarni o'zgartirib, vaqt diagrammalari hamda «Q» chiqishdagi indikator holatini kuzatib borib, holatlar (8-jadval) va D-trigger o'tishlar (9-jadval) jadvallarini to'ldiring.



10.44-rasm. D-trigger ishini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

7-topshiriq. T-sanoq triggeri ishini tadqiq etish.

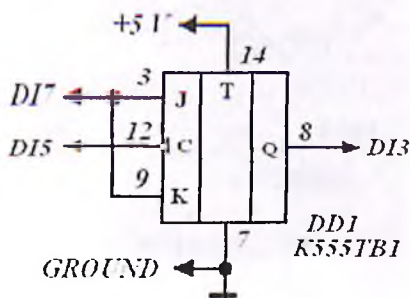
T-trigger ishini tadqiq etishda 10.46-rasmda keltirilgan prinsipial elektr sxemadan foydalaniladi.

4.7.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv organlari yordamida T-triggenerning «S» sanoq kirishiga impuls berish uchun takt generatorini yoqing. VA grafik indikatorida trigger kirishi va chiqishidagi signallarning vaqt diagrammalari paydo bo'ladi.

4.7.2. VA tashqi panelidagi boshqaruv organlari yordamida, «T» kirishining qaysi mantiqiy holatida trigger sanoq rejimida ishlashini aniqlang. Bu rejimda S kirishga takt impulsi berilganda chiqishdagi holat o'zgaradi.

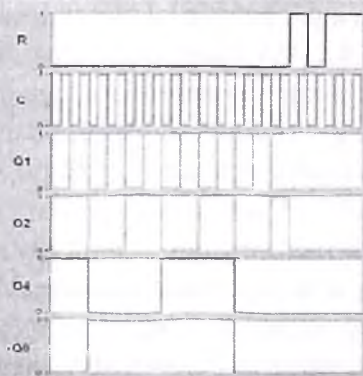
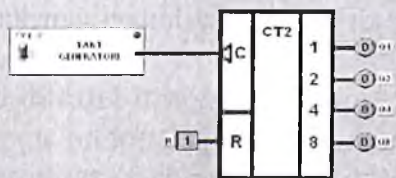
4.7.3. VA grafik indikatorida olingan T-triggenerning sanoq rejimidagi vaqt diagrammalarini hisobot varag'iga ko'chiring.

4.7.4. VA tashqi panelidagi «8-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosing. Ekranda 8-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.47-rasm).



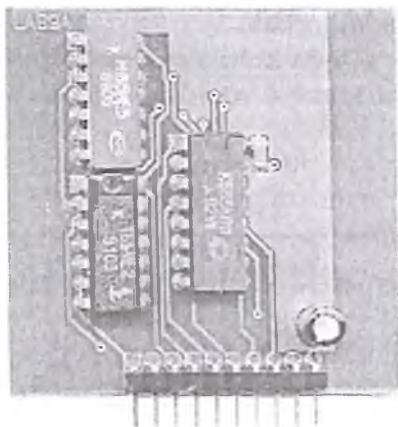
10.46-rasm. T-trigger ishini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

8-topshiriq: Asinxron ikkilik echyotchliligi ishini tadqiq etish
(КР6551Е5 микросхема микросхема микросхеме)

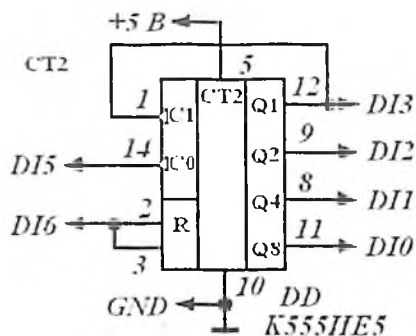


8-topshiriqqa o'tish

10.47-rasm. 8-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.



10.48-rasm. Hisoblagichlar ishini tadqiq etishda qo'llaniladigan **Lab9A** modulining tashqi ko'rinishi.



10.49-rasm. Asinxron ikkilik hishoblagich ishini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

Hisoblagichlar ishini tadqiq etish uchun NI ELVIS laboratoriya stansiyasiga **Lab9A** laboratoriya modulini o'rnatish. Modulning tashqi ko'rinishi 10.48-rasmda keltirilgan.

8-topshiriq. Asinxron ikkilik hishoblagich ishini tadqiq etish.

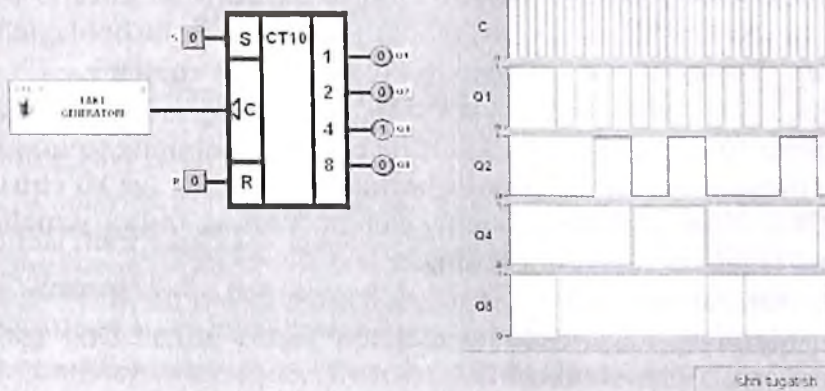
Asinxron ikkilik hishoblagich ishini tadqiq etishda 10.49-rasmda keltirilgan prinsipial elektr sxemadan foydalaniladi.

4.8.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv organlari yordamida hishoblagichning «S» sanoq kirishiga impulslar berish uchun takt generatorini yoqing. VA grafik indikatorida uning kirishi va chiqishidagi signallarning vaqt diagrammalari paydo bo'ladi.

4.8.2. Vaqt diagrammalari va chiqish indikatorini kuzatib borib, «R» kirishining qaysi mantiqiy holatida hishoblagich nol holatga asinxron o'tkazilishini aniqlang. VA grafik indikatorida kuzatilayotgan, ikkilik hishoblagichi ishining to'liq siklini aks ettirayotgan vaqt diagrammalarini hisobot varag'iga ko'chiring.

4.8.3. VA tashqi panelidagi «9-topshiriqqa o'tish» tugmasini bosish. Ekranda 9-topshiriqni bajarishga mo'ljallangan VA tashqi paneli paydo bo'ladi (10.50-rasm).

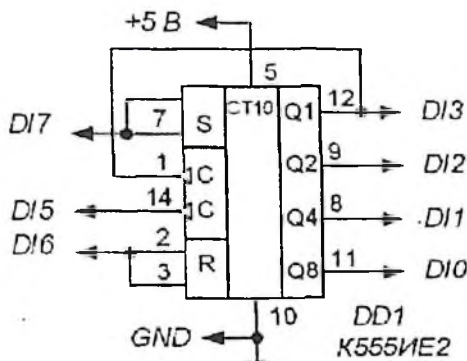
9-topshiriq: Qayta hisoblash Koeffitsiyenti 10 ga teng bo'lgan asinxron echiyotchik ichini tadqiq etish (KP5551E2 mikroshema misolida)



10.50-rasm. 9-topshiriqni bajarishdagi VA tashqi paneli.

9-topshiriq. Qayta hisoblash koeffitsiyenti 10 ga teng bo'lgan asinxron hisoblagich ishini tadqiq etish.

Qayta hisoblash koeffitsiyenti 10 ga teng bo'lgan asinxron hisoblagich ishini tadqiq etishda 10.51-rasmda keltirilgan elektr sxemadan foydalaniladi.



10.51-rasm. Qayta hisoblash koeffitsiyenti 10 ga teng bo'lgan asinxron hisoblagich ishini tadqiq etishda qo'llaniladigan prinsipial elektr sxema.

4.9.1. VA tashqi panelidagi boshqaruv organlari yordamida hisoblagichning «S» sanoq kirishiga impuls berish uchun takt generatorini yoqing. VA grafik indikatorida uning kirish va chiqishidagi signallarning vaqt diagrammalari paydo bo'ladi.

4.9.2. Vaqt diagrammalari va chiqish indikatorini kuzatib borib, «R» va «S» kirishlarning qaysi mantiqiy holatlarida hisoblagich nol holatga hamda 10 holatga asinxron o'tkazilishini aniqlang.

4.9.3. VA grafik indikatorida kuzatilayotgan, qayta hisoblash koeffitsiyenti 10 ga teng bo'lgan ikkilik hisoblagich ishining to'liq siklini aks ettirayotgan vaqt diagrammalarini hisobot varag'iga ko'chiring.

4.9.4. VAni o'chiring, buning uchun VAning tashqi panelidagi «Ishni tugatish» tugmasini bosing.

5. Nazorat savollari.

1. Mantiqiy o'zgaruvchi va mantiqiy signal nima? Ular qanday qiymatlarni olishi mumkin?

2. Mantiqiy funksiya nima?

3. Haqiqiylik jadvali nima? Misollar keltiring.

4. Qanday mantiqiy elementlar negiz to'plamni tashkil etadi?

5. Deshifratör qanday mantiqiy amallarni bajaradi?

6. Deshifratördagi boshqaruv kirishlarining vazifasi nimadan iborat? Boshqaruv signallar deshifratör chiqish funksiyalariga qanday ta'sir ko'rsatadi?

7. Mantiqiy signallar uchun multipleksör qanday elektr qurilma vazifasini bajaradi?

8. Boshqaruv kirishlariga ega bo'lgan 2×1 multipleksör ishi qanday mantiqiy tenglama bilan ifodalanadi?

9. RS-, JK-, D- va T-triggerlar ishlash prinsipini ifodalab bering.

10. Qanday qilib JK- va D-triggerlari yordamida sanoq triggerlari tuzish mumkin?

11. Nima sababdan T-trigger sanoq triggeri deyiladi?

12. Qanday triggerlar asosida va qanday qilib ikkilik hisoblagich yasash mumkin? Buning uchun nima qilish kerak?

13. Yig'indi hisoblagich ayiruv hisoblagichga qanday aylantiriladi?

14. Hisoblagichning qayta hisoblash koeffitsiyenti nima?

15. Hisoblagichning qayta hisoblash koeffitsiyentini qanday usullar bilan o'zgartirish mumkin?

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. *Aripov X.K., Abdullayev A.M., Alimova N.B., Bustanov X.X., Obyedkov Y.V., Toshmatov Sh.T.* Elektronika. — T.: «Fan va texnologiya», 2011.
2. *Бабич Н.П., Жуков И.А.* Компьютерная схемотехника. Методы построения и проектирования. — К.: «МК-Пресс», 2004.
3. *Арипов Х.К., Алимова Н.Б., Агабекова З.Е., Махсудов Ж.Т.* Аналоговая и интегральная схемотехника. — Т.: ТЭИС, 2000.
4. *Степаненко И.П.* Основы микроэлектроники. — М.: «Лаборатория Базовых Знаний», 2001.
5. *Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И.* Аналоговая и цифровая электроника. — М.: «Горячая линия — Телеком», 2003.
6. *Игнатов А.Н., Калинин С.В., Савиных В.Л.* Основы электроники. — Н.: СибГУТИ, 2005.
7. *Игнатов А.Н., Калинин С.В., Фадеева Н.Е.* Микросхемотехника и нанoeлектроника. — Н.: СибГУТИ, 2007.
8. *Карлащук В.И.* Электронная лаборатория на IBM PC. Том 1. Моделирование элементов аналоговых систем. — М.: «Солон-Пресс», 2006.
9. *Карлащук В.И.* Электронная лаборатория на IBM PC. Том 2. Моделирование элементов телекоммуникационных и цифровых систем. — М.: «Солон-Пресс», 2006.
10. *Elektron texnika va radioelektronikaga oid atamalarning o'zbekcha-ruscha izohli lug'ati. Prof. M. Muhitdinov umumiy tahriri ostida.* — T.: «Bilim», 2007.

MUNDARIJA

Kirish	3
--------------	---

I BOB. ANALOG SXEMOTEXNIKA

1.1. Sxemotexnikaning asos elementlari	5
1.2. Sxemotexnika qurilmalarning tasniflanishi	25
1.3. Analog qurilmalar sxemotexnikasi	30
1.4. Analog kuchaytirgich qurilmalarining asosiy xususiyatlari	31
1.5. Kuchaytirgich kaskadlarning kuchaytirish sinflari	38
1.6. Kuchaytirgichlarda teskari aloqa	41
1.7. Bipolar tranzistorlar asosidagi kuchaytirgich kaskadlari	48
1.8. Maydoniy tranzistorlar asosidagi kuchaytirgich kaskadlari	63

II BOB. OPERATSION KUCHAYTIRGICHLAR

2.1. Umumiy ma'lumotlar	67
2.2. Analog integral mikrosxemalarning negiz elementlari	69
2.2.1. Barqaror tok generatori	69
2.2.2. O'zgarmas kuchlanish sathini siljituvchi sxema	73
2.2.3. Differensial kuchaytirgichlar	75
2.2.4. Kuchaytirgichlarning chiqish kaskadlari	85
2.4. Operatsion kuchaytirgichning asosiy parametrlari va xarakteristikallari	93
2.5. Operatsion kuchaytirgichlar asosidagi analog signallar o'zgartgichlari	100
2.6. Operatsion kuchaytirgichlarga inersiyasiz rezistiv (chiziqli) teskari aloqa zanjirlarining ulanishi	102

2.7. Operatsion kuchaytirgichlarga inersiyali teskari aloqa zanjirlarining ulanishi	110
2.8. Operatsion kuchaytirgichlarga inersiyasiz nohiziqli zanjirlarning ulanishi	118

III BOB. RAQAMLI TEXNIKA ASOSLARI

3.1. Umumiy ma'lumotlar	127
3.2. Sanoq tizimlari	132
3.3. Mantiqiy konstantalar va o'zgaruvchilar.	137
Bul algebrasi operatsiyalari	137
3.4. Mantiqiy elementlar va ularning parametrlari	142
3.5. Bipolar tranzistorli elektron kalit sxemalar	150
3.6. Maydoniy tranzistorli elektron kalit sxemalar	156

IV BOB. MANTIQIY INTEGRAL SXEMALARNING NEGIZ ELEMENTLARI

4.1. Umumiy ma'lumotlar	161
4.2. Tranzistor-tranzistorli mantiq elementlari	161
4.3. Emitterlari bog'langan mantiq elementlari	171
4.4. Bir turdagi MDYA-tranzistorlar asosidagi mantiq elementlari	181
4.5. Komplementar MDYA-tranzistorlar asosidagi mantiq elementlari	184
4.6. Integral-injeksion mantiq elementlari	187

V BOB. KOMBINATSION TURDAGI RAQAMLI SXEMALAR

5.1. Kombinatsion sxemalarni sintez qilish uslubi	196
5.2. Shifratolar va deshifratolar	212
5.3. Multipleksorlar va demultipleksorlar	225
5.4. Jamlagich va yarimjamlagichlar	231
5.5. Arifmetik-mantiqiy qurilmalar	242
5.6. Dasturlanuvchi mantiqiy matritsalar	251

VI BOB. KETMA-KETLI RAQAMLI SXEMALAR

6.1. Umumiy ma'lumotlar	256
6.2. Bistabil yacheykalar	258

6.3. Triggerlar	260
6.3.1. Bir pog'onali triggerlar	260
6.3.2. Ikki pog'onali triggerlar	268
6.4. Registrlar	273
6.4.1. Kirish	273
6.4.2. Parallel registr	275
6.4.3. Ketma-ketli registr	275
6.5. Hisoblagichlar	278
6.6. Negiz matritsali kristallar	285
6.7. Raqamli-analog va analog-raqamli o'zgartirgichlar	289

VII BOB. YARIMO'TKAZGICHLI XOTIRA MIKROSXEMALARI

7.1. Sinflanishi va asosiy parametrlari	296
7.2. Statik OXQlari	302
7.3. Dinamik OXQlar	308
7.4. DXQ mikrosxemalari	311

VIII BOB. MIKROPROTSESSORLAR

8.1. Mikroprotsessorlarning tuzilmalari	315
8.1.1. Integral sxemalar mikroprotsessor majmualarining sinflanishi	315
8.1.2. Mikroprotsessor tuzilmasi	317
8.2. Mikroprotsessor registrari	323
8.3. Mikroprotsessorli tizimlar, ularning arxitekturasi,	328
asosiy tugunlari va bloklari	328
8.4. Interfeys qurilmalar	334

IX BOB. SXEMOTEXNIKANING ISTIQBOLLI YO'NALISHLARI

9.1. Yuzaga montaj qilish texnologiyasi uchun elementlar	344
9.2. Past temperaturali keramika texnologiyasi	346
9.3. Nanoelektronika asboblari	349
9.4. Funksional elektronika	371

X BOB. LabVIEW: LABORATORIYA AMALIYOTI

Umumiy ma'lumotlar	387
<i>1-laboratoriya ishi.</i>	
Bipolyar tranzistor (BT) xarakteristikalarini tadqiq etish	391
<i>2-laboratoriya ishi.</i>	
Maydoniy tranzistor (MT) xarakteristikalarini tadqiq etish	399
<i>3-laboratoriya ishi.</i>	
Operatsion kuchaytirgich (OK) asosidagi sxemalarni tadqiq etish	407
<i>4-laboratoriya ishi.</i>	
Analog kuchlanish komparatori xarakteristikalarini tadqiq etish	420
<i>5-laboratoriya ishi.</i>	
Raqamli sxemalarni tadqiq etish	428
Foydalanilgan adabiyotlar	443

XAYRULLA KABILOVICH ARIPOV,
AXMED MALLAYEVICH ABDULLAYEV,
NODIRA BATIRDJANOVNA ALIMOVA,
XABIBULLA XAMIDOVICH BUSTANOV,
SHUNQORJON TOSHPULATOVICH TOSHMATOV

SXEMOTEXNIKA

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan darslik sifatida tavsiya etilgan*

«TAFAKKUR BO'STONI»
TOSHKENT — 2013

Muharrir	<i>Sh. Rahimqoriyev</i>
Musahhih	<i>S. Abduvaliyev</i>
Sahifalovchi	<i>U. Vohidov</i>
Dizayner	<i>D. O'rinova</i>

Litsenziya AI № 190, 10.05.2011-y.

Bosishga 2013-yil 24-noyabrda ruxsat etildi. Bichimi 60×84^{1/16}.

Ofset qog'ozi. «Times» garniturası. Shartli bosma tabog'i 28,0.

Nashr tabog'i 28,7. Shartnoma № 64-2013. Adadi 500. Buyurtma № 64-1.

«Tafakkur Bo'stoni» nashriyoti. Toshkent sh., Yunusobod, 9-mavze, 13-uy.

Telefon: (+99894) 941-60-06. E-mail: tafakkur0880@mail.ru

«Tafakkur Bo'stoni» nashriyoti bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent sh., Chilonzor ko'chasi, 1-uy.