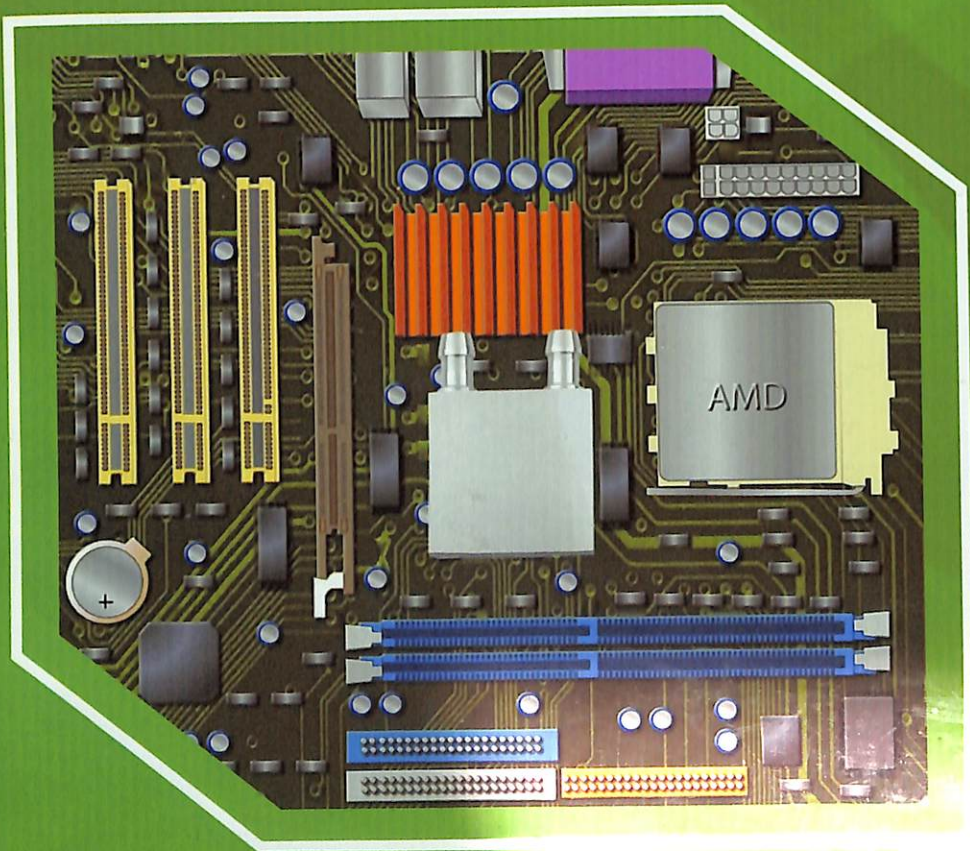


X.X. Shoyusupova

ELEKTRONIKA VA SXEMALAR 2





O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI RAQAMLI
TEKNOLOGIYALAR VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT
AXBOROT TEKNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

X.X. SHOYUSUPOVA

ELEKTRONIKA VA SXEMALAR 2

Muhammad Al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universiteti tomonidan o'quv qo'llanma sifatida
tavsiya etilgan

Sirtqi va ikkinchi oliy ta'lim shakli uchun

TOSHIKENT
"METHODIST NASHRIYATI"
2024

UDK: 621.385.1(075.8)

BBK: 32.85я7

Sh 82

X.X. Shoyusupova

**Eelektronika va sxemalar 2. O'quv qo'llanma – Toshkent:
“METODIST NASHRIYOTI”, 2024. – 184 b.**

O'quv qo'llanmada yarimo'tkazgichli elektronika qurilmalarining negiz elementlari ko'rib chiqilgan.

O'quv qo'llanmada yarimo'tkazgichli diskret hamda analog va raqamli elektronika qurilmalarining negiz elementlari ko'rib chiqilgan. Diod, tranzistor va ko'p qatlamli yarimo'tkazgich asboblari tasnifi, volt-amper va boshqa xarakteristikalar, asosiy parametrlari, ulanish sxemalari, ishchi rejimlari, matematik modellari, qo'llanilish sohalari va ular asosidagi qurilmalarni tahlil va sintez asoslari keltirilgan. Integral mikro-sxemalar, operatsion kuchaytirgich va uning asosidagi analog qurilmalar, raqamli texnika asoslari, raqamli texnika negiz elementlari, funksional va nanoelektronika asoslari bayon etilgan.

O'quv qo'llanma sirtqi ta'lim yo'nalishida kompyuter injineri, axborot xavfsizligi, telekommunikatsiya texnologiyalari, radio va mobil aloqa, ta'lim yo'nalishlari talabalar uchun mo'ljallangan bo'lib, undan ishlab chiqarish sohalari mutaxassislari, muhandislar, magistrantlar va ilmiy-texnik xodimlar ham foydalanishlari mumkin.

Taqrizchilar:

M.H.Aripova – I.Karimov nomidagi TDTU “Elektronika va avtomatika” fakulteti “Radiotexnik qurilmalar va tizimlar” kafedrasida dotsenti;

H.H. Madaminov – Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU “Mobil aloqa tizimlar” kafedrasida mudiri dotsent.

Muhammad Al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Kengashining 2022–yil 22–dekabrdagi 5(727)–sonli qaroriga asosan nashr etishga ruxsat berilgan.

ISBN 978-9910-03-190-8

© X.X. Shoyusupova, 2024.

© “METODIST NASHRIYOTI”, 2024.

SO'Z BOSHI

Shu vaqtgacha “Elektronika va sxemalar 2” fani umumiy fan sifatida o'rganilar edi va telekommunikatsiya tarmoqlarida ishlovchi muhandis-texnik xodimlar uchun asosiy e'tibor murakkab elektr zanjirlari orqali o'tadigan tok va kuchlanishning asosiy parametrlarini bilish va tahlil qilishga qaratilgan.

Elektr zanjirlar nazariyasi elektrotexnika, radioaloqa, elektr signallari nazariyasi va boshqalar kabi fanning bir qancha sohalarini o'z ichiga oladi. Umuman olganda, telekommunikatsiya tarmoqlari va aloqa nazariyasining rivojlanishiga katta hissa qo'shgan olimlar quyidagilardir:

1833 yilda Faraday elektroliz qonunlarini kashf etdi: Faraday qonunlari. Olim birinchi transformatorning muallifi bo'ldi.

1832 yilda rus olimi va ixtirochi P. I. Shillin elektromagnit telegraf yaratdi;

1833 yilda rus fizigi E. X. Induksion oqimning asoslanish qonuni;

1895 yilda S. Popov simsiz asbob yaratdi.

Talabalar texnik qurilmalarni tashkil etuvchi har qanday elektr zanjirlarini tahlil qilish uchun elektr zanjirlarini va yuqorida keltirilgan olimlarning elektr jarayonlariga oid fizikasi, asosiy ilmiy nazariyalarini chuqur o'rganishlari kerak.

I BOB ELEKTRONIKA VA SXEMALAR 2 FANIGA KIRISH. FANNING MAZMUNI VA USULLARI

1.1. "Elektronika va sxemalar 2" fanining o'рни

Elektronika - bu elektronlarning elektr maydoni bilan o'zaro ta'sirini va ma'lumotlarni uzatish, qayta ishlash va saqlash uchun ishlatiladigan elektron asboblari va qurilmalarni qanday yaratishni o'rganadigan fan.

Elektronika, birinchi navbatda, insoniyat jamiyatining axborot ehtiyojlarini qondirish uchun mo'ljallangan. Ishlab chiqarishning kuchi va ishlab chiqarish munosabatlarining rivojlanishi texnika va texnologiyalarning yangi turlarini yaratishga asoslanadi va ommaviy axborot vositalarining rivojlanishi bilan chambarchas bog'liqdir. Axborot almashish qurilmalarining rivojlanish tarixi bir necha bosqichlardan iborat: harakat va mimika, tovush, yozuv, kitob chop etish, elektronika. Ma'lumotlarni uzatishning yangi usuliga o'tish har doim jamiyatda ishlab chiqaruvchi kuchlarning keskin o'sishiga olib keldi. Elektronika uzoq masofalarga uzatiladigan ma'lumotlarning tezligi va hajmini sezilarli darajada oshirdi. Shu sababli, ushbu fan hozirgi vaqtda texnik qurilmalarda elektr toki jarayonini o'rganmoqda. Hozirgi kunga qadar elektronika rivojlanishning to'rt bosqichidan o'tdi.

Birinchi bosqich 1895 yilda A.S. Popov simsiz telegraf - radio ixtirosi bilan boshlandi. Bu davrda aloqa qurilmalari passiv elementlardan iborat edi: simlar, induktiv g'altak, magnitlar, rezistorlar, kondensatorlar, elektromexanik qurilmalar (kalitlar, rele va boshqalar).

Ikkinchi bosqich 1906 yilda birinchi aktiv elektron asbob - L.de Forest diodli elektron lampa yaratish bilan boshlandi. Triod (uch elektronli elektron lampa) elektr signallarini o'zgartirishning ko'plab usullariga, asosan quvvat kuchaytirish xosligiga ega bo'lgan birinchi faol elektron asbob edi. Vakuum naychalari bilan zaif signallarni kuchaytirish orqali telefon suhbatlarini uzoq masofalarga uzatish mumkin bo'ldi. Vakuum naychalari ovozni radio, musiqa va keyinchalik tasvirni televizor orqali uzatish imkonini berdi. Ikkinchi bosqich elektronika elementlari- vakuum elektron-nurli trubkalari, rezistorlar, kondensatorlar, transformatorlarini o'z ichiga oldi va endi

elektr qurilmalar yordamida bajariladigan amallar murakkablashib bordi.

Uchinchi bosqich 1948 yil Bardin V. Bratten va V. Bularlar tomonidan yarim o'tkazgichli elektronikaning asosiy faol kuchaytiruvchi elementi bo'lgan bipolyar tranzistorni kashf qilishidan boshlandi. 1956 yilda tranzistor ixtirochilari fizika sohasida Nobel mukofotiga sazovor bo'lishdi.

To'rtinchi bosqich integral mikrosxemalar (IMS) asosida qurilmalar va tizimlarni yaratishdan boshlandi va mikroelektron sxemalar deb ataladi. Mikroelektronikaning birinchi mahsulotlari - integral mikrosxemalar 60-yillarning oxirida paydo bo'ldi. Hozirgi vaqtda IMS uchta konstruktiv va texnologik usulda yaratilmoqda: qalin va yupqa pardali gibrid integral mikrosxemalar (GIS) va yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalar. Integral mikrosxemalar elektron qurilmalarda ularning kichik o'lchamlari, quvvat manbai, kichik massasi va ixcham hajmini saqlab qolgan holda, o'zaro bog'lanishni ta'minlaydi. Ko'p sonli chiqishlar va korpusning yo'qligi elektron jihozlarning hajmini va og'irligini kamaytiradi.

1.2. Integral mikrosxemalar haqida umumiy ma'lumotlar va ularning yaratilish tarixi

Integral mikrosxemalar elektr asboblarning sifat darajasidagi yangi turi bo'lib elektron qurilmalarning asosiy negiz elementi hisoblanadilar. *Integral mikrosxema (IMS)* elektr jihatdan o'zaro bog'langan elektr radiomateriallar (tranzistorlar, diodlar, rezistorlar, kondensatorlar va boshqalar) majmui bo'lib, yagona texnologik siklda bajariladi, ya'ni bir vatqning o'zida yagona konstruksiya (asos)da ma'lum axborotni qayta ishlash funksiyasini bajaradi.

IMS'larning asosiy xossasi shundaki, u murakkab funksiyalarni bajarish bilan birga kuchaytirgich, trigger, hisoblagich, xotira qurilmasi va boshqa funksiyalarni ham bajaradi. Ushbu funksiyalarni bajarish uchun diskret elementlarda o'zgarishlar qilinardi.

Ko'pgina standart elektr o'tkazgich kristaliga birlashtirilgan Britaniyalik radio muhandisi Jeff Bir yil o'tgach, Xarvik Jonson im

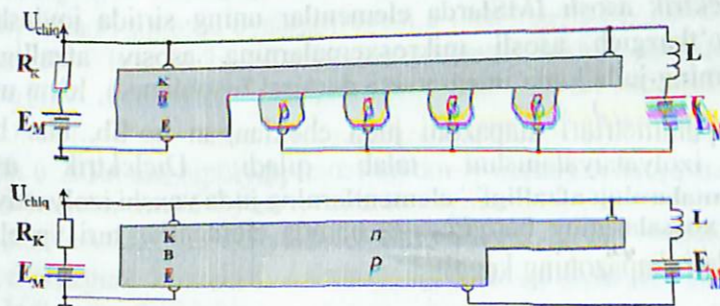
Uchun birinchi patent arizasini topshirdi. O'sha yillarda ushbu takliflarni amalga oshirish texnologiyalarning yetarli darajada rivojlanmaganligi sababli amalga oshirilmadi. 1958 yil oxiri va 1959 yilning birinchi yarmida yarimo'tkazgich sanoatida yutuq yuz berdi. Amerikaning uchta xususiy korporatsiyasi vakili bo'lgan uch kishi integral mikrosxemalarni yaratishga to'sqinlik qiladigan uchta asosiy muammoni hal qildi. Texas Instruments kompaniyasidan Jek Kilbi integratsiya tamoyilini patentladi, birinchi nomukammal IS prototiplarini yaratdi va ularni ommaviy ishlab chiqarishga olib keldi. Sprague Electric kompaniyasidan Kurt Lehovec bitta yarimo'tkazgich chipida hosil bo'lgan komponentlarni elektr izolyatsiyalash usulini ixtiro qildi. Fairchild Semiconductor kompaniyasidan Robert Noys IS komponentlarini (alyuminiy qoplama) elektr bilan ulash usulini ixtiro qildi va Jan Erning eng yangi planar texnologiyasiga asoslangan komponent izolyatsiyasining takomillashtirilgan versiyasini taklif qildi. 1960-yil 27-sentyabrda Jey Last guruhi Noys va Erni g'oyalari asosida «Fairchild Semiconductor» da birinchi ishlaydigan yarimo'tkazgich IS ni yaratdi. Kilbi ixtirosi uchun patentga ega bo'lgan Texas Instruments kompaniyasi raqobatchilarga qarshi patent urushini boshladi, u 1966 yilda texnologiyalarni o'zaro litsenziyalash bo'yicha kelishuv bitimi bilan yakunlandi.

1952- yil 7 mayda radio muhandisi Jeffri Dummer Washingtonda ommaviy nutq so'zlab, u integratsiya g'oyasini shakllantirdi.

Tranzistorning paydo bo'lishi va umuman yarimo'tkazgichlarning rivojlanishi bilan elektron qurilmalarni montaj ulanishlarsiz massivda yarimo'tkazgich yaratish mumkinligi o'z isbotini topdi. Yarimo'tkazgich bloki o'tkazuvchan, izolyatsion, to'g'irlovchi, kuchaytiruvchi qatlamlardan iborat bo'ladi. Alohida funksional komponentlar bu qatlamlarning tegishli qatlamlardagi kesmalar orqali o'zaro bog'langan.

1952- yil oktyabr oyida Bernard Oliver umumiy yarimo'tkazgich chipida tarkibiy tranzistorni (ikkita va undan ortiq ulangan tranzistorlarining tuzilishi) ishlab chiqarish usuli uchun patentga ariza topshirgan. 1953 yil may oyida Xarvik Jonson o'tkazgich kristalida turli xil elektron komponentlarni - tranzistorlar, qarshiliklar, to'plangan va taqsimlangan sig'implarni shakllantirish usuli uchun patentga ariza topshirdi. Jonson o'rnatilgan yagona tranzistorli generatorni ishlab chiqarishning uchta mumkin bo'lgan usulini tasvirlab berdi.

Barcha holatlarda sxema tor plyonkali yarimo'tkazgichli bo'lib, uning bir uchida qotishma bipolyar tranzistor hosil qilingan. Plyonka elektr bog'langan qarshilik zanjiri vazifasini bajaradi.



1.1- rasm. Jonson integral generatori

1.3. Integral mikrosxemalarining texnologiyalari

IMSlar uchun ikki asosiy belgi mavjud: *konstruktiv* va *texnologik*. Konstruktiv belgisi shundaki, IMSning barcha elementlari asosiy asos ichida yoki sirtida joylashadi, elektr jihatdan birlashtirilgan va yagona qobiqqa joylashtirilgan bo'lib, yagona konstruktsiya hisoblanadi. IMS elementlarining hammasi yoki bir qismi va elementlararo bog'lanishlar yagona texnologik siklda bajariladi. Shu sababli integral mirosxemalar yuqori ishonchlilikka va kichik tannarxga ega. Hozirgi kunda yasaliş turi va hosil bo'ladigan tuzilmaga ko'ra IMSlarning uchta prinsipial turi mavjud: *yarim o'tkazgichli*, *pardali* va *gibrid*. Har bir IMS turi konstruksiyasi, mikrosxema tarkibiga kiradigan element va komponentlar sonini ifodalovchi integratsiya darajasi bilan xarakterlanadi.

Element deb biror elektroradioelement (tranzistor, diod, rezistor, kondensator va boshqalar) funksiyasini amalga oshiruvchi IMS qismiga aytiladi va u kristall yoki asosdan ajralmagan konstruksiyada yasaladi.

IMS komponentasi deb uning diskret element funksiyasini bajaradigan, lekin avvaliga mustaqil qismiga aytiladi.

IMS ning asosiy konstruktsiya turi hisoblanadi. Bu belgiga ko'ra *o'tkazgichli* va *dielektrik*.

Asos sifatida yarim o'tkazgichli materiallar orasida kremniy, germaniy va galliy arsenidi keng qo'llaniladi. IMSning barcha elementlari yoki elementlarning bir qismi yarim o'tkazgichli monokristall plastina ko'rinishida asos ichida joylashadi.

Dielektrik asosli IMSlarda elementlar uning sirtida joylashadi. Yarim o'tkazgich asosli mikroshemalarning asosiy afzalligi – elementlarning juda katta integratsiya darajasi hisoblanadi, lekin uning nominal parametrlari diapazoni juda cheklangan bo'lib, ular bir-biridan izolyatsiyalanishni talab qiladi. Dielektrik asosli mikroshemalarning afzalligi – elementlarning juda yaxshi izolyatsiyasi, ularning xossalari barqarorligi, hamda elementlar turi va elektr parametrlari diapazoning kengligi.

1.4. Pardali va gibril mikroshemalar

Pardali IMS – bu dielektrik asos sirtida elementlari parda ko'rinishida bajarilgan mikroshema. Pardalar past bosimda turli materiallardan yupqa paradalar ko'rinishida cho'kmalar hosil qilish yo'li bilan olinadi.

Parda hosil qilish usuli va unga bog'liq bo'lgan qalinligiga ko'ra **yupqa pardali IMS** (parda qalinligi 1-2 mkm gacha) va **qalin pardali IMS** (parda qalinligi 10 – 20 mkm gacha va katta) larga bo'linadi.

Hozirgi kunda barqaror pardali diodlar va tranzistorlar mavjud emas, shu sababli pardali IMSlar faqat passiv elementlar (rezistorlar, kondensatorlar va x.z.) dan tashkil topadi.

Gibril IMS (yoki GIS) – bu pardali passiv elementlar bilan diskret aktiv elementlar kombinatsiyasidan tashkil topgan, yagona dielektrik asosda joylashgan mikroshema. Diskret komponentlarni osma elementlar deb atashadi. Qobiqsiz yoki mikrominiatyur metall qobiqli mikroshemalar gibril IMSlar uchun aktiv elementlar bo'lib hisoblanadilar. Gibril integral mikroshemalarning asosiy afzalligi: nisbatan qisqa ishlab chiqish vaqtida analog va raqamli mikroshemalarning keng turlarini yaratish imkoniyati; keng nomenklaturaga ega bo'lgan passiv elementlar hosil qilish imkoniyati; MDYa (металл диэлектрик ярим ўтказгичлар) – asboblal, diodli va tranzistorli matrisalar va yaroqli mikroshemalar ishlab chiqilish darajasini yuqoriligi.

1.5. Yarim o'tkazgichli integral mikroshemalar

Tranzistorning ishlatilish turiga ko'ra yarim o'tkazgichli IMSlarni **bipolyar** va **MDYa IMS** larga ajratish qabul qilingan. Bundan tashqari, oxirgi vaqtlarda boshqariluvchi o'tishli maydoniy tranzistorlar yasalgan IMS lardan foydalanish katta ahamiyat kasb etmoqda. Bu sinfga galliy arsenidida yasalgan IMS lar, zatvori Shottki diodi ko'rinishida bajarilgan maydoniy tranzistorlar kiradi. Hozirgi kunda bir vaqtning o'zida ham bipolyar, ham maydoniy tranzistorlar qo'llanilgan IMS lar yaratish tendensiyasi rivojlanib bormoqda.

Ikkala sinfga mansub yarim o'tkazgichli IMS lar texnologiyasi yarim o'tkazgich kristallini galma-gal donor va akseptor kiritmalar bilan legirlash (kiritish)ga asoslangan. Natijada sirt ostida turli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yupqa qatlamlar, ya'ni $n-p-n$ yoki $p-n-p$ tuzilmali tranzistorlar hosil bo'ladi. Bir tranzistorning o'lchamlari enigi bir necha mikrometrlarni tashkil etadi. Alohida elementlarning izolyatsiyasi $p-n$ o'tish yordamida, yoki dielektrik parda yordamida amalga oshirilishi mumkin. Tranzistorli tuzilma faqat tranzistorlarni emas, balki boshqa elementlar (diodlar, rezistorlar, kondensatorlar) yasashda ham qo'llaniladi.

Mikroelektronikada bipolyar tranzistorlardan tashqari ko'p emitterli va ko'p kollektorli tranzistorlar ham qo'llaniladi.

Ko'p emitterli tranzistorlar (KET) umumiy baza qatlami bilan birlashtirilgan bir kollektor va bir necha (8-10 gacha va undan ko'p) emitterdan tashkil topgan. Ular tranzistor – tranzistorli mantiq (TTM) sxemalarni yaratishda qo'llaniladi.

Ko'p kollektorli tranzistor tuzilmasi ham, KET tuzilmasiga o'xshash bo'ladi, lekin integral – injeksion mantiq (I²M) deb ataluvchi injeksion manbali mantiqiy sxemalar yasashda qo'llaniladi.

Diodlar. Diodlar bitta $p-n$ o'tishga ega bo'lgan IMSlarda asosiy tuzilma diodli tranzistorning diodli tuzilmasi bo'lib, diodli tranzistorning diodli tuzilmasi ulanishlarning beshta varianti mavjud. $p-n$ o'tishli diodli tuzilma – baza o'tishdagi $p-n$ o'tishli diodli tuzilma o'tishdagi $p-n$ o'tish uzilgan diodli tuzilma.

Rezistorlar. Bipolyar tranzistor tuzilmasi uchun bipolyar tranzistor tuzilmasi yoki baza qo'llaniladi. Emitter

Asos sifatida yarim o'tkazgichli materiallar orasida kremniy, germaniy va galliy arsenidi keng qo'llaniladi. IMSning barcha elementlari yoki elementlarning bir qismi yarim o'tkazgichli monokristall plastina ko'rinishida asos ichida joylashadi.

Dielektrik asosli IMSlarda elementlar uning sirtida joylashadi. Yarim o'tkazgich asosli mikrosxemalarning asosiy afzalligi – elementlarning juda katta integratsiya darajasi hisoblanadi, lekin uning nominal parametrlari diapazoni juda cheklangan bo'lib, ular bir-biridan izolyatsiyalanishni talab qiladi. Dielektrik asosli mikrosxemalarning afzalligi – elementlarning juda yaxshi izolyatsiyasi, ularning xossalari barqarorligi, hamda elementlar turi va elektr parametrlari diapazoning kengligi.

1.4. Pardali va gibril mikrosxemalar

Pardali IMS – bu dielektrik asos sirtida elementlari parda ko'rinishida bajarilgan mikrosxema. Pardalar past bosimda turli materiallardan yupqa paradalar ko'rinishida cho'kmalar hosil qilish yo'li bilan olinadi.

Parda hosil qilish usuli va unga bog'liq bo'lgan qalinligiga ko'ra **yupqa pardali IMS** (parda qalinligi 1-2 mkm gacha) va **qalin pardali IMS** (parda qalinligi 10 – 20 mkm gacha va katta) larga bo'linadi.

Hozirgi kunda barqaror pardali diodlar va tranzistorlar mavjud emas, shu sababli pardali IMSlar faqat passiv elementlar (rezistorlar, kondensatorlar va x.z.) dan tashkil topadi.

Gibril IMS (yoki GIS) – bu pardali passiv elementlar bilan diskret aktiv elementlar kombinatsiyasidan tashkil topgan, yagona dielektrik asosda joylashgan mikrosxema. Diskret komponentlarni osma elementlar deb atashadi. Qobiqsiz yoki mikrominiatyur metall qobiqli mikrosxemalar gibril IMSlar uchun aktiv elementlar bo'lib hisoblanadilar. Gibril integral mikrosxemalarning asosiy afzalligi: nisbatan qisqa ishlab chiqish vaqtida analog va raqamli mikrosxemalarning keng turlarini yaratish imkoniyati; keng nomenklaturaga ega bo'lgan passiv elementlar hosil qilish imkoniyati; MDYa (металл диэлектрик ярим ўтказгичлар) – asboblar, diodli va tranzistorli matrisalar va yaroqli mikrosxemalar ishlab chiqilish darajasini yuqoriligi.

1.5. Yarim o'tkazgichli integral mikrosxemalar

Tranzistorning ishlatilish turiga ko'ra yarim o'tkazgichli IMSlarni **bipolyar** va **MDYa IMS** larga ajratish qabul qilingan. Bundan tashqari, oxirgi vaqtlarda boshqariluvchi o'tishli maydoniy tranzistorlar yasalgan IMS lardan foydalanish katta ahamiyat kasb etmoqda. Bu sinfga galliy arsenidida yasalgan IMS lar, zatvori Shottki diodi ko'rinishida bajarilgan maydoniy tranzistorlar kiradi. Hozirgi kunda bir vaqtning o'zida ham bipolyar, ham maydoniy tranzistorlar qo'llanilgan IMS lar yaratish tendensiyasi rivojlanib bormoqda.

Ikkala sinfga mansub yarim o'tkazgichli IMS lar texnologiyasi yarim o'tkazgich kristallini galma-gal donor va akseptor kiritmalar bilan legirlash (kiritish)ga asoslangan. Natijada sirt ostida turli o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yupqa qatlamlar, ya'ni $n-p-n$ yoki $p-n-p$ tuzilmali tranzistorlar hosil bo'ladi. Bir tranzistorning o'lchamlari enigi bir necha mikrometrlarni tashkil etadi. Alohida elementlarning izolyatsiyasi $p-n$ o'tish yordamida, yoki dielektrik parda yordamida amalga oshirilishi mumkin. Tranzistorli tuzilma faqat tranzistorlarni emas, balki boshqa elementlar (diodlar, rezistorlar, kondensatorlar) yasashda ham qo'llaniladi.

Mikroelektronikada bipolyar tranzistorlardan tashqari ko'p emitterli va ko'p kollektorli tranzistorlar ham qo'llaniladi.

Ko'p emitterli tranzistorlar (KET) umumiy baza qatlami bilan birlashtirilgan bir kollektor va bir necha (8-10 gacha va undan ko'p) emitterdan tashkil topgan. Ular tranzistor – tranzistorli mantiq (TTM) sxemalarni yaratishda qo'llaniladi.

Ko'p kollektorli tranzistor tuzilmasi ham, KET tuzilmasiga o'xshash bo'ladi, lekin integral – injeksion mantiq (I^2M) deb ataluvchi injeksion manbali mantiqiy sxemalar yasashda qo'llaniladi.

Diodlar. Diodlar bitta $p-n$ o'tishga ega. Lekin IMSlarda asosiy tuzilma sifatida diodli tranzistorning diodli elementlarning ulanishlarning beshta varianti mavjud. $n-p-n$ – baza o'tishdagi $p-n$ o'tishli diodli tranzistor o'tishdagi $p-n$ o'tish uzilgan diodli tranzistor.

Rezistorlar. Bipolyar tranzistorlar uchun bipolyar tranzistor tuzilmasi uchun bipolyar tranzistor tuzilmasi uchun ko'p emitterli va ko'p kollektorli tranzistorlar yoki baza qo'llaniladi. Emitter...

bo'lgan rezistorlar hosil qilinadi. Baza qatlami asosida bajarilgan rezistorlarda ancha katta qarshiliklar olinadi.

Kondensatorlar. Bipolyar tranzistorli IMSlarda teskari yo'nalishda siljigan $p-n$ o'tishlar asosida yasalgan kondensatorlar qo'llaniladi. Kondensatorlarning shakllanishi yagona texnologik siklda tranzistor va rezistorlar tayyorlash bilan bir vaqtning o'zida amalga oshiriladi. Demak ularni yasash uchun qo'shimcha texnologik amallar talab qilinmaydi.

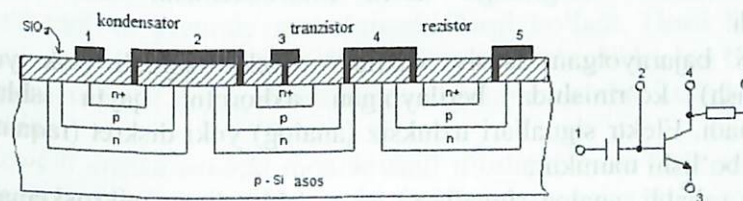
MDYa – tranzistorlar. IMSlarda asosan zatvori izolyatsiyalangan va kanali induksiyalangan MDYa–tranzistorlar qo'llaniladi. Tranzistor kanallari p - va n - turli bo'lishi mumkin. MDYa–tranzistorlar faqat tranzistorlar sifatida emas, balki kondensatorlar va rezistorlar sifatida ham qo'llaniladi, ya'ni barcha sxema funksiyalari birgina MDYa – tuzilmalarda amalga oshiriladi. Agar dielektrik sifatida SiO_2 qo'llanilsa, u holda bu tranzistorlar MOYa–(metall-oksid yarimo'tkazgichlar) tranzistorlar deb ataladi. MDYa – tuzilmalarni yaratishda elementlarni bir – biridan izolyatsiya qilish operatsiyasi mavjud emas, chunki qo'shni tranzistorlarning istok va stok sohalari bir–biriga yo'nalgan tomonda ulangan $p-n$ o'tishlar bilan izolyatsiyalangan. Shu sababli MDYa–tranzistorlar bir–biriga juda yaqin joylashishi mumkin, demak katta zichlikni ta'minlaydi.

Bipolyar va MDYa IMS lar *planar* yoki *planar-epitaksial* texnologiyada yasaladi.

Planar texnologiyada $n-p-n$ tranzistor tuzilmasini yasashda p -turdagi yarim o'tkazgichli plastinaning alohida sohalariga teshiklari mavjud bo'lgan maxsus maskalar orqali mahalliy legirlash amalga oshiriladi. Maska rolini plastina sirtini egallovchi kremniy ikki oksidi SiO_2 o'ynaydi. Bu pardada maxsus usullar (fotolitografiya) yordamida darcha deb ataluvchi teshiklar shakllanadi. Kiritmalar yoki diffuziya (yuqori temperaturada ularning konsentratsiya gradienti ta'sirida kiritma atomlarini yarim o'tkazgichli asosga kiritish), yoki ionli legirlash yordamida amalga oshiriladi. Ionli legirlashda maxsus manbalardan olingan kiritma ionlari tezlashadi va elektr maydonda fokuslanadilar, asosga tushadilar va yarim o'tkazgichning sirt qatlamiga singadilar.

Planar texnologiyada yasalgan yarim o'tkazgichli bipolyar tuzilmali IMS namunasi va uning ekvivalent elektr sxemasi 1.2- rasmda keltirilgan.

Diametri 76 mmli yagona asosda bir varakayiga usulda bir vaqtning o'zida har biri 10 tadan 2000 ta element (tranzistorlar, rezistorlar, kondensatorlar)dan tashkil topgan 5000 mikrosxema yaratish mumkin. Diametri 120 mm bo'lgan plastinada o'nlab milliontagacha element joylashtirish mumkin.

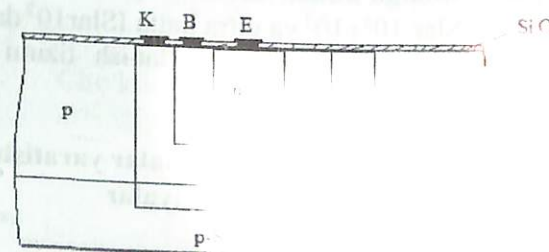


1.2- rasm. IMS namunasi va uning ekvivalent elektr sxemasi

Zamonaviy IMSlar qotishmali planar – epitaksial texnologiyada yasaladi. Bu texnologiya planar texnologiyadan shunisi bilan farq qiladiki, barcha elementlar p -turdagi asosda o'stirilgan n -turdagi kremniy qatlamida hosil qilinadi. Epitaksiya deb kristall tuzilmasi asosnikidan bo'lgan qatlam o'stirishga aytiladi.

Planar-epitaksial texnologiyada yasalgan tranzistorlar ancha energetik tejimli, hamda planarliga nisbatan yaxshilangan parametr va xarakteristikalariga ega.

Buning uchun asosga epitaksiyadan avval n^+ - qatlam kiritiladi (1.3- rasm). Bu holda tranzistor orqali tok kollektordagi yuqoriomli rezitordan emas, balki kichikomli n^+ - qatlam orqali oqib o'tadi.



1.3- rasm. Planar – epitaksial

Mikrosxema turli elementlarini elektr jihatdan birlashtirish uchun metallizatsiyalash qo'llaniladi. Metallizatsiyalash jarayonida oltin, kumush, xrom yoki alyuminiydan yupqa metall pardalar hosil qilinadi. Kremniyli IMSlarda metallizatsiyalash uchun alyuminiydan keng foydalaniladi.

Shemotexnik belgilariga ko'ra mikrosxemalar ikki sinfga bo'linadi.

IMS bajarayotgan asosiy vazifa – elektr signali (tok yoki kuchlanish) ko'rinishida berilayotgan axborotni qayta ishlash hisoblanadi. Elektr signallari uzluksiz (analog) yoki diskret (raqamli) shaklda bo'lishi mumkin.

Shu sababli, analog signallarni qayta ishlaydigan mikrosxemalar – *analog integral mikrosxemalar* (AIS), raqamli signallarni qayta ishlaydiganlari esa – *raqamli integral sxemalar* (RIS) deb ataladi.

Raqamli sxemalar asosida sodda tranzistorli kalit (ventil) sxemalar yotadi. Kalitlar ikkita turg'un holatni egallashi mumkin: uzilgan va ulangan. Sodda kalitlar asosida ancha murakkab sxemalar yasaladi: mantiqiy, bibarqaror, triggerli (ishga tushuruvchi), shifradorli, komparatorlar va boshqa, asosan hisoblash texnikasida qo'llaniladigan. Ular raqamli shaklda ifodalangan axborotni qabul qilish, saqlash, qayta ishlash va uzatish funksiyasini bajaradilar.

Integral mikrosxemalarning *murakkablik darajasi komponent integratsiya darajasi* kattaligi bilan ifodalanadi. Bu kattalik raqamli IMSlar uchun kristallda joylashishi mumkin bo'lgan mantiqiy ventillar soni bilan belgilanadi.

100 ta dan kam ventilga ega bo'lgan IMSlar kichik integratsiya darajasiga ega bo'lgan IMSlarga kiradi. O'rta darajali ISlar 10^2 , katta ISlar $10^2 \div 10^5$, o'ta katta ISlar $10^5 \div 10^7$ va ultra katta ISlar 10^7 darajadan ortiq ventillardan tashkil topadi. Bunday sinflanish tizimi analog mikrosxemalar uchun ham qabul qilingan.

1.6. Yarimo'tkazgich integral mikrosxemalar yaratishda texnologik jarayon va operatsiyalar

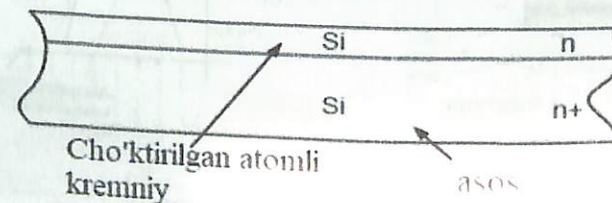
Tayyorlov operatsiyalari. Yarimo'tkazgich IMSlar tayyorlash uchun asosiy material bo'lgan - kremniy monokristall quymalari

olishdan boshlanadi. Monokristall quymalar hosil qilishning bir qancha usullari mavjud.

Choxralskiy usulida tarkibiga donor yoki akseptor kiritmalar qo'shilgan o'ta toza kremniy eritmasi yuziga kremniy monokristalli tushiriladi. Eritma eritgan monokristall o'z o'qi atrofida asta-sekin aylantirilib ko'tariladi. Monokristall ko'tarilishi bilan eritma kristallanadi va kremniy monokristalli hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan kremniy quymasi *n*-yoki *p*-turli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. Quyma uzunligi 150 sm, diametri esa 150 mm va undan katta bo'lishi mumkin.

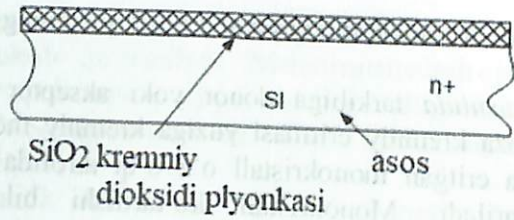
Zonali eritish usulida monokristall ifloslantiruvchi kiritmalardan qo'shimcha tozalanadi. Bunda kristallning tor zonasi eritilib, eritilgan zona kristallning bir uchidan ikkinchi uchiga asta siljitib boriladi. Kiritmalarning erigan fazada eruvchanligi qattiq holatdagi eruvchanligiga qaraganda katta bo'lsa, o'sha kiritmalar suyuq fazaga o'tib kristallning ikkinchi uchiga siljib boradi va o'sha yerda to'planadi. Kiritmalar to'plangan soha tozalash jarayonlari tugagandan so'ng kesib tashlanadi.

Epitaksiya. Epitaksiya jarayoni asos sirtida uning kristall tuzilishini akrorlovchi yupqa monokristall ishchi qatlamlar hosil qilish uchun ishlatiladi. Asos bunda mustahkamlikni ta'minlash va kristallanayotgan qatlam takrorlashi zarur bo'lgan kristall panjara sifatida xizmat qiladi. Keyingi texnologik jarayonlarda epitaksial qatlamda IMSning aktiv va passiv elementlari hosil qilinadi.



1.4- rasmi

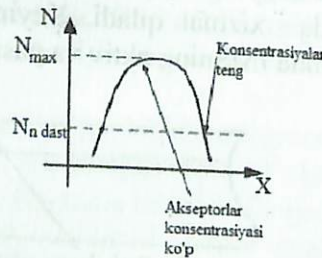
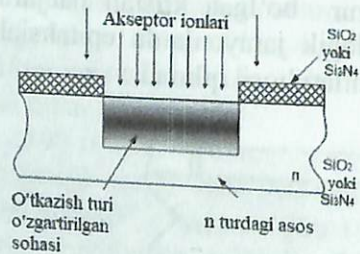
Termik oksidlash. Termik qatlam (parda) hosil qilish ma'iborat jarayon.



1.5- rasm. Termik oksidlash jarayoni

U yuqori (1000÷1200) °C temperaturalarda kechadi. IMSlar tayyorlashda SiO₂ qatlam bir necha muhim funksiyalarni bajaradi: sirtini himoyalovchi qatlam; niqob vazifasini bajarib, undagi tirqishdan zarur kiritmalar kiritiladi; MDYA – tranzistorlarda zatvor ostidagi yupqa dielektrik qatlam sifatida ishlaydi.

Legirlash. Yarimo'tkazgich hajmiga kiritmalarni kiritish jarayoni legirlash deb ataladi. IMSlar tayyorlashda legirlash sxemaning aktiv va passiv elementlarini hosil qilish uchun, zarur o'tkazuvchanlikni ta'minlash uchun kerak. Legirlashning asosiy usullari yuqori temperaturalarda kiritmalar atomlarini diffuziyalash va yuqori energiyali ionlar bilan bombardimon qilish (ionlarni kristall panjaraga kiritish) dan iborat.

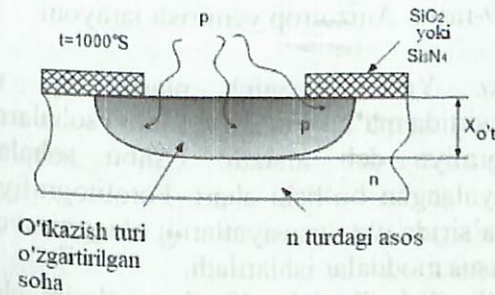


1.6- rasm. Ionli legirlash jarayoni

Diffuziya yordamida legirlash butun kristall yuzasi bo'ylab yoki niqobdagi tirqishlar orqali ma'lum sohalarda (lokal) amalga oshiriladi. **Ion legirlash** yetarli energiyagacha tezlatilgan kiritma ionlarini niqobdagi tirqishlar orqali kristallga kiritish bilan amalga oshiriladi. Ion legirlash universalligi va oson amalga oshirilishi bilan xarakterlanadi.

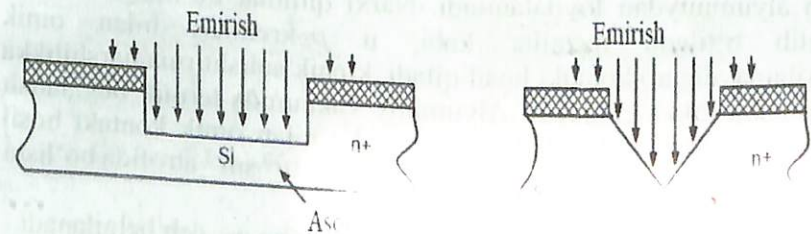
Yemirish. Yarimo'tkazgich, uning sirtidagi oksidlar va boshqa birikmalarni kimyoviy moddalar hamda ularning aralashmalari yordamida eritib tozalash jarayoniga yemirish deyiladi. Yemirish yarimo'tkazgich sirtini tozalash, oksid qatlamda «darcha»lar ochish va turli ko'rinishga ega bo'lgan «chuqurchalar» hosil qilish uchun qo'llaniladi.

Yarimo'tkazgich sirtini tozalash va «darcha»lar hosil qilish uchun **izotrop yemirishdan** foydalaniladi, bunda yarimo'tkazgich barcha kristallografik yo'nalishlar bo'ylab bir xil tezlikda eritiladi.



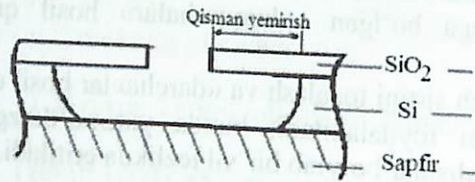
1.7- rasm. Diffuziya yordamida legirlash

Ba'zan yarimo'tkazgichni turli kristallografik yo'nalishlar bo'ylab turli tezlikda eritish va natijada turli ko'rinishga ega bo'lgan «chuqurcha»lar hosil qilish zarur bo'ladi.



1.8- rasm.

Anizotrop yemirish bilan, masalan, mikrosxemalar tayyorlashda (elementlarni bir-biridan dielektrik bilan izolatsiyalashda) dielektrik qatlam o'stiriluvchi «chuqurcha»lar hosil qilinadi.



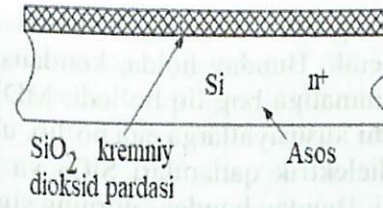
1.9-rasm. Anizotrop yemirish jarayoni

Fotolitografiya. Yarimo'tkazgich plastinadagi metall yoki dielektrik pardalar sirtida ma'lum shakldagi lokal sohalarni hosil qilish jarayoni fotolitografiya deb ataladi. Ushbu sohalari kimyoviy yemirishdan himoyalangan bo'lishi shart. Fotolitografiya jarayonida ultrabinafsha nur ta'sirida o'z xususiyatlarini o'zgartiruvchi, fotorezist deb ataluvchi, maxsus moddalar ishlatiladi.

Pardalar hosil qilish. Pardalar IS elementlarini elektr jihatdan ulash hamda rezistorlar, kondensatorlar va gibrid ISlarda elementlar orasidagi izolatsiyani amalga oshirish uchun qo'llaniladi. Pardalar vakuumda termik bug'latish, materialni ionlar bilan bombardimon qilib uchirish yoki gaz fazadan, suvli eritmadan kimyoviy o'tkazish usullari bilan hosil qilinadi. Har bir usulning afzalligi va kamchiligi mavjud.

Kremniy asosidagi IMSlarda metallashni amalga oshirish uchun asosan alyuminiydan foydalaniladi. Narxi qimmat bo'lmagan holda, ko'rsatib o'tilgan metallar kabi, u p-kremniy bilan omik (to'g'rilamaydigan) kontakt hosil qiladi, kichik solishtirma qarshilikka ega va katta tokka chidaydi. Alyuminiy vakuumda termik bug'latish usuli bilan sirtga o'tkaziladi. n-turli soha bilan omik kontakt hosil qilish uchun undagi donorlar konsentratsiyasi 10^{20} sm^{-3} atrofida bo'lishi kerak.

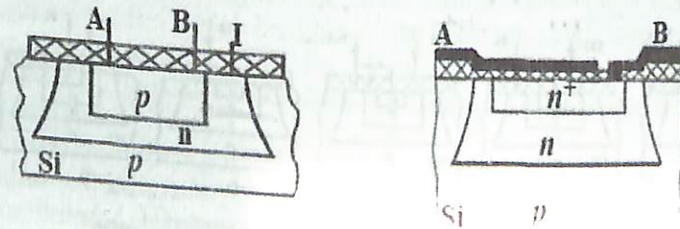
Bundan yuqori konsentratsiyaga ega bo'lgan soha n^+ deb belgilanadi.



1.10- rasm. Pardalar hosil qilish jarayoni

1.7. Yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalarda rezistorlar va kondensatorlar

Ko'pgina hollarda yarimo'tkazgichli IMSlarda rezistorlar bazaviy hudud asosida olinadi. Rezistorni asosdan izolyatsiyalash uchun parazit p-n-p tranzistorini kesish rejimida bo'lishi kerak. Shu maqsadda n-qatlamdan K chiqishga yuqori potensial beriladi. Nominal qarshilik qiymatidan og'ish 10 ... 20% ni tashkil qiladi. n-p-n tuzilishiga asoslangan rezistorlarga ko'ra, zamonaviy IMSlarda rezistorlar sifatida ion legirlash asosida yaratilgan nozik rezistiv plyonkalaridan foydalanadi. Bunday holda qalinligi 0,1...0,3 mkm bo'lgan qarshilik plyonkalarini olish mumkin. Rezistorlar sifatida emitter, baza yoki kollektor sohalarining sig'im qarshiligidan foydalanish mumkin. Ba'zi hollarda yarimo'tkazgichli ISlar kremniy dioksidi yuzasiga yotqizilgan nozik plyonkali rezistorlardan foydalanadi. Bunday rezistorlar yuqori ishlab chiqarish aniqligi bilan ajralib turadi.



1.11- rasm. Yarimo'tkazgichli kondensatorlarni olish texnologiyasi va izolyatsiya qatlamini o'rnatish

Yarimo'tkazgichli ISlarda kontakt sig'imlari yoki MDYo' tuzilmalari

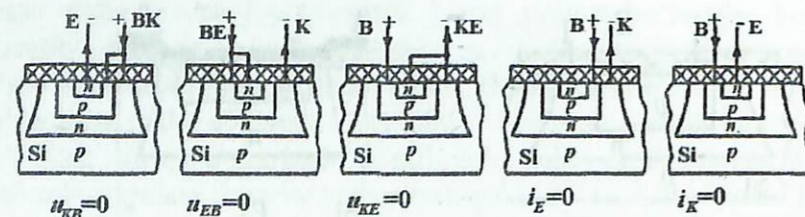
№ 1.1.20

sifatida p-n o'tishning sig'imi ishlatilsa, u holda o'tishga teskari kuchlanish berikitishi kerak. Bunday holda, kondansatorning sig'imi ushbu kuchlanishning qiymatiga bog'liq bo'ladi. MDYo' da yasalgan kondensatorlar eng yaxshi xususiyatlarga ega bo'lib, ularda pastki asos emmitter n⁺ qatlami, dielektrik qatlamlari SiO₂ va yuqori qoplama metall pardadan yasaladi. Bunday kondansatorning sig'imi beriladigan kuchlanishning qiymati va ishorasiga deyarli bog'liq emas. Amalda, solishtirma sig'im ± 20% bardoshlik bilan 400 dan 650 pF / sm² gacha.

1.8. Yarimo'tkazgichli ISlarda diodlar

Yarimo'tkazgichli ISlarda vertikal n-p-n tranzistorning n-p o'tish bittasi yoki ularning kombinatsiyasi diod sifatida ishlatilishi mumkin. Diodlarni shu tarzda olish maxsus diodli tuzilmalarni shakllantirishdan ko'ra ancha sodda hisoblanadi. n-p-n-tranzistorlarni diod ulanishlarini beshta usuli mavjud.

Birinchi variant, kollektor bazaga ulanganda ($U_{KB} = 0$), diodaning eng yuqori tezlikda ishlashini ta'minlaydi, ($\tau_{qayt.ul} \approx 1 \dots 10$ ns), chunki tezlikni belgilovchi ortiqchali zaryad faqat emmitter tomondan elektronlarni injeksiyanishi tufayli bazada to'planadi. Boshqa barcha holatlarda ortiqcha zaryadning to'planishi nafaqat bazada, balki kollektorda ham sodir bo'ladi, shuning uchun bunday variantlarning ishlashi ancha past ($\tau_{qayt.ul} \approx 10 \dots 100$ ns). Yuqori teshilish kuchlanishini olish uchun kollektor o'tishiga asoslangan diodlar qo'llaniladi.



1.12- rasm. Yarimo'tkazgichli ISlarda diodlar

1.9. Nanoelektronikaning rivojlanish bosqichlari

Nanotexnologiya – bu moddalar bilan ishlashdan alohida atomlarni boshqarishga o'tishi: nanoo'lchamda moddani ko'plab mexanik,

termodinamik, magnit va elektrik xarakteriskalari holati o'zgarib ketadi. Masalan, oltin nanozarralari hajmi oltin zarralaridan katalitik, feromagnetik, to'g'rilovchi optik hossalari, o'zi yig'ilishga qodirligi bilan farq qiladi.

Ular yorug'likni yahshi yutadi va sochadi, zaharsiz, kimyoviy stabil, biomaskekluchi. Ularni intensiv bo'yashda (tovlanish) hozirda dedektirlash uchun, vizualiyashgan va biotibbiyot obyektlar miqdorni aniqlashda foydalanilmoqda. Oltin nanozarralari butun boshli asboblar diagnostika vositalardan tortib har xil turdagi sensorlar, optik tolali va kompyuter nanosxemalarini yaratishda istiqbollidir. Ko'rsatilgan xususiyatlar tufayli oltin nanozarralari asosiy metodlari va tushunchalari bilan osson tushunarli universal obyekt moduli nanofanni tanishtirish uchun qulay rol o'ynashi mumkin.

Zamonaviy texnik tizimlar va vositalarni boshqarish hamda fan va texnikaning rivojlanishi elektronikaning yetakchi tarmoqlaridan biri bo'lgan mikroelektronika hamda endigina paydo bo'layotgan nanoelektronika sohalarida faoliyat ko'rsatadigan malakali mutaxassislarini tayyorlash bilan uzviy bog'liqdir.

Zamonaviy elektronika mahsulotlari bo'lmish integral mikrosxemalar, mikroprotessorlar, o'ta yuqori chastotali detektorlar, quyosh elementlari, lazerlar, elektron hisoblash mashinalar va o'ta yuqori xotirali tizimlar hamda boshqa noyob elektrik asboblarni yaratish yangi xususiyatga ega bo'lgan yupqa va o'ta yupqa ko'p komponentli qatlamlar tizimlarini yaratishni taqozo qiladi. Shu boisdan ham keyingi yillarda yupqa va o'ta yupqa qatlamlar hosil qilish texnologiyasi va fizikasiga bo'lgan e'tibor keskin ortib ketdi.

Yupqa plyonkalar olish va ularning xususiyatlarini o'rganish o'tgan asrning 70 yillaridan boshlab qo'llanilib kelinayotgan an'anaviy usullari mavjud.

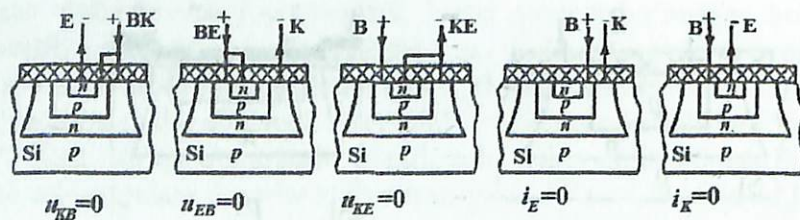
Bu usullar bilan olingan plyonkalarining qalinligi asosan bir necha mikrondan o'nlab mikrongacha bo'lib, ular qattiq jismlar elektron asbobsozlikda hozirgi kunda ham qattiq jismlar elektron asbobsozlikda hozirgi kunda ham Hozirgi vaqtga kelib yupqa ($d \approx 1$ nm) plyonkalar olishning zamonaviy usullari qattiq fazali epitaksiya (QFE), ion yordamida asosan plyonka hosil qilish (nanoassembler) usullari orqali hosil qilinadi.

sifatida p-n o'tishning sig'imi ishlatilsa, u holda o'tishga teskari kuchlanish berikitishi kerak. Bunday holda, kondansatorning sig'imi ushbu kuchlanishning qiymatiga bog'liq bo'ladi. MDYo' da yasalgan kondensatorlar eng yaxshi xususiyatlarga ega bo'lib, ularda pastki asos emmitter n⁺ qatlami, dielektrik qatlamlari SiO₂ va yuqori qoplama metall pardadan yasaladi. Bunday kondansatorning sig'imi beriladigan kuchlanishning qiymati va ishorasiga deyarli bog'liq emas. Amalda, solishtirma sig'im ± 20% bardoshlik bilan 400 dan 650 pF / sm² gacha.

1.8. Yarimo'tkazgichli ISlarda diodlar

Yarimo'tkazgichli ISlarda vertikal n-p-n tranzistorning n-p o'tish bittasi yoki ularning kombinatsiyasi diod sifatida ishlatilishi mumkin. Diodlarni shu tarzda olish maxsus diodli tuzilmalarni shakllantirishdan ko'ra ancha sodda hisoblanadi. n-p-n-tranzistorlarni diod ulanishlarini beshta usuli mavjud.

Birinchi variant, kollektor bazaga ulanganda ($U_{KB} = 0$), diodaning eng yuqori tezlikda ishlashini ta'minlaydi, ($\tau_{qayt.ul} \approx 1...10$ ns), chunki tezlikni belgilovchi ortiqchali zaryad faqat emmitter tomondan elektronlarni injeksiyalanishi tufayli bazada to'planadi. Boshqa barcha holatlarda ortiqcha zaryadning to'planishi nafaqat bazada, balki kollektorda ham sodir bo'ladi, shuning uchun bunday variantlarning ishlashi ancha past ($\tau_{qayt.ul} \approx 10...100$ ns). Yuqori teshilish kuchlanishini olish uchun kollektor o'tishiga asoslangan diodlar qo'llaniladi.



1.12- rasm. Yarimo'tkazgichli ISlarda diodlar

1.9. Nanoelektronikaning rivojlanish bosqichlari

Nanotexnologiya – bu moddalar bilan ishlashdan alohida atomlarni boshqarishga o'tishi: nanoo'lchamda moddani ko'plab mexanik,

termodinamik, magnit va elektrik xarakteriskalari holati o'zgarib ketadi. Masalan, oltin nanozarralari hajmi oltin zarralaridan katalitik, feromagnetik, to'g'rilovchi optik hossalari, o'zi yig'ilishga qodirligi bilan farq qiladi.

Ular yorug'likni yahshi yutadi va sochadi, zaharsiz, kimyoviy stabil, bioskeluchi. Ularni intensiv bo'yashda (tovlanish) hozirda dedektirlash uchun, vizualiyashgan va biotibbiyot obyektlar miqdorni aniqlashda foydalanilmoqda. Oltin nanozarralari butun boshli asboblarda diagnostika vositalardan tortib har xil turdagi sensorlar, optik tolali va kompyuter nanosxemalarini yaratishda istiqbollidir. Ko'rsatilgan xususiyatlar tufayli oltin nanozarralari asosiy metodlari va tushunchalari bilan osson tushunarli universal obyekt moduli nanofanni tanishtirish uchun qulay rol o'ynashi mumkin.

Zamonaviy texnik tizimlar va vositalarni boshqarish hamda fan va texnikaning rivojlanishi elektronikaning yetakchi tarmoqlaridan biri bo'lgan mikroelektronika hamda endigina paydo bo'layotgan nanoelektronika sohalarida faoliyat ko'rsatadigan malakali mutaxassislar tayyorlash bilan uzviy bog'liqdir.

Zamonaviy elektronika mahsulotlari bo'lmish integral mikrosxemalar, mikroprotessorlar, o'ta yuqori chastotali detektorlar, quyosh elementlari, lazerlar, elektron hisoblash mashinalar va o'ta yuqori xotirali tizimlar hamda boshqa noyob elektrik asboblarni yaratish yangi xususiyatga ega bo'lgan yupqa va o'ta yupqa ko'p komponentli qatlamlar tizimlarini yaratishni taqozo qiladi. Shu boisdan ham keyingi yillarda yupqa va o'ta yupqa qatlamlar hosil qilish texnologiyasi va fizikasiga bo'lgan e'tibor keskin ortib ketdi.

Yupqa plyonkalar olish va ularning xususiyatlarini o'rganish o'tgan asrning 70 yillaridan boshlab qo'llanilib kelinayotgan an'anaviy usullari mavjud.

Bu usullar bilan olingan plyonkalarining qalinligi asosan bir necha mikrondan o'nlab mikrongacha bo'lib, ular qattiq usuli elektron asbobsizlikda hozirgi kunda ham. Hozirgi vaqtga kelib yupqa ($d \approx 1$ nm) plyonkalar olishning zamonaviy qattiq fazali epitaksiya (QFE), ion (nanoassembler) usullari orqali hosil yordamida asosan plyonka hosil q

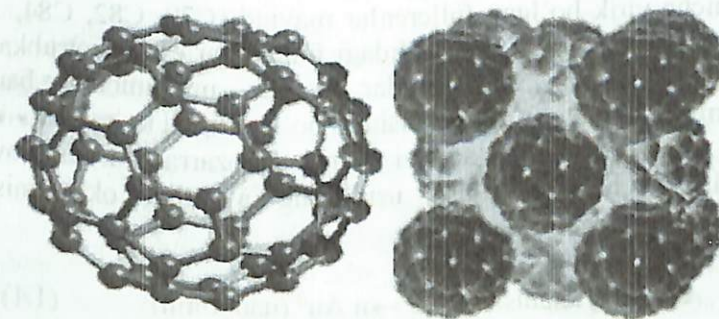
olib borilishi, o'ta yaxshi tozalangan asos(taglik)lardan va atom(molekula) manbalaridan foydalanilishi, plyonkalarining mukammalligi(yuqori darajada tekisligi, bir jinsliliigi, silliqiligi, monokristalligi) bilan eski (tradistion) usullaridan tubdan farq qiladi.

Hozirgi paytda *nanoelektronika* rivojlanmoqda, ya'ni elektron asbobsozlikda qalinliklari o'nlab nanometr ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) bo'lgan plyonkalarni ishlatish ustida ishlar olib borilmoqda. Bunday plyonkalar ustma-ust, qatlama-qatlam qilib joylashtirilib aktiv va passiv elementlar hosil qilishda ishlatilishi mumkin. Fan va texnika rivojlanib uch o'lchamli tizimlar hosil qilinmoqda. Bunday tizimlarda 1 sm^3 hajmda yuz minglab-millionlab yupqa plyonkali elementlarni joylashtirish mumkin. Ular asosida hosil qilingan integral sxemalar *katta* va *o'ta kata integral mikrosxemalar* deb ataladi.

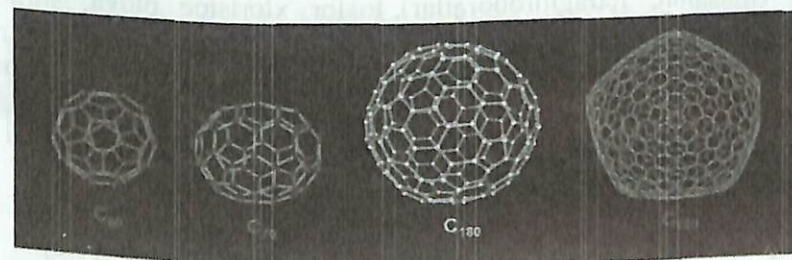
Demak, kerakli maqsadlarda ishlatilishi mumkin bo'lgan yupqa qatlamlarni hosil qilish, ularning tarkibini, kristall va elektron tuzilishini, fizik va kimyoviy xususiyatlarini o'rganish fanning ahamiyatini belgilasa, olingan yupqa plyonkalarining asbob sifatida ishlatilishi uning xalq ho'jaligida va texnikada qo'llanilishini aks ettiradi.

1.10. Nanozarralar

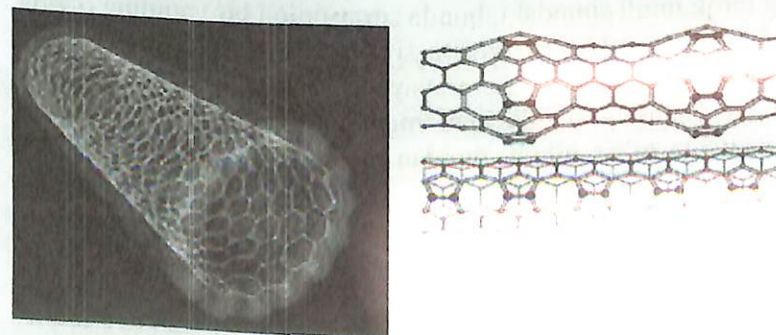
Sistemada atom yoki molekulyar tartibda o'zgarishlar ro'y berganda materialning xususiyatlari aniq ko'rinadi. Uglorod qattiq fazada bir qancha turli modifikasiyalarni paydo qilishi mumkin (olmosdan boshlab grafitgacha). Ikki materialning fizik xususiyatlari o'rtasida farqlar turli ko'rinishdagi atomlarni kristall ko'rinish holatidan tartibga keltirilishi bilan izohlanadi. Toza uglevod fullerene deb nomlanuvchi yana bir ko'rinishga, shaklga ega bo'lishi mumkin ekan. C_{60} fulleren molekulaning tarkibi 60 dan ziyod atomlardan tashkil topgan, beshburchak, oltiburchak shaklidagi ko'rinishlar futbol to'pini (12 ta beshburchaklar va 20 ta oltiburchaklar) eslatadi.



1.13- rasm. C_{60} molekulasining tuzilishi, C_{60} molekulasidan tashkil topgan kristallning tuzilishi



1.14-rasm. Nanotrubalarning tuzilishi



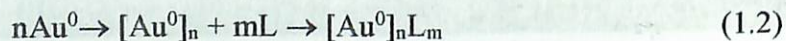
Bu nomning kelib chiqishi, Richard Bukministr Fuller shunday haqida bilmagan holda binolar gum

poliedrik qurilmalardan foydalanganligi bilan bog'liq. Juda ko'plab boshqa, ancha yirik bo'lgan fullerenlar mavjud (C70, C82, C84, ..., C240...), ancha murakkab ko'rinishdagi fullerenlar esa nanotrubbkalar degan nomni olgan. Bugun ular haqida ma'lumotlar banki fullerenlarning 10 000 oshiq ko'rinishlari bo'lganligini ko'rsatadi.

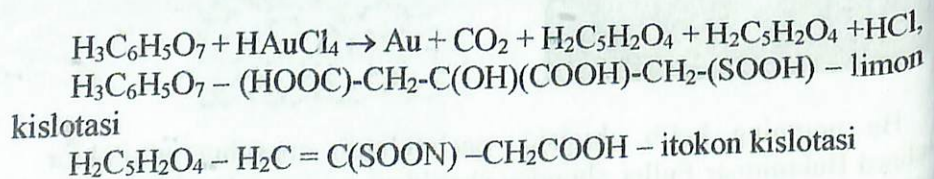
Oltin nanozarralarining sintezi. Oltin nanozarralarini kimyoviy sintez qilish uchun "namlash usullining avzalligi oksidlanish-qaytalanish reaksiyasi qo'llaniladi:



I bosqichda bu reaksiya oksidlanish qaytalanishga mos keladi. Odatda kirishma modda sifatida tetraxloraur kislota – $\text{HAuCl}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ qo'llaniladi. Qaytalanuvchi har xil reagentlar: vodarod va vodarodli bog'lar (masalan, tetragidrobokratlar), fosfor xloristoe olova, sitrat natriya, gidrozin, spirtlar, etilenglikol, kraxmal, glyukoza, askorbinovaya kislota va boshqalar bo'ladi. (tiklovchi) Qaytalanish stabillovchi organik modda ishtrokida o'tkaziladi – ligand, nanozarralarni ajrata oluvchi xususiyatlari II bosqich qadamlarni belgilash kerak:



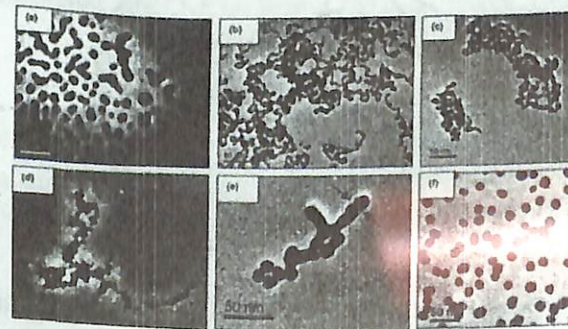
IIa ($n\text{Au}^0$) qadam nanozarraning kattaligi bo'yicha. Bu metodning farqli tarafi shundaki, bunda sitrat-onion bir vaqtning o'zida muvozanatlovchi va tiklovchi vosita sifatida o'zini namoyon qiladi, shuning uchun bu ionning konsentratsiyasi kritik ro'l o'ynaydi: uning o'zgarishi bir vaqtning o'zida ham muvozanat tezligi va zarraning o'sish protsessiga ta'sir qiladi. Bundan tashqari reaksiya natijasida aralashma sitrat-onion oksidleniyasi – 1.3 otsetonkarbon va itokon kislotalari paydo bo'ladi.



$\text{H}_2\text{C}_5\text{H}_2\text{O}_4 - \text{H}_2\text{C} = \text{C}(\text{SOON}) - \text{CH}_2\text{COOH} - 1.3 - \text{otsetonkarbon}$
kislota

Ushbu kislotalarning aralashmada mavjudligi yana qo'shimcha tozalash zaruratini keltirib chiqarishi mumkin. Sintez jarayonida reaksiya aralashma rangi o'zgaradi. Birinchidan ionning AuCl_4 sust sarg'ish rangi yo'qoladi, va aralashma to'q ko'k rangga kiradi, keyinchalik binafsha va oxirida qizg'ish rangga.

Aralashma rangining o'zgarishi sistemaning strukturaviy o'zgarishi oqibatidir. Elektron mikrasko'piya metodidan shuni ko'rish mumkinki, sitrat qo'shilgandan so'ng tusga kirgan aralashma o'zida 3-5 nm diametrda oltin nanoklasterlarini tashkil etadi. (1.15a-rasm). To'q ko'k aralashmada 5 nm diametrli nanosimlarni murakkab strukturasi paydo bo'ladi (1.15b-rasm). To'q binafsha rangga kirgan jarayonda nanosimlarning asosiy nuqtasi yoyilishi natijasida uncha katta bo'lmagan segmentlar paydo bo'ladi (1.15c-rasm). Qachon aralashma (ribino) qizg'ish rangga kirganda oltin nanosferalari paydo bo'ladi (1.15f-rasm).

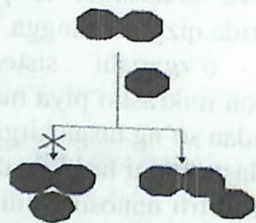


1.15- rasm. Elektron mikraskop yordamida olingan oltin nanozarralarining har xil bosqichlari.

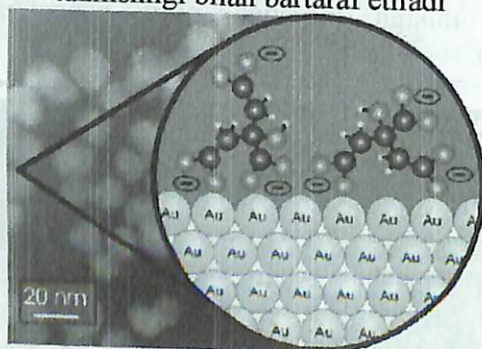
Birlamchi nanoklasterlar nanozanjir tashkil qiladimi? Ekspertlar nanoklasterlar geometriyasi kesishgan aniq yupqa chegaralariga egadir. Shuningdek, ko'rinishga ushbu nanozarralarning mavjudga keladi. Oktoedrlarning

chegaralarning tomomila qoʻshilishini oldini oladi. Ushbu cheklanish chiziqli strukturaning vujudga kelishining asosidir.

Jarayon borishi mobaynida nanozanjir qalinlashib va diametri 8 nmga yaqinlashganda sistema barqarorligini yoqotib fragmentlarga ajrala boshlaydi. Bunga AuCl₄ ioni konsentratsiyasi kamayib, sitrat-ioni oʻz dominantligini oʻrnatadi.



1.16- rasm. Ikkita yonma-yon chegaralarning qoʻshilishi sterik tuzilishligi bilan bartaraf etiladi



1.17- rasm chap tarafda: 13 nm diametrli oltin nanozarrasining mikrosurati koʻrsatilgan

Ular nanozarralarni qoplab manfiyligini oshiradi bu oʻz navbatida kuchli itaruvchanlik effektini uygʻotib chiziqli struktura yemirilib orniga sferik shakilga olib keladi, lekin bu holat tamomila oxiriga yetishi uchun xona haroratida 10-15 daqiqa ushlab turish kerak. 1.16- rasmda oltindagi zolning tuzilish sxemasi koʻrsatilgan.

1.17- rasm Oʻngda oltin nanozarrasining tashqi illyustratsiyasi koʻrsatilgan. Har bitta nanozarra 500000 Au atomlaridan tashkil topgan. Sitrat-onionlari nanozarra ustini qoplaydi.

Adsorbsiya spektroskopiya. Ushbu metodning asosida elektromagnit nurlanishning har xil uchastkadagi spektrlarining yutilishi yotadi, bular: atomi, ioni yoki analiz ostidagi buyumning molekulasi boʻlishi mumkin. Yorugʻlik kvantini yutgan atom, ion yoki malekulaning energetik holati oshadi. Odatda bunda tinch turgan holdan energetik holati yuqoriroq boʻlgan holatga oʻtkaziladi. Bunday elektromagnit oʻzgarishlar spektrda oʻz yutish polasasiga ega boʻlgan zarralarni spektrda paydo boʻlishiga olib keladi. Nurlanishni yutish jarayonida, qatlamlarida oʻtish jarayonida buyumning nurlanish intensivligi kamayib boradi.

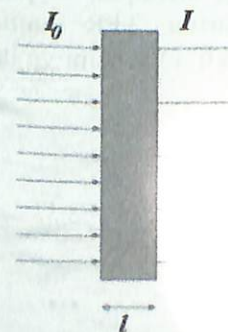
Yutilish adsorbsiyasi har xil toʻlqin uzunlikdagi yorugʻlik intensivligini oʻzgarishini oʻlchovchi asbob spektrofotometr yordamida oʻlchanadi. Yorugʻlik intensivli va adsorbsiya orasidagi bogʻliqlik quyidagi tenglamada keltirilgan.

$$A = \lg \frac{I_0}{I} \quad (1.4)$$

Bu yerda: A -yorugʻlik adsorbsiyasi, I_0 -kirish yorugʻligining intensivligi, I -chiqish aralashma adsorbsiyasi Buger-lamberta-Bera qoidasiga boʻysunadi.

$$A = \varepsilon(\lambda)Cl \quad (1.5)$$

l -optik qatlamaning qalinligi
 C -eritmaning aralashmadagi konsentratsiyasi.
 $\varepsilon(\lambda)$ -toʻlqin uzunligiga bogʻliq boʻlgan yutish koeffitsiyenti.

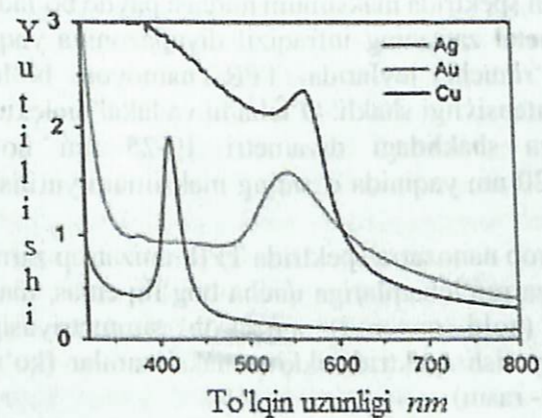


1.18-rasm. Yorugʻlik adsorbsiyasini

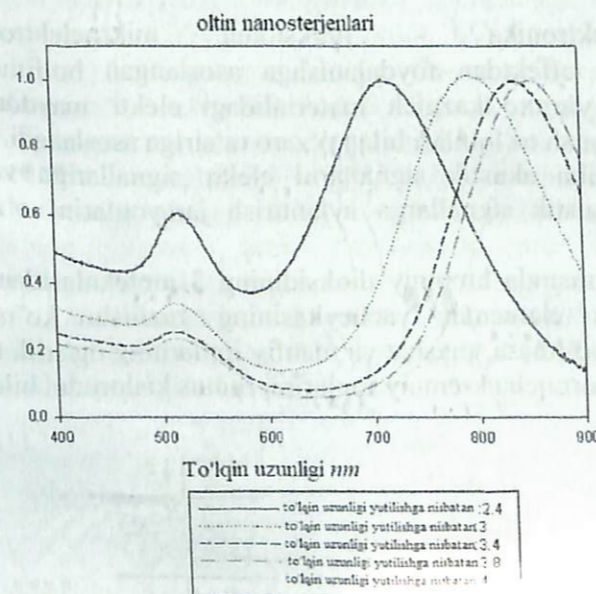
Absorbsiyaviy qo'shilish spektri. A-(λ) koordinatali grafikda ko'rish mumkin. Malekulalar turli to'lqin uzunliklari (λ) bilan turlicha tasirlashadi, yani to'lqin uzunlikdagi nurlarni ko'proq ba'zilarini kamroq yutadi, shuning uchun spektrlarda maksimumlar paydo bo'ladi. Bo'yalgan bog'lanish ko'rinadigan joylarda (400-700 nm), bir yoki bir nechta maksimumlar bo'lishi mumkin (λ_{max}). aralashmaning rangsiz ultrabinafsha (200-400 nm) spektr joylarida ultrabinafsha nurlari yutiladi.

Oltin nanozarralar aralashmasining optik xususiyati. Elektromagnit nurlanishning metal nanozarralari bilan tasirlashuvida qo'zg'aluchan ionlar musbat zaryadlangan metall ionlar panjarasiga nisbatan o'tkazuvchanlik xususiyati siljiydi. Bu siljish kollektiv xarakterga egadir, bunda elektronlar harakati faza bilan to'g'ri keladi. Agar zarra kattaligi tushayotgan nurning to'lqin uzunligidan ancha kichik bo'lsa bunda elektronlarning siljishi dipol shakllantirishga olib keladi. Natijada elektronlarni muvozanat holatiga olib kelishga harakat qiluvchi kuch paydo bo'ladi. Qaytaruvchi kuch kattaligi siljish kuch kattaligiga proporsiyonal shu jumladan oddiy osilyator uchun, shuning uchun zarradagi elektronlar kollektiv tebranishlarining xususiy chastotasi mavjudligi haqida gapirish mumkin. Agar tushayotgan nur tebranishlarining chastotasi metal zarra yuzasiga yaqin joydagi erkin elektronlar tebranish chastotasiga ustma ust tushib qolsa, "elektron plazma tebranish amplitudasining keskin oshib ketishiga olib keladi, buning kvantli analogi plazmadir. Bu hodisa tashqi plazmali rezonans (TPR) deb nomlanadi.

Nur yutilish spektrida maksimum nuqtasi paydo bo'ladi 10-100 nm o'lchamdagi metall zarraning infraqizil diapazoniga yaqin joyda va spektrning ko'rinuchi joylarida TPR namoyon bo'ladi. Uning joylashuvi va intensivligi shakli. O'lchami va lakal dielektrik muhitiga bog'liqdir.



1.19- rasm. Sferik oltin nanozarraning yutish spektri



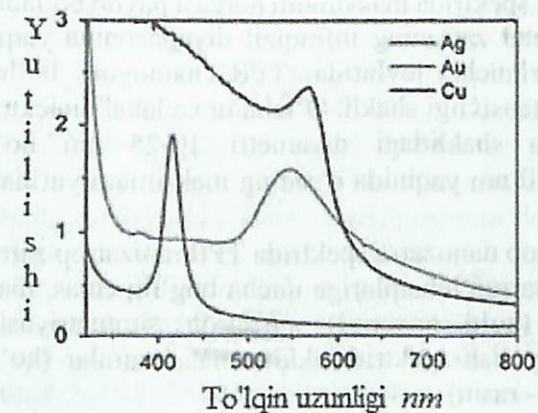
1.20- rasm. O'lchamlariga ko'ra (uzunlik) nanosterjinning nur yutish spektri

Sfera shaklidagi diametri 10-25 nm bo'lgan oltin nanozarralar 400-700 nm yaqinida o'zining maksimum yutilish nuqtasini ko'rsatadi.

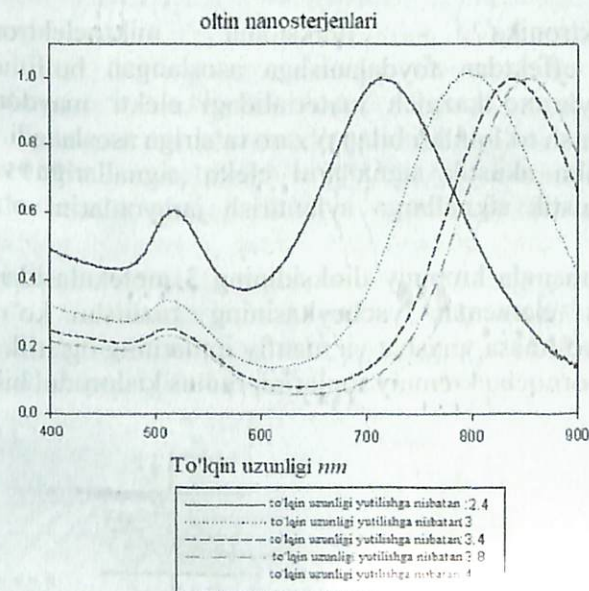
Absorbsiyaviy qo‘shilish spektri. A-(λ) koordinatali grafikda ko‘rish mumkin. Malekulalar turli to‘lqin uzunliklari (λ) bilan turlicha tasirlashadi, yani to‘lqin uzunlikdagi nurlarni ko‘proq ba’zilarini kamroq yutadi, shuning uchun spektrlarda maksimumlar paydo bo‘ladi. Bo‘yalgan bog‘lanish ko‘rinadigan joylarda (400-700 nm), bir yoki bir nechta maksimumlar bo‘lishi mumkin (λ max). aralashmaning rangsiz ultrabinafsha (200-400 nm) spektr joylarida ultrabinafsha nurlari yutiladi.

Oltin nanozarralar aralashmasining optik xususiyati. Elektromagnit nurlanishning metal nanozarralari bilan tasirlashuvida qo‘zg‘aluchan ionlar musbat zaryadlangan metall ionlar panjarasiga nisbatan o‘tkazuvchanlik xususiyati siljiydi. Bu siljish kollektiv xarakterga egadir, bunda elektronlar harakati faza bilan to‘g‘ri keladi. Agar zarra kattaligi tushayotgan nurning to‘lqin uzunligidan ancha kichik bo‘lsa bunda elektronlarning siljishi dipol shakillantirishga olib keladi. Natijada elektronlarni muvozanat holatiga olib kelishga harakat qiluvchi kuch paydo bo‘ladi. Qaytaruvchi kuch kattaligi siljish kuch kattaligiga proporsiyonal shu jumladan oddiy osilyator uchun, shuning uchun zarradagi elektronlar kollektiv tebranishlarining xususiy chastotasi mavjudligi haqida gapirish mumkin. Agar tushayotgan nur tebranishlarining chastotasi metal zarra yuzasiga yaqin joydagi erkin elektronlar tebranish chastotasiga ustma ust tushib qolsa, “elektron plazma tebranish amplitudasining keskin oshib ketishiga olib keladi, buning kvantli analogi plazmadir. Bu hodisa tashqi plazmali rezonans (TPR) deb nomlanadi.

Nur yutilish spektrida maksimum nuqtasi paydo bo‘ladi 10-100 nm o‘lchamdagi metall zarraning infraqizil diapazoniga yaqin joyda va spektrning ko‘rinuchi joylarida TPR namoyon bo‘ladi. Uning joylashuvi va intensivligi shakli. O‘lchami va lakal dielektrik muhitiga bog‘liqdir.



1.19- rasm. Sferik oltin nanozarraning yutish spektri



1.20- rasm. O‘lchamlariga ko‘ra (uzunlik) nanosterjinning nur yutish spektri

Sfera shaklidagi diametri 10-25 nm bo‘lgan nanozarralar 400-700 nm yaqinida o‘zining maksimum yutilish nuqtasini ko‘rsatadi.

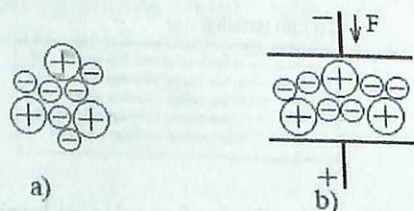
Nur yutilish spektrida maksimum nuqtasi paydo bo'ladi 10-100 nm o'lchamdagi metal zarraning infraqizil diapazoniga yaqin joyda va spektrning ko'rinuchi joylarida TPR namoyon bo'ladi. Uning joylashuvi va intensivligi shakli. O'lchami va lakal dielektrik muhitiga bog'liqdir. Sfra shaklidagi diyometri 10-25 nm bo'lgan oltin nanozarralari 520 nm yaqinida o'zining maksimum yutilish nuqtasiga keladi.

Sferik izotrop nanozarra spektrida TPR anizotrop zarra shaklidan farqli ravishda zarra o'lchamlariga uncha bog'liq emas, masalan: oltin nanosterjenlari (gold nanorod) anizotrop simmetriyasiga egadir, shuning uchun yutish spektrida ikkita maksimumlar (ko'ndalang va plazmalar) (1.20- rasm).

1.11. Akustoelektronika va magnitoelektronika asboblari

Akustoelektronika - funksional mikroelektronikaning p'ezoelektrik effektidan foydalanishga asoslangan bo'limi bo'lib, p'ezoelektrik yarimo'tkazgich materialidagi elektr maydonlarining akustik kuchlanish to'liqlari bilan o'zaro ta'siriga asoslanadi. Asosan, akustoelektronika akustik signallarni elektr signallariga va elektr signallarini akustik signallarga aylantirish jarayonlarini o'z ichiga oladi.

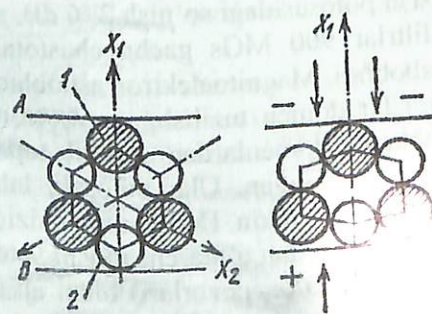
1.21- rasmda kremniy dioksidining 3 molekulasidan tashkil topgan kvarts elementar yacheykasining tuzilishi ko'rsatilgan. Deformatsiya bo'lmasa, musbat va manfiy ionlarning og'irlik markazi bir xil bo'ladi (ortiqcha kremniy ionlarini, minus kislorodni bildiradi).



1.21- rasm. Kvarts elementar yacheykasining tuzilishi (a), siqilishi natijasida piezoelektrik effekt hosil bo'lish jarayoni (b)

Kristalning vertikal yo'nalishda siqilishi (1.21-rasm, b) musbat ionlarning pastga va manfiylarni yuqoriga siljishiga olib keladi. Shunga ko'ra, tashqi elektrodlarda potensial farq paydo bo'ladi.

Akustoelektron asboblarning ishlashi elektr signalni ultratovush to'liqlariga, 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 bir jinslimaslik xizmat qiladi. U 10 Gs chastotali tebranishlardan iborat bo'lib, qattiq jismda 1,5 - 5,5 km/s tovush tezligida tarqaladi. Akustik to'liq 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 asboblari mikroelektronikada qo'llaniladigan usullar bilan hosil qilinishi va IMSlarga o'xshashligi bilan e'tiborga loyiq. Ultratovush to'liqlar pezoaktiv materiallarda (pezoelektriklarda) hosil qilinishi mumkin. Shuning uchun ushbu sinf asboblari uchun ishchi muhit sifatida pezoefekt juda yaqqol namoyon bo'ladigan dielektrik va yarimo'tkazgich kristallar xizmat qiladi. To'g'ri pezoefekt deb mexanik kuchlanish natijasida pezoelektrikning qutblanish hodisasiga aytiladi (1.22, a - rasm). Qutblanish natijasida pezoelektrikning qarama - qarshi tomonlarida pezo - EYuK deb ataluvchi potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Teskari pezoefekt deb berilgan tashqi kuchlanish ta'sirida jismning geometrik o'lchamlari o'zgarishiga aytiladi (1.22, b - rasm). Rasmda jismning deformatsiyadan keyingi o'lchamlari punktir chiziq bilan ko'rsatilgan.



1.22 - rasm. To'g'ri (a) va teskari (b)

Kuchlanish berilgan joyda elektr maydon kuchlanganligi yo'nalishiga bog'liq holda pezoelektr siqiladi yoki kengayadi. Natijada, tovush o'tkazuvchi deb ataladigan, kristal plastinada ko'ndalang yoki bo'ylama akustik ultratovush chastotasi berilgan kuchlanish chastotasiga teng bo'ladi. Pezoelektr 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 asboblarda chastotasi 1 -10 GGS bo'lgan, kvarts, litiy niobiti va tantalati hamda CdS, ZnS, ZnO, GaAs, InSb va boshqa yupqa yarimo'tkazgich qatlamlarda generatsiyalanadigan ultratovush to'lqinlar ishlatiladi. Ushbu diapazondagi 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 yetti turi mavjud bo'lib, amalda ikki metal elektrodli sinfaz va qoziqsimon joylashgan turlari keng tarqalgan. SATli filtrlar ko'p kanalli elektr aloqa va kosmik aloqa tizimlari filtrlari sifatida keng ishlatiladi. Ular televidion qabulqilgichlarning tasvir orqali chastota kuchaytirgich bloklarida LC - filtrlarni almashtirmoqda. Hozirgi vaqtda tasvirni tashish chastotasi 38 va 38,9 MGs ni tashkil etuvchi SATli televidion filtrlar seriyali ravishda ishlab chiqarilmoqda. Zamonaviy SATli filtrlar $A=0,05-50\%$ o'tkazish polosasiga ega, o'tkazish polosasidagi so'nish 2 ± 6 dB, selektivligi 100 dB gacha. Bunday filtrlar 900 MGs gacha chastotalarda ishlaydi. Magnitoelektronika asboblari. Magnitoelektron asboblarda ferromagnit materiallar ishlatiladi. Ular domen tuzilishiga 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 millimetrdan minglarcha ulushidan o'n larcha ulushigacha 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 asboblarda 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 materialni 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.

Akustik to'lqinlarning eng asosiy mohiyati shundaki, u ham yorug'lik kabi axborot manbai hisoblanadi.

Tabiat tovushlari, ba'zi atrofimizdagi odamlarning gaplari, ishlab turgan mashinalarning shovqinlari bizga kerakli bo'lgan ko'p ma'lumotlarni beradi.

Tovush-tibbiyot sohasida odam ichki organlari holati to'risida, sanoatda buyumlar, mahsulotlar ichki strukturalari to'risida ma'lumot beruvchi manba bo'lishi mumkin.

Shu sababli har-xil kasalliklarni diagnostika qilishida, davolashda, hamda buyum, mahsulotlarni sifatini nazorat qilishda tovushning bu xususiyatidan keng foydalaniladi.

Akustika - fizikaning tovush va uning modda bilan o'zaro ta'sirini o'rganuvchi bo'limi bo'lib, uning asosida akustoelektron qurilmalari yaratilgan.

Akustik nazorat qilish vositalari elektron blok, akustik blok yoki o'zgartirgich va qayd qiluvchi qurilmalardan tashkil topgan nazorat-o'lchov apparatlaridan iboratdir.

Hozirgi vaqtda akustik nazorat qilish usullaridan sanoatda materiallarni texnologik va fizik-mexanik xarakteristikalarini nazorat qilishda, defektoskopiyada, qalinliklarini o'lchashda, struktoskopiyada keng foydalanilmoqda.

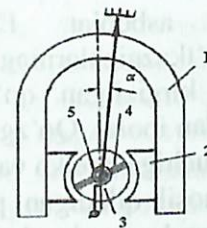
Kasalliklarni tasnif qilish va davolashni akustoelektron qurilmalarisiz tasavvur qilish mumkin emas.

Har bir akustoelektron asbobning funksional sxemasi va konstruksiyasi-belgilanishi, o'zgartirgich turi, ish rejimi va boshqa faktorlari bilan aniqlanadi.

Akustik nazorat apparatlari quyidagi alomatlari bilan klassifikatsiyalanadi:

1. ish rejimi bo'yicha: impulsli, doimiy bo'ladi;
2. belgilanishi bo'yicha: ma'sus defektoskoplar, qalinlik o'lchagichlar, strukturoskoplar, kompleksli o'lchagichlardan iboratdir;
3. o'lchanayotgan parametrlar turiga qarab: fazometrlar, mikrosekundomerlar, chastota o'lchagichlar, yutilishni o'lchagichlar, akustik-emissiya o'lchagichlarga bo'linadi;
4. to'liqlarni kiritish va qabul qilish turiga qarab: kontaktsiz, kontaktli, immersion bo'lishi mumkin;
5. chastota diapazoni bo'yicha: tovushli (20Gs...20kGs), past ultratovush chastotali (20...200kGs), o'rta ulotratovush chastotali (0.2...10MGs), yuqori ultratovush chastotali (10^7 ... 10^9 Gs), o'ta yuqori ultratovush chastotali (10^3 Gs dan yuqori) bo'ladi;
6. indikator qurilmasining turiga qarab, raqamli ossilografli, mexanik, televizion indikatorli, yorug'lik yoki tovush signalizatorli bo'lishi mumkin;
7. o'zgartirgich turiga qarab: pezoelektrik, elektromagnit-akustik, elektromexanik, mexanik bo'lishi mumkin;
8. avtomatizatsiyalashish va mexanizatsiyalashish darjasiga qarab: qo'l bilan, mexanizatsiyalashgan, avtomatlashtirilgan, EXM qo'llanilgan, hisoblash texnikasi va televizion qurilmasi birlashtirilgan bo'lishi mumkin.

Magnitoelektrik tizimli asboblari. Magnitoelektrik tizimli asboblari magnit maydoni bilan tokli o'tkazgichning o'zaro ta'sirlashuvi asosida ishlaydi. Ular asosan magnit zanjirini tashkil etuvchi qism va qo'zg'aluvchan g'altakdan iborat. Magnit zanjir (1.23- rasm) 1 doimiy magnitdan iborat. Uning qutblari oralig'iga sim cho'lg'amli 2 ramka o'rnatilgan. Ramka uchlari qarama-qarshi yo'nalishdagi spirallar bilan erkin aylanish imkoniga ega bo'lgan o'qqa o'rnatilgan. O'qning bir uchiga strelka 3 o'rnatilgan. Ramka cho'lg'amiga tok spirallar yordamida keltiriladi.



1.23- rasm. Magnitoelektrik tizimli

Ramkadan tok o'tganda uning magnit maydoni bilan doimiy magnit maydon o'zaro ta'sirlashib ramkaning yelkalariga aylantiruvchi magnit yuzaga keladi va o'tayotgan tokning kattaligiga qarab ramka tekisligi, binobarin strelka, tegishli burchakka buriladi. Magnitoelektrik tizimli asboblari faqat o'zgaruvchan tok zanjiridagi tok va kuchlanishni o'lchash uchun ishlatiladi. Ular yuqori aniqligi, sezgirligi, shkalasi bir tekisligi, energiya kam iste'mol qilishi (10^{-3} - 10^{-5} Vt), qo'zg'aluvchi sistema tezda tinchlanishi va tashqi magnit maydonlarga sezgirligi kamligi sababli, ular voltmetr, milliampermetr, mikroampermetr sifatida, shuningdek universal ishlash asboblari keng qo'llaniladi.

Ularning kamchiligi qimmatligi, ortiqcha yuklanishga sezgirligi va fakat o'zgaruvchan tok zanjirlaridagina o'lchashga yarokliligi hisoblanadi.

Elektromagnit tizimli asboblari. Elektromagnit tizimli asboblarning ishlash prinsipi g'altak orqali tok o'tganda uning magnit maydoni ta'sirida ferromagnit o'zakning harakatlanishiga asoslangan. G'altak cho'lg'amidan tok o'tganda magnit maydoni hosil bo'lib, po'lat o'zak uning ichiga tortiladi. Cho'lg'amdagi tok kuchiga qarab o'zak g'altak ichiga oz yoki ko'p tortiladi va asbobning shkalasidagi qiymatni ko'rsatuvchi strelka mahkamlangan o'qni ma'lum burchakka buradi.

Elektromagnit tizimli asboblari quyidagi afzalliklarga ega:

a) qo'zg'aluvchan qismning burilish yo'nalishi tokning yo'nalishiga bog'liq emas. Shu sababli bunday asboblari doimiy va o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlatilishi mumkin. Ular tok kuchi va kuchlanishning effektiv qiymatini o'lchaydi.

b) Tuzilishi sodda, arzon.

Kamchiliklari: shkalasi notekis, tashqi magnit maydon ta'siriga sezgir, katta quvvat iste'mol qiladi.

Elektrodinamik tizimli asboblari. Elektrodinamik tizimli asboblarning ishlashi tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'sirlashuviga asoslangan. Ular bir-biriga kirgizilgan qo'zg'aluvchan ichki va qo'zg'almas tashqi g'altaklardan iborat. Qo'zg'aluvchan g'altak o'qka joylashtirilgan bo'lib o'qning uchiga strelka va tok o'tkazuvchi hamda aks ta'sir etuvchi moment hosil qiladigan prujina mahkamlangan. G'altak uchlari elektr zanjirga ulanganda ulardan o'tgan toklar hosil qilgan magnit maydonlari elektrodinamik kuchlarni vujudga keltiradi. Qo'zg'aluvchi g'altak tekisligi tashqi g'altak tekisligiga tik bo'lgan tufayli ularning magnit maydonlar yo'nalishi bir xil bo'lmaguncha qo'zg'aluvchan g'altak o'z o'qi atrofida buriladi va unga mahkamlangan strelka shkala bo'ylab burilib, o'chanayotgan kattalikning tegishli qiymatini ko'rsatadi. Tok uzilganda prujina qo'zg'aluvchi g'altakni dastlabki holatiga qaytaradi. Agar g'altaklardan bir xil tok o'tadigan bo'lsa, unda g'altaklar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi tok kuchining kvadratiga proporsional bo'ladi. Shu sababli elektrodinamik asboblarning shkalasi notekis bo'ladi. Asbob o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulanganda aylantiruvchi momentning yo'nalishi o'zgaraydi, chunki ikkala g'altakdagi tokning yo'nalishi bir vaqtda o'zgaradi. Shu sababli ular ham doimiy, ham o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlatiladi. Elektrodinamik tizimli asboblari kuchlanish, tok kuchi va quvvatni o'lchash uchun zarur asboblari shaklida chikariladi. Agar asbob kuchlanishni o'lchash uchun ishlatilsa, qo'zg'aluvchan va qo'zg'almas g'altaklar ketma-ket ulanadi. Toklarni o'lchash uchun (ampermetrlarda) g'altaklar parallel ulanadi. Quvvatni o'lchaydigan asboblarda (vattmetrda) qo'zg'almas g'altak orqali nagruzka toki, qo'zg'aluvchan g'altak orqali esa nagruzka kuchlanishiga proporsional bo'lgan tok o'tadi; bu nagruzka iste'mol qilayotgan quvvatga proporsional bo'lgan aylantiruvchi moment hosil bo'ladi.

Elektrodinamik asboblarning afzalliklari:

- o'zgaruvchan va o'zgarmas tok zanjirida ishlay oladi;
- kuchlanish, tok kuchi va quvvatni o'lchash mumkin;
- aniqligi yuqori aniqlikga ega;
- vattmetrlarda shkalasi bir tekis.

Kamchiliklariga katta quvvat isrof qilishi, tashqi magnit maydoniga sezgirligi va qimmatligi kiradi.

Ferrodinamik asboblari. Bu xil asboblarning ishlash prinsipi elektrodinamik tizimdagi asboblarning ishlash prinsipiiga asoslangan. Farki shundaki uning qo'zg'almas cho'lg'amlari po'lat o'zakli qilib yasaladi, bu esa asbobning magnit maydonini kuchaytiradi va tashqi maydonlarning ta'sirini bir muncha kamaytiradi. Bu asboblarda ham uning g'altaklari bajaradigan vazifalarga qarab turli usulda ulanadi. Odatda, g'altaklar ampermetrlarda parallel, voltmetrlarda ketma-ket, vattmetrlarda esa biri zanjirga ketma-ket, ikkinchisi esa parallel qilib ulanadi. Ularning aniqlik sinfi 1,0-1,5 bo'ladi.

Induksion tizimli asboblari. Elektr energiyasini o'lchash uchun elektr hisoblagich (schyotchik) lari ishlatiladi. O'zgarmas tok zanjirlarida elektrodinamik hisoblagichlar va o'zgaruvchan hamda uch fazali tok zanjirlarida induksion hisoblagichlar ko'prok ishlatiladi. Induksion tizimdagi hisoblagichlarning ishlash prinsipi uyurma toklarning aylanuvchi magnit moydon bilan o'zaro ta'siriga asoslangan. Bir fazali induksion schotchik ikkita elektromagnit, qo'zg'aluvchan aluminiy disk, reduktor, hisoblash mexanizmi va tormozlovchi magnitlardan iborat. Elektromagnitlarning birining g'altagi iste'molchi bilan ketmaket, ikkinchisining g'altagi esa parallel ulanadi. Ularning magnit maydoni erkin aylanuvchi aluminiy diskda uyurma tok hosil qiladi. Bu tok bilan g'altaklarning magnit maydonlarining o'zaro ta'siri diskda M aylantiruvchi moment hosil qiladi va disk aylanma harakatga keladi.

Nazorat savollari

- Integral mikrosxema (IMS) nima?
- IMSning asosiy xususiyatlari nimada?
- IMS elementi va komponenti deb nimaga aytiladi?
- Pardali, gibrid va yarimo 'tkazgich IMSlar farqini tushuntiring.
- Nima sababdan tranzistor tuzilmasi IMS turli elementlarini tayyorlash asosi bo'lib xizmat qiladi?
- IMS elementlari qanday qilib bir-biridan izolyatsiyalanadi?
- Planar va planar-epitaksial usullari bilan tayyorlangan tranzistorlar nimasi bilan bir-biridan farqlanadi?
- Raqamli va analog IMSlar murakkablik darajasi qanday aniqlanadi?
- Analog va raqamli IMSlarda qanday signallar o'zgartiriladi?

9. IMSlar sinflanishini aytib bering.
10. Yarimo'tkazgich IMSlar ishlatilganda qanday noqulayliklar yuzaga keladi?
11. Induksion tizimdagi hisoblagichlarning ishlash prinsipi nimaga asoslanadi?
12. Elektrodinamik asboblarning afzalliklari va kamchiliklari.
13. Elektrodinamik tizimli asboblarning ishlash prinsipi qanday?
14. Magnitoelektrik tizimli qaysi asboblarda ishlatiladi?
15. Akustik nazorat apparatlari qanday alomatlari bilan klassifikatsiyalanadi?
16. Akustoelektronika nima?
17. Yarimo'tkazgichli integral mikroshemalarda rezistor va kondensatorlarni olish texnologiyasini tushuntiring.
18. Nanozarralar nima?
19. Zonali eritish usulini tushuntiring.
20. Epitaksiya jarayonini tushuntiring.
21. Oltin nanozarralarini sintezi deb nimaga aytiladi?

II BOB ANALOG INTEGRAL MIKROSHEMALAR

2.1. Analog integral mikroshemalar haqida tushunchalar

Analog integral mikroshemalar (AIMS) uzluksiz funksiya qonuniga muvofiq o'zgaruvchan signallarni (ma'lumotni) o'zgartirish va qayta ishlash uchun mo'ljallangan. Axborotning analogli ko'rinishini yuqori aniqlik bilan elektr kuchlanish signallariga aylantirilishi analog signal deb aytiladi. Analog elektr kuchlanish signallari shaklida taqdim etilgan ma'lumotlarni qayta ishlash analog axborotni qayta ishlash deb ataladi. Analog integral mikroshemalarda signalni konvertatsiya qilish (qayta ishlash) va kirishga berish kuchlanishning (yoki tokning) silliq (uzluksiz) o'zgarishi bilan amalga oshiriladi. Har qanday AIMS elementidagi chiqish signali kirish, signalining uzluksiz funksiyasidir. AIMSning alohida holatida chiziqli xarakteristikaga ega bo'lsa bunday mikroshemalar - chiziqli AIMSlar deyiladi. Chiziqli integral mikroshemalarda chiqish signali buzilishsiz, berilgan kuchaytirish koeffitsiyentiga ega bo'lgan (uzatuvchi) kirish signalining chiziqli funksiyasi hisoblanadi. Analog IC'lar asosan kremniy va gally arsenididan foydalanadigan texnologiya yordamida ishlab chiqariladi va ular kuchaytirish, cheklash, chastotani filtrlash, taqqoslash va signallarni almashtirish, uzluksiz funksiya qonuniga muvofiq o'zgartirish uchun mo'ljallangan.

AIMSga qo'yiladigan talablar:

- kirish signalining minimal buzilishi;
- past shovqin darajasi, qisqa o'tish vaqti;
- chiqish signallarining barqarorligi.

Odatda, sxema ko'p sonli turli xil funksional elementlarni o'z ichiga olgan bo'lsa, AIMS tartibsiz tuzilishga ega bo'ladi. Shuning uchun AIMSda integratsiya darajasi raqamli integral mikroshemalarga qaraganda ancha past hisoblanadi. AIMS ko'pincha gibril yoki monolit texnologiya yordamida ishlab chiqariladi. Amalga oshirilgan funksiyalariga ko'ra, AIMSning quyidagi asosiy guruhlar ajratiladi: ko'p maqsadli va operatsion kuchaytirgichlar.

Ko'p maqsadli kuchaytirgichlar ixtisoslashtirilgan analog signallarni o'zgartirishni amalga oshiradilar va vazifalariga ko'ra tasniflanadi:

-quvvat kuchaytirgichlari - past chastotali kuchaytirgichlar, quvvat manbai kuchaytirgichlari va uzatuvchi qurilmalar kuchaytirgichlari;
 -radiochastotalar kuchaytirgichlari - tor polosali, keng polosali va o'ta yuqori chastotali kuchaytirgichlari;

oldindan dasturlashtirilgan o'zgartirishlarni amalga oshiradigan instrumental kuchaytirgichlar - komparatorlar, stabilizatorlar (regulyatorlar), ko'paytirgichlar, konvertorlar, cheklovchilar, chastota tanlash filtrlari va boshqalar.

Operatsion kuchaytirgichlarni o'z ichiga olgan yuqori kuchaytirish koeffitsiyentiga ega bo'lgan doymiy tok kuchaytirgichlari keng qo'llaniladi.

Operatsion kuchaytirgichlar vazifalariga ko'ra tavsiflanadi:

- ✓ asosiy (umumiy) vazifasi, unda hal qilinayotgan vazifaning o'ziga xos xususiyatlariga muvofiq tashqi qo'shimcha elementlarni kiritish orqali asosiy xususiyatlarni o'zgartirishingiz mumkin;
- ✓ keng o'tkazish polosasi (10 MGts dan ortiq) bilan tavsiflangan yuqori tezlik va kirish signalining yuqori o'sish tezligi;
- ✓ yuqori aniqlik - yuqori darajadagi shovqin bilan birga keladigan kichik elektr signallarini kuchaytirish uchun ishlatiladi;
- ✓ quvvatli va yuqori kuchlanishli - yuqori quvvatli va kuchlanishli elementlarda chiqish bosqichlari bilan;
- ✓ ko'p kanalli - bir nechta kanallar orqali signallarni kuchaytirish va ularni ajratish imkoniyati bilan;
- ✓ mikro quvvatli - kam quvvat iste'moli bilan;
- ✓ dasturlashtiriladigan kuchaytirgichlar, ularda sxemaning ichki konfiguratsiyasini o'zgartirish orqali kuchaytirgichning parametrlarini dasturlash (o'matish) mumkin.

2.2. Analog integral mikrosxemalar elementar negiz bosqichlari. Kuchaytirgich parametrlari va xarakteristikalar

O'zgarmas tok kuchaytirgichlari, keng polosali va tanlov kuchaytirgichlari analog mikroelektron apparatura negiz elementlari hisoblanadi.

Kuchaytirgich deb kirish signali quvvatini kuchaytirishga mo'ljallagan qurilmaga aytiladi. Kuchaytirish manbagan energiya iste'mol qilayotgan tranzistorlar hisobiga amalga oshiriladi. Ixtiyoriy

kuchaytirgichda kirish signali faqat manbagan energiyani yuklamaga uzatishni boshqaradi.

Kuchaytirgich xossalari ifodalash maqsadida kuchlanish bo'yicha $K_U = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}}$, tok bo'yicha $K_I = \frac{I_{chiq}}{I_{kir}}$ yoki quvvat bo'yicha $K_P = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}}$

kuchaytirish koeffitsientlari qo'llaniladi. Kuchaytirgichlar turli kuchaytirish koeffitsiyenti qiymatlariga ega bo'lishi mumkin, lekin doim $K_P > 1$ bo'ladi.

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti detsibellarda (dB) $K_U = 20 \lg \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = 20 \lg K_U$ ga teng. Agar ko'p bosqichli kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti detsibellarda ifodalansa, u holda ko'p bosqichli kuchaytirgichning umumiy kuchaytirish bosqich kuchaytirish koeffitsientlari yig'indisiga teng bo'ladi.

2.1- 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	10^2	10^3	10^4

Kuchaytirgich o'zining kirish R_{kir} va chiqish R_{chiq} qarshiliklari bilan, kirish signali manbai - EYuK Eg esa ichki qarshilik R_g bilan xarakterlanadi.

Agar kuchaytirgichda $R_{kir} \gg R_g$ bo'lsa, kuchaytirgich kirishidagi signal manbai E_G ga yaqin kuchlanish yuzaga keltiradi. Bunday rejim potensial kirish deb, kuchaytirgichning o'zi esa **kuchlanish kuchaytirgichi** deb ataladi.

Agar $R_{kir} \ll R_g$ bo'lsa, chiqish kuchlanishi va signal manbai quvvati juda kichik. Bunday rejim tok kirishi, kuchaytirgichning o'zi esa **tok kuchaytirgichi** deb ataladi.

Quvvat kuchaytirgichida $R_{kir} \approx R_g$ bo'ladi, ya'ni kirish signali manbai bilan muvofiqlashgan bo'ladi.

R_{chiq} va kuchaytirgich yuklama qarshiligi R_{yu} qiymatlari nisbatlarini kuchlanish kuchaytirgichi ($R_{kir} \ll R_{yu}$), tok kuchaytirgichi ($R_{kir} \ll R_{gyu}$) va quvvat kuchaytirgichi ($R_{kir} \approx R_{yu}$) ga ajratish mumkin.

Bundan tashqari, o'zgarmas tok kuchaytirgichi parametri bo'lib nol dreyfi hisoblanadi. Nol dreyfi bu barqarorlikni buzuvchi ta'sirlar

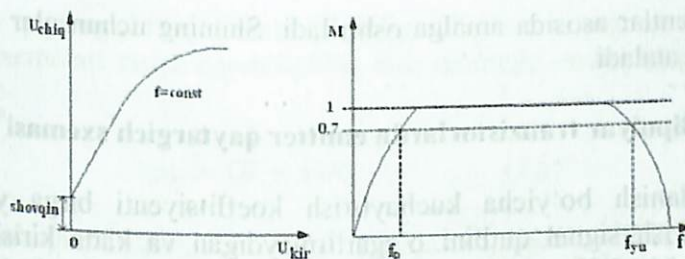
(kuchlanish manbai qiymatining tebranishi, temperatura va boshqalar) natijasida kuchaytirgich elementlari ish rejimlarining o'zgarishi bo'lib, natijada kuchaytirgich chiqishida soxta signal yuzaga keladi.

Kuchaytirgich odatda signalni kuchaytirishdan tashqari uning shaklini ham o'zgartiradi. Kirish va chiqish signallari shaklining normadan og'ishi – *buzilishlar* deb ataladi. Ular ikki turda bo'lishi mumkin: nochiqli va chiziqli.

Barcha kuchaytirgichlar volt – amper xarakteristikalarini (VAX) nochiqli bo'lgan tranzistorlardan tashkil topadi. Bipolyar tranzistor VAX to'g'ri chiziq emas, balki eksponenta shakliga ega. Shu sababli, sinusoidal shaklga ega bo'lgan kirish signali kuchaytirilganda, chiqishdagi signal shakli qisman sinusoidal ko'rinishga ega bo'ladi. Chiqish signali spektrida kirish signalida mavjud bo'lmagan boshqa chastotaga ega bo'lgan tashkil etuvchilar (garmonikalar) paydo bo'ladi. Bu turdagi buzilishlar *nochiqli* deb ataladi.

Agar kuchaytirgich uzatish xarakteristikasi matematik funksiya ko'rinishida ifodalangan bo'lsa, nochiqli buzilishlarni analitik usulda hisoblash mumkin. Uzatish xarakteristikasi (2.1- rasm) deganda o'zgarmas chastotadagi chiqish signali amplitudasi U_{chiq} ning kirish signali amplitudasi U_{kir} ga bog'liqligi tushuniladi. Nochiqli buzilishlar koeffitsiyenti ko'p hollarda berilgan uzatish xarakteristikasidan grafik usulda aniqlanadi.

Chiziqli buzilishlar esa tranzistor parametrlarining chastotaga bog'liqligidan aniqlanadi. Kuchaytirgichning chastota xususiyatlari amplituda-chastota xarakteristikasi (AChX) dan aniqlanadi. AChX deganda kuchaytirish koeffitsiyentining chastotaga bog'liqligi tushuniladi. Ideal AChX gorizontali chiziq hisoblanadi. Real AChX esa kamayuvchi sohalarga ega bo'ladi. 2.1- b rasmda normalashtirilgan AChX $M(f) = \frac{K(f)}{K_0}$ keltirilgan. Bu yerda K_0 – nominal kuchaytirish koeffitsiyent i, ya'ni kuchaytirish koeffitsiyent i o'zgarmas bo'lgan chastota sohalari. Odatda chastota buzilishlarining ruxsat etilgan koeffitsiyent kattaligi 3 dB dan oshmaydi. $\Delta f = f_{yu} - f_p$ kattaligi *kuchaytirgichning o'tkazish polosasi* deyiladi.



2.1- rasm. Kuchaytirgichning uzatish xarakteristikasi (a), amplituda-chastota xarakteristikasi (b)

O'zgarmas tok kuchaytirgichlari deb tok va kuchlanishning nafaqat o'zgaruvchan, balki o'zgarmas tashkil etuvchilarini ham kuchaytirishga mo'ljallangan qurilmalarga aytiladi. Bunday kuchaytirgichlarning past chastotasi nolga teng ($f_p = 0$), yuqori chastotasi esa juda katta (f_{yu} – bir necha o'n MGs) bo'ladi. O'zgarmas tok kuchaytirgichlarining turlari ko'p (differensial, operatsion kuchaytirgichlar, signal o'zgartiruvchi kuchaytirgichlar va boshqalar).

Integral keng polosali kuchaytirgichlar berilgan past chastota f_p dan yuqori chegaraviy chastota f_{yu} gacha bo'lgan keng chastota diapazonidagi signallarni kuchaytiradilar. Keng polosali kuchaytirgichlarga qo'yiladigan asosiy talab - kirish signalini f_p dan f_{yu} gacha diapazonda berilgan kuchaytirish koeffitsiyentida bir tekis kuchaytirish. Bu vaqtda f_p dan f_{yu} gacha oraliqdagi kuchaytirish koeffitsiyent i moduli 3 dB ($M(f) = 0,7$) dan oshmasligi kerak. f_{yu} chastota qiymati bir necha yuz megagersgacha yetishi mumkin.

Tanlov kuchaytirgichlari (filtrlar) deb berilayotgan signallar majmuidan ma'lum chastota spektridagi sinusoidal shaklga ega bo'lganlarini tanlab, ularni kuchaytiradigan kuchaytirgichlarga aytiladi. Tanlov kuchaytirgichlari maxsus shakldagi AChX ga egadirlar.

Signalni kuchaytirish amalga oshiriladigan chastotalar oralig'i, *o'tkazish polosasi* deb ataladi. Signallar so'ndiriladigan chastota polosasi *chegaralovchi chastota* deb ataladi. O'tkazish va chegaralovchi chastotalarning o'zaro joylashishiga ko'ra quyidagi tanlov kuchaytirgichlari turlari mavjud: past chastota, yuqori chastota, polosali o'tkazuvchi, polosali chegaralovchi. Filtrlar RC zanjirlar va

aktiv elementlar asosida amalga oshiriladi. Shuning uchun ular *aktiv filtrlar* deb ataladi.

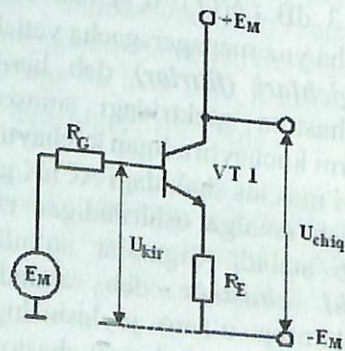
2.3. Bipolyar tranzistorlarda emitter qaytargich sxemasi

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti birga yaqin bo'lgan, kirish signal qutbini o'zgartirmaydigan va katta kirish va kichik chiqish differensial qarshilikka ega bo'lgan kuchaytirgichlar – *qaytargich* deb ataladi.

Emitter qaytargich klassik sxemasi 2.2– rasmda keltirilgan. Tranzistorga o'zgarmas kirish kuchlanishi berilganda (*A* rejim), emitter zanjirida R_E rezistorda kuchlanish pasayishini yuzaga keltiruvchi o'zgarmas tok oqib o'tadi. Chiqish kuchlanish U_{chiq} shunday o'atiladiki, baza – emitter kuchlanishi $U_{BE} = \varphi_T \ln \frac{I_E}{I_{KS}}$ ga teng bo'lsin.

U_{kir} kirish signali ΔU_{kir} kattalikka ortadi (kamayadi) va emitter tokini ortishiga (kamayishiga) olib keladi. Natijada U_{chiq} chiqish kuchlanishi $\Delta U_{chiq} = \Delta I_E R_E$ qiymatga ortadi (kamayadi). Bu vaqtda chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishi kabi ortadi, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyent i esa quyidagiga teng bo'ladi:

$$K_U = \frac{\Delta U_{chiq}}{\Delta U_{kir}} \approx 1$$



2.2- rasm. Emitter qaytargich klassik sxemasi

Emitter qaytargichning kirish qarshiligi UE sxema va tok bo'yicha MTA sxemalari kirish qarshiligidan farq qilmaydi va quyidagiga teng bo'ladi:

$$r_{kir} = (\beta + 1)R_E \quad (2.1)$$

Chiqish qarshiligi r_{chiq} (R_E orqali amalga oshirilgan) 100 % manfiy teskari aloqa hisobiga kamayadi. Bu holat shu sababli sodir bo'ladiki, chiqish kuchlanishining har bir kuchayishi emitter tokini oshiradi, demak baza toki ham ortadi. Unga esa R_G qarshilik ko'rsatadi. Lekin baza zanjiridagi tok emitter zanjiridagi tokka nisbatan $(\beta+1)$ marta kichik bo'ladi, shu sababli chiqish qarshiligi:

$$r_{chiq} = \frac{R_G}{\beta+1} // R_E \quad (2.2)$$

Emitter – baza soha qarshiligini ham hisobga olsak, u holda

$$r_{chiq} = \left(\frac{1}{\beta} + \frac{R_G}{\beta+1} \right) // R_E \quad (2.3)$$

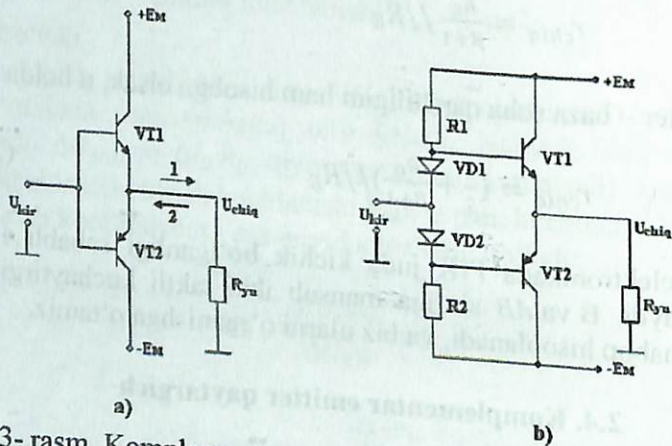
Mikroelektronikada FIK juda kichik bo'lganligi sababli *A* sinfi qo'llanilmaydi. *B* va *AB* sinfiga mansub ikki taktli kuchaytirgichlar ancha ommabop hisoblanadi, va biz ularni o'rganishga o'tamiz.

2.4. Komplementar emitter qaytargich

2.3– rasmda komplementar tranzistorlarda: VT1 – tranzistor *n-p-n* turli va VT2 – tranzistor *p-n-r* turli bajarilgan *V* sinfiga mansub sodda ikki taktli chiqish bosqichi sxemasi keltirilgan. Yuklama tranzistorlarning emitter zanjiriga ulanadi, demak ular kuchlanish qaytargichlari rejimida ishlaydilar. Quvvat kuchayishi tok kuchayishi bilan amalga oshiriladi. Ikki qutbli kuchlanish manbalari ($+E_M$ va $-E_M$) qo'llanilganiga alohida e'tibor qaratamiz. Shu sababli sokinlik rejimida ikkala tranzistor berk holatda bo'ladi, chunki emitter o'tishlardagi kuchlanish nolga teng bo'ladi. Natijada, sokinlik rejimida sxema energiya iste'mol qilmaydi.

Kirishga U_{kir} signalning musbat yarim davri berilsa VT1 ochiladi va R_{yu} yuklama orqali 1 strelka yo'nalishida tok oqib o'tadi. Manfiy yarim davr mobaynida p-n-r turli tranzistor ochiladi va tok 2 strelka yo'nalishida oqib o'tadi. Quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti taxminan emitter va baza toklari nisbatiga teng bo'ladi, ya'ni $(\beta+1)$.

Lekin, B turli kuchaytirgich bo'la turib, sxema katta nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentiga ega ($K_G > 10\%$). Bu kamchilikni bartaraf etish maqsadida kuchaytirgich murakkablashtiriladi. R1 va R2 rezistorlar, hamda VD1 va VD2 diodlar yordamida tranzistor bazalariga individual siljish kiritiladi (2.3b - rasm). Natijada dastlabki ishchi nuqta ikkala tranzistor ozgina ochiq holatdagi (AB rejim) sohada joylashadi, lekin ulardan A turli kuchaytirgichlardagiga nisbatan ancha kichik tok oqib o'tadi.



2.3- rasm. Komplementar tranzistorlarda emitter qaytargich

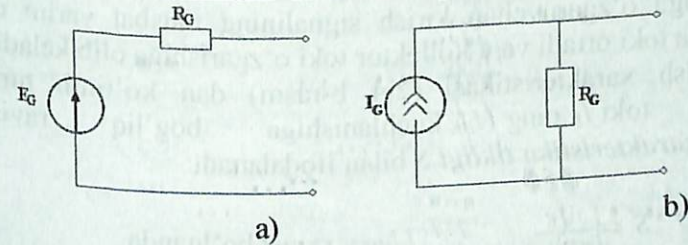
2.5. Keng polosali kuchaytirgichlar. Bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi

Analog integral mikrosxemalar elementar negiz bosqichlar asosida yasaladilar. Negiz bosqichlarga UE sxemada ulangan bipolyar tranzistorlar hamda UI sxemada ulangan maydoniy tranzistorlardan yasalgan bir bosqichli kuchaytirgichlar kiradi. Negiz bosqichlar bir vaqtning o'zida tok yoki kuchlanish hamda tok va kuchlanish bo'yicha kuchaytirish bilan quvvatni kuchaytiradilar.

Bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichlaridan biri bo'lgan umumiy emitter sxemada ulangan bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi eng keng tarqalgan. Kuchaytirgich tahlil qilganda signal manbai yoki qarshilik R_G bilan ketma - ket ulangan ideal kuchlanish manbai E_G ko'rinishida (2.4 a-rasm), yoki qarshilik R_G bilan parallel ulangan ideal tok manbai I_G ko'rinishida (2.4 b-rasm) ifodalanishi mumkin.

Agar R_G va kuchaytirgich bosqichining kirish qarshiligi qiymatlari bir - biriga yaqin bo'lsa, signal manbaining turi hisoblash aniqligiga ta'sir ko'rsatmaydi. Agar R_G kuchaytirgich bosqichining kirish qarshiligidan ancha katta bo'lsa, 2.3 b-rasmda keltirgan signal manбайдan, aks holda esa 2.3 a-rasmda keltirgan signal manбайдan foydalanish tavsiya etiladi.

Umumiy emitter sxemada ulangan bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi sxemasi 2.4 a - rasmda keltirilgan. Sxemani tahlil qilganda, tranzistor holati kirish kuchlanishi bilan boshqarilganda uzatish xarakteristikasi (2.4 b-rasm), chiqish xarakteristikalar oilasi hamda kirish xarakteristikalar oilasidan foydalanish qulay.

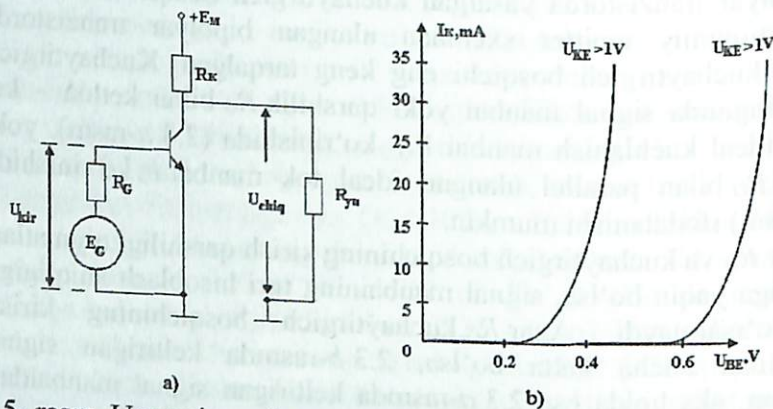


2.4- rasm. Kuchaytirgich tahlil qilish sxemasi

Uzatish xarakteristikasi - kollektor toki I_K ning baza - emitter kuchlanishi U_{BE} ga bog'liqligi eksponensial funksiya bilan approksimatsiyalanadi.

$$I_K = I_{KS} \exp\left(\frac{U_{BE}}{\varphi_T}\right) \quad (2.4)$$

Bu yerda $\varphi_T = \frac{kT}{q}$ termik potensial, I_{KS} - proporsionallik koeffitsiyent i bo'lib uning tahminiy qiymati mikroquvvatli kremniyli tranzistorlar uchun $T=300$ K bo'lganda 10^{-9} mA tartibga ega bo'ladi.



2.5- rasm. Umumiy emitter sxemada ulangan bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich sxemasi

Kirish signali mavjud bo'lmaganda kuchaytirgich kaskadi sokinlik rejimida bo'ladi. Sokinlik rejimida kollektor - emitter kuchlanishining doimiy tashkil etuvchisi $U_{KE} = E_M - I_K R_K$.

Kirishga o'zgaruvchan kirish signalining musbat yarim davri berilsa, baza toki ortadi va u kollektor toki o'zgarishiga olib keladi. Bu holat uzatish xarakteristikasi (2.4 b-rasm) dan ko'rinib turibdi. Kollektor toki I_K ning U_{BE} kuchlanishiga bog'liq ravishda o'zgarishi *xarakteristika tikligi* S bilan ifodalanadi:

$$S = \frac{dI_K}{dU_{BE}} \quad U_{KE} = \text{const bo'lganda}$$

Bu kattalikni (2.2) ifodadan foydalanib ham topish mumkin:

$$S = \frac{dI_K}{\varphi_T} \quad (2.5)$$

Shunday qilib, tiklik kollektor tokiga proporsional bo'lib, har bir tranzistorning individual xossalriga bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun bu kattalikni aniqlashda o'lchashlar talab qilinmaydi.

Kirish signali ta'siri natijasida R_K dagi kuchlanish ortadi, U_{KE} kuchlanish esa kamayadi, ya'ni manfiy yarim davrli chiqish signali shakllanadi. Demak, bunday kuchaytirgich bosqichi chiqish va

kirish kuchlanish signallari orasida 180° ga faza siljishini amalga oshiradi. Kollektor toki I_K

$$\Delta I_K = S \Delta U_{BE} = S \Delta U_{kir}$$

kattalikka ortadi. Chiqish kuchlanishi U_{chiq} esa

$$\Delta U_2 = -I_K R_K = -S \Delta U_{kir} R_K$$

kattalikka kamayadi.

Demak kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti (yuklama mavjud bo'lmaganda ($I_{YU} = 0$)), quyidagiga teng:

$$K_U = \frac{\Delta U_{chiq}}{\Delta U_{kir}} = -S R_K \quad (2.6)$$

Masalan, agar $R_K = 5 \text{ kOm}$; $\varphi_T = 25 \text{ mV}$; $I_K = 1 \text{ mA}$; $S = 40 \text{ mA/V}$, u holda $K_U = -200$.

Kollektor toki faqat U_{BE} kuchlanishiga emas, balki U_{KE} kuchlanishiga ham bog'liq bo'ladi. Bu bog'liqlik *differensial chiqish qarshiligi* bilan xarakterlanadi

$$r_{KE} = \frac{dU_{KE}}{dI_K} = \frac{U_E}{I_K} \Big|_{U_{BE} = \text{const}}$$

Bu yerda U_E ning qiymatlari kremniyli n-p-n tranzistorlar uchun 80-200 V atrofida bo'ladi. r_{KE} hisobiga

$$K_U = -S \left(\frac{R_K}{r_{KE}} \right) \quad (2.7)$$

Signal manbaiga nisbatan kuchaytirish bosqichi uchun kirish qarshiligi katta rol o'ynaydi. Uning qiymati qancha katta bo'lsa, signal manbai shuncha kam yuklanadi va shunchalik yaxshi kirish bosqichiga uzatiladi. Kirish zanjirini yuklamaga ulangan kuchlanish manbai ko'rinishida ifodalash uchun *differensial kirish qarshiligi* kattaligi kiritiladi.

$$r_{kir} = r_{BE} = \left. \frac{dU_{BE}}{dI_B} \right|_{U_{KE} = const}$$

Kirish qarshiligi r_{BE} va tiklik S orasida quyidagi bog'liqlik mavjud:

$$r_{BE} = \frac{\beta}{S}$$

bu yerda β - tok uzatish differensial koeffitsiyenti. Amaliy hisoblar uchun quyidagi nisbatdan foydalanish mumkin

$$r_{BE} = \frac{\beta \cdot \varphi_T}{I_K} \quad (2.8)$$

Kuchaytirgich bosqichining chiqish yoki ichki qarshiligi r_{chiq} bu bosqichni yuklama (keyingi bosqich) bilan o'zaro ta'sirlashuvida katta rol o'ynaydi. Kuchaytirgichning chiqish qarshiligi yuklamadan tok oqib o'tayotganda chiqish kuchlanishini kamayishiga olib keladi va bu holatni kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblayotganda hisobga olish kerak bo'ladi.

Yuklama qarshiligi R_{yu} va chiqish qarshiligi r_{chiq} kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyentini $R_{yu}/(r_{chiq} + R_{yu})$ martaga kamaytiruvchi kuchlanish bo'luvchisini hosil qiladilar. Chiqish ichki qarshiligi $r_{chiq} = R_K/r_{KE}$. Natijada yuklamadagi kuchaytirish koeffitsiyenti

$$K_{U_{yu}} = -S \left(\frac{r_{chiq}}{R_{yu}} \right) \quad (2.9)$$

Kuchaytirish koeffitsiyenti temperatura o'zgarishiga bog'liq,

$$\text{chunki } S = \frac{dI_K}{\varphi_T}$$

Nihoyat, tok bo'yicha differensial kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

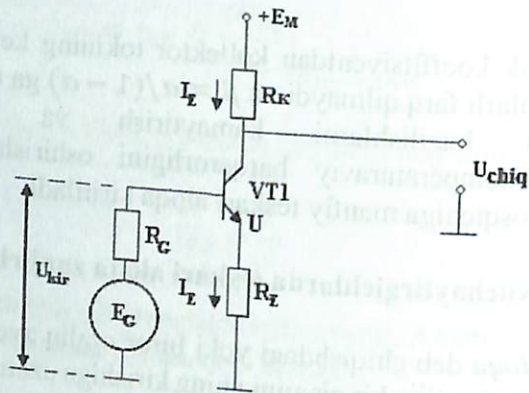
$$\beta = \left. \frac{dI_K}{dI_B} \right|_{U_{KE} = const}$$

Bu kattalik statik koeffitsiyentdan kollektor tokining keng o'zgarish diapazonida sezilarli farq qilmaydi va $\beta = \alpha/(1 - \alpha)$ ga teng.

Nochiziqli buzilishlarni kamaytirish va kuchaytirish koeffitsiyentini temperaturaviy barqarorligini oshirish maqsadida kuchaytirgich bosqichiga manfiy teskari aloqa kiritiladi.

2.6. Kuchaytirgichlarda teskari aloqa zanjirlari

Teskari aloqa deb chiqishdagi yoki biror oraliq zveno qurilmasi chiqishdagi energiyaning bir qismini uning kirishiga uzatishga aytiladi. Buning uchun sxemaga maxsus zanjir kiritiladi va u teskari aloqa zanjiri deb ataladi. Bu zanjir kuchaytirgich chiqishdagi quvvatning bir qismini uning kirishiga uzatishga xizmat qiladi. Bir bosqichni o'z ichiga oladigan teskari aloqa - **mahalliy**, ko'pbosqichli kuchaytirgichning ba'rini o'z ichiga oladigan teskari aloqa - **umumiy** deb ataladi. Teskari aloqaning mavjudligi qurilma chiqishdagi signalning, demak kuchaytirish koeffitsiyentining ham ortishi yoki kamayishiga olib kelishi mumkin. Birinchi holatda kirish signali fazasi bilan teskari aloqa signali fazalari bir - biriga mos keladi va ularning amplitudalari ko'shiladi - bunday teskari aloqa **musbat teskari aloqa** deb ataladi. Ikkinchi holatda esa fazalar teskari bo'lib, amplitudalar bir - biridan ayiriladi - bunday teskari aloqa **manfiy teskari aloqa** deb ataladi. Kuchaytirgichlarda faqat manfiy teskari aloqa (MTA) qo'llaniladi. MTA ning kiritilishi signal kuchayishini kamaytiradi, lekin parametrlarning barqarorligi ortadi va nochiziqli buzilishlar kamayadi. Quyidagi rasmda manfiy teskari aloqali bir bosqichli kuchaytirgich sxemasi keltirilgan.



2.6-rasm. Manfiy teskari aloqali bir bosqichli kuchaytirgich sxemasi

Bu yerda MTA emitter zanjiriga R_E rezistor kiritilishi bilan amalga oshirilgan. Kirish kuchlanishi U_{kir} ortishi bilan emitter toki ortadi, shu sababli R_E rezistorda kuchlanish pasayishi ham ortadi: $U_E = I_E R_E$, chunki baza-emitter o'tishida kuchlanish kirish kuchlanishiga nisbatan kichik bo'ladi $U_{BE} = U_{kir} - U_E$.

Kirish va R_E rezistordagi kuchlanishlarning o'zgarishi bir-biriga teng deb hisoblash mumkin, ya'ni baza-emitter kuchlanishi o'zarishi ΔU_{BE} ni hisobga olmasa ham bo'ladi. R_E orqali oqib o'tayotgan tok R_K dan ham oqib o'tadi, demak, bu tokning o'zgarishi kolektordagi rezistorda emitterdagi rezistordagiga nisbatan R_{KE}/R_E marta katta kuchlanish ortishiga olib keladi. Agar $\Delta U_E = \Delta U_{kir}$ ni inobatga olsak:

$$K_U = \frac{\Delta U_{chiq}}{\Delta U_{kir}} = \frac{R_K}{R_E} \quad (2.10)$$

Bu ifodaga tranzistorning tokka bog'liq bo'lgan parametrlari kirmaydi. Shu sababli, kollektor toki emitter tokidan ancha farq qilishini hisobga olsak, MTA li kuchaytirgichning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti kam miqdorda bo'lsa ham tok qiymatiga bog'liq bo'ladi:

$$K_U = \frac{S R_K}{1 + S R_E} \quad (2.11)$$

Kuchaytirgich kirish qarshiligi qiymati $r_{kir} = r_{BE} + \beta R_E$ MTA hisobiga ortadi. Chiqish qarshiligi esa manfiy teskari aloqa hisobiga sekin ortadi va R_K qiymatiga intiladi.

2.7. Maydoniy tranzistorlarda yasalgan kuchaytirgichlar

Maydoniy tranzistorlardan kuchaytirgich yasashda umumiy istok (UI) sxemada ulangan maydoniy tranzistorlar keng qo'llaniladi. 2.7 - rasmda n - kanalli $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi keltirilgan. $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorda stok va zatvorga berilayotgan kuchlanish ishoralari (qutblari) bir-biriga teskari bo'lishi kerak. Shu sababli o'zgarimas tok bo'yicha rejim hosil qilish uchun R_I rezistor kiritiladi va u ketma-ket MTAni hosil qiladi. Bundan tashqari, kuchaytirgich parallel kirishlariga R_{SI} rezistor ulanadi va u zatvorni umumiy shina bilan galvanik aloqasini ta'minlaydi va kuchaytirgich kirish qarshiligini barqarorlaydi.

Berilgan I_{S0} sokinlik toki uchun R_I kattaligi maydoniy tranzistor stok - zatvor VAXsidan aniqlanadi. VAXdan U_{Z10} ni aniqlab R_I ni quyidagi ifodadan qiynalmas aniqlash mumkin:

$$U_{Z10} = -I_{S0} R_I$$

Kirishga o'zgaruvchan signalning musbat yarim davri U_{KIR} berilganda chiqishda teskari fazadagi signal U_{chiq} hosil bo'ladi, ya'ni UI sxemadagi kuchaytirgich bosqichi kirish signalini inverslaydi. Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagiga teng:

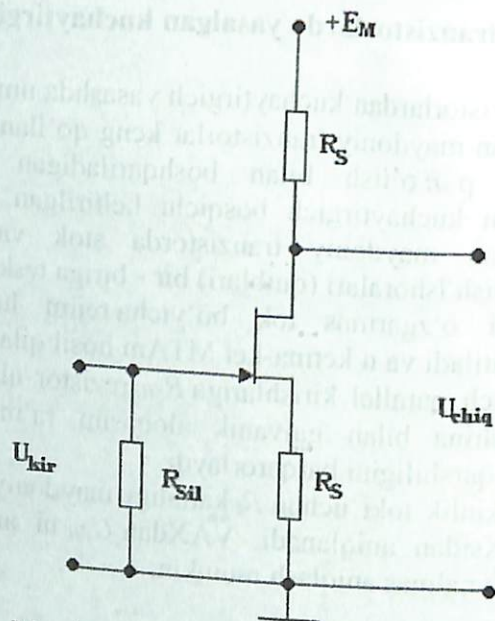
$$K_U = \frac{\Delta U_{chiq}}{\Delta U_{kir}} = \frac{\Delta U_{SI}}{\Delta U_{Z1}} = \frac{S r_S \cdot R_S}{r_S + R_S} = -\frac{\mu_n \cdot R_S}{r_S + R_S} \quad (2.12)$$

"Manfiy" ishora UIli sxema signalni inverslashini bildiradi. Amaliyotda $r_S \geq R_S$, shu sababli kuchaytirish koeffitsiyentini quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin

$$k_U = -S \cdot R_S \quad (2.13)$$

UI sxemadagi real kuchaytirgich kaskadlarida:

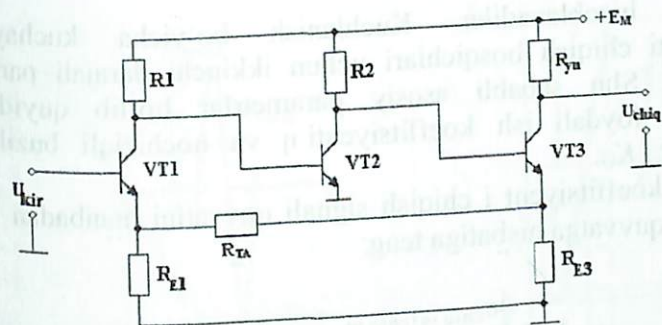
$$K_U = 3 \div 50, R_{KIR} \cong R_{SIL}, R_{chiq} \cong R_S.$$



2.7- rasm. Maydoniy tranzistorda umumiy istok (UI) ulanishli kuchaytirgich sxemasi

2.8. Ko'p kaskadli kuchaytirgichlar

Kuchaytirgich parametrlarining yaxshi barqarorligini ta'minlab beruvchi manfiy teskari aloqa kuchaytirish koeffitsiyentini keskin kamaytiradi. Katta K_U qiymatini olish uchun keng polosali ko'p kaskadli kuchaytirgichlar qo'llaniladi. 2.8 - rasmda ketma - ket - parallel teskari aloqali uch bosqichli kuchaytirgich prinsipial sxemasi keltirilgan. Birinchi UE bosqich VT1 tranzistorda bajarilgan, unda tok bo'yicha mahalliy ketma - ket MTA mavjud bo'lib, u R_{E1} da bajarilgan. Ikkinchi bosqich VT2 tranzistorda bajarilgan. Uchinchi bosqich VT3 tranzistorda bajarilgan bo'lib, R_{E3} rezistor mahalliy MTAni amalga oshiradi.



2.8- rasm. Teskari aloqali uch kaskadli kuchaytirgich prinsipial sxemasi

Mahalliy MTAdan tashqari kuchaytirgichda umumiy teskari aloqa qo'llanilgan. U kuchaytirgich bosqich chiqishini VT1 tranzistor emitteri bilan bog'lovchi R_{TA} rezistor zanjirida bajarilgan. Mahalliy (bosqichlar ichidagi) teskari aloqalarga nisbatan butun kuchaytirgichni qamrab oladigan teskari aloqa, yanada yuqori barqarorlikni hamda alohida bosqichlarni kuchaytirish koeffitsiyenti og'ishiga sezgirlikni kamayishini ta'minlaydi. 2.8- sxema integral kuchaytirgich yasashda asos hisoblanadi.

Lekin teskari aloqali asosiy uch bosqichli kuchaytirgichdan tashqari, integral kuchaytirgich sxemasi kichik chiqish qarshiligini ta'minlash uchun va kuchaytirgichda qo'shimcha keng polosalik, chidamlilik, temperaturaviy barqarorlik va o'zidan oldingi chiqish bosqichi kuchlanishi o'zgarmas tashkil etuvchisini keyingi bosqich kirish kuchlanishi o'zgarmas tashkil etuvchisi bilan muvofiqlashni ta'minlash uchun chiqish bosqichi sifatida emitter qaytargichga ega bo'ladi. Gap shundaki, turli katta sig'implarga ega bo'lgan kondensatorlarning mavjud emasligi tufayli barcha bosqichlar o'zgarmas tok bo'yicha o'zaro bog'langan.

2.9. Analog integral sxemalarning chiqish kaskadlari. Quvvat kuchaytirgichlari

Chiqish kaskadlarining vazifasi - signalning berilgan (yetarlicha katta) quvvatini buzilishsiz past omli yuklamaga uzatishni ta'minlash. Odatda ko'p bosqichli kuchaytirgichlarda ular chiqish

bosqichlari hisoblanadilar. Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti chiqish bosqichlari uchun ikkinchi darajali parametr hisoblanadi. Shu sababli asosiy parametrlar bo'lib quyidagilar hisoblanadi: foydali ish koeffitsiyenti η va nohiziqli buzilishlar koeffitsiyenti K_G . Foydali ish koeffitsiyenti η chiqish signali quvvatini manbadan tortib olinayotgan quvvatga nisbatiga teng:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} U_{chiq.m} I_{chiq.m}}{E_M I_{ort}} \quad (2.14)$$

bu yerda $I_{chiq.m}$, $U_{chiq.m}$ — chiqish kattaliklar amplitudasi, E_M — kuchlanish manbai, I_{ort} — o'rtacha tok.

Nohiziqli buzilishlar koeffitsiyenti chiqish signali shaklining kirish signali shaklidan farqini ifodalaydi. Bu farq bosqichning uzatish xarakteristikasining nohiziqli sababli yuzaga keladi. Kuchaytirgich bosqichi uzatish xarakteristikalari chiqish kattaligini (I_{chiq} yoki U_{chiq}) kirish kattaligiga (I_{kir} yoki U_{kir}) bog'liqligini ifodalaydi.

η va K_G kattaliklari ko'p hollarda tranzistorning sokinlik rejimi — kuchaytirish sinfi bilan aniqlanadi. Shu sababli quvvat kuchaytirgichlarida qo'llaniladigan kuchaytirgich sinflarini ko'rib chiqamiz.

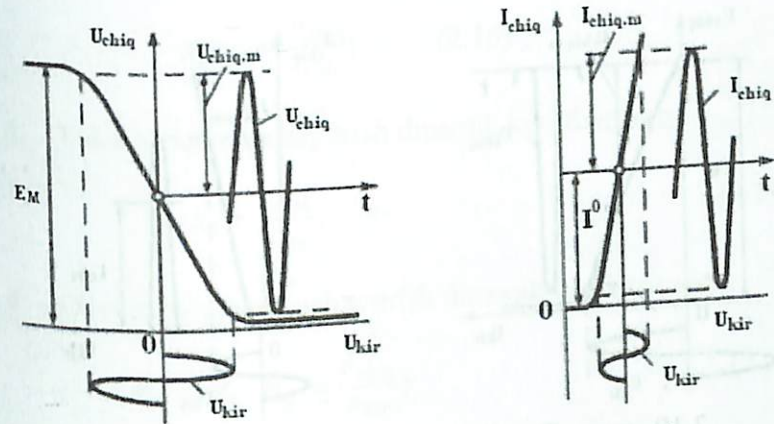
Uzatish xarakteristikasidagi ishchi nuqta (sokinlik nuqtasi) holatiga ko'ra *A*, *B*, *AB* va *boshqa kuchaytirish sinflari* mavjud.

A rejimda sokinlik rejimida ishchi nuqta uzatish xarakteristikasi kvazichiziq soha o'rtasida joylashadi (2.9- rasm).

Kirish signalining ikkala yarim davri uzatish xarakteristikasining kvazichiziq sohasida joylashganligi sababli nohiziqli buzilishlar eng kichik ($K_G \leq 1\%$) bo'ladi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, agar $u_{chiq.m} = \frac{1}{2} E_M$; $I_{chiq.m} = I_{ort}$ bo'lsa, u holda (2.14) ni o'rninga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$\eta = \frac{1}{4}$$

yani 25% ni tashkil etadi.



2.9- rasm. A rejimda uzatish xarakteristikasi

B rejimda sokinlik rejimidagi ishchi nuqta tranzistorning berk holatiga mos keluvchi kvazichiziq soha chegarasida joylashadi. Tranzistor faqat musbat yarim davr mobaynida ochiq holatda bo'ladi (2.9- rasm).

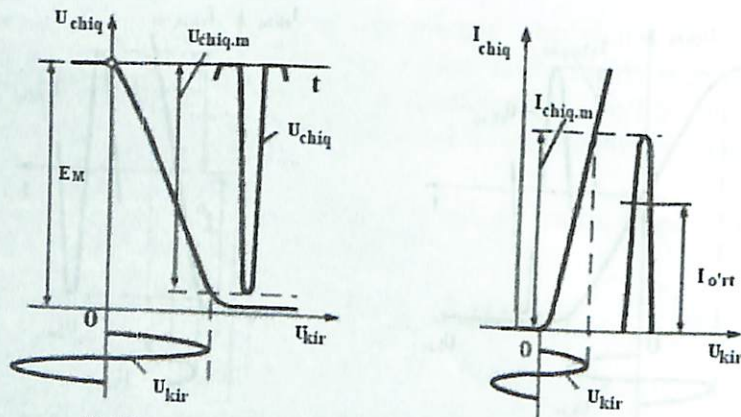
B rejimda K_G 70 % atrofida bo'ladi. (2.14) ifodaga E_M va $I_{ort} = \frac{2}{\pi} I_{chiq.m}$ larni qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\eta = \pi/4$$

yani 78% ni tashkil etadi.

B rejimda nohiziqli buzilishlarni kamaytirish maqsadida musbat yarim davrni, ikkinchisi — manfiy yarim davrni kuchaytiradigan, ikkita kuchaytirgichdan tashkil topgan *ikki taktli sxema* qo'llaniladi.

AB sinfi *A* va *B* sinflari oralig'idagi holatni egallaydi va ikki taktli qurilmalarda qo'llaniladi. Bu yerda sokinlik rejimida bir tranzistor berk bo'lganda, ikkinchisi ochilish arafasida bo'ladi, lekin bu holat asosiy ishchi yarim davrni kichik inersiyaga ega bo'lgan VAX sohasiga olib chiqishga imkon yaratadi. η koeffitsiyent *A* sinfiga nisbatan yuqori, $K_G \leq 3\%$ bo'ladi.



2.10- rasm. B rejimda uzatish xarakteristikasi

2.10. Kuchaytirgich kaskadining asosiy parametrlarini hisoblash

Ishchi (dinamik) rejimda, ya'ni tranzistorning chiqish zanjiriga yuklash qarshiligi ulangan bo'lsa, kirishga esa o'zgaruvchan signal berilsa, tranzistorning tavsif va parametrlarini sxemaga bog'lamasdan turib ko'rib bo'lmaydi. Umumiy holatda yuklash qarshiligi reaktiv, aralash yoki faqat aktiv (faol) bo'lishi mumkin. Faqat faol yuklash holatini ko'rib chiqamiz. Ishchi (dinamik) rejimda ishlayotgan tranzistorning tavsif va parametrlarini ishchi yoki dinamik deyiladi. Tranzistorning ishchi yoki dinamik parametrlari tranzistorning dinamik rejimida tok va kuchlanishlarni kichik o'zgarishida bog'laydi. Bunday parametrlari bo'lib kirish va chiqish qarshiliklari hisoblanadi, ularning miqdorlari signal manbai va yuklanish bilan tranzistorning kelishtirish sharti aniqlaydi va tokni, kuchlanishni va quvvatni kuchaytirish koeffitsiyentlaridir. Bu parametrlarning har biri quyidagicha aniqlanadi:

1. Kirish qarshiligi – bu $R_{yu}=0$ bo'lganida o'zgaruvchan kirish toki uchun tranzistorning kirish zanjirining qarshiligi:

$$R_{kir} = \frac{U_{kir}}{I_{kir}} \quad (2.15)$$

2. Chiqish qarshiligi – bu $R_{yu}=0$ bo'lganida o'zgaruvchan chiqish toki uchun tranzistorning chiqish zanjirining qarshiligi:

$$R_{chiq} = \frac{U_{chiq}}{I_{chiq}} \quad (2.16)$$

3. Tok bo'yicha kuchaytirish dinamik koeffitsiyenti:

$$K_I = \frac{I_{chiq}}{I_{kir}} \quad (2.17)$$

4. Quvvat bo'yicha kuchaytirish dinamik koeffitsiyenti

$$K_P = K_I \cdot K_U = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}} \quad (2.18)$$

Kichik sinusoidal signallar kuchaytirilganda ishchi parametrlarini tok va kuchlanish amplitudalari nisbati sifatida aniqlash mumkin.

Ishchi sxemaga ulangan tranzistor uchun oqadigan toklar va berilgan kuchlanishlar o'rtasidagi grafikli bog'lama dinamikaviy tavsilotlari bilan aniqlanadi. Huddi statik rejimiga o'xshab, tajriba o'tkazib olish, yoki kirish va chiqish dinamikaviy tavsilotlarini qurish mumkin.

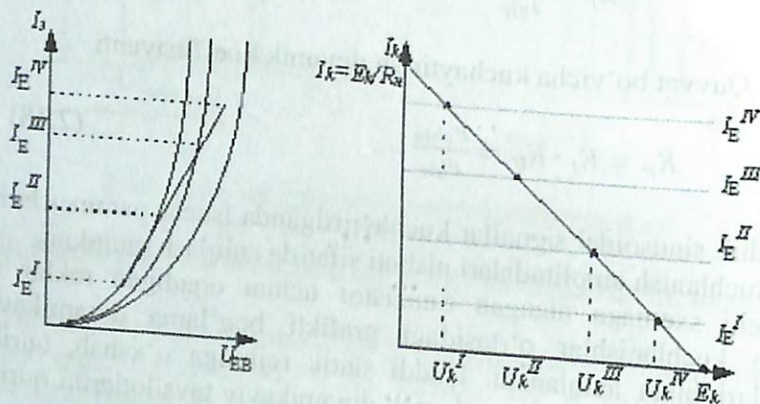
Amalda ishni dinamik rejimini va tranzistorning ishchi parametrlarining to'liq hisobini bajarish uchun statik tavsiflarni ikki oilasiga ega bo'lish kerak: kirishlar va chiqishlar, ularga tegishli kirish va chiqish dinamik tavsiflari qurilishi lozim. Statik chiqish tavsiflari oilasida chiqish dinamik tavsiflarini qurish uchun $I_{chiq} = f(U_{chiq})|_{I_{ex} = const}$ yuklanish to'g'ri chizig'i quriladi. Kirxgof qonuni bo'yicha $U_{chiq} = E_M - I_{chiq} R_{yu}$, bu yerda E_M – chiqish zanjiridagi ta'minlash manbaining kuchlanishi, bunda yuklanish to'g'ri chizig'i ikki nuqta bo'yicha qurilishi mumkin, agar E_M va R_{yu} ma'lum bo'lsa:

$$1. I_{chiq} = 0; U_M = E_M$$

$$2. U_M = 0, unda I_{chiq} = \frac{E_M}{R_{yu}}$$

yuklama to'g'ri chizig'ini statik tavsiflari bilan kesib o'tuvchi nuqtalar chiqish dinamik tavsiflar yo'lini aniqlaydi. Kirish statik tavsiflarning $U_{kir} = f(I_{ok})|_{U_{chiq} = const}$ oilasida kirish dinamik tavsiflarning qurilishi tenglamalar yordamida (E_M va R_{yu} ma'lum bo'lganida), yoki qurilgan

chiqish dinamik tavsiflaridan o'tkazish yo'li bilan bajarilishi mumkin. Ohirgi holatda dinamik chiqish tavsiflarini statiklari bilan kesib o'tish nuqtalari uchun I_{kir} miqdorlari aniqlanadi (uning uchun chiqish statik tavsifi olingan) va U_{chiq} , olingan miqdorlari statik kirish tavsiflar oilasiga o'tkaziladi. Ravon egri chiziqdagi olingan nuqtalarni birlashtirib kirish dinamik tavsifi olinadi.



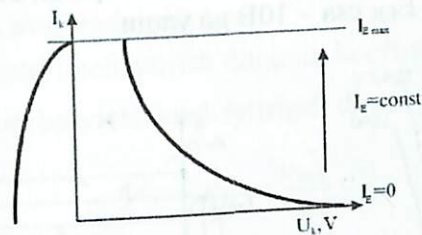
2.11-rasm. UB sxemasida ulangan tranzistorning kirish va chiqish dinamik xarakteristikalari

Ba'zi tranzistorlar uchun statik kirish tavsiflari bir biriga juda yaqin joylashadi. Bunday holatda, taxminan hisoblanadi, $U_k > 0,5-5B$ bo'lganida olingan kirish dinamik tavsifi statik bilan birlashadi.

Past chastotali kichik signallarni kuchaytirish sifatida ishlaydigan tranzistor ishlashini dinamik rejimini tanlaganda, esda tutish kerak:

1. O'zgaruvchan tok va kuchlanishlarni o'zgarishi, to'yinish va kesib tashlash hududida emas, balki faqat faol hududida.
2. Tranzistor ishlashining dinamik rejimi yo'l qo'yiladigan maksimal miqdorlari bilan cheklangan:
 - a) $I_{E\ max}$ - emitter o'tishining quvvati bilan aniqlanadigan yo'l qo'yiladigan maksimal emitter toki;
 - b) $U_{k\ max}$ - teshuvchi kuchlanish bilan aniqlanadigan yo'l qo'yiladigan maksimal kollektor kuchlanishi;
 - c) $R_{k\ max, yo'l\ qo'y.}$ - kollektorli o'tishning yo'l qo'yiladigan sochilish quvvati.

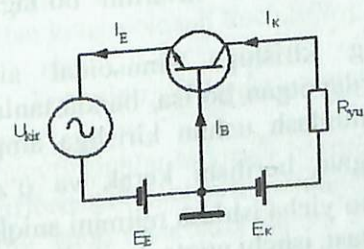
Kuchaytirgich sifatida tranzistor ishlaganda ishchi nuqta chiqib ketishi mumkin bo'lmagan hudud chegarasi 2.12-rasmda ko'rsatilgan.



2.12-rasm. Ishchi nuqta chiqib ketishi mumkin bo'lmagan chegaraviy nuqtalari

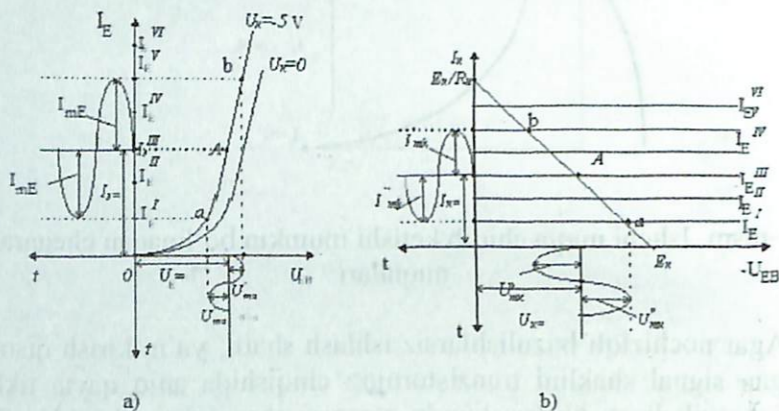
Agar nochiziqli buzulishlarsiz ishlash sharti, ya'ni kirish qismiga berilgan signal shaklini tranzistorning chiqishida aniq qayta tiklash sharti qo'yiladigan bo'lsa, bunda o'zgaruvchan tok va kuchlanishlar o'zgarishi chiqish tokini o'zgarishi kirish toki o'zgarishiga to'g'ri proporsional bo'lgan chiqish dinamik tavsiflari sohasida bo'lib o'tishi kerak. Bundan tashqari, tranzistorlardagi nochiziqli buzulishlar to'satdan kirish dinamik tavsifini nochiziqlik darajasi bilan aniqlanishi sababli, o'zgaruvchan tok va kuchlanishlarni o'zgarishi kirish dinamik tavsifini to'g'richiziqli bo'lagida yotishi zarur.

Shu sabablarga ko'ra, emitterli va kollektorli o'tishlarga beriladigan yuklama qarshiligi R_{yu} va o'zgarimas kuchlanish miqdorlari aniqlanadi. Misol tariqasida tranzistorda yig'ilgan bir kaskadli kuchaytirgichni ko'rib chiqamiz (2.13-rasm).



2.13-rasm. UB sxemasida tranzistorda yig'ilgan bir kaskadli kuchaytirgich

Bu sxemada alohida manbadan E_m olingan qaydlangan surilish ishlatiladi, uning yordamida kirish dinamik tavsifida ishchi nuqta holati belgilanadi. R_{yu} miqdori birnecha kOm ni tashkil qiladi, bu esa chiqish qarshiligidan ancha kam, E_{EK} esa – $10B$ ga yaqin.



2.14- rasm. Tranzistorning kirish (a) va chiqish (b) statik tavsiflari

Tranzistorning statik tavsiflari 2.14- a,b rasmlarda ko'rsatilgan. Faraz qilamiz R_{yu} va E_k berilgan.

Chiqish dinamik tavsifini ikki nuqta bo'yicha qurish mumkin. Hisoblaymizki, $U_k = -5B$ bo'lganida olingan kirish dinamik tavsifi statik bilan to'g'ri keladi. Agar minimal noxiziqli buzulishlar sharti qo'yilgan bo'lsa, bunda dinamik tavsiflarda o'zgaruvchan tok va kuchlanish o'zgarishi a,b (2.14- rasm) bo'lagi chegarasidan chiqishi kerak emas. O'zgaruvchan tok va kuchlanishni o'zgarishi bo'lib o'tayotgan chegarasidagi dinamik tavsifini bo'lagi, ishchi bo'lagi deyiladi.

Agar tranzistorning kirishiga sinusoidal signal $I_E = I_{mE} \cdot \sin \omega t$ ko'rinishida berilayotgan bo'lsa, bunda tanlangan a, b ishchi bo'lagida ishlashini ta'minlash uchun kirishga amplitudali $I_{mE} = \frac{I_{E5} - I_{E1}}{2}$ o'zgaruvchan signal berilishi kerak va o'zgarimas tokning tarkibini o'zgarimas tok bo'yicha ishlash rejimini aniqlaydigan dinamik tavsifidagi joylanish nuqtasi, ishchi nuqta deyiladi (grafikda A nuqtasi).

$$I_E = I_{E5} - I_{mE} = I_{E1} - I_{mE} \quad (2.19)$$

Ko'rinib turibdiki, agar I_E va I_{mE} ma'lum bo'lgan, bunda grafikdan U_E , I_K , U_K ni va o'zgaruvchan tarkiblar amplitudasini U_{mE} , I_{mK} , U_{mK} olish mumkin.

Endi oson hisoblash mumkin:

- tok bo'yicha kuchaytirish dinamik koeffitsiyentini: $k_I = \frac{U_{mK}}{I_{mE}}$;
- kuchlanish bo'yicha kuchaytirish dinamik koeffitsiyentini

$$K_U = \frac{U_{mK}}{U_{mE}};$$

- quvvat bo'yicha kuchaytirish dinamik koeffitsiyentini:

$$K_P = K_I \cdot K_U = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}} = \frac{U_{mK} \cdot I_{mK}}{2} \cdot \frac{2}{I_{mE} \cdot U_{mE}} = \frac{U_{mK} \cdot I_{mK}}{U_{mE} \cdot I_{mE}};$$

- o'zgaruvchan tok bo'yicha kirish qarshiligi:

$$R_{kir} = \frac{U_{mE}}{I_{mK}};$$

- o'zgaruvchan tok bo'yicha chiqish qarshiligi:

$$R_{chiq} = \frac{U_{mK}}{I_{mK}};$$

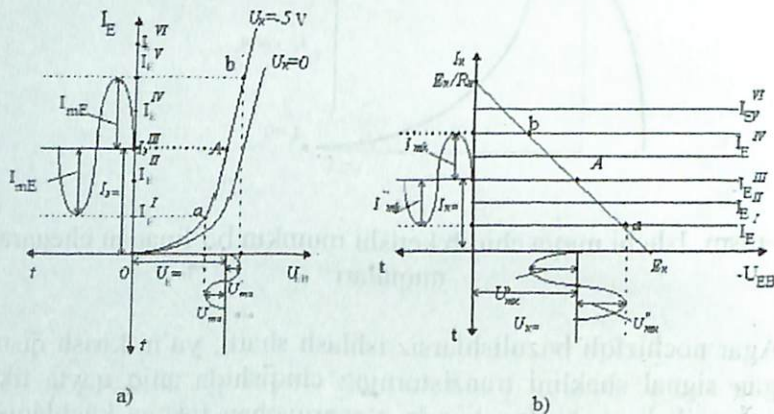
2.11. Balans sxemalari asosidagi kuchaytirgichlar

Yakka kuchaytirgich bosqichlarini manfiy teskari zanjiri orqali bosqichlash yo'li bilan keng polosali kuchaytirgichlarni integral usulda yasashda yaxshilash mumkin. Bir vaqtning o'zida balans sxemalar asosida qurilgan kuchaytirgichlarda xarakteristikalar sezilarli yaxshilanishi kuzatiladi.

Bu turdagi kuchaytirgichlarda kirish bosqichi sifatida balans turli sodda sxemalar – differensial kuchaytirgichlar (parallel – balansli yoki farqli). Ular ishining yuqori barqarorligi va kichik nol dreyfi bilan ajralib turadi.

Balans sxema ishlash prinsipini to'rt yelkali ko'priks sxema misolida tushuntirish mumkin (2.15 - rasm).

Bu sxemada alohida manbadan E_m olingan qaydlangan surilish ishlatiladi, uning yordamida kirish dinamik tavsifida ishchi nuqta holati belgilanadi. R_{yu} miqdori birnecha $k\Omega$ ni tashkil qiladi, bu esa chiqish qarshiligidan ancha kam, E_{EK} esa – 10B ga yaqin.



2.14- rasm. Tranzistorning kirish (a) va chiqish (b) statik tavsiflari

Tranzistorning statik tavsiflari 2.14- a,b rasmlarda ko'rsatilgan. Faraz qilamiz R_{yu} va E_k berilgan.

Chiqish dinamik tavsifini ikki nuqta bo'yicha qurish mumkin. Hisoblaymizki, $U_k = -5B$ bo'lganida olingan kirish dinamik tavsifi statik bilan to'g'ri keladi. Agar minimal noxiziqli buzulishlar sharti qo'yilgan bo'lsa, bunda dinamik tavsiflarda o'zgaruvchan tok va kuchlanish o'zgarishi a,b (2.14- rasm) bo'lagi chegarasidan chiqishi kerak emas. O'zgaruvchan tok va kuchlanishni o'zgarishi bo'lib o'tayotgan chegarasidagi dinamik tavsifini bo'lagi, ishchi bo'lagi deyiladi.

Agar tranzistorning kirishiga sinusoidal signal $I_E = I_{mE} \cdot \sin \omega t$ ko'rinishida berilayotgan bo'lsa, bunda tanlangan a, b ishchi bo'lagida ishlashini ta'minlash uchun kirishga amplitudali $I_{mE} = \frac{I_{E5} - I_{E1}}{2}$ o'zgaruvchan signal berilishi kerak va o'zgaruvchan tokning tarkibini o'zgaruvchan tok bo'yicha ishlash rejimini aniqlaydigan dinamik tavsifidagi joylanish nuqtasi, ishchi nuqta deyiladi (grafikda A nuqtasi).

$$I_E = I_{E5} - I_{mE} = I_{E1} - I_{mE} \quad (2.19)$$

Ko'rinib turibdiki, agar I_E va I_{mE} ma'lum bo'lgan, bunda grafikdan U_E , I_K , U_K ni va o'zgaruvchan tarkiblar amplitudasini U_{mE} , I_{mK} , U_{mK} olish mumkin.

Endi oson hisoblash mumkin:

- tok bo'yicha kuchaytirish dinamik koeffitsiyentini: $k_I = \frac{U_{mK}}{I_{mE}}$;

- kuchlanish bo'yicha kuchaytirish dinamik koeffitsiyentini

$$K_U = \frac{U_{mK}}{U_{mE}};$$

- quvvat bo'yicha kuchaytirish dinamik koeffitsiyentini:

$$K_P = K_I \cdot K_U = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}} = \frac{U_{mK} \cdot I_{mK}}{2} \cdot \frac{2}{I_{mE} \cdot U_{mE}} = \frac{U_{mK} \cdot I_{mK}}{U_{mE} \cdot I_{mE}}$$

- o'zgaruvchan tok bo'yicha kirish qarshiligi:

$$R_{kir} = \frac{U_{mE}}{I_{mK}};$$

- o'zgaruvchan tok bo'yicha chiqish qarshiligi:

$$R_{chiq} = \frac{U_{mK}}{I_{mK}};$$

2.11. Balans sxemalari asosidagi kuchaytirgichlar

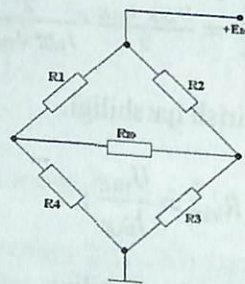
Yakka kuchaytirgich bosqichlarini manfiy teskari zanjiri orqali bosqichlash yo'li bilan keng polosali kuchaytirgichlarni integral usulda yasashda yaxshilash mumkin. Bir vaqtning o'zida balans sxemalar asosida qurilgan kuchaytirgichlarda xarakteristikalar sezilarli yaxshilanishi kuzatiladi.

Bu turdagi kuchaytirgichlarda kirish bosqichi sifatida balans turli sodda sxemalar – differensial kuchaytirgichlar (parallel – balansli yoki farqli). Ular ishining yuqori barqarorligi va kichik nol dreyfi bilan ajralib turadi.

Balans sxema ishlash prinsipini to'rt yelkali ko'prik sxema misolida tushuntirish mumkin (2.15 - rasm).

Agar ko'prik balans sharti bajarilsa, ya'ni $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$, u holda yuklama qarshiligi R_{yn} da tok va mos ravishda kuchlanish nolga teng bo'ladi. Kuchlanish manbai qiymati va ko'prik yelkasidagi rezistorlar qarshilik qiymatlari o'zgarsa ham balans buzilmaydi, faqat rezistor qarshiliklari nisbati o'zgarishsiz qolsagina.

Bitta tranzistorda bajarilgan kuchaytirgich bosqichlarida kollektor (emitter) yuklamalarida signalga bog'liq bo'lmagan kuchlanish ajraladi. Bu kuchlanish manba qiymati o'zgarsa, qizish natijasida tranzistor toklari qiymatlari o'zgarsa va boshqa ta'sirlar natijasida o'zgaradi va bu bilan kuchaytirish qurilmasi parametrlarini barqarorligini pasaytiradi.



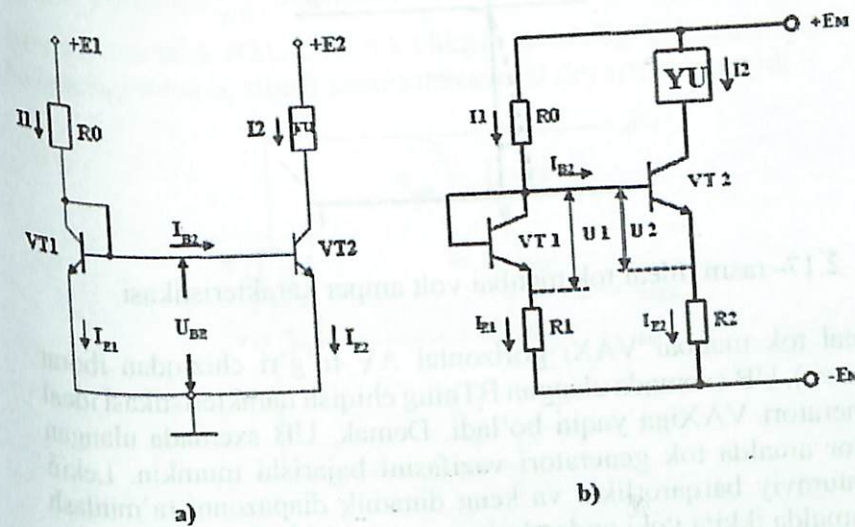
2.15- rasm. To'rt yelkali ko'prik sxema

Elementar kuchaytirish bosqichlariga nisbatan differensial kuchaytirgich dinamik xarakteristikalarini barqaror tok generatori hisobiga uning ish rejimini barqarorlash yordamida amalga oshirish ham mumkin.

2.12. Barqaror tok generatori

Barqaror tok generatori yoki manbai (BTG) katta nominalga ega bo'lgan rezistorning elektron ekvivalenti hisoblanadi. BTG qarshiligi R_{yn} yuklamaga ketma - ket ulangan maksimal bo'lishi mumkin bo'lgan qarshilikdan ancha katta bo'lishi kerak. Bu vaqtda BTG yuklamadan kattaligi uning qarshiligi va boshqa ta'sirlarga bog'liq bo'lmagan tok oqib o'tishini ta'minlaydi. Ma'lumki, qarshiligi birlik MOm ga teng bo'lgan rezistorlarni integral sxema ko'rinishida yasash mumkin emas.

2.16 a- rasmda BTG prinsipial sxemasi keltirilgan. Bu yerda YU elementi nochiqli yuklama, E1 - barqarorlangan kuchlanish manbaini bildiradi. Rezistor R_0 , hamda diod ulanish sxemasidagi VT1 tranzistor VT2 tranzistor sokinlik rejimini ta'minlash va barqarorlash uchun xizmat qiladi.



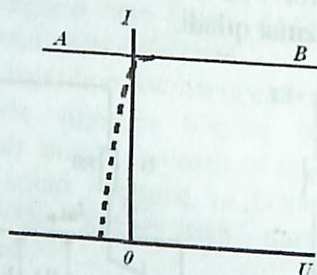
2.16- rasm. Barqaror tok generatorining prinsipial sxemasi

UB ulanish sxemasida tranzistor juda katta chiqish differensial qarshiligiga ega bo'ladi (birlik MOm gacha). Ulanish sxemasiga ko'ra ikkala tranzistorning ham baza - emitter kuchlanishlari U_{BE} bir xil bo'ladi. I_{B2} toki I_{E2} tokidan yuz martaga kichik. Shu sababli, bu tokni hisobga olmasak, I_{E1} I_{E2} ga teng bo'ladi, demak $I_2 = I_1$. Natijada I_2 chiqish toki I_1 tokni aks ettiradi. I_2 toki deyarli VT2 tranzistor kollektor o'tishidagi kuchlanishga bog'liq bo'lmaganligi sababli, U_{E2} kuchlanish yoki yuklamadagi qarshilik qiymatlari o'zgarsa ham bu tok qiymati deyarli o'zgarmas qoladi.

Kirish toki I_1 ni o'zgartirib, chiqish toki I_2 ni boshqarish mumkin. Buning uchun tranzistorlarning emitter zanjirlariga $R1$ va $R2$ rezistorlar ulanadi. Bunday qurilma **aktiv tok transformatori** deb ataladi (2.16 b- rasm). 2.16 b- rasmdan quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$U_1 + I_{E1}R_1 = U_2 + I_{E2}R_2 \quad (2.20)$$

Agar $R1$ va $R2$ qarshiliklar nominallari bilan farq qilsalar, u holda I_2 tok I_1 tokni yoki "kattalashgan" yoki "kichraygan" masshtabda "aks ettirishi" mumkin.



2.17- rasm. Ideal tok manbai volt amper xarakteristikasi

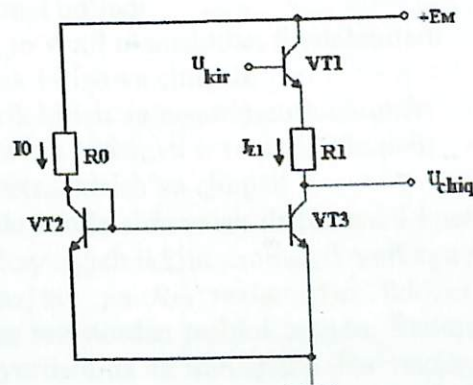
Ideal tok manbai VAXi gorizontaal AV to'g'ri chiziqdan iborat (2.17-rasm). UB sxemada ulangan BTning chiqish xarakteristikasi ideal tok generatori VAXiga yaqin bo'ladi. Demak, UB sxemada ulangan tranzistor amalda tok generatori vazifasini bajarishi mumkin. Lekin temperaturaviy barqarorlikni va keng dinamik diapazonni ta'minlash uchun amalda ikkita yoki undan ko'p tranzistor ishlatiladi.

2.13. O'zgaras kuchlanish sathini siljitish qurilmasi

Integral kuchaytirgichlar bevosita bog'langan kaskad sxemalari ko'rinishida quriladilar. Bu vaqtda bosqichdan bosqichga o'tganda signal doimiy tashkil etuvchisining o'zgarishi kuzatiladi. Bu holat esa keyingi bosqichlarni ishlab chiqarishda qiyinchiliklar tug'diradi. Bu kamchilikni bartaraf etish maqsadida o'zgaras kuchlanish sathini siljitish qurilmalari qo'llaniladi. Ular sath transformatorlari deb ham ataladilar. Bu vaqtda sath siljitish qurilmasi signal o'zgaras tashkil etuvchisini keyingi bosqichga o'zgarishsiz uzatishi kerak, ya'ni kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti $K_U \approx 1$ bo'lishi kerak.

Operatsion kuchaytirgichlarda U_{chiq} sathini siljitish VT1 tranzistorda bajarilgan emitter qaytargich asosida amalga oshiriladi. Uning emitter zanjiriga $R1$ rezistor va VT2 hamda VT3 tranzistorlarda bajarilgan barqaror tok generatorlari ulanadi (2.17- rasm). Signal mavjud bo'lmaganda U_{kir} kirish potentsiali oldingi bosqich chiqish

kuchlanishining o'zgaras tashkil etuvchisi qiymatiga teng bo'ladi. U_{chiq} chiqish potentsiali siljitish sxemasi hisobiga $\Delta U = U_{BE1} + I_{E1}R1$ kattalikka kamayadi. I_{E1} tok barqaror bo'lganligi sababli ΔU siljish kuchlanishi ham o'zgaras bo'ladi. Ixtiyoriy U_{kir} qiymatida U_{chiq} chiqish potentsiali $\frac{R1}{R0}$ nisbatlarni to'g'ri tanlash natijasida nolga teng qilinishi mumkin. BTG dinamik chiqish qarshiligi $R1$ dan ancha katta bo'lganligi sababli, siljish sxemasida signal deyarli so'nmaydi.



2.18- rasm. O'zgaras kuchlanish sathini siljitish sxemasi

Nazorat savollari

1. Elektron kuchaytirgichlar qaysi belgilariga ko'ra tasniflanadi?
2. Kuchaytirgichlarning asosiy xarakteristika va parametrlarini aytib bering. Ularning o'ziga xos xususiyatlari nimada?
3. Nimaga kuchaytirgich A sinfdan ishlaganda eng kichik FIK ga ega bo'ladi?
4. Nimaga kuchaytirgich B sinfdan ishlaganda simmetrik signal shakli sezilarli buziladi?
5. A B kuchaytirgich sinfi B sinfdan qanday farq qiladi va n qanday qurilmalarda ishlatiladi?
6. Kuchaytirgichlarda TA deb nimaga aytiladi?

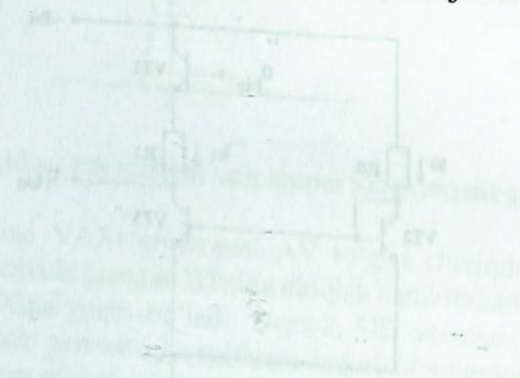
7. Kuchaytirgich sxemasiga manfiy TA kiritilganda kuchaytirish koeffitsiyent β qanday o'zgaradi va β kuchaytirgichning barqaror ishlashiga ta'sir etadimi?

8. MTli sodda kuchaytirgich kaskadi ishchi nuqtasini qaysi parametrlar belgilaydi?

9. Ko'p kaskadli kuchaytirgich deganda nimani tushunasiz?

10. 2.17-rasmdagi sxemani ishlash prinsipini tushuntiring.

11. Kuchaytirgichlarning yana qanday sinflari mavjud?



III BOB DIFFERENSIAL KUCHAYTIRGICHLAR. OPERATSION KUCHAYTIRGICHLAR

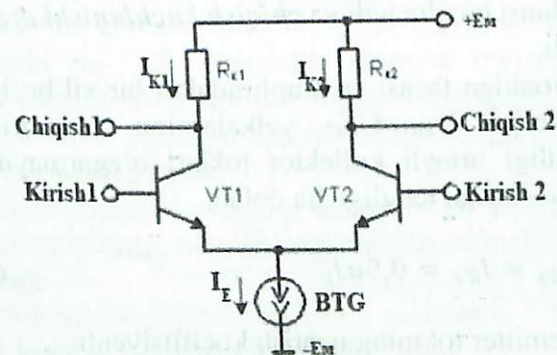
3.1. Differensial kuchaytirgichlar haqida tushunchalar

Differensial kuchaytirgich (DK) deb ikki kirishga ega bo'lgan kuchaytirgichga aytiladi. Uning chiqishidagi signal kirish signallari farqiga proporsional bo'ladi.

Amalda DKning to'rt xil ulanishidan foydalaniladi:

1. Simmetrik kirish va chiqish;
2. Simmetrik kirish va nosimmetrik chiqish;
3. Nosimmetrik kirish va simmetrik chiqish;
4. Nosimmetrik kirish va chiqish.

3.1-rasmda sodda simmetrik differensial kuchaytirgich sxemasi keltirilgan. Kuchaytirgich ikkita simmetrik yelkaga ega bo'lib, birinchi yelka VT1 tranzistor va R_{K1} rezistordan, ikkinchi yelka esa VT2 tranzistor va R_{K2} rezistordan tashkil topgan. Sxemaning dastlabki ish rejimi I_E toki yordamida ta'minlanadi. Bu tokning barqarorligi esa barqaror tok generatori (BTG) tomonidan ta'minlanadi.



3.1-rasm. Simmetrik differensial kuchaytirgich sxemasi

oldingi bo'limda keltirilgan 2.15-rasmdagi sxemaga aynan o'xshashligini kuzatish mumkin. Mazkur sxema uchun R_2 va R_3 rezistorlarni VT1 va VT2 tranzistorlar bilan almashtirish va $R_1 = R_{K1}$, $R_4 = R_{K2}$ deb hisoblash kerak. Agar R_{K1} va R_{K2} qarshiliklar bir - biriga

teng bo'lsa va VT1 tranzistor parametrlari VT2 niki bilan bir xil bo'lsa, u holda bu sxema simmetrik bo'ladi.

Amaliyotda to'rtta ulanish sxemalardan ixtiyoriy biridan foydalanish mumkin: simmetrik kirish va chiqish, simmetrik kirish va nosimmetrik chiqish, nosimmetrik kirish va simmetrik chiqish, nosimmetrik kirish va chiqish. Simmetrik kirishda kirish signali manbai DK kirishlari orasiga (tranzistorlarning bazalari orasiga) ulanadi. Simmetrik chiqishda yuklama qarshiligi DK chiqishlari oralig'iga (tranzistorlarning kollektorlari orasiga) ulanadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, DK kuchlanishlari qiymati (moduli bo'yicha) bir - biriga teng bo'lgan ikkita manbadan ta'minlanadi. Ikki qutbli manbadan ta'minlanish sokinlik rejimida umumiy shinagacha tranzistor baza potentsiallarini kamaytirishga imkon beradi. Bu holat DK kirishlariga signallarni qo'shimcha sath siljitish qurilmalarini kiritmasdan uzatishga imkon yaratadi.

Ikkala yelka ideal simmetrikligida kirish signallari mavjud bo'lmaganda ($U_{kir1}=0$, $U_{kir2}=0$) kollektor toklari va tranzistorlarning kollektor potentsiallari bir xil bo'ladi, chiqish kuchlanishi esa $U_{chiq1,2}=0$. Sxema simmetrik bo'lganligi sababli, tranzistor xarakteristikasining sabablarga bog'liq bo'lmagan ravishda ixtiyoriy o'zgarishi, ikkala yelka toklarinig bir xil o'zgarishiga olib keladi. Shu sababli sxema balansi buzilmaydi va *chiqish kuchlanishi dreyfi* deyarli nolga teng bo'ladi.

DK ikkala kirishiga fazasi va amplitudalari bir xil bo'lgan signal (sinfaz signal) berilsa $U_{kir1}=U_{kir2}$, yelkalarining simmetrikligi va BTGning mavjudligi tufayli kollektor toklari o'zgarmaydi va ular o'zgarishsiz va bir - biriga tengligicha qoladi.

$$I_{K1} = I_{K2} = 0,5\alpha I_E \quad (3.1)$$

bu yerda α - emitter tokining uzatish koeffitsiyenti.

Demak, kollektor potentsiallari tengligicha qoladi, chiqish kuchlanishi esa $U_{chiq}=U_{K1}-U_{K2}=0$. Bu deganiki, idel DK sinfaz kirish signallariga sezirsiz.

Agar kirish signallari amplitudasi bo'yicha bir xil, lekin fazalari qarama - qarshi bo'lsa, u holda ular differensial deb ataladi. Differensial signal ta'siri natijasida bir yelkadagi tok ikkinchi yelkadagi tok kamayishi hisobiga ortadi $\Delta I_{E1} = -\Delta I_{E2}$, chunki toklar yig'indisi

doim $I_E (I_{E1} + I_{E2} = I_E)$. Bir tranzistor kollektori potentsiali kamayadi, ikkinchisniki esa xuddi shu qiymatga kamayadi. DK chiqishida potentsillar farqi hosil bo'ladi, demak, chiqish kuchlanishi:

$$U_{chiq1,2} = U_{chiq1} - U_{chiq2} \quad (3.2)$$

Umumiy emitter ulanish sxemasida ishlaydigan kuchaytirgich tahlili natijalaridan foydalangan holda, differensial signal (simmetrik kirish va chiqishga ega bo'lgan) ning kuchaytirish koeffitsiyenti qiymatini olamiz:

$$K_U = -S(R_K // r_{KE}) \quad (3.3)$$

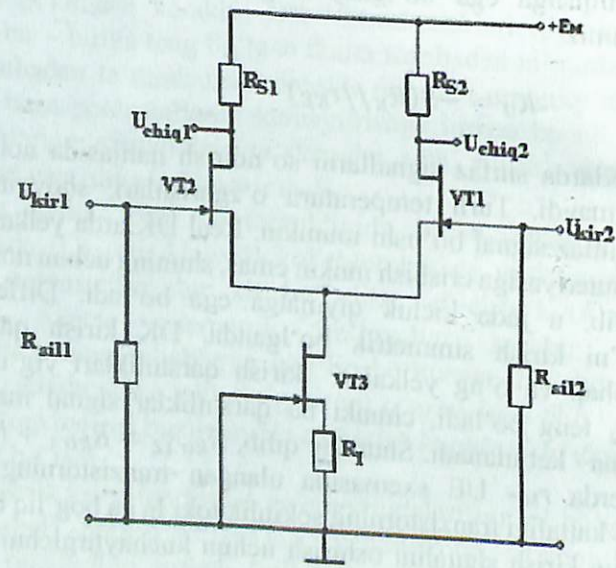
Ideal DKlarda sinfaz signallarni so'ndirish natijasida nol dreyfi mavjud bo'lmaydi. Turli temperatura o'zgarishlari, shovqinlar va navodkalar sinfaz signal bo'lishi mumkin. Real DKlarda yelkalarining absolyut simmetriyasiga erishish muki emas, shuning uchun nol dreyfi mavjud bo'lib, u juda kichik qiymatga ega bo'ladi. Differensial kirishda, ya'ni kirish simmetrik bo'lganda, DK kirish qarshiligi sxemaning chap va o'ng yelkalari kirish qarshiliklari yig'indisiga $R_{kir1} + R_{kir2}$ teng bo'ladi, chunki bu qarshiliklar signal manbaiga nisbatan ketma-ket ulanadi. Shunday qilib, $R_{kir12} = R_{kir1} + R_{kir2} = 2r_{kir}$, bu yerda r_{kir} - UE sxemasida ulangan tranzistorning kirish qarshiligi. r_{kir} kattaligi tranzistorning sokinlik toki I_B ga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun kirish signalini oshirish uchun kuchaytirgichni kichik toklar rejimida ishlatish kerak.

Differensial kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti kirish signallar generatorining ulanish va chiqish signalining o'lchanish usuliga bog'liq.

DK kuchaytirish koeffitsiyenti simmetrik kirishda ham, nosimmetrik kirishda ham bir xil bo'ladi.

Yuklama qarshiligi ikkinchi chiqish va umumiy shina oralig'iga ulangan bo'lsin. Agar kirish signali 1 kirishga uzatilsa, u holda chiqish signali fazasi kirish signali fazasiga mos keladi. Bu vaqtda 1 kirishga "inverslamaydigan" kirish nomi beriladi. Agar kirish signali 2 kirishga uzatilsa, u holda chiqish va kirish signallari fazasi bir - biriga qarama - qarshi bo'ladi va 2 kirish "inverslaydigan" kirish deb ataldi.

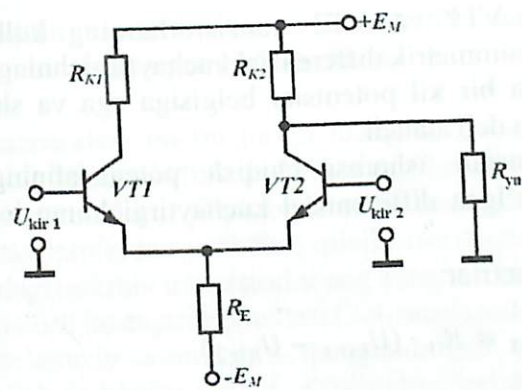
Kichik kirish toklariga ega bo'lgan maydoniy tranzistorlar qo'llash natijasida differensial kuchaytirgich kirish qarshiligini sezilarli oshirish mumkin. Bu vaqtda $r-n$ bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlarga katta e'tibor qaratiladi. $r-n$ bilan boshqariladigan, kanali n -turli maydoniy tranzistorlarda bajarilgan DK sxemasi 3.2- rasmda keltirilgan. Barqaror tok generatori VT3 va R_f da bajarilgan. R_{sil1} i R_{sil2} rezistorlari VT1 va VT2 tranzistor zatvorlariga boshlang'ich siljishni berish uchun mo'ljallangan.



3.2- rasm. Maydoniy tranzistorlarda bajarilgan differensial kuchaytirgich sxemasi

3.2. Nosimmetrik kirish va chiqishli differensial kuchaytirgich

Nosimmetrik chiqishda yuklama qarshiligi bir uchi bilan bir tranzistor kollektoriga, ikkinchi uchi bilan esa - umumiy shinaga ulanadi. Bu vaqtda K_U simmetrik chiqishdagiga nisbatan 2 martaga kichik bo'ladi.



3.3- rasm. Nosimmetrik differensial kuchaytirgich sxemasi

Bunda foydalanilmaydigan kirish kuchlanishi o'zgaras sathli qilib olinadi, masalan, umumiy shinaga ulanadi. Agar kirish signali U_{kir1} ga berilsa, chiqishda inverstanmagan signal olinadi. Demak, U_{kir1} inverslamaydigan kirish, U_{kir2} esa - inverslaydigan kirish bo'ladi. DK kuchaytirish koeffitsiyent i kollektor zanjiridagi R_K yuklama qarshiligiga bog'liq bo'ladi. Integral tehnologiyada R_K qiymatining ortishi bilan, kristallda u egallagan yuza ortadi va tranzistorlar ish rejimlari saqlangan holda, kuchlanish manbai qiymati ham ortadi. Shuning uchun DKlarda kuchaytirish koeffitsiyent ini oshirish uchun, R_K rezistorlar o'rniga, dinamik (aktiv) yuklamadan foydalaniladi.

Chiqishda turli xil qutbli kuchlanishni olish bipolyar quvvat manbai - E va + E yordamida ta'minlanadi. Kirxogfning ikkinchi qonuniga ko'ra, VT2 orqali +E dan -E ga o'tishda potentsial 0 dan o'tadi. Ya'ni Sokinlik rejimida kirishlarda kuchlanishlar bo'lmaganda $U_{chiq}=0$ bo'lgan rejim yuzaga keladi. VT1 kirishiga manfiy qutbli U_{kir1} kuchlanish qo'llanilganda, uning kollektor oqimi ortadi, shuning uchun U_{in2} da VT2 orqali kollektor tok kamayadi (R_E orqali tok doimiy bo'lib qoladi). Bu chiqishda musbat potentsialning oshishiga olib keladi, chunki R_{K2} bo'ylab kuchlanish pasayishi kamayadi. $U_{kir1}=0$ va VT2 kirishidagi manfiy potentsial bilan u ochiladi va u orqali tok kuchayadi, bu esa R_{K2} bo'ylab kuchlanishning pasayishiga olib keladi va shunga mos ravishda chiqishdagi potentsial kamayadi, ya'ni chiqish kuchlanishi qutbini o'zgartiradi. Kirishlardagi potentsiallarning kattaligi va belgisi bir xil bo'lganida chiqish kuchlanishi nolga teng

bo'ladi, chunki VT1 va VT2 tranzistorlarining kollektor toklari o'zgar olmaydi. Nosimmetrik differensial kuchaytirgichning kirishlaridan biri chiqish bilan bir xil potensial belgisiga ega va shuning uchun inverslamaydigan deb ataladi.

Kirish potentsiali ishorasi chiqish potentsialining ishorasiga qarama-qarshi bo'lgan differensial kuchaytirgichning inverslaydigan deb ataladi.

Asosiy parametrlar:

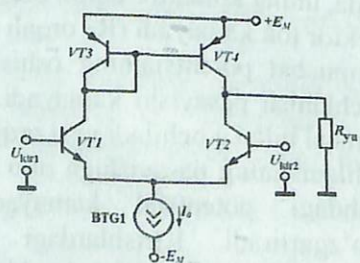
1. $U_{chiq} = U_{21} = K_U \cdot (U_{kir1} - U_{kir2})$
2. $R_{kir} = 2h_{11}$
3. $R_{chiq} = \frac{2R_K}{1+h_{22}R_K} \gg 2R_K$
4. $K_U = \frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot \frac{R_K}{1+h_{22}R_K}$

3.3. Dinamik yuklamali differensial kuchaytirgich

Dinamik yuklama bipolyar yoki maydoniy tranzistorlar asosida hosil qilinadi. Yuklama sifatida ikkinchi BTG ishlatilgan DK sxemasini ko'rib chiqamiz. Ikkinchi BTG p-n-p turli VT3 va VT4 tranzistorlar asosida yaratilgan. Birinchi BTG ilgariidek DK sokinlik rejimini belgilaydi va emitter qarshiligi sifatida ishlatiladi.

β ning qiymati tranzistor sokinlik toki I_{B0} ga bog'liq bo'lganligi sababli kirish qarshiligini oshirish uchun DKni kichik signal rejimida ishlatish kerak.

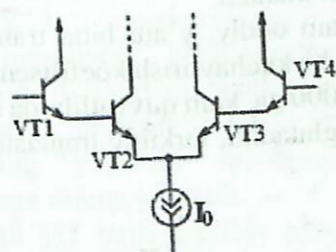
Kaskad kuchaytirish koefitsiyent i va DK kirish qarshiligini sezilarli oshirish maqsadida tarkibiy tranzistorlardan foydalaniladi. Ko'proq Darlington sxemasi ishlatiladi. Tarkibiy tranzistorlar qo'llanilganda DK kirish qarshiligi β marta ortadi.



3.3- rasm. Dinamik yuklamali differensial kuchaytirgich

3.4. Tarkibiy tranzistorlar asosidagi differensial kuchaytirgich shemasi

Tarkibiy tranzistorlar- bu bir-biriga ulangan IS dagi bir nechta tranzistorlarning bir biriga ulanishi bo'lib, ularni bitta butun tranzistor sifatida ishlatish mumkin. Tarkibiy tranzistorlarning xossalari an'anaviy tranzistorlarnikidan juda farq qiladi. Darlington juftligi deb ataladigan shakldagi tarkibiy tranzistorlar eng keng tarqalgan. Ikki juftli Darlington tranzistorli boshqaruv sxemasi (3.4-rasm) juda yuqori kirish qarshiligini va an'anaviy sxemalarga qaraganda kam qiymatli kirish siljish tokini olish imkonini beradi. Darlington tarkibiy sxemasida to'rtta tranzistor mavjudligi sababli bir oz yuqori siljish kuchlanishi hosil bo'ladi va bu sxemani kamchiliklaridan biridir. Bitta tranzistorning tok bo'yicha uzatish koefitsiyent i 10^2 ga teng bo'lganligi sababli, Darlington sxemasining umumiy tok bo'yicha uzatish koefitsiyent i 10^4 ni tashkil etadi.



3.4- rasm. Ikki juftli Darlington tranzistorli boshqaruv sxemasi

Katta qiymatli tok bo'yicha uzatish koefitsiyent i tufayli, Darlington sxemasi asosidagi DK da kirish siljish tokining qiymati ancha kichik bo'ladi, kirish qarshiligi esa oddiy DK dan ancha katta bo'ladi.

3.5. Tarkibiy tranzistorlar. Darlington juftligi. Uilson tok ko'zgusi sxemasi.

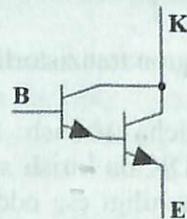
Tarkibiy tranzistor- o'zlarining elektrik harakteristikalarini (tok bo'yicha kuchaytirish koefitsiyentini oshirish) yaxshilash maqsadida ikki va undan ortiq tranzistorlarning elektrik ulamasi. Ushbu

sxemalarga Darlington, Shiklai juftligi, tranzistorlarning kaskadli ulanish sxemalari, tok ko'zgusi sxemalari kiradi.

Sxema ikkita (kamdan-kam uch va undan ortiq) bipolyar tranzistorlarning kaskadli ulanishi bo'lib, unda oldingi kaskad emitteri zanjirining yuklamasi keyingi tranzistor kaskadining baza-emitter o'tishi hisoblanadi, ya'ni oldingi tranzistor emitteri keyingi tranzistorning bazasi bilan ulanadi va bunda tranzistorlarning kollektorlari o'zaro ulangan. Sxemada oldingi tranzistorning emitter toki keyingi tranzistorning bazaviy toki hisoblanadi.

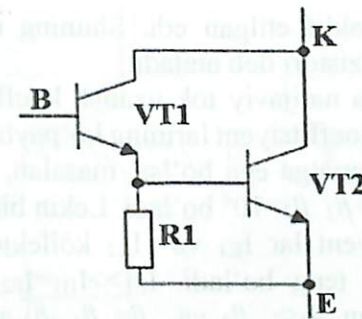
Tarkibiy tranzistor (Darlington tranzistori yoki juftligi)- tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsientini oshirish maqsadida ikkita va undan ortiq BT larning ulamasi (birlashmasi). Tarkibiy tranzistor umumiy kollektor sxemasi bo'yicha ulangan bir necha tranzistorlarning kaskadli ulanishidir. Oldingi kaskadning yuklamasi sifatida keyingi tranzistor kaskadining baza-emitter o'tishi xizmat qiladi, ya'ni tranzistorlar kollektorlari bilan ulanadi, kirish tranzistorining emitteri esa chiqish tranzistorining bazasi bilan ulanadi.

Tarkibiy tranzistor ham oddiy, ya'ni bitta tranzistor singari 3 ta elektrodga ega. Tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti quvvatli tarkibiy tranzistorlarda taxminan 1000 ga, kam quvvatlilarda taxminan 50000 ni tashkil etadi. Bu shuni anglatadiki, tarkibiy tranzistor ochilishi uchun kichik baza toki kifoyadir.



3.5- rasm. Tarkibiy tranzistorlar juftligi

Tarkibiy tranzistorlarda yuklama sifatida rezistor ham ulanishi mumkin. Bunday ulanish bitta tranzistor sifatida ko'riladi, tranzistorlar aktiv rejimda ishlaganda tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti birinchi va ikkinchi tranzistorlar kuchaytirish koeffitsientlarining ko'paytmasiga teng.



3.6 rasm. Tarkibiy tranzistorlar

R1 yuklama rezistorining qo'llanishi tarkibiy tranzistorning ayrim karakteristikalarini yaxshilash maqsadida ishlatiladi. Rezistorning qiymati shunday tanlanadiki, VT1 tranzistorining yopiq holatida kollektor-emitter toki rezistorda VT2 tranzistorining ochilishi uchun yetarli bo'lmagan kuchlanish (kuchlanishlar tushishi) hosil qilsin. Shunday qilib VT1 tranzistorining oqish (utechka) toki VT2 tranzistori tomonidan kuchaytirilmaydi, natijada tarkibiy tranzistorning yopiq holatidagi kollektor-emitter umumiy toki kamayadi. Bundan tashqari R1 rezistorining qo'llanishi VT2 tranzistorining yopilishi hisobiga tarkibiy tranzistorning tezkorligini oshirishga imkon yaratadi.

BT lardan farqli MT larda tarkibiy ulanish mavjud emas, bunga zaruriyat yo'q, chunki ular shunday ham juda kichik kirish toklariga egadir.

Kaskadlarning kuchaytirish koeffitsiyent lari va kirish qarshiliklari uchun ifodalarni tahlil qilib, ularning maksimal qiymatlari UE ulangan sxemada tranzistorning differensial tok uzatish koeffitsiyent i $h_{21E} = \beta$ 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, mahsus superbeta tranzistorlar mustasno.

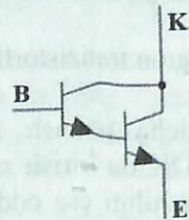
Bir nechta (odatda ikkita) tranzistorni o'zaro ulab h_{21E} qiymatini oshirish muammosini hal qilish mumkin. Ulanishlar shunday amalga oshirilishi kerakki, tranzistorlarni yagona tranzistor deb qarash mumkin bo'lsin. Bir turli tranzistorga nisbatan sxemalar birinchi marta

sxemalarga Darlington, Shiklai juftligi, tranzistorlarning kaskadli ulanish sxemalari, tok ko'zgusi sxemalari kiradi.

Sxema ikkita (kamdan-kam uch va undan ortiq) bipolyar tranzistorlarning kaskadli ulanishi bo'lib, unda oldingi kaskad emitteri zanjirining yuklamasi keyingi tranzistor kaskadining baza-emitter o'tishi hisoblanadi, ya'ni oldingi tranzistor emitteri keyingi tranzistorning bazasi bilan ulanadi va bunda tranzistorlarning kollektorlari o'zaro ulangan. Sxemada oldingi tranzistorning emitter toki keyingi tranzistorning bazaviy toki hisoblanadi.

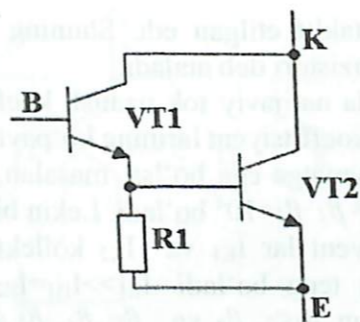
Tarkibiy tranzistor (Darlington tranzistori yoki juftligi)- tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsientini oshirish maqsadida ikkita va undan ortiq BT larning ulamasi (birlashmasi). Tarkibiy tranzistor umumiy kollektor sxemasi bo'yicha ulangan bir necha tranzistorlarning kaskadli ulanishidir. Oldingi kaskadning yuklamasi sifatida keyingi tranzistor kaskadining baza-emitter o'tishi hizmat qiladi, ya'ni tranzistorlar kollektorlari bilan ulanadi, kirish tranzistorining emitteri esa chiqish tranzistorining bazasi bilan ulanadi.

Tarkibiy tranzistor ham oddiy, y'ani bitta tranzistor singari 3 ta elektrodga ega. Tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti quvvatli tarkibiy tranzistorlarda tahminan 1000 ga, kam quvvatli larda tahminan 50000 ni tashkil etadi. Bu shuni anglatadiki, tarkibiy tranzistor ochilishi uchun kichik baza toki kifoyadir.



3.5- rasm. Tarkibiy tranzistorlar juftligi

Tarkibiy tranzistorlarda yuklama sifatida rezistor ham ulanishi mumkin. Bunday ulanish bitta tranzistor sifatida ko'riladi, tranzistorlar aktiv rejimda ishlaganda tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti birinchi va ikkinchi tranzistorlar kuchaytirish koeffitsientlarining ko'paytmasiga teng.



3.6 rasm. Tarkibiy tranzistorlar

R1 yuklama rezistorining qo'llanishi tarkibiy tranzistorning ayrim karakteristikalarini yaxshilash maqsadida ishlatiladi. Rezistorning qiymati shunday tanlanadiki, VT1 tranzistorining yopiq holatida kollektor-emitter toki rezistorda VT2 tranzistorining ochilishi uchun yetarli bo'lmagan kuchlanish (kuchlanishlar tushishi) hosil qilsin. Shunday qilib VT1 tranzistorining oqish (utechka) toki VT2 tranzistori tomonidan kuchaytirilmaydi, natijada tarkibiy tranzistorning yopiq holatidagi kollektor-emitter umumiy toki kamayadi. Bundan tashqari R1 rezistorining qo'llanishi VT2 tranzistorining yopilishi hisobiga tarkibiy tranzistorning tezkorligini oshirishga imkon yaratadi.

BT lardan farqli MT larda tarkibiy ulanish mavjud emas, bunga zaruriyat yo'q, chunki ular shunday ham juda kichik kirish toklariga egadir.

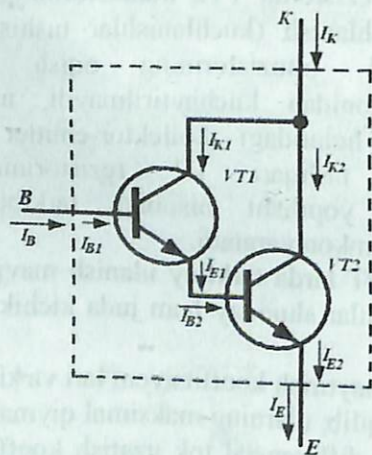
Kaskadlarning kuchaytirish koeffitsiyent lari va kirish qarshiliklari uchun ifodalarni tahlil qilib, ularning maksimal qiymatlari UE ulangan sxemada tranzistorning differensial tok uzatish koeffitsiyent i $h_{21E} = \beta$ bilan aniqlanadi deb xulosa qilish mumkin. h_{21E} ning real qiymatlari tranzistor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

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 turli tranzistorga nisbatan sxemalar birinchi marta

Darlington tomonidan taklif etilgan edi. Shuning uchun Darlington juftligi yoki tarkibiy tranzistori deb ataladi.

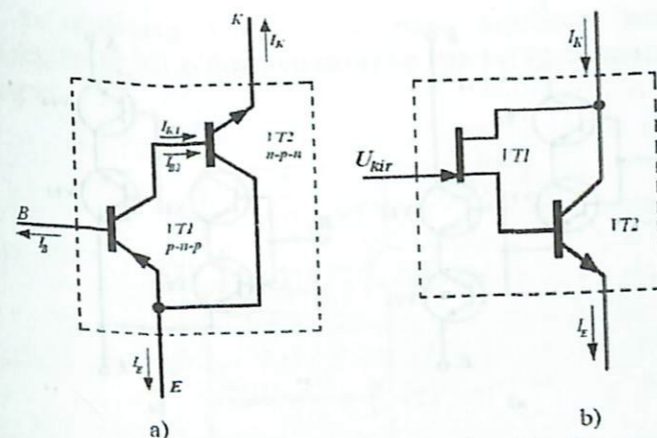
Tarkibiy tranzistorda natijaviy tok uzatish koeffitsiyent i alohida tranzistorlar tok uzatish koeffitsiyent larining ko'paytmasiga teng. Agar β_1 va β_2 lar bir xil qiymatga ega bo'lsa, masalan, 100 ga, hisoblab topilgan koeffitsiyent $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 = 10^4$ bo'ladi. Lekin bir xil VT1 va VT2 larda β_1 va β_2 koeffitsiyent lar 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 $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$ 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.



3.7- rasm. Darlington juftligi yoki tarkibiy tranzistori

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 koeffitsiyent i $\beta = \beta_1 + \beta_1 \beta_2$ ga teng bo'ladi va amalda Darlington tranzistorining β siga teng bo'ladi.



3.8-rasm. Komplementar bipolyar tranzistorlar, bipolyar tranzistor va maydoniy tranzistorlar asosidagi tarkibiy tranzistor sxemalari

Amaliyotda tarkibiy tranzistor maydoniy va bipolyar tranzistorlar asosida hosil qilinishi mumkin. 3.7 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 juda katta kirish qarshiligiga va tok bo'yicha, demak, quvvat bo'yicha ham juda katta kuchaytirish koeffitsiyent iga egaligidan iborat.

Injeksion - voltaik tranzistor asosidagi tarkibiy tranzistor Darlington va Shiklai juftligi sxemalari temperatura va kuchlanish manbai qiymatlari o'zgarishiga nisbatan yuqori barqarorlikka ega. Bunday sxemalarning afzalligi: tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentining yuqoriyligidir. Kamchiliklari: tezkorligining pastligi, ayniqsa ochiq holdan yopiq holatga o'tishida. Shu sababli tarkibiy tranzistorlar asosan past chastotali kalitli va kuchaytirgich sxemalarida qo'llaniladi;

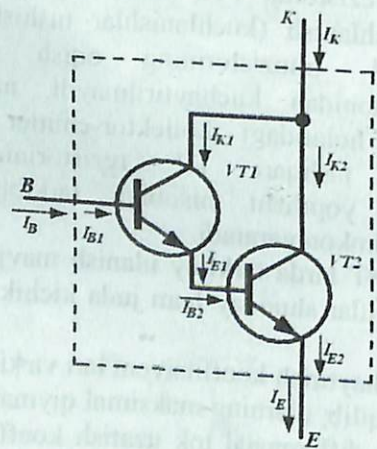
Baza-emitter o'tishidagi to'g'ri kuchlanishlar tushishi, oddiy tranzistorning qaraganda 2 marta yuqori va kremniyli tranzistorlar uchun 1.2-1.4 V ni tashkil etadi;

Kollektor-emitter o'tishidagi yuqori to'yinish kuchlanishi, kremniyli tranzistor uchun 0.9 V atrofida, oddiy tranzistorlarda esa 0.2 V.

Darlington tomonidan taklif etilgan edi. Shuning uchun Darlington juftligi yoki tarkibiy tranzistori deb ataladi.

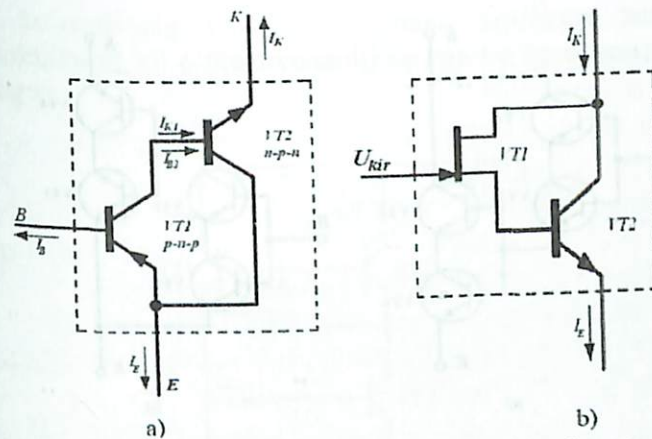
Tarkibiy tranzistorda natijaviy tok uzatish koeffitsiyent i alohida tranzistorlar tok uzatish koeffitsiyent larining ko'paytmasiga teng. Agar β_1 va β_2 lar bir xil qiymatga ega bo'lsa, masalan, 100 ga, hisoblab topilgan koeffitsiyent $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 = 10^4$ bo'ladi. Lekin bir xil VT1 va VT2 larda β_1 va β_2 koeffitsiyent lar 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 $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$ 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.



3.7- rasm. Darlington juftligi yoki tarkibiy tranzistori

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 koeffitsiyent i $\beta = \beta_1 + \beta_1 \cdot \beta_2$ ga teng bo'ladi va amalda Darlington tranzistorining β sig'a teng bo'ladi.

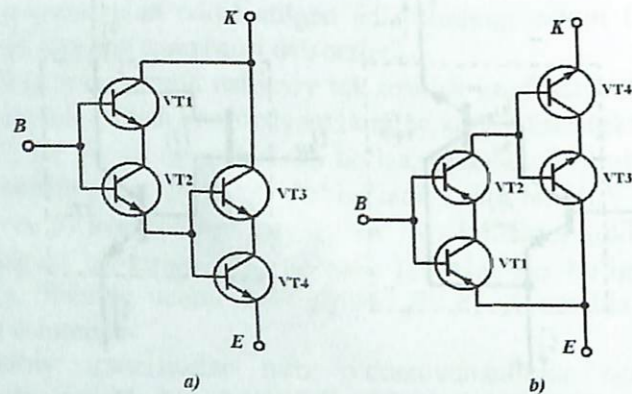


3.8-rasm. Komplementar bipolyar tranzistorlar, bipolyar tranzistor va maydoniy tranzistorlar asosidagi tarkibiy tranzistor sxemalari

Amaliyotda tarkibiy tranzistor maydoniy va bipolyar tranzistorlar asosida hosil qilinishi mumkin. 3.7 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 juda katta kirish qarshiligiga va tok bo'yicha, demak, quvvat bo'yicha ham juda katta kuchaytirish koeffitsiyent i ga egaligidan iborat.

Injeksion - voltaik tranzistor asosidagi tarkibiy tranzistor Darlington va Shiklai juftligi sxemalari temperatura va kuchlanish manbai qiymatlari o'zgarishiga nisbatan yuqori barqarorlikka ega. Bunday sxemalarning afzalligi: tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentining yuqoriyligidir. Kamchiliklari: tezkorligining pastligi, ayniqsa ochiq holtdan yopiq holatga o'tishida. Shu sababli tarkibiy tranzistorlar asosan past chastotali kalitli va kuchaytirgich sxemalarida qo'llaniladi;

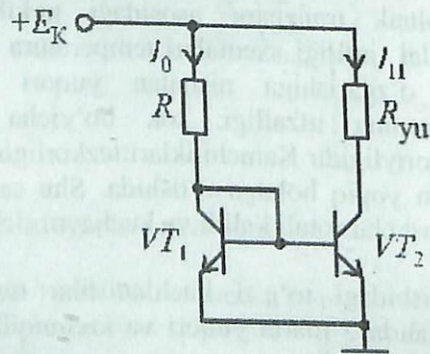
Baza-emitter o'tishidagi to'g'ri kuchlanishlar tushishi, oddiy tranzistornikiga qaraganda 2 marta yuqori va kremniyli tranzistorlar uchun 1.2-1.4 V ni tashkil etadi; Kollektor-emitter o'tishidagi yuqori to'yinish kuchlanishi, kremniyli tranzistor uchun 0.9 V atrofida, oddiy tranzistorlarda esa 0.2 V.



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

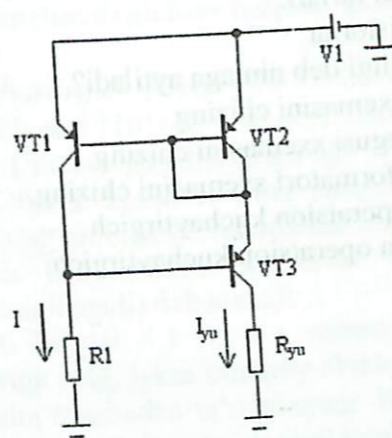
Tok ko'zgusi sxemasi

Tok ko'zgusi-tranzistor elementi shemotexnikasi bo'lib, kirish toki bilan boshqariluvchi tok generatorini tashkil etadi, bunda kirish va chiqish toklari har-xil yo'nalishlarga ega bo'ladi va bitta umumiy manbaga egadir, hamda toklar nisbati (aks ettirish koeffitsenti) keng diapazonda saqlanib qoladi va kuchlanish va temperaturaga uncha bog'liq bo'lmaydi.



3.10- rasm. Tok ko'zgusining klassik sxemasi

Tok ko'zgusining klassik sxemasi kollektor zanjirlaridagi rezistorli ikkita bir xil o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan tranzistorlardan tarkib topgan.



3.11- rasm. Uilson tok ko'zgusi sxemasi

Rezistorlar nominallarining nisbati aks ettirish koeffitsentini belgilaydi, va u 1 dan kichik va katta bo'lishi mumkin (ammo chiqish tranzistorining tok bo'yicha uzatish koeffitsiyentidan katta emas), agar rezistorlar bo'lmasa, tok 1:1 nisbatta uzatiladi. Tok ko'zgusi sxemasining aniq ishlash sharti bu yaxshi temperatur aloqa tranzistorlarning konstruktiv jihatdan bir xilligi va bu o'z navbatida IS tarkibida oson ishlaydi (moslashadi).

Oddiy tok ko'zgusi sxemasi bitta kamchilikka ega: chiqish toki yuklamadagi kuchlanishning o'zgarishiga bog'liq. Bu Erli effektining paydo bo'lishiga bog'liq. (Erli effekti- baza kengligi modulyatsiyasi- kollektor o'tishidagi teskari kuchlanishni BT toklariga ta'siri. Ushbu effekt BT ishlash modeliga aniqlik kiritadi va BT ni ideal tok kuchaytirgichi sifatida ko'rib chiqish imkoniyatini bermaydi). Uilson tok ko'zgusi sxemasi ushbu effektini so'ndirish imkoniga ega.

Nazorat savollari

1. Differencial kuchaytirgich (DK) deb qanday kuchaytirgichga aytiladi?
2. Differencial kuchaytirgich (DK) sxemasini chizing.

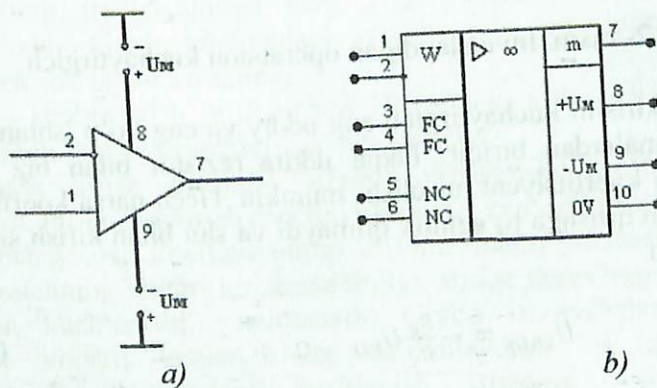
3. Nosimmetrik kirish va chiqishli DK sxemasini keltiring.
4. Dinamik yuklamali DK sxemasini tushintiring.
5. DK asosiy parametrlarini keltiring.
6. DKning ulanish turlari.
7. Tarkibiy tranzistorlar.
8. Darlington juftligi deb nimaga aytiladi?
9. Tok ko'zgusi sxemasini chizing.
10. Uilson tok ko'zgusi sxemasini chizing.
11. Aktiv tok transformatori sxemasini chizing.
12. Inverslaydiga operatsion kuchaytirgich.
13. Inverslamaydiga operatsion kuchaytirgich.

IV BOB OPERATSION KUCHAYTIRGICHLAR

4.1. Operatsion kuchaytirgichlar haqida asosiy ma'lumotlar

Operatsion kuchaytirgich (OK) – bu kuchlanish bo'yicha yuqori kuchaytirish koeffitsiyenti ($10^4 \div 10^6$), yuqori kirish ($10^4 \div 10^7$ Om) va kichik chiqish ($0,1 \div 1$ kOm) qarshiliklariga ega bo'lgan o'zgarmas tok kuchaytirgichi. OK ikkita kirish va bitta chiqishga ega. Chiqish va kirishdagi signallarning qutbiga ko'ra kirishlarning biri *inverslaydigan* ("–" ishorasi bilan belgilanadi), ikkinchisi – *inverslamaydigan* ("+" ishorasi bilan belgilanadi) deb ataladi.

OKning shartli belgisi 4.1 *a, b* - rasmda keltirilgan. Manba qiymatlari bir – biriga teng, lekin umumiy shinaga nisbatan ishoralari teskari bo'lgan ikkita manbadan ta'minlanadi. Bu bilan kirish signali mavjud bo'lmaganda chiqishda nol potensial ta'minlanadi va chiqishda ham musbat, ham manfiy signal olish imkoniyati yuzaga keladi. Real OKlarda kuchlanish manbai qiymati ± 3 V \div ± 18 V oraliq'ida yotadi. Signal umumiy shinaga ulangan simmetrik signal manbaidan 1 va 2 kirishlarga, yoki ikkita alohida manbalardan uzatilishi mumkin. Bu kirishlardan biri inverslaydigan kirish va umumiy shinaga, ikkinchisi esa – inverslamaydigan kirish va umumiy shinaga ulanadi.

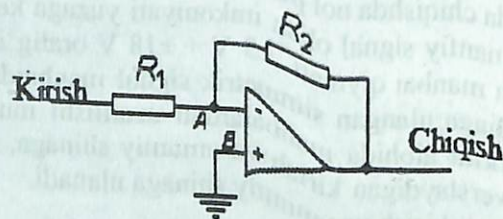


4.1– rasm. Operatsion kuchaytirgichning shartli belgisi

OK doim teskari aloqa zanjirlari bilan qamrab olingan bo'ladi. Teskari aloqa zanjiri turiga ko'ra OK analog signallar ustidan turli amallarni (operatsiyalarni) bajarishi mumkin. Bunday amallarga yig'indi olish, integrallash, differensiallash, solishtirish, logarifmlash va boshqalar kiradi. Shuning uchun bunday kuchaytirgichlar – *operatsion* deb ataladi.

OK ideal kuchaytirgich element hisoblanadi va butun analog elektronikaning asosini tashkil etadi. OK yetarlicha murakkab tuzilmaga ega bo'lib, yagona kristall yuzasida bajariladi va birvarakayiga ko'p miqdorda ishlab chiqariladi. Shuning uchun OKni diod, tranzistor va h.z. kabi elektron sxemalarning sodda elementi kabi qarash mumkin. Hozirgi kunda OKlarning yuzlab turi ishlab chiqariladi, kichik o'lchamga ega va juda arzon hisoblanadi.

Operatsion kuchaytirgichlar inverslaydigan va inverslamaydigan turlarga bo'linadi.



4.2- rasm. Inverslaydigan operatsion kuchaytirgich

Invers kirishli kuchaytirgich eng oddiy va eng ko'p ishlatiladigan analog sxemalardan biridir. Faqat ikkita rezistor bilan biz kerakli kuchaytirish koeffitsiyentini olish mumkin. Hech narsa koeffitsiyentni 1 dan kam qilishga to'sqinlik qilmaydi va shu bilan kirish signalini zaiflashtiradi.

$$U_{chiq} = -\frac{R_2}{R_1} U_{kir} \quad (4.1)$$

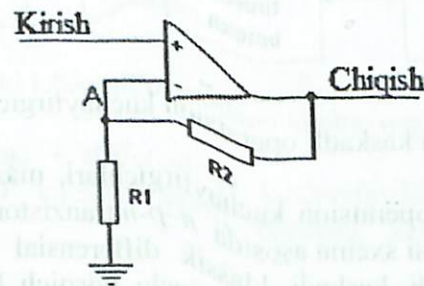
Real sxemalarda ko'pincha qo'shimcha qarshilik R3 qo'shiladi, uning qarshiligi R1 va R2 yig'indisiga teng.

Sxemada $U_A = U_{kir}$ y'ani U_A kuchlanish bo'luvchidan olinadi:

$$U_A = \frac{U_{chiq} R_1}{R_1 + R_2} \quad (4.2)$$

U holda kuchaytirish koeffitsiyent i:

$$K_U = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (4.3)$$



4.3- rasm. Inverslamaydigan operatsion kuchaytirgich

Ushbu kuchaytirgichning kirish qarshiligi cheksizdir (411 turdagi OK uchun u 10^{12} Om yoki undan ko'p, bipolyar tranzistorli OK uchun odatda 10^8 Omdan oshadi). Chiqish ko'p, bipolyar tranzistorli OK uchun kabi, Omning fraksiyalariga teng. Agar teskari kuchaytirgichda bo'lgani kabi, kirish kuchlanishi o'zgarganda biz uning va'da qilinganidek ishlashini ko'ramiz.

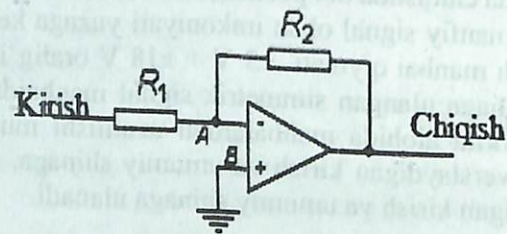
Katta kuchaytirish olish uchun OKlar ikki yoki uch bosqichli o'zgarimas tok kuchaytirgichlari asosida quriladi.

OKlarda kirish bosqichi sifatida differensial kuchaytirgich qo'llaniladi, bu kuchaytirish dreyfini maksimal kamaytirishga va ancha yuqori kuchaytirish koeffitsiyentini olishga imkon yaratadi. U bilan kuchaytirgichning yuqori kirish qarshiligi, sinfaz signallarga sezgirlik va siljish kuchlanishi aniqlanadi. Oraliq (muvofiqlashtiruvchi) kaskadlar kerakli kuchaytirishni ta'minlaydilar va differensial kuchaytirgich chiqishidagi kuchlanish siljishini nolga yaqin qiymatgacha kamaytiradi. Oraliq kaskadlarda differensial kuchaytirgichlar kabi, bir kaskadli kuchaytirgichlar ham qo'llaniladi.

OK doim teskari aloqa zanjirlari bilan qamrab olingan bo'ladi. Teskari aloqa zanjiri turiga ko'ra OK analog signallar ustidan turli amallarni (operatsiyalarni) bajarishi mumkin. Bunday amallarga yig'indi olish, integrallash, differensiallash, solishtirish, logarifmlash va boshqalar kiradi. Shuning uchun bunday kuchaytirgichlar – *operatsion* deb ataladi.

OK ideal kuchaytirgich element hisoblanadi va butun analog elektronikaning asosini tashkil etadi. OK yetarlicha murakkab tuzilmaga ega bo'lib, yagona kristall yuzasida bajariladi va birvarakayiga ko'p miqdorda ishlab chiqariladi. Shuning uchun OKni diod, tranzistor va h.z. kabi elektron sxemalarning sodda elementi kabi qarash mumkin. Hozirgi kunda OKlarning yuzlab turi ishlab chiqariladi, kichik o'lchamga ega va juda arzon hisoblanadi.

Operatsion kuchaytirgichlar inverslaydigan va inverslamaydigan turlarga bo'linadi.



4.2- rasm. Inverslaydigan operatsion kuchaytirgich

Invers kirishli kuchaytirgich eng oddiy va eng ko'p ishlatiladigan analog sxemalardan biridir. Faqat ikkita rezistor bilan biz kerakli kuchaytirish koeffitsiyent ini olish mumkin. Hech narsa koeffitsiyent ni 1 dan kam qilishga to'sqinlik qilmaydi va shu bilan kirish signalini zaiflashtiradi.

$$U_{chiq} = -\frac{R_2}{R_1} U_{kir} \quad (4.1)$$

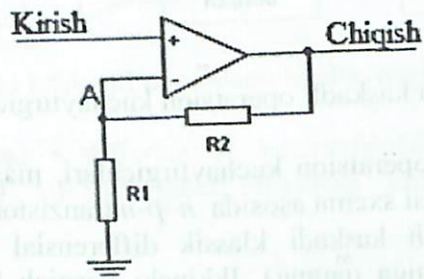
Real sxemalarda ko'pincha qo'shimcha qarshilik R3 qo'shiladi, uning qarshiligi R1 va R2 yig'indisiga teng.

Sxemada $U_A = U_{kir}$ y'ani U_A kuchalnish bo'luvchidan olinadi:

$$U_A = \frac{U_{chiq} R_1}{R_1 + R_2} \quad (4.2)$$

U holda kuchaytirish koeffitsiyent i:

$$K_U = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (4.3)$$



4.3- rasm. Inverslamaydigan operatsion kuchaytirgich

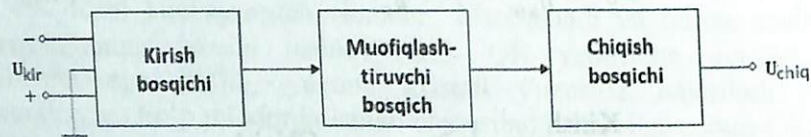
Ushbu kuchaytirgichning kirish qarshiligi cheksizdir (411 turdagi OK uchun u 10^{12} Om yoki undan ko'p, bipolyar tranzistorli OK uchun odatda 10^8 Omdan oshadi). Chiqish qarshiligi, avvalgi holatda bo'lgani kabi, Omning fraktsiyalariga teng. Agar teskari kuchaytirgichda bo'lgani kabi, kirish kuchlanishi o'zgarganda biz uning va'da qilinganidek ishlashini ko'ramiz.

Katta kuchaytirish olish uchun OKlar ikki yoki uch bosqichli o'zgarimas tok kuchaytirgichlari asosida quriladi.

OKlarda kirish bosqichi sifatida differensial kuchaytirgich qo'llaniladi, bu kuchaytirish dreyfini maksimal kamaytirishga va ancha yuqori kuchaytirish koeffitsiyentini olishga imkon yaratadi. U bilan kuchaytirgichning yuqori kirish qarshiligi, sinfaz signallarga sezgirlik va siljish kuchlanishi aniqlanadi. Oraliq (muvoqlashtiruvchi) kaskadlar kerakli kuchaytirishni ta'minlaydilar va differensial kuchaytirgich chiqishidagi kuchlanish siljishini nolga yaqin qiymatgacha kamaytiradi. Oraliq kaskadlarda differensial kuchaytirgichlar kabi, bir kaskadli kuchaytirgichlar ham qo'llaniladi.

Chiqish kaskadlari OKning kichik chiqish qarshiligi va katta chiqish quvatini ta'minlashi kerak.

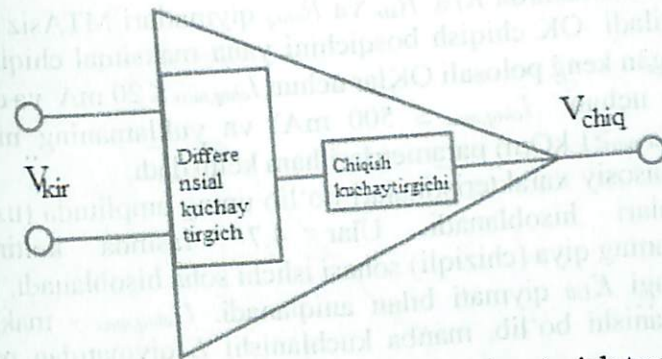
Chiqish bosqichlari sifatida odatda AV rejimda ishlaydigan komplementar emitter qaytargich qo'llaniladi.



4.4- rasm. Uch kaskadli operatsion kuchaytirgich tuzilmasi

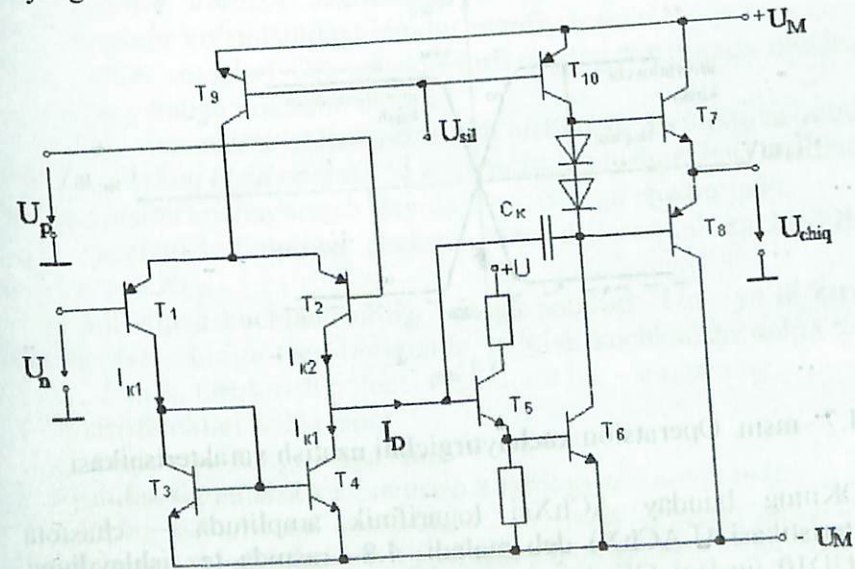
Birinchi avlod operatsion kuchaytirgichlari, masalan K140UD1, uch kaskadli tuzilmasi sxema asosida $n-p-n$ tranzistorlarda bajarilgan. Birinchi kuchaytirish kaskadi klassik differensial kuchaytirgichda bajarilgan (DK rasmiga qarang). Ikkinchi bosqich ham differensial kuchaytirgichda bajarilgan bo'lib, bu bosqichda BTG qo'llanilmaydi. Chiqish bosqichi A rejimida ishlaydi, ya'ni emitter qaytargich vazifasini bajaradi. Mazkur operatsion kuchaytirgichlarning kamchiligi bo'lib uncha katta bo'lmagan kuchaytirish koeffitsiyenti ($K_{U0}=300\div 4000$) va kichik kirish qarshiligi ($R_{kir}\approx 4$ kOm) hisoblanadi.

Aytib o'tilgan kamchiliklar *ikki kaskadli* sxemada yasalgan ikkinchi avlod OKlarda bartaraf etilgan. Xarakteristikalarini yaxshilash *tarkibiy tranzistorlar*, yuqori omli rezistorlar qo'llash va differensial bosqich yuklama rezistorlarini dinamik yuklamalarga almashtirish hisobiga amalga oshirilgan. Bir qator ikkinchi avlod OKlari maydoniy tranzistorlarda bajarilgan, buning natijasida kirish qarshiligi yanada oshirilgan.



4.5- rasm. Ikki kaskadli operatsion kuchaytirgich tuzilmasi

Birinchi kaskad - differensial kuchaytirgich bosqichi, ya'ni differensial signal kuchaytirgichi, ikkinchi kaskad - chiqish kuchaytirgichi.



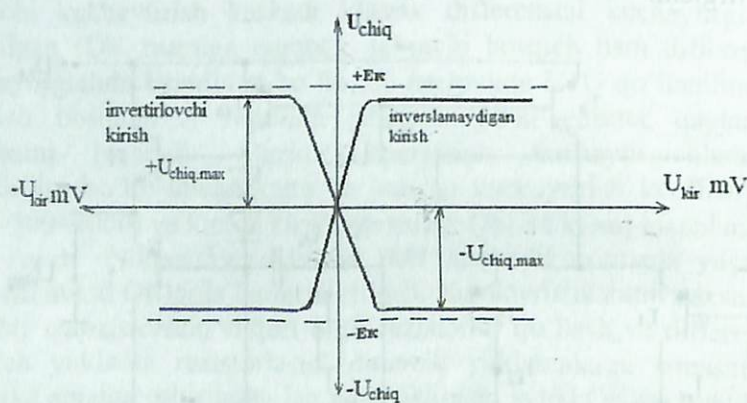
4.6- rasm. Ikki kaskadli operatsion kuchaytirgich sxemasi

140UD7 turdagi kuchaytirgich keng tarqalgan ikki kaskadli OK hisoblanadi. Bu OK kuchaytirish koeffitsiyent i $K_{U0}=45000$, kirish qarshiligi esa $R_{kir}=400$ kOm.

Ma'lumotnomalarda K_{U0} , R_{kir} va R_{chiq} qiymatlari MTAsiz OK lar uchun keltiriladi. OK chiqish bosqichini yana maksimal chiqish toki (tez ishlaydigan keng polosali OKlar uchun $I_{chiq,max} \leq 20$ mA va quvvati katta OKlar uchun $I_{chiq,max} \leq 500$ mA) va yuklamaning minimal qarshiligi ($R_{yu,min} \geq 1$ kOm) parametrlari ham keltiriladi.

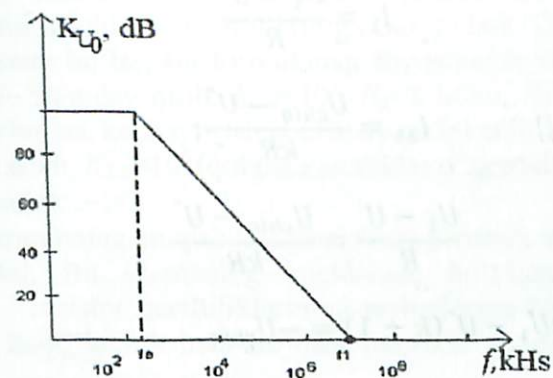
OKning asosiy xarakteristiklari bo'lib uning amplituda (uzatish) xarakteristiklari hisoblanadi. Ular 4.7- rasmda keltirilgan. Xarakteristikaning qiya (chiziqli) sohasi ishchi soha hisoblanadi, uning og'ish burchagi K_{U0} qiymati bilan aniqlanadi. $U_{chiq,max}$ - maksimal chiqish kuchlanishi bo'lib, manba kuchlanishi E qiymatidan ozgina kichik bo'ladi.

OKning chastota xossalari uning AChXsida aks ettiriladi. Bu xarakteristikani qurishda K_{U0} dBlarda ifodalanadi, chastota esa logarifm masshtabida gorizontaal o'q bo'ylab o'rnatiladi.



4.7- rasm. Operatsion kuchaytirgichni uzatish xarakteristikasi

OKning bunday AChXsi logarifmik amplituda - chastota xarakteristikasi (LACHX) deb ataladi. 4.8- rasmda tez ishlaydigan K140UD10 turdagi OKning LACHXsi keltirilgan. f_{yu} - chastotadan kichik qiymatlarda kuchaytirish koeffitsiyenti $20 \lg K_{U0}$ ga teng bo'ladi, ya'ni LACHX chastota o'qiga parallel to'g'ri chiziqni beradi. Kirish signalining ortishi bilan K_{U0} kamaya boshlaydi va f_l chastotada kuchaytirish koeffitsiyenti birga teng bo'ladi.



4.8- rasm. Logarifmik amplituda - chastota xarakteristikasi

OK asosiy ulanish sxemalari. OKlarda doim chiziqli yoki nochiziqli zanjir ko'rinishidagi chuqur manfiy teskari aloqa bajarilgan bo'ladi. MTA xossalari OK asosida turli analog va impuls elektron quurilmalar yaratish imkonini beradi.

Bunday sxemalarni ishlash prinsipini tushunish va ularni taxminiy tahlil qilish uchun *ideal* operatsion kuchaytirgich tushunchasi kiritiladi. Ideal operatsion kuchaytirgich quyidagi xossalarga ega bo'ladi:

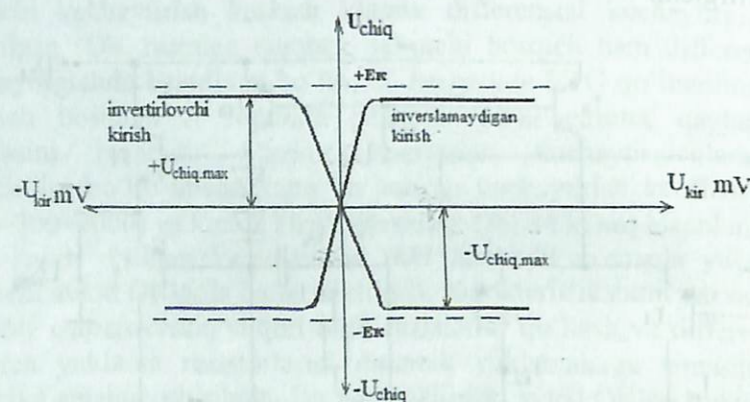
- kuchlanish bo'yicha cheksiz katta differensial kuchaytirish koeffitsiyenti K_{U0} ;
- nol siljish kuchlanishining nolga tengligi U_{SL} , ya'ni kirish signallari bir - biriga teng bo'lganda, chiqish kuchlanishi nolga teng bo'ladi; demak, OK kirish potentsiallari doim bir - biriga teng;
- kirish toklari nolga teng;
- chiqish qarshiligi nolga teng;
- sinfaz signallarni kuchaytirish koeffitsiyenti nolga teng.

OKning differensial ulanishi. 4.7- rasmda OKning differensial ulanish sxemasi keltirilgan. Kirxgof qonuniga binoan $I_1 + I_2 - I_{kir} = 0$. Bundan v) xossa $I_{kir} = 0$ bo'lsa, u holda $I_1 + I_2 = 0$.

Ma'lumotnomalarda K_{U0} , R_{kir} va R_{chiq} qiymatlari MTAsiz OK lar uchun keltiriladi. OK chiqish bosqichini yana maksimal chiqish toki (tez ishlaydigan keng polosali OKlar uchun $I_{chiq,max} \leq 20$ mA va quvvati katta OKlar uchun $I_{chiq,max} \leq 500$ mA) va yuklaning minimal qarshiligi ($R_{yu,min} \geq 1$ kOm) parametrlari ham keltiriladi.

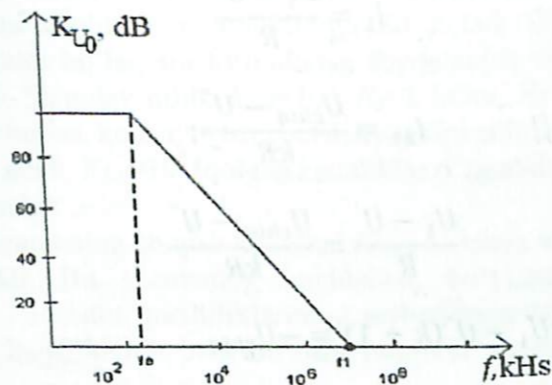
OKning asosiy xarakteristiklari bo'lib uning amplituda (uzatish) xarakteristiklari hisoblanadi. Ular 4.7- rasmda keltirilgan. Xarakteristikaning qiya (chiziqli) sohasi ishchi soha hisoblanadi, uning og'ish burchagi K_{U0} qiymati bilan aniqlanadi. $U_{chiq,max}$ - maksimal chiqish kuchlanishi bo'lib, manba kuchlanishi E qiymatidan ozgina kichik bo'ladi.

OKning chastota xossalari uning AChXsida aks ettiriladi. Bu xarakteristikani qurishda K_{U0} dBlarda ifodalanadi, chastota esa logarifm masshtabida gorizontaal o'q bo'ylab o'rnatiladi.



4.7- rasm. Operatsion kuchaytirgichni uzatish xarakterisnikasi

OKning bunday AChXsi logarifmik amplituda - chastota xarakteristikasi (LACHX) deb ataladi. 4.8- rasmda tez ishlaydigan K140UD10 turdagi OKning LACHXsi keltirilgan. f_{yu} - chastotadan kichik qiymatlarda kuchaytirish koeffitsiyenti $20 \lg K_{U0}$ ga teng bo'ladi, ya'ni LACHX chastota o'qiga parallel to'g'ri chiziqni beradi. Kirish signalining ortishi bilan K_{U0} kamaya boshlaydi va f_l chastotada kuchaytirish koeffitsiyenti birga teng bo'ladi.



4.8- rasm. Logarifmik amplituda - chastota xarakteristikasi

OK asosiy ulanish sxemalari. OKlarda doim chiziqli yoki nochiziqli zanjir ko'rinishidagi chuqur manfiy teskari aloqa bajarilgan bo'ladi. MTA xossalari OK asosida turli analog va impuls elektron quurilmalar yaratish imkonini beradi.

Bunday sxemalarni ishlash prinsipini tushunish va ularni taxminiy tahlil qilish uchun *ideal* operatsion kuchaytirgich tushunchasi kiritiladi. Ideal operatsion kuchaytirgich quyidagi xossalarga ega bo'ladi:

- kuchlanish bo'yicha cheksiz katta differensial kuchaytirish koeffitsiyenti K_{U0} ;
- nol siljish kuchlanishining nolga tengligi U_{SL} , ya'ni kirish signallari bir - biriga teng bo'lganda, chiqish kuchlanishi nolga teng bo'ladi; demak, OK kirish potenciallari doim bir - biriga teng;
- kirish toklari nolga teng;
- chiqish qarshiligi nolga teng;
- sinfaz signallarni kuchaytirish koeffitsiyenti nolga teng.

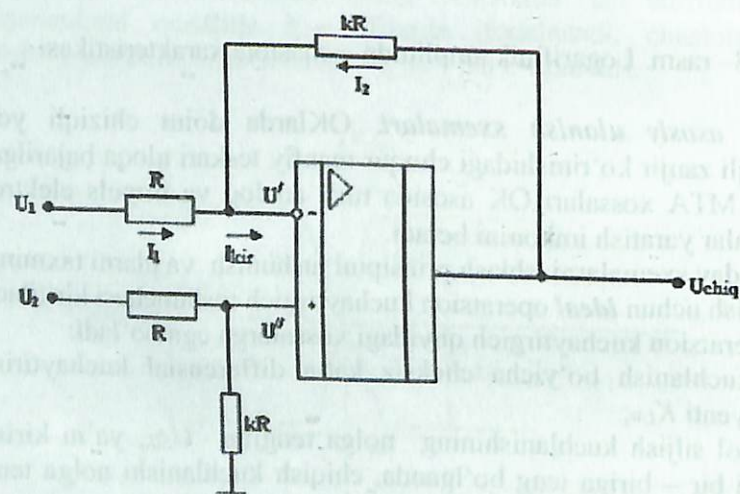
OKning differensial ulanishi. 4.7- rasmda OKning differensial ulanish sxemasi keltirilgan. Kirxgof qonuniga binoan $I_1 + I_2 - I_{kir} = 0$. Bundan v) xossa $I_{kir} = 0$ bo'lsa, u holda $I_1 + I_2 = 0$.

$$I_1 = \frac{U_1 - U'}{R}$$

$$I_{21} = \frac{U_{chiq} - U''}{kR};$$

$$\frac{U_1 - U'}{R} = \frac{U_{chiq} - U''}{kR}$$

$$kU_1 - U''(k+1) = -U_{chiq} \quad (4.4)$$



4.7- rasm. Operatsion kuchaytirgichning differensial ulanish sxemasi

b) xossaga ko'ra $U' = U'' = U_2 \frac{k}{k+1}$. Bu yerdan $U_{chiq} = k(U_2 - U_1)$.

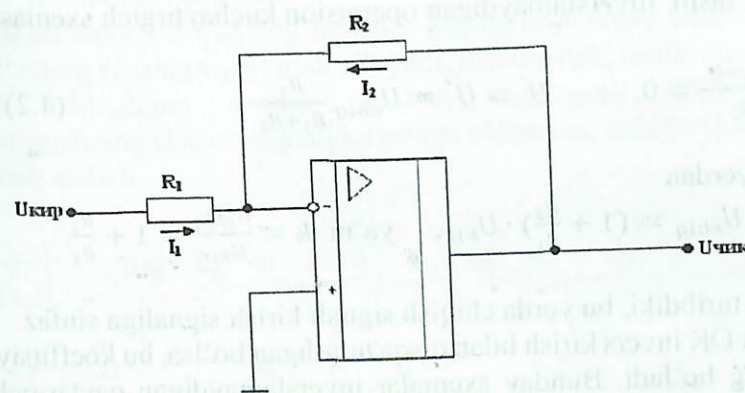
Shunday qilib, OKning differensial ulanishi natijasida yuzaga kelgan qurilma *ayiruvchi - kuchaytirgich* hisoblanadi.

OKning invers ulanishi. Invers ulanishda OKning inverslamaydigan kirishi umumiy shina bilan ulanadi (4.8- rasm). v) xossa natijasida $I_1 + I_2 = 0$. Kirish potentsiallari nolga teng, demak:

$$I_1 = \frac{U_{ktr}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U_{chiq}}{R_2}; \quad k = \frac{U_{chiq}}{U_{ktr}} = -\frac{R_2}{R_1};$$

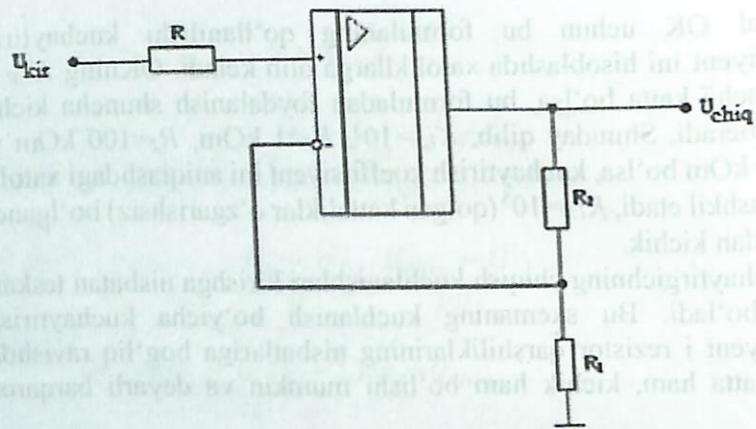
Real OK uchun bu formulaning qo'llanilishi kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblashda xatoliklarga olib keladi. OKning K_{UO} va R_{ktr0} qancha katta bo'lsa, bu formuladan foydalanish shuncha kichik xatolik beradi. Shunday qilib, $K_{UO} = 10^3$, $R_1 = 1$ kOm, $R_2 = 100$ kOm va $R_{ktr0} = 10$ kOm bo'lsa, kuchaytirish koeffitsiyentini aniqlashdagi xatolik 9% ni tashkil etadi, $K_{UO} = 10^5$ (qolgan kattaliklar o'zgarishsiz) bo'lganda - 0,1% dan kichik.

Kuchaytirgichning chiqish kuchlanishlari kirishga nisbatan teskari fazada bo'ladi. Bu sxemaning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentini rezistor qarshiliklarining nisbatlariga bog'liq ravishda birdan katta ham, kichik ham bo'lishi mumkin va deyarli barqaror bo'ladi.



4.8- rasm. Inverslaydigan operatsion kuchaytirgich

OKning inverslamaydigan ulanishi. Inverslaydigan ulanishda kirish signali OKning inverslamaydigan kirishiga uzatiladi, inverslaydigan kirishga esa R_1 va R_2 bo'luvchi rezistorlar orqali kuchaytirgich chiqishidan teskari aloqa signali uzatiladi (4.9 - rasm).



4.9- rasm. Inverslamaydigan operatsion kuchaytirgich sxemasi

$$\frac{U_{kir} - U'}{R} = 0, \quad U' = U'' = U_{chiq} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (4.2)$$

Bu yerdan

$$U_{chiq} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{kir}, \quad \text{ya'ni } k = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

Ko'rinib turibdiki, bu yerda chiqish signali kirish signaliga sinfaz.

Agar OK invers kirish bilan qisqa tutashgan bo'lsa, bu koeffitsiyent birga teng bo'ladi. Bunday sxemalar inverslamaydigan qaytargichlar deb ataladi va yagona qobiqda bajarilgan bir necha kuchaytirgich ko'rinishidagi alohida integral mikrosxemalar ko'rinishida bir varakayiga ishlab chiqariladi.

Qaytargichda qo'llanilgan OK turi uchun maksimal kirish qarshiligi va minimal chiqish qarshiligi amalga oshiriladi. OK asosidagi qaytargich, ixtiyoriy biror qaytargich kabi (emitter yoki istok), muvofiqshiruvchi bosqich sifatida ishlatiladi.

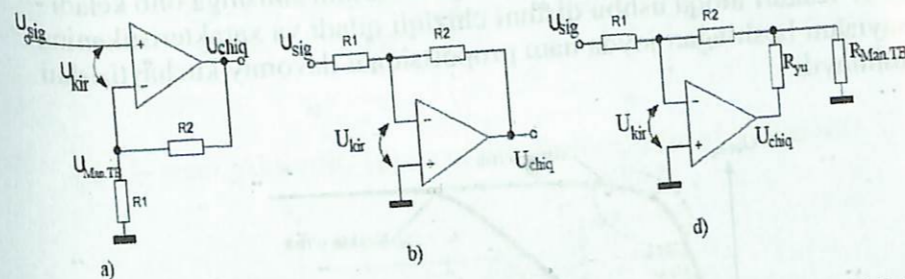
4.2. Operatsion kuchaytirgichlarga iners teskari aloqa zanjirlari

Impuls qurilmalarda generator ma'lum davomiylik va amplitudaga ega to'g'ri to'rtburchak shakldagi impulslar ishlab chiqaradi. Bu

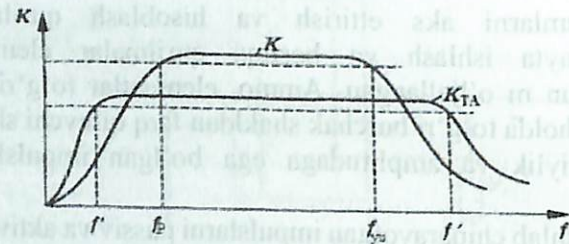
impulslar raqamlarni aks ettirish va hisoblash qurilmalarida, axborotlarni qayta ishlash va boshqa qurilmalar elementlarini boshqarish uchun m o'ljallangan. Ammo, elementlar to'g'ri ishlashi uchun umumiy holda to'g'ri burchak shakldan farq qiluvchi shakldagi, ma'lum davomiylik va amplitudaga ega bo'lgan 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.

Teskari aloqa (teskari bog'lanish) - kuchaytirgichning chiqishidan signalni uning kirishiga qaytarish jarayoni, shuningdek, ushbu uzatishni amalga oshiradigan sxema. Teskari bog'lanish (TB) agar kuchaytirgichning chiqish signali kirishdan chiqarilsa, manfiy (ManTB, NFB) deb ataladi.



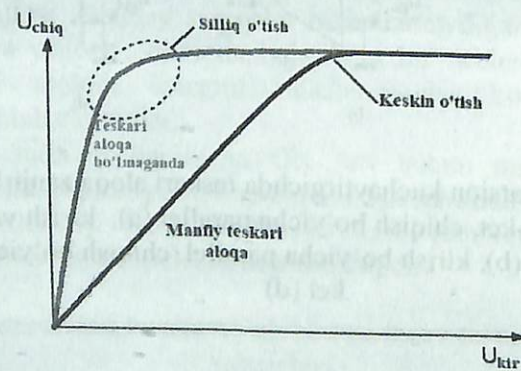
4.10- rasm. Operatsion kuchaytirgichda teskari aloqa zanjirlari: kirish bo'yicha ketma-ket, chiqish bo'yicha parallel (a), kirish va chiqish bo'yicha parallel (b), kirish bo'yicha parallel, chiqish bo'yicha ketma-ket (d)



4.11- rasm. Kuchaytirgichning chastota diapazonini

Manfiy teskari aloqa kuchaytirgichning chastota diapazonini kengaytiradi. Kuchaytirgich 6 dB/oktava chastotaga javob qaytarilishiga ega bo'lsa, pastki f_p va yuqori f_{yu} kesish chastotalari taxminan $(1+\beta \cdot Ku)$ ga ortadi.

Manfiy teskari aloqaning kiritilishi kuchaytirgichning chiziqli bo'lmagan buzilishlarini (garmonik koeffitsiyent) taxminan $(1+\beta \cdot Ku)$ marta kamaytiradi. Buning sababi shundaki, manfiy teskari aloqaning tizimni chiziqli qiladi va uning xatolarini kamaytiradi. Kuchaytirgichning amplituda xarakteristikasi ham o'zgaradi, unda to'yinganlik mintaqasida silliq o'tish juda keskin sinishiga olib keladi - manfiy teskari aloqa ushbu qismni chiziqli qiladi va xarakteristikaning pasayishni boshlagan joyda ham proporsional davomiy kuchaytirishni ta'minlaydi.

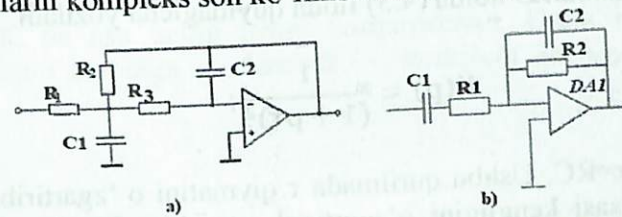


4.12- rasm. Kuchaytirgichning amplituda xarakteristikasi

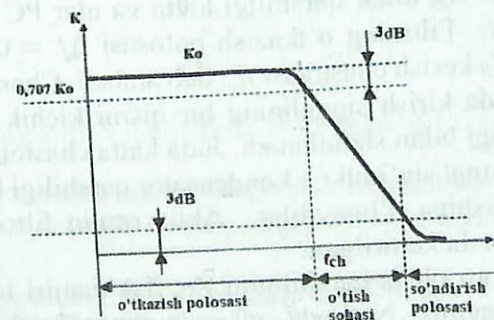
4.3. Opratsion kuchaytirgichlar asosida aktiv filtrlar

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 kuchaytiradilar, kichik massa va hajmga egadirlar, integral texnologiya usullari asosida yasaladi, kaskadlar ulanishlarida ham sozlanishi qulay. Aktiv filtrlar kamchiliklarga ham ega: manbadan energiya iste'mol qiladi va o'nlab MGs dan yuqori chastotalarda (OK ning f_{ch} chegaraviy chastotasi bilan aniqlanadigan) ishlatib bo'lmaydi.

Inverslaydigan OK asosidagi ikkinchi darajali aktiv RC — past chastota filtri prinsipial sxemasi 4.13, a-rasmda tasvirlangan. Kirishga sinusoidal signal berilganda filtrning uzatish koeffitsiyent ini aniqlaymiz. Sxemaning barcha elementlari chiziqli bo'lgani, tok va kuchlanishlar sinusoida bo'yicha o'zgargani sababli, barcha tok va kuchlanishlarni kompleks son ko'rinishida ifodalaymiz.



4.13- rasm. Aktiv RC (a) va oraliq (polosa) filtri (b) sxemasi



4.14-rasm. Ikkinchi darajali filtrning logorifmik amplituda chastota xarakteristikasi

OK ni ideal deb hisoblab ($I_{kir} = 0, U' = U''$), Kirxgofning birinchi qonuniga binoan inverslaydigan kirish uchun $I_1 = I_2 + I_0$ hosil qilamiz.

Bu yerda:

$$I_1 = \frac{U_{kir} - \dot{U}_1}{R_1}; I_2 = \frac{\dot{U}_1 - \dot{U}'}{R_2}; I_0 = (\dot{U}_1 - \dot{U}_{chiq})j\omega C_1$$

$$\frac{\dot{U}_1 - \dot{U}'}{R_2} = \dot{U}'j\omega C_1 \text{-ekanligini hisobga olgan holda, sxemaning uzatish koeffitsiyenti:}$$

$$K(p) = \frac{\dot{U}_{chiq}}{U_{kir}} = \frac{1}{p^2 + p \frac{C_2(R_1+R_2)}{R_1 R_2 C_1 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (4.3)$$

Bu yerda $p = j\omega$ Filtrning darajasi m azkur ifodadagi maksimal p darajasi bilan aniqlanadi. Bunday filtrlarni tuzishda odatda $C_1 = C_2 = C$, $R_1 = R_2 = R$ tanlanadi. U holda (4.3) 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 polosasida uzatish koeffitsiyent i o'zgarmas va K_{U0} ga teng bo'ladi (4.14- rasm), chunki sig'imlar qarshiligi katta va ular PC hF ishiga ta'sir ko'rsatmaydilar. Filtrning o'tkazish polosasi $\Delta f = 0 \div f_B$, $f_B = 1/2\pi RC$. 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 oraliq filtrining sodda sxemasi 4.13, b-rasm da keltirilgan.

Kirish zanjiri kompleks qarshiligini Z_G , TA zanjiri impedansini esa Z_0 orqali ifodalaymiz. Natijada, inverslaydigan kuchaytirgichga o'xshash oraliq filtri sxemasiga ega bo'lamiz. Ammo, kirish zanjiri ham, ketma-ket manfiy TA zanjiri ham chastotaga bog'liq. U holda filtrning kompleks kuchaytirish koeffitsiyenti:

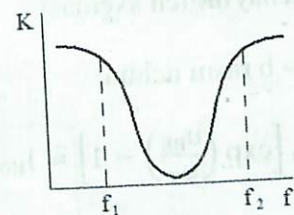
$$K_U = -\frac{Z_0}{Z_r} = -\frac{R}{(1+j\omega\tau)R(1+\frac{1}{j\omega\tau})} \quad (4.4)$$

ga teng bo'ladi. Bundan uzatish koeffitsiyenti:

$$K(p) = -\frac{p\tau}{(1+p\tau)^2} \quad (4.5)$$

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

Polosa filtri LACHXsi 4.15-rasm da keltirilgan. Kesish chastotasi $f_{kes} = 1/2\tau RC$ bo'lganda TA koeffitsiyent i $\infty = 0$, kesish chastotasidan farqli chastotalarda esa $\infty \approx 1$. $K_{UTA} = K_U / (1 + \infty K_U)$ nisbatdan kelib chiqadi-ki, $\infty = 1$ bo'lganda aktiv filtr uchun $K_U \approx 1$. Kesish chastotasiga yaqinlashgan sari signal uzatish koeffitsiyent i kamayadi, bu esa manfiy TAni susayishiga olib keladi, ya'ni ∞ , natijada filtr K_U si ortadi. Kesish chastotasi f_{kes} da manfiy TA mavjud bo'lmaydi va $K(f) = K_{U0}$. Polosali o'tkazuvchi filtrda faqat manfiy TA qo'llaniladi, bu esa uning ishini barqarorlaydi. Katta kuchaytirish koeffitsiyent i hisobiga u *chastota — tanlovchi kuchaytirgich* deb ataladi.



4.15-rasm. Polosa filtri logarifmik amplituda chastota xarakteristikasi

4.4. Operatsion kuchaytirgichlar asosida logarifmik va antilogarifmik kuchaytirgich sxemalarini qurish

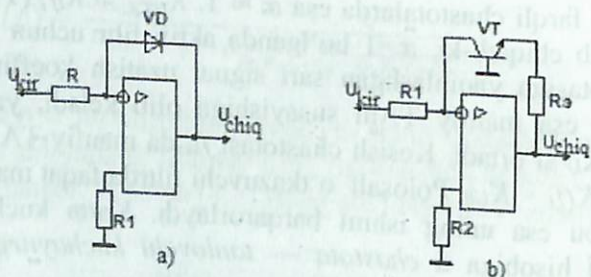
Logarifmik kuchaytirgichda chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishi logarifmiga proporsional bo'ladi. Logarifmik xarakteristika hosil qilish uchun OK manfiy TA zanjiriga diod yoki UB sxemadagi BT ulanadi. Diodli va BTli logarifmik kuchaytirgich sxemalari mos ravishda 4.16, a va b-raslarda ko'rsatilgan.

Avvalgidek, OKning ideallik xossalaridan $I_{kir}=0$ va $U'=U''=0$ kelib chiqadi. Shu sababli $I_1 = I_2$. 4.16, a-rasmdagi sxema uchun

$$I_1 = \frac{U_{kir}}{R}; \quad I_2 = I_0 \left[\exp\left(\frac{U}{\varphi_T}\right) - 1 \right] \approx I_0 \left[\exp\left(\frac{U}{\varphi_T}\right) \right] \quad (4.6)$$

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

$$U_{chiq} = -\varphi_T \left[\ln\left(\frac{U_{kir}}{R}\right) - \ln I_0 \right] = -\varphi_T \ln U_{kir} / (RI_0) \quad (4.7)$$



4.16- rasm. Diodli (a) va bipolyar tranzistorli (b) logarifmik kuchaytirgich sxemasi

Yuqoridagi kabi 4.16- b rasm uchun:

$$I_1 = \frac{U_{kir}}{R}; \quad I_2 = I_K = I_{E0} \left[\exp\left(\frac{U_{BE}}{\varphi_T}\right) - 1 \right] \approx I_{E0} \exp\left(\frac{U_{BE}}{\varphi_T}\right) \quad (4.8)$$

Bundan:

$$U_{chiq} = -\varphi_T \ln U_{kir} / (RI_{E0})$$

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 4.16, a-rasmdagi sxemaga teskari yo'nalishda diod ulash va kirish kuchlanishi qutbini o'zgartirish kerak. 4.16, b-rasmda p-n-p - turli transistor qo'lash usuli bilan shunday natijaga erishish mumkin.

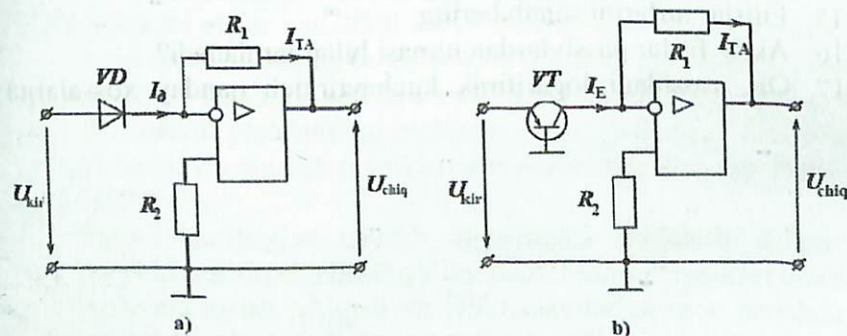
Antilogarifmik (eksponensial) kuchaytirgich. Antilogarifmik kuchaytirgich hosil qilish uchun yuqorida ko'rib o'tilgan sxemalarda diod (tranzistor) bilan rezistor o'rini almashtirish kerak (4.17, a va b-rasmlar). 4.16, a va b-rasmlardagi sxemalar kabi, 4.17, a-rasmdagi sxema uchun

$$U_{chiq} = -RI_0 \exp\left(\frac{U_{kir}}{\varphi_T}\right)$$

4.17, b-rasmdagi sxema uchun

$$U_{chiq} = -RI_{E0} \exp\left(\frac{U_{kir}}{\varphi_T}\right)$$

Logarifmik va antilogarifmik kuchaytirgichlar ko'paytirish va bo'lish matematik amallarini bajarish uchun qo'llaniladi. Haqiqatdan, sonlarni ko'paytirish uchun ularning logarifmlarini qo'shish yetarlidir. Uchta sonni ko'paytirish uchun, ularning harbirini avval o'zining logarifmik kuchaytirgichi kirishiga berish, so'ngra uchta kirishli jamlovchi qurilma kirishiga uzatish lozim.



4.17 -rasm. Antilogarifmik kuchaytirgichlar sxemasi

Nazorat savollari

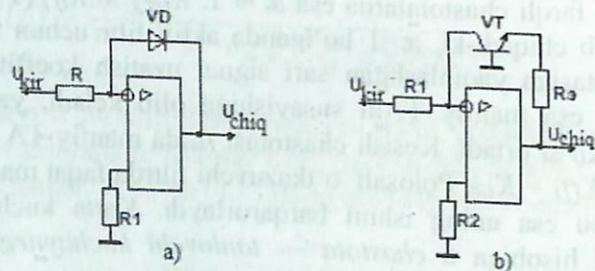
1. OK deb nimaga aytiladi?
2. OK ning uzatish xarakteristikasi.
3. OK ulanish sxemalarini keltiring.

Avvalgidek, OKning ideallik xossalaridan $I_{kir} = 0$ va $U' = U'' = 0$ kelib chiqadi. Shu sababli $I_1 = I_2$. 4.16, a-rasmdagi sxema uchun

$$I_1 = \frac{U_{kir}}{R}; \quad I_2 = I_0 \left[\exp\left(\frac{U}{\varphi_T}\right) - 1 \right] \approx I_0 \left[\exp\left(\frac{U}{\varphi_T}\right) \right] \quad (4.6)$$

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

$$U_{chiq} = -\varphi_T \left[\ln\left(\frac{U_{kir}}{R}\right) - \ln I_0 \right] = -\varphi_T \ln U_{kir} / (RI_0) \quad (4.7)$$



4.16- rasm. Diodli (a) va bipolyar tranzistorli (b) logarifmik kuchaytirgich sxemasi

Yuqoridagi kabi 4.16- b rasm uchun:

$$I_1 = \frac{U_{kir}}{R}; \quad I_2 = I_K = I_{E0} \left[\exp\left(\frac{U_{BE}}{\varphi_T}\right) - 1 \right] \approx I_{E0} \exp\left(\frac{U_{BE}}{\varphi_T}\right) \quad (4.8)$$

Bundan:

$$U_{chiq} = -\varphi_T \ln U_{kir} / (RI_{E0})$$

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 4.16, a-rasmdagi sxemaga teskari yo'nalishda diod ulash va kirish kuchlanishi qutbini o'zgartirish kerak. 4.16, b-rasmda $p-n-p$ - turli transistor qo'lash usuli bilan shunday natijaga erishish mumkin.

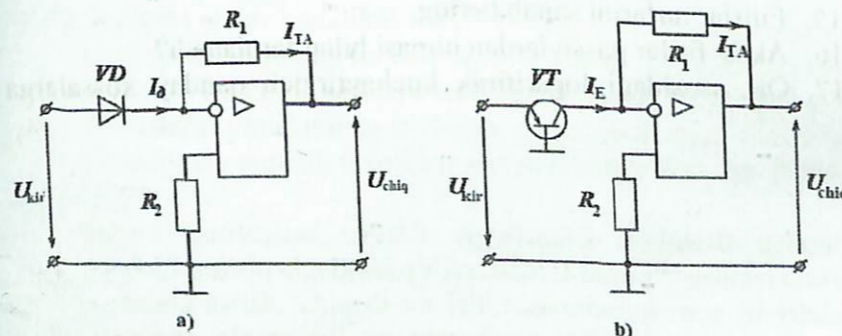
Antilogarifmik (eksponensial) kuchaytirgich. Antilogarifmik kuchaytirgich hosil qilish uchun yuqorida ko'rib o'tilgan sxemalarda diod (tranzistor) bilan rezistor o'rnini almashtirish kerak (4.17, a va b-rasmlar). 4.16, a va b-rasmlardagi sxemalar kabi, 4.17, a-rasmdagi sxema uchun

$$U_{chiq} = -RI_0 \exp\left(\frac{U_{kir}}{\varphi_T}\right)$$

4.17, b-rasmdagi sxema uchun

$$U_{chiq} = -RI_{E0} \exp\left(\frac{U_{kir}}{\varphi_T}\right)$$

Logarifmik va antilogarifmik kuchaytirgichlar ko'paytirish va bo'lish matematik amallarini bajarish uchun qo'llaniladi. Haqiqatdan, sonlarni ko'paytirish uchun ularning logarifmlarini qo'shish yetarlidir. Uchta sonni ko'paytirish uchun, ularning harbirini avval o'zining logarifmik kuchaytirgichi kirishiga berish, so'ngra uchta kirishli jamlovchi qurilma kirishiga uzatish lozim.



4.17 -rasm. Antilogarifmik kuchaytirgichlar sxemasi

Nazorat savollari

1. OK deb nimaga aytiladi?
2. OK ning uzatish xarakteristikasi.
3. OK ulanish sxemalarini keltiring.

4. "Ideal" OK parametrlariga qanday talablar qo'yiladi?
5. OK asosiy parametrlari va xarakteristikalarini aytib bering.
6. OKning asosiy funksional qismlari nimalardan iborat?
7. Real DK qanday parametrlar bilan xarakterlanadi? Kirish signalining sinfaz va parafaz tashkil etuvchilari nima?
8. Emitter qaytargichlar qanday maqsadlarda qo'llaniladi? Ulaming kirish va chiqish qarshiliklari nisbatlari qanday?
9. Ko'p kaskadli kuchaytirgichlarda sathni siljitish qurilmalari qanday amalga oshiriladi?
10. Kuchaytirish ChK sxemalari, ulaming ishlash prinsiplari, rejimlari va asosiy xarakteristikalari haqida ta'lumot bering.
11. BT va MTli BTG ish prinsipi va xarakteristikalari haqida ta'lumot bering.
12. Ideal OKga ta'rif bering.
13. Inverslaydiga operatsion kuchaytirgichning kirish chiqish tebranishlarini farqini tushintiring.
14. Ikki kaskadli OK ning tuzilma sxemasini chizing.
15. Filtrlar turlarini sanab bering.
16. Aktiv fitrlar passivlardan nimasi bilan farqlanadi?
17. OK asosidagi logarifmik kuchaytirgich qanday xossalarga ega?

V BOB MANTIQUIY INTEGRAL SXEMALAR NEGIZ ELEMENTLARI

5.1. Raqamli texnika asoslari

Zamonaviy hisoblash texnikasida axborotni raqamli qayta ishlash usuli muhim rol o'ynaydi. Raqamli yarim o'tkazgichli IMSlar hisoblash texnikasi qurilmalari va tizimining negiz elementi hisoblanadi. Hisoblash mashinalari tomoniday qayta ishlanayotgan berilganlar, natija va boshqa axborotlar faqat ikki qiymat oladigan (ikkilik sanoq tizimi) elektr signallari ko'rinishida ifodalanadi.

Analog axborotni raqamli ko'rinishga aylantirish uchun uni *kvantlaydilar*, ya'ni vaqt bo'yicha uzluksiz signal uning ma'lum nuqtalardagi diskret qiymatlari bilan almashtiriladi. So'ngra berilgan signal oxirgi diskret qiymatiga mos ravishda raqam beriladi. Signal diskret darajalarini raqamlar ketma - ketligi bilan almashtirish jarayoni *kodlash* deb ataladi. Olingan raqamlar ketma - ketligi *signal kodi* deb ataladi.

Ikkilik sanoq tizimida biror son ikki raqam: 0 va 1 orqali ifodalanadi. Raqamlarni ifodalash uchun raqamli tizimlarda tok yoki kuchlanish kabi elektr kattalikni ikki holatdagi signalini qabul qilishga moslashgan elektron sxema bo'lishi talab qilinadi. Kattalikning biri - 0 ga, ikkinchisi - 1 ga mos kelishi kerak. Ikki elektr holatga ega bo'lgan elektr sxemalarni yaratishning nisbatan soddaligi shunga olib keldiki, hozirgi zamonaviy raqamli texnika mana shu ikkilik ifodalanish tizimga asoslangan.

Raqamli qurilmalar ishlash algoritmini ifodalash uchun bul algebrasi yoki mantiq algebrasi qo'llaniladi. Mantiq algebrasi doirasida raqamli sxema kirish, chiqish va ichki qismlariga mos ravishda bul o'zgaruvchilari o'rnatiladi va ular faqat ikki qiymat qabul qilishi mumkin:

$$X=0 \text{ agar } X \neq 1; \quad X=1 \text{ agar } X \neq 0.$$

Bul algebrasi asosiy amallari bo'lib mantiqiy qo'shuv, ko'paytiruv va inkor amallari hisoblanadi.

Mantiqiy qo'shuv. Bu amal YOKI amali yoki dizyunksiya deb ataladi. Ikki o'zgaruvchini mantiqiy qo'shish postulatlarini 5.1 – jadvalda keltirilgan.

Bunday jadvallar *haqiqiylik jadvallari* deb ataladi. Shuni ta'kidlash kerakki, bu amal ixtiyoriy o'zgaruvchilar soniga mo'ljallangan. Amal bajarilayotgan o'zgaruvchilar soni, uning belgisidan oldin turgan raqam bilan ko'rsatiladi. Demak, 5.1 – jadvalda 2YOKI amali bajarilgan. Mantiqiy qo'shuv YOKI amalini bajaruvchi element (elektron sxema) shartli belgisi 5.1 a – rasmda keltirilgan.

X1	X2	$Y=X1+X2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

5.1- jadval

Mantiqiy qo'paytiruv. Bu amal HAM amali yoki konyunksiya deb ataladi. Mantiqiy ko'paytiruv postulatlarini 5.2 – jadvalda keltirilgan. Mantiqiy HAM amalini bajaruvchi element shartli belgisi 5.1 b – rasmda ifodalangan.

X1	X2	$Y=X1 \cdot X2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

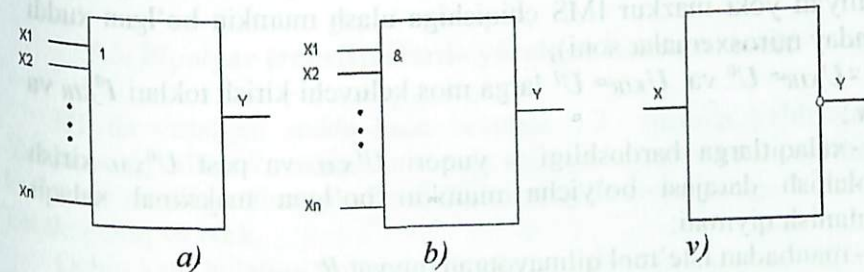
5.2- jadval

Mantiqiy inkor. Inkori amali inversiya yoki to'ldirish deb ataladi. Inkori postulatlarini 5.3 – jadvalda keltirilgan. Inversiya amalini bajaruvchi mantiqiy element shartli belgisi 5.1 v – rasmda keltirilgan.

X	Y
0	1
1	0

5.3- jadval

Elementar mantiqiy HAM, YoKI, EMAS amallarini bajaradigan mantiqiy elementlardan foydalanib ancha murakkab amallarni bajaradigan elementlar va ularga mos keluvchi elektron sxemalar yaratish mumkin.



5.1- rasm. Mantiqiy elementlarni shartli belgilari

Turli amallarni bajaradigan elementlar IMSlar ko'rinishida ko'plab ishlab chiqariladi. Mantiqiy IMSlar seriyalarga birlashadilar. Har bir seriya asosida ma'lum bir mantiqiy amalni bajaruvchi elektr sxemadan tashkil topgan negiz element yotadi, masalan HAM-EMAS mantiqiy amali (Sheffer elementi) yoki YoKI-EMAS mantiqiy amali (Pirs elementi). Raqamli integral mikrosxemalar yaratishda turli murakkab mantiqiy amallarni bajaradigan sxemalarni yasashda faqat bitta HAM-EMAS, yoki YoKI-EMAS mantiqiy elementidan foydalanish talab qilinishi bilan ham ajralib turadi.

5.2. Mantiqiy integral mikrosxemalarning parametrlari

Axborotni kodlash usuliga ko'ra mantiqiy elementlar *potensial va impuls* usullariga bo'linadilar.

Mantiqiy elementlarning ko'pchiligi potensial hisoblanadi, ya'ni ularda ikkilik axborot ikkita elektr potensial daraja ko'rinishida ifodalangan: mantiqiy 0 – past potensial U^0 , mantiqiy 1 – yuqori potensial U^1 . Impuls mantiqiy elementlarda mantiqiy birga - impulsning mavjudligi, mantiqiy nolga – uning mavjud emasligi mos keladi.

IMS potensial mantiqiy elementlari quyidagi parametrlar bilan xarakterlanadi:

- mantiqiy «0» va «1» kuchlanishlari - U^0 va U^1 ;
- mikrosxema holati teskari holatga o'zgaradigan kirishdagi ma'lum kuchlanish – bo'sag'aviy kuchlanish $U_{BO'S}$;
- kirish bo'yicha birlashish koeffitsiyenti m (kirishlar soni);
- chiqish bo'yicha tarmoqlanish koeffitsiyenti n (yuklama qobiliyati yoki mazkur IMS chiqishiga ulash mumkin bo'lgan xuddi shunday mirosxemalar soni);
- $U_{KIR} = U^0$ va $U_{KIR} = U^1$ larga mos keluvchi kirish toklari I^0_{KIR} va I^1_{KIR} ;
- xalaqitlarga bardoshligi – yuqori U^1_{XAL} va past U^0_{XAL} kirish kuchlanish darajasi bo'yicha mumkin bo'lgan maksimal xalaqit kuchlanish qiymati;
- manbadan iste'mol qilinayotgan quvvat R ;
- Y_{EM} kuchlanish va I_M tok manbalari;
- «0» holatdan «1» holatga, yoki aksincha o'tishdagi qayta ulanish kechikish vaqti;
- qayta ulanishlarning (tezkorlik) o'rtacha kechikish vaqti - $0,5 \cdot (t^0_K + t^1_K)$.

Zamonaviy statik tizimlarning asosiy negiz elementi bo'lib Shottki diodlari qo'llanilgan TTM, I²M, EBM, MDYa – tranzistorlarda (yoki r – kanalli MDYa, yoki n – kanalli MDYa) yasalgan mantiq, komplementar MDYa – tranzistorlarda (KMDYa) yasalgan mantiq elementlari hisoblanadi.

Raqamli integral mikrosxema negiz elementlariga qo'yiladigan asosiy talab – ularning tezkorligi, kichik sochilish quvvati, katta joylashtirish zichligi (yagona kristall sirtida joylashgan elementlar soni) va tayyorlanishni texnologikligi hisoblanadi.

Yuqorida sanab o'tilgan negiz elementlar, u yoki bu, yoki bir necha parametrlariga ko'ra bir – biridan ustun tursa, boshqa parametrlariga ko'ra yomonroq hisoblanadi.

IMS negiz mantiqiy elementi asosi bo'lib, qayta ulagichlar sifatida qo'llaniladigan biror elektron kalit hizmat qilishi mumkin. Qayta ulagichlar sifatida qo'llaniladigan yarim o'tkazgichli asboblarga quyidagi umumiy talablar qo'yiladi: birdan katta bo'lgan kuchaytirish koeffitsiyenti; axborot uzatish tizimining bir tomonlamaligi; kirish va chiqish bo'yicha katta tarmoqlanish koeffitsientlari; qayta ulanishlarning katta tezligi; kichik iste'mol quvvati. Elektron kalitlar

sifatida kremniyli bipolyar va maydoniy tranzistorlar qo'llaniladi. Maydoniy tranzistorlarda bajarilgan kalitlar kichik sochilish quvvatiga ega bo'lsalar, bir vaqtning o'zida bipolyar tranzistorlarda bajarilgan elektron kalitlarning qo'llanilishi ularning tezkorligini oshirishga imkon yaratadi.

5.3. Bipolyar tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalar

BT da yasalgan sodda kalit sxemasi 5.2– rasmda keltirilgan. Yuklama qarshiligi R_K emitteri umumiy shinaga ulangan tranzistorning kollektor zanjiriga ulangan. Kalit ikkita turg'un holatga ega bo'lishi kerak: ochiq va berk.

Ochiq kalit holatiga tranzistorning to'yinish yoki aktiv ish rejimi, berk holatga esa - berkilish rejimi mos keladi.

Agar tranzistor bazasiga manfiy kuchlanish berilsa ($U_{kir} < 0$ V), u holda emitter va kollektor o'tishlar teskari yo'nalishda ulangan bo'ladi, ya'ni berk holatda bo'ladi. Bu vaqtda tranzistor kollektor tokining berkilish rejimida ishlaydi va kalit uzilgan holatda bo'ladi. Berkilish rejimida tranzistor toklari mos ravishda

$$I_E \cong 0, I_K = I_{K0}, I_B = -I_{K0} \quad (5.1)$$

Natijada tranzistor kollektoridagi kuchlanish

$$U_K = U_{chiq} = E_M - I_{K0} \cdot R_K \approx E_M \quad (\text{mantiqiy bir } U^1) \quad (5.2)$$

bo'lib, yuklamaning manbadan uzilgan holatiga mos keladi (kalit uzilgan).

Baza zanjirida R_B rezistor mavjud bo'lganda tranzistor baza kuchlanishi

$$U_B = U_{BE} = -U_{kir} + I_{K0} \cdot R_B \quad (5.3)$$

Yuqori temperaturalarda kalit I_{K0} qiymati keskin ortadi va natijada emitter o'tishdagi kuchlanish ham ortadi. Shu sababli berkilish rejimida tranzistor normal ishlashi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak

- mantiqiy «0» va «1» kuchlanishlari - U^0 va U^1 ;
- mikrosxema holati teskari holatga o'zgaradigan kirishdagi ma'lum kuchlanish – bo'sag'aviy kuchlanish $U_{BO'S}$;
- kirish bo'yicha birlashish koeffitsiyenti m (kirishlar soni);
- chiqish bo'yicha tarmoqlanish koeffitsiyenti n (yuklama qobiliyati yoki mazkur IMS chiqishiga ulash mumkin bo'lgan xuddi shunday mirosxemalar soni);
- $U_{KIR} = U^0$ va $U_{KIR} = U^1$ larga mos keluvchi kirish toklari I^0_{KIR} va I^1_{KIR} ;
- xalaqlarga bardoshligi – yuqori U^1_{XAL} va past U^0_{XAL} kirish kuchlanish darajasi bo'yicha mumkin bo'lgan maksimal xalaqit kuchlanish qiymati;
- manbadan iste'mol qilinayotgan quvvat R ;
- Y_{EM} kuchlanish va I_M tok manbalari;
- «0» holatdan «1» holatga, yoki aksincha o'tishdagi qayta ulanish kechikish vaqti;
- qayta ulanishlarning (tezkorlik) o'rtacha kechikish vaqti - $0,5 \cdot (t^0_K + t^1_K)$.

Zamonaviy statik tizimlarning asosiy negiz elementi bo'lib Shottki diodlari qo'llanilgan TTM, I²M, EBM, MDYa – tranzistorlarda (yoki r – kanalli MDYa, yoki n – kanalli MDYa) yasalgan mantiq, komplementar MDYa – tranzistorlarda (KMDYa) yasalgan mantiq elementlari hisoblanadi.

Raqamli integral mikrosxema negiz elementlariga qo'yiladigan asosiy talab – ularning tezkorligi, kichik sochilish quvvati, katta joylashtirish zichligi (yagona kristall sirtida joylashgan elementlar soni) va tayyorlanishni texnologikligi hisoblanadi.

Yuqorida sanab o'tilgan negiz elementlar, u yoki bu, yoki bir necha parametrlariga ko'ra bir – biridan ustun tursa, boshqa parametrlariga ko'ra yomonroq hisoblanadi.

IMS negiz mantiqiy elementi asosi bo'lib, qayta ulagichlar sifatida qo'llaniladigan biror elektron kalit hizmat qilishi mumkin. Qayta ulagichlar sifatida qo'llaniladigan yarim o'tkazgichli asboblarga quyidagi umumiy talablar qo'yiladi: birdan katta bo'lgan kuchaytirish koeffitsiyenti; axborot uzatish tizimining bir tomonlamaligi; kirish va chiqish bo'yicha katta tarmoqlanish koeffitsientlari; qayta ulanishlarning katta tezligi; kichik iste'mol quvvati. Elektron kalitlar

sifatida kremniyli bipolyar va maydoniy tranzistorlar qo'llaniladi. Maydoniy tranzistorlarda bajarilgan kalitlar kichik sochilish quvvatiga ega bo'lsalar, bir vaqtning o'zida bipolyar tranzistorlarda bajarilgan elektron kalitlarning qo'llanilishi ularning tezkorligini oshirishga imkon yaratadi.

5.3. Bipolyar tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalar

BT da yasalgan sodda kalit sxemasi 5.2– rasmda keltirilgan. Yuklama qarshiligi R_K emitteri umumiy shinaga ulangan tranzistorning kollektor zanjiriga ulangan. Kalit ikkita turg'un holatga ega bo'lishi kerak: ochiq va berk.

Ochiq kalit holatiga tranzistorning to'yinish yoki aktiv ish rejimi, berk holatga esa - berkilish rejimi mos keladi.

Agar tranzistor bazasiga manfiy kuchlanish berilsa ($U_{kir} < 0$ V), u holda emitter va kollektor o'tishlar teskari yo'nalishda ulangan bo'ladi, ya'ni berk holatda bo'ladi. Bu vaqtda tranzistor kollektor tokining berkilish rejimida ishlaydi va kalit uzilgan holatda bo'ladi. Berkilish rejimida tranzistor toklari mos ravishda

$$I_E \cong 0, I_K = I_{K0}, I_B = -I_{K0} \quad (5.1)$$

Natijada tranzistor kollektoridagi kuchlanish

$$U_K = U_{chiq} = E_M - I_{K0} \cdot R_K \approx E_M \quad (\text{mantiqiy bir } U^1) \quad (5.2)$$

bo'lib, yuklamaning manbadan uzilgan holatiga mos keladi (kalit uzilgan).

Baza zanjirida R_B rezistor mavjud bo'lganda tranzistor baza kuchlanishi

$$U_B = U_{BE} = -U_{kir} + I_{K0} \cdot R_B \quad (5.3)$$

Yuqori temperaturalarda kalit I_{K0} qiymati keskin ortadi va natijada emitter o'tishdagi kuchlanish ham ortadi. Shu sababli berkilish rejimida tranzistor normal ishlashi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak

$$-U_{kir} + I_{K0} \cdot R_B \leq U_{bo's} \quad (5.4)$$

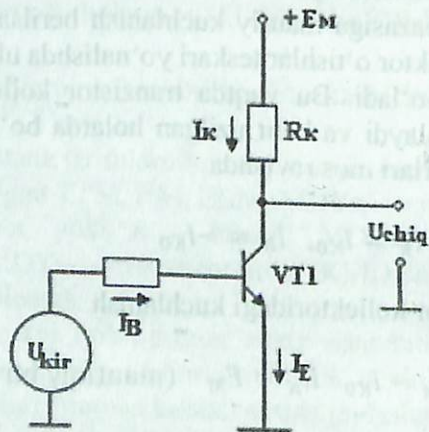
bu yerda $U_{bo's}$ – emitter o'tishdagi musbat kuchlanish U_{BE} bo'lib, ushbu qiymat ortsa tranzistor berk rejimdan aktiv rejimga o'tadi, ya'ni ochiladi.

Integral texnologiyada bajarilgan kremniyli tranzistorlar uchun $U_{bo's} = 0,5 \div 0,6$ V.

Agar $U_{kir} = 0$, u holda (5.4) shart quyidagicha qayta yoziladi.

$$I_{K0} \cdot R_B \leq U_{bo's} \quad (5.5)$$

$U_{bo's} = 0,6$ V va $I_{K0} = 1$ mA deb faraz qilsak, u holda $R_{B,max} = 0,6$ MOm ga teng bo'ladi.



5.2– rasm. Bipolyar tranzistorlarda yasalgan kalit sxemasi

Kirishga $U_{kir} \geq 0,7$ V (mantiqiy bir U^1) kuchlanish berilsa tranzistor aktiv yoki to'yinish rejimida ishlaydi (kalit ulangan).

Kalit rejimda tranzistorning aktiv ish rejimi ma'qullanmaydi, chunki yuklamadagi tok faqat yuklama R_K va manba kuchlanishi E_M kattaligi bilan emas, balki tranzistordagi kuchlanish pasayishi U_{KE} bilan ham aniqlanadi,

$$I_{yu} = I_K = \frac{E_M - U_{KE}}{R_K} \quad (5.6)$$

ya'ni tranzistor xossalariga (parametrlarning o'zgarishi va ularning temperaturaga bog'liqligi) ham bog'liq bo'ladi. Bundan tashqari, aktiv rejimda tranzistorda qo'shimcha quvvat $P_K = I_K \cdot U_{KE}$ sochiladi, sxemaning FIK kamayadi.

Integral texnologiyada bajarilgan kremniyli tranzistorlar uchun to'yinish rejimida $U_{chiq} = U_{KE} \approx 0,25$ V (mantiqiy nol U^0). Analog sxemalarda alohida kalitlar qo'llaniladi. Raqamli sxemalarda esa **kalitli zanjirlar** qo'llaniladi. Bunday zanjirlarda har bir kalitni o'zidan oldingi kalit boshqaradi va o'z navbatida bu kalitning o'zi keyingi kalit uchun boshqaruvchi hisoblanadi. Demak, agar oldingi kalitda tranzistor to'yinish rejimi bo'lsa, u holda bu kalit keyingi kalitni qayta ulashi mumkin emas.

Shunday qilib, agar kalit kirishiga mantiqiy nol potentsiali berilsa, u holda uning chiqishida mantiqiy birga mos potentsial hosil bo'ladi va aksincha, ya'ni bunday kalit invers sxema hisoblanadi va **inverter** deb ataladi.

Asosiy dinamik parametrlaridan biri bo'lib, sxemaning ulanish va uzilish vaqtidagi qayta ulanish jarayonlari bilan aniqlanadigan **tezkorligi** hisoblanadi. Sxema chiqishidagi kuchlanishning bo'sag'aviy qiymati, kirish signalini U^0 dan U^1 ga o'zgartirganda ma'lum t_K^1 vaqtiga, U^1 dan U^0 ga o'zgartirganda t_K^0 vaqtiga kechikadi. Kechikishlarga tranzistorlar qayta zaryadlanish sig'imi va yuklama sabab bo'ladi. Sxema tezkorligi o'rtacha kechikish vaqti bilan aniqlanadi

$$t_K = 0,5(t_K^1 + t_K^0)$$

Sxema iste'mol qilayotgan tok ortsa, sig'implarning katta qayta zaryadlanish tezligi hisobiga qayta ulanish vaqti ortadi. Lekin bu vaqtda sxemaning iste'mol quvvati ortadi. Shu sababli o'rtacha kechikish vaqti qayta ulanish ishi $A_Q = R t_K$ deb ataluvchi kattalik bilan aniqlanadi. Zamonaviy IMSlar uchun $A_Q = 10^{-12} - 10^{-14}$ Dj.

5.4. Maydoniy tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar

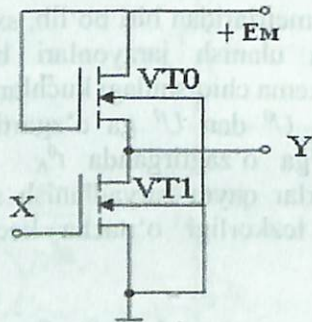
Kalit elementi sifatida odatda kanali induksiyanuvchi MDYa – tranzistorlar qo'llaniladi, chunki ularda U_{ZI} nolga teng bo'lganda uzilgan kalit holati ta'minlanadi (tranzistor berk).

Maydoniy tranzistorlar asosida yasalgan mantiqiy elementlar negizida aktiv element va yuklama MDYa – tranzistorda bajarilgan kalit sxema yotadi. Aktiv va yuklamadagi tranzistorlar bir xil yoki har xil o'tkazuvchanlik turiga ega bo'lgan kanaldan tashkil topgan bo'lishi mumkin. Aktiv tranzistor zatvoriga yuqori potensialga (mantiqiy bir darajasi) berilsa uning stokidagi qoldiq kuchlanish 50-100 mV ni (mantiqiy nol darajasi) ni tashkil etadi. Bu bilan inversiya amalga oshiriladi.

Bir turdagi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar.

5.3– rasmda n – kanali induksiyalanuvchi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemasi keltirilgan.

VT0 tranzistor nohiziqli yuklama vazifasini bajaradi. Ketma – ket ulangan tranzistorlar asosi qobiqda qisqa tutashuv bajariladi, zatvor va yuklamadagi tranzistor stoki manba bilan tutashtirilgan. $E_M = 3U_{bo's}$ tanlanadi, bu yerda $U_{bo's}$ – tranzistor ochiladigan kuchlanish.



5.3– rasm. Bir turdagi metal dielektrik yarimo'tkazgich – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar

Demak, yuqoridagi tranzistor doim ochiq holatda bo'lib to'yinish rejimida bo'ladi va invertor tokini cheklash uchun xizmat qiladi (dinamik yuklama). VT0 stok toki kattaligi quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$I_{S0} = \frac{1}{2} B_0 (U_{S10} - U_{bo's})^2 \quad (5.7)$$

Agar kalit kirishi X ga $U_{kir}^0 < U_{bo's}$ kuchlanish berilsa (mantiqiy nol), VT1 tranzistor berk bo'ladi, kalit orqali 10^{-9} - 10^{-10} A tok oqib

o'tadi, chiqishdagi kuchlanish esa $y = \bar{x}$ bo'lib kuchlanish manbai qiymatiga yaqin bo'ladi: $U_{chiq} \cong E_M$ (mantiqiy bir).

Agar kalit kirishi X ga $U_{kir}^0 \geq U_{bo's}$ kuchlanish berilsa, u holda VT1 tranzistor ochiladi va to'yinish rejimiga o'tadi, bu vaqtda stok toki I_{S1} (5.7) ifoda orqali aniqlanadi, faqat $U_{S10} = E_M$ deb olinadi.

$$I_{S1} = \frac{1}{2} B_1 (E_M - U_{bo's1})^2 \quad (5.8)$$

VT1 tranzistorning to'yinish rejimidagi kanal qarshiligi

$$R = \frac{1}{B_1 (U_{Z1} - U_{bo's1})} = \frac{1}{B_1 (U_{kir}^1 - U_{bo's1})}$$

I_{S1} tokni kanal qarshiligi R ga ko'paytirib, chiqish kuchlanishini olamiz

$$U_{chiq} = \frac{B_0 (E_M - U_{bo's0})^2}{2B_1 U_{kir}^1 - U_{bo's1}} = \frac{B_0 (E_M - U_{bo's0})^2}{2B_1 E_M - U_{bo's1}} \quad (5.9)$$

Amaliyotda $U_{kir}^1 \cong E_M$ (5.9) dan ko'rinib turibdiki, kichik chiqish kuchlanishi qiymatini U_{chiq} ta'minlash uchun $V_0 \ll V_1$ nisbat bajarilishi kerak. V kattaligi kanal kengligini uning uzunligiga nisbati bilan aniqlanadi (Z/L).

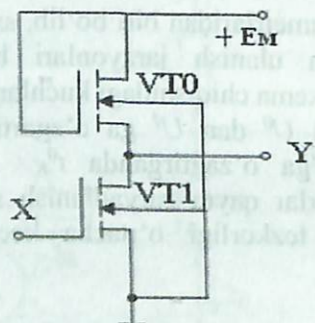
Bu kalit kichik tezkorlikka ega, chunki chiqish impulsining fronti tranzistor parametrlari bilan emas, balki chiqish sig'imi zaryadini nohiziqli yuklama tranzistoridan chiqishi bilan aniqlanadi, bu qarshilik qiymati esa yuzlab kOmlarga yetadi.

MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar. Bir turdagi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalarning kamchiligi bo'lib shu hisoblanadiki, boshqaruvchi tranzistorning ulangan holatida kalit orqali tok oqib o'tadi. Bu tok juda zarur hisoblanmaydi, chunki maydoniy tranzistorning o'rnatilgan toki amalda nolga teng bo'ladi. Komplementar MDYa (kanal o'tkazuvchanligi qarama – qarshi bo'lgan tranzistorlarda) bajarilgan kalit sxemalar bu kamchiliklardan holi (5.4-rasm). Bu kalitda ikkala tranzistor zatvorlari o'zaro bog'lanib yagona kirish hosil qiladilar. Stoklar birlashib yagona chiqish hosil qiladilar,

Maydoniy tranzistorlar asosida yasalgan mantiqiy elementlar negizida aktiv element va yuklama MDYa – tranzistorda bajarilgan kalit sxema yotadi. Aktiv va yuklamadagi tranzistorlar bir xil yoki har xil o'tkazuvchanlik turiga ega bo'lgan kanaldan tashkil topgan bo'lishi mumkin. Aktiv tranzistor zatvoriga yuqori potensialga (mantiqiy bir darajasi) berilsa uning stokidagi qoldiq kuchlanish 50-100 mV ni (mantiqiy nol darajasi) ni tashkil etadi. Bu bilan inversiya amalga oshiriladi.

Bir turdagi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar. 5.3– rasmda n – kanali induksiyanuvchi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemasi keltirilgan.

VT0 tranzistor nohiziqli yuklama vazifasini bajaradi. Ketma – ket ulangan tranzistorlar asosi qobiqda qisqa tutashuv bajariladi, zatvor va yuklamadagi tranzistor stoki manba bilan tutashtirilgan. $E_M = 3U_{bo's}$ tanlanadi, bu yerda $U_{bo's}$ – tranzistor ochiladigan kuchlanish.



5.3– rasm. Bir turdagi metal dielektrik yarimo'tkazgich – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar

Demak, yuqoridagi tranzistor doim ochiq holatda bo'lib to'yinish rejimida bo'ladi va inverter tokini cheklash uchun xizmat qiladi (dinamik yuklama). VT0 stok toki kattaligi quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$I_{S0} = \frac{1}{2} B_0 (U_{S10} - U_{bo's})^2 \quad (5.7)$$

Agar kalit kirishi X ga $U_{kir}^0 < U_{bo's}$ kuchlanish berilsa (mantiqiy nol), VT1 tranzistor berk bo'ladi, kalit orqali 10^{-9} - 10^{-10} A tok oqib

o'tadi, chiqishdagi kuchlanish esa $y = \bar{x}$ bo'lib kuchlanish manbai qiymatiga yaqin bo'ladi: $U_{chiq} \cong E_M$ (mantiqiy bir).

Agar kalit kirishi X ga $U_{kir}^0 \geq U_{bo's}$ kuchlanish berilsa, u holda VT1 tranzistor ochiladi va to'yinish rejimiga o'tadi, bu vaqtda stok toki I_{S1} (5.7) ifoda orqali aniqlanadi, faqat $U_{S10} = E_M$ deb olinadi.

$$I_{S1} = \frac{1}{2} B_1 (E_M - U_{bo's1})^2 \quad (5.8)$$

VT1 tranzistorning to'yinish rejimidagi kanal qarshiligi

$$R = \frac{1}{B_1 (U_{Z1} - U_{bo's1})} = \frac{1}{B_1 (U_{kir}^1 - U_{bo's1})}$$

I_{S1} tokni kanal qarshiligi R ga ko'paytirib, chiqish kuchlanishini olamiz

$$U_{chiq} = \frac{B_0 (E_M - U_{bo's0})^2}{2B_1 U_{kir}^1 - U_{bo's1}} = \frac{B_0 (E_M - U_{bo's0})^2}{2B_1 E_M - U_{bo's1}} \quad (5.9)$$

Amaliyotda $U_{kir}^1 \cong E_M$ (5.9) dan ko'rinib turibdiki, kichik chiqish kuchlanishi qiymatini U_{chiq} ta'minlash uchun $V_0 \ll V_1$ nisbat bajarilishi kerak. V kattaligi kanal kengligini uning uzunligiga nisbati bilan aniqlanadi (Z/L).

Bu kalit kichik tezkorlikka ega, chunki chiqish impulsining fronti tranzistor parametrlari bilan emas, balki chiqish sig'imi zaryadini nohiziqli yuklama tranzistoridan chiqishi bilan aniqlanadi, bu qarshilik qiymati esa yuzlab kOmlarga yetadi.

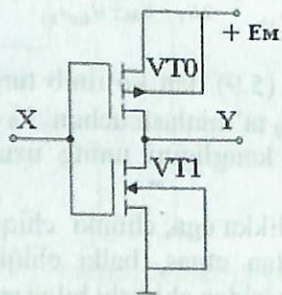
MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar. Bir turdagi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalarning kamchiligi bo'lib shu hisoblanadiki, boshqaruvchi tranzistorning ulangan holatida kalit orqali tok oqib o'tadi. Bu tok juda zarur hisoblanmaydi, chunki maydoniy tranzistorning o'rnatilgan toki amalda nolga teng bo'ladi. Komplementar MDYa (kanal o'tkazuvchanligi qarama – qarshi bo'lgan tranzistorlarda) bajarilgan kalit sxemalar bu kamchiliklardan holi (5.4– rasm). Bu kalitda ikkala tranzistor zatvorlari o'zaro bog'lanib yagona kirish hosil qiladilar. Stoklar birlashib yagona chiqish hosil qiladilar,

istoklar esa asos bilan birgalikda mos ravishda kuchlanish manbai va umumiy shinaga ulanadilar.

Ikkala tranzistor yagona kirish signali bilan boshqariladi. Lekin, bu tranzistorlarning bo'sag'aviy kuchlanish $U_{bo's}$ qiymatlari bir – biriga teskari ishoraga ega bo'lganligi sababli, kirish darajalarining ixtiyoriy qiymatida bu tranzistorlar turli holatda bo'ladilar. Bir tranzistor ochiq bo'lganda, ikkinchisi berk bo'ladi. Haqiqatdan ham, agar kirishga $X=U_{kir}^0$ signal berilsa, VT0 zatvori asosga nisbatan manfiy potensialga ega bo'ladi $U_{kir}^0 - E_M = -E_M$.

Demak, VT0 ochiq holatda bo'ladi. Bu vaqtning o'zida VT1 tranzistor zatvoridagi potensial asosga nisbatan bo'sag'aviy kuchlanishdan kichik qiymatga ega bo'ladi va bu tranzistor berkiladi. Agar kirishga $X=U_{KIR}^1$ signal berilsa, VT1 ochiladi, VT0 tranzistor esa berkiladi, chunki endi uning zatvoridagi kuchlanish asosga nisbatan quyidagiga teng bo'ladi

$$U_{A0} = U_Z - U_A = U_{kir}^1 - E_M \approx 0 \quad (5.10)$$



5.4– rasm. Komplementar metall dielektrik yarimo'tkazgichda bajarilgan kalit sxemalar

Shunday qilib, ixtiyoriy statsionar holatda sxema tranzistorlaridan biri berk holatda bo'ladi, shu sababli sxema manbadan deyarli quvvat iste'mol qilmaydi. Ammo sxema qayta ulanish jarayonida, biror juda kichik vaqt mobaynida ikkala tranzistor ochiq holatda bo'ladi, chunki ikkinchisi berkilib ulgurmagan bo'ladi. Komplementar MDYa – tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalar bir turdagi MDYa – tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalarga nisbatan o'n marta kam

quvvat iste'mol qiladi. Lekin, sxemalarning tezkorligi bir xil bo'lib kalit chiqish sig'imining qayta zaryadlanish vaqti bilan belgilanadi.

5.5. Mantiqiy integral sxemalar negiz elementlari. Tranzistor – tranzistorli mantiq elementlari

Mantiqiy IMS negiz elementlari tuzilishiga ko'ra quyidagi guruhlariga bo'linadi: diodli – tranzistorli mantiqiy elementlar (DTM); tranzistor – tranzistorli mantiq elementlari (TTM); tok qayta ulagichlari asosidagi emitterlari bog'langan mantiq elementlari (EBM); MDYa – tranzistorlarda yasalgan elementlar; injeksion manbali elementlar (I^2M). Elektron kalit turi mantiq turi bilan aniqlanadi.

Agar kalit sxemasi tarkibida tranzistordan tashqari boshqa elektr radioelementlar (rezistor, diod) mavjud bo'lsa, bu holat integratsiya darajasini pasaytiradi va shu sababli bu mantiq turi o'rta va katta integratsiyali raqamli integral mikrosxemalar negiz elementlari sifatida qo'llanilmaydi. Quyida zamonaviy raqamli integral qurilmalarda qo'llaniladigan negiz elementlar ko'rib chiqiladi.

Tranzistor – tranzistorli mantiq elementlari (TTM). Bu mantiq turida elektron kalitlar bilan boshqariladigan ko'p emitterli tranzistor (KET)da bajarilgan inverter qo'llaniladi. Chiqishida oddiy inverter bo'lgan TTM sxemasi 5.5 a – rasmda keltirilgan.

X1 va X2 kirishlar mantiqiy bir potensialiga ega (2,4 V) deb faraz qilaylik. Bunda KET emitter o'tishlari berk bo'ladi va tok quyidagi zanjir orqali oqib o'tadi: kuchlanish manbai E_M – rezistor $R1$ – KETning ochiq bo'lgan kollektor o'tishi VT1 tranzistor bazasiga yo'nalgan bo'ladi, shu sababli VT1 to'yinish rejimiga o'tadi va uning kollektorida mantiqiy nol past potentsiali o'rnatiladi (0,4 V).

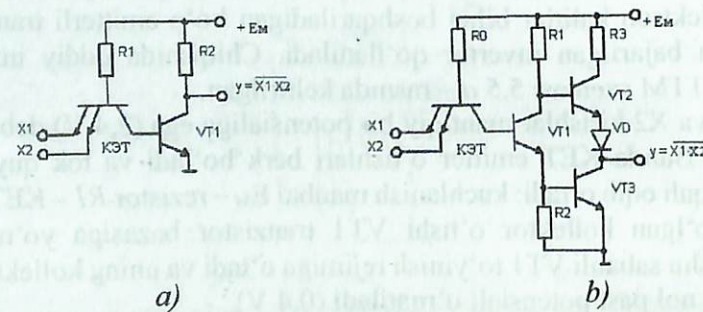
Endi esa, ikkala kirishga kichik kuchlanish potentsiali (mantiqiy nol potentsiali) berilgan deb faraz qilaylik. Bu holatda KET emitter o'tishlari kollektor o'tish kabi to'g'ri yo'nalishda siljigan bo'ladi. KET baza toki ortadi, shu tranzistor kollektor toki, demak, VT1 baza toki esa sezilarli kamayadi. KET tok asosan quyidagi yo'nalishda oqib o'tadi: kuchlanish manbai E_M – rezistor $R1$ – KET baza – emitteri – kirishdagi signal manbai – umumiy shina.

VT1 tranzistor baza toki deyarli nolga teng bo'lganligi sababli, bu tranzistor berkiladi va sxemaning chiqishida yuqori kuchlanish darajasi (2,4 V – mantiqiy bir) yuzaga keladi.

Ko'rinib turibdiki, faqat bitta kirishga mantiqiy 0 berilsa holat o'zgarmaydi. Demak, biror kirishda mantiqiy 0 mavjud bo'lsa chiqishda mantiqiy 1 hosil bo'ladi. Qachonki barcha kirishlarga mantiqiy 1 berilsagina chiqishda mantiqiy 0 hosil bo'ladi. Haqiqiylik jadvalini tuzib bu element 2HAM-EMAS amalini bajarishini ko'ramiz. Ko'rib o'tilgan bu element kichik xalaqitlarga bardoshligi, kichik yuklama qobiliyati va yuklama sig'imi S_{Yu} (katta $R2$ qarshilik orqali)ga ishlaganda, kichik tezkorlikka ega ekanligi sababli keng ko'lamda qo'llanilmaydi.

Murakkab invertorli TTM sxemasi ko'rib o'tilgan sxemaga nisbatan yaxshilangan parametrlarga ega (5.5 b-rasm). Bu element uch bosqichdan tashkil topgan:

- kirishda $R0$ rezistorli ko'p emitterli tranzistor (HAM mantiqiy amalini bajaradi);
- $R1$ va $R2$ rezistorli VT1 tranzistorda bajarilgan faza kengaytirgich;
- VT2 va VT3 tranzistorlar, $R3$ rezistor va VD diodda bajarilgan ikki taktli chiqish kuchaytirgichi.



5.5– rasm. Oddiy invertor tranzistor – tranzistorli mantiq elementlari sxemasi

Bu sxema nisbatan kichik chiqish qarshilikka ega bo'lib, yuklama sig'imidagi qayta zaryadlanishni tezlashtiradi.

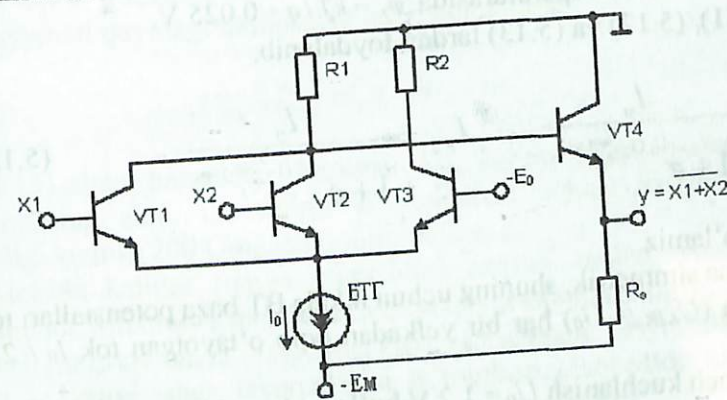
Sodda sxemadagi kabi, bu sxemada ham chiqishda U^1 daraja olish uchun, KET biror kirishga mantiqiy nol daraja berilishi kerak. Bu vaqtda VT1 va VT3 tranzistorlar berkiladi, VT1 kollektoridagi kuchlanish katta bo'lganligi sababli VT2 ochiladi. S_{Yu} yuklama sig'imi

VT2 va diod VD orqali zaryadlanadi. $R3$ rezistor katta yuklanishdan saqlagan holda VT2 tranzistor orqali tokni cheklaydi

KET barcha emitterlariga U^1 daraja berilsa VT1 va VT3 tranzistorlar to'yinadi, VT2 tranzistor esa deyarli berkiladi. S_{Yu} yuklama sig'imi to'yingan VT3 tranzistor orqali tez zaryadsizlanadi. TTM sxemalarni tezkorligini yanada oshirish maqsadida ularda diod va Shottki tranzistorlari qo'llaniladi. Bu modifikatsiya TTMSH deb belgilanadi.

Emitterlari bog'langan mantiq elementi (EBM). EBM elementi (5.6 - rasm) DK kabi tok qayta ulagichi asosida bajariladi. Ikki mantiqiy kirishga ega bo'lgan bir yelka ikki tranzistordan iborat bo'ladi (VT1 va VT2), keyingi yelka esa - VT3 dan tashkil topadi.

Yuklama qobiliyatini oshirish va signal tarqalishi kechikishini kamaytirish maqsadida qayta ulagich VT4 tranzistorda bajarilgan emitter qaytargich bilan to'ldirilgan. VT3 bazasiga E_0 – tayanch kuchlanishi beriladi va bu bilan uning ochiq holati ta'minlanadi.



5.6– rasm. Emitterlari bog'langan mantiq elementi sxemasi

Ixtiyoriy biror kirishga (yoki ikkala kirishga) mantiqiy birga mos keluvchi signal berilsa unga mos keluvchi tranzistor ochiladi, natijada I_0 tok sxemaning o'ng yelkasidan chap yelkasiga o'tadi. VT4 tranzistor baza toki kamayadi va u berkiladi va chiqishda mantiqiy nolga mos potensial o'rnatiladi. Agar ikkala kirishga mantiqiy nolga mos signal berilsa, u holda VT1 va VT2 tranzistorlar berkiladi, VT3 esa ochiladi. $R1$ orqali oqib o'tayotgan tok VT4 tranzistorni ochadi va sxemaning

chiqishida mantiqiy birga mos kuchlanish hosil bo'ladi. Bu sxema 2YoKI-EMAS amalini bajaradi. Iste'mol quvvati $20 \div 50$ mVt, tezkorligi esa $0,7 \div 3$ ns ni tashkil etadi.

Aktiv rejimda emitter tokining baza – emitter kuchlanishiga bog'liqligi kirishdagi VT1 tranzistor uchun quyidagi ifoda bilan approksimatsiyalanadi

$$I_{E1} = I_{E01} e^{(U_{K1} - U_E) / \varphi_T}, \quad (5.11)$$

VT2 tranzistor uchun esa

$$I_{E2} = I_{E02} e^{(U_0 - U_E) / \varphi_T}. \quad (5.12)$$

Bu ifodalarda emitter tokining $U_{EB} = 0$ va $U_{KB} \neq 0$ bo'lgandagi qoldiq qiymati I_{E0} . Integral texnologiyada egizaklik prinsipiga muvofiq $I_{E01} = I_{E02}$. Xona temperaturasida $\varphi_T = kT/q = 0,025$ V.

(5.11), (5.12) va (5.13) lardan foydalanib,

$$I_{E1} = \frac{I_0}{1 + e^{U_0(1 - \frac{U_{KB}}{U_0}) / \varphi_T}}, \quad I_{E2} = \frac{I_0}{1 + e^{-U_0(1 - \frac{U_{KB}}{U_0}) / \varphi_T}} \quad (5.13)$$

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 (5.13) 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 (6.4) 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 tranzistori 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 $U_{QU} = U_{K1R}^+ - U_{K1R}^- = 2\Delta \approx 0,3$ 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 nsdan oshmaydi.

Tranzistor aktiv rejimda qoladigan maksimal U_{K1R}^- 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

$$U_K = E_M - \alpha I_0 R_K \quad (5.14)$$

ifoda yordamida aniqlanadi.

U holda tranzistor aktiv rejim chegarasida ($U_K = U_B$) qoladigan U_{K1R}^+ qiymati quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

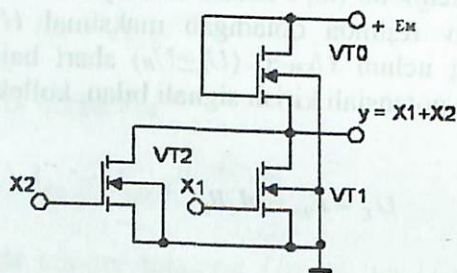
$$U_{K1R}^+ = E_M - \alpha I_0 R_K = U_0 + \Delta. \quad (5.15)$$

(5.15) shart bajarilishi, berilgan E_M , U_0 va U_{K1R}^+ 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 – ketligi 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 almashtirish talab etyadi.

Bir turdagi MDYa – tranzistorlarda yasalgan elementlar ($n - MDYa$). 5.7 – rasmda $n -$ kanali induksiyalanuvchi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan sxema keltirilgan.



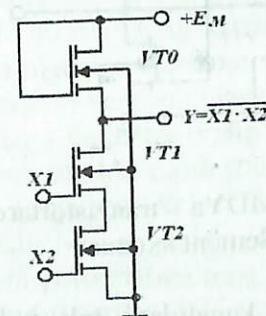
5.7– rasm. MDYa – tranzistorlarda bajarilgan mantiq elementi sxemasi

Yuklama tranzistori VT0 doim ochiq. Chiqishda juda kichik kuchlanish darajasi U^{0}_{CHIQ} ni ta'minlash maqsadida ochiq VT1 va VT2 tranzistorlarning kanal qarshiliklari VT0 tranzistor kanal qarshiligidan kichik bo'lishi kerak. Shu sababli VT1 va VT2 tranzistorlar kanali qisqa va keng qilib, yuklamadagi tranzistor kanali esa - uzun va tor qilib yasaladi. Biror kirishga yoki ikkala kirishga mantiqiy bir darajasiga mos keluvchi musbat potensial berilsa, ($U^{1}_{KIR} > U_{BO.S}$), bir yoki ikkala tranzistor ochiladi va chiqishda mantiqiy nol o'rnatiladi ($U^{0}_{CHIQ} < U_{BO.S}$). Agar ikkala kirishga ham mantiqiy nol berilsa, u holda VT1 va VT2 tranzistorlar berkiladi. Chiqishdagi potensial mantiqiy birga mos keladi. Element 2YOKI –EMAS amalini bajaradi. Iste'mol quvvati 0,1÷1,5 mVt, tezkorligi esa - 10÷100 ns ni tashkil etadi.

O'KIS va KISlarda KMDYa va I²M mantiqiy elementlari qo'llaniladi. Ular tarkibida rezistorlar bo'lmaydi va mikrotoklar rejimida ishlaydilar. Shu sababli kristallda kichik yuzani egallaydilar va kam quvvat iste'mol qiladilar. KISlarda elementlar soni 10⁵ ta bo'lganda bir element iste'mol qilayotgan quvvat 0,025 mVT dan oshmasligi kerak.

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 ishlaydilar, 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, tezkorlikni ortishi yuklamadagi sig'implarni qayta zaryadlanish toki qiymatini ortishiga olib keladi. Lekin, bu usul iste'mol quvvatini va chiqishdagi mantiqiy sathlar nobarqarorligini ortishiga olib keladi. Ko'rsatilgan qarama – qarshiliklar turli o'tkazuvchanlikka ega (komplementar) tranzistorli kalitlar yordamida, sxemotexnik usulda bartaraf etilishi mumkin.

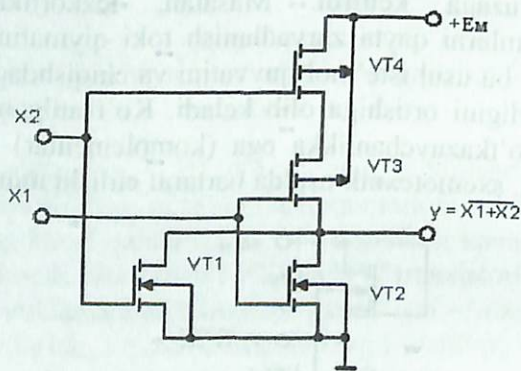


5.8– rasm. MDYa – tranzistorlarda bajarilgan HAM-EMAS mantiq elementi sxemasi

Komplementar MDYa – tranzistorlarda yasalgan mantiqiy elementlar (KMDYaM). Ikki kirishli element sxemasi 5.9 – rasmda keltirilgan. 2YOKI-EMAS sxema quyidagicha ishlaydi. Sxema kirishlariga $U^{0}_{KIR} < U^{n}_{BO.S}$ kuchlanish berilsa, qayta ulanuvchi $n -$ kanalli tranzistorlar berk bo'ladi, chunki ularda kanal

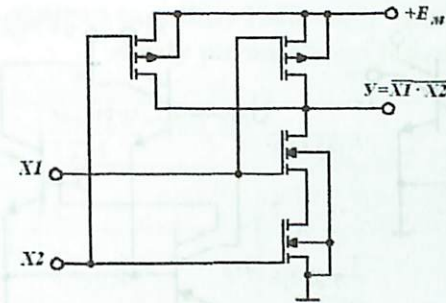
induksiyalanmaydi. p - kanalli tranzistorlarda esa kanal induksiyalanadi, chunki ularning zatvorlari asosga nisbatan manfiy potensialga ega bo'ladi. Bu potensial qiymati $U^0_{KIR} - E_M \approx -E_M$ bo'lib, bo'sag'aviy kuchlanish qiymatidan katta bo'ladi. Lekin, kanallardan berk tranzistorlarning juda kichik toklari o'qib o'tadi. Shu sababli kanallardagi kuchlanish pasayishi deyarli nolga teng bo'ladi va chiqish kuchlanishi $U^1 = E_M$ bo'lib mantiqiy 1 ga mos keladi.

Agar qayta ulanuvchi tranzistorlardan birining zatvoridagi kirish kuchlanishi bo'sag'aviy kuchlanish qiymatidan katta bo'lsa $U^1_{KIR} > U^m_{BO'S}$, bu 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.



5.9- rasm. Komplementar MDYa – tranzistorlarda yasalgan mantiqiy element sxemasi

Berk tranzistorlarning kanalidagi tok juda kichik ($<10^{-10}$ A). Demak, manbadan tok deyarli iste'mol qilinmaydi va sxemaning chiqishida Y_{em} ga yaqin potensial o'rnatiladi (mantiqiy bir darajasi). Agar biror kirish yoki ikkala kirishga mantiqiy bir darajasi berilsa, VT1 va VT2 tranzistorlar ochiladi va element chiqishida potensial nolga yaqin bo'ladi. Element 2YOKI-EMAS amalini bajaradi. Iste'mol quvvati $0,01 \div 0,05$ mVtni, tezkorligi esa $10 \div 20$ ns ni tashkil etadi.



5.10- rasm. Komplementar MDYA tranzistorlar asosidagi 2HAM-EMAS mantiq elementlarning sxemasi

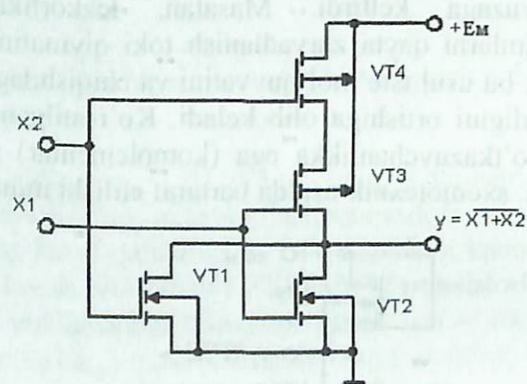
2HAM-EMAS sxema (5.10- rasm) quyidagicha ishlaydi. Sxema kirishlariga $U^0_{KIR} < U^m_{BO'S}$ kuchlanish berilsa, barcha qayta ulanuvchi (n - kanalli tranzistorlar) ochiq bo'lib, chiqish kuchlanishi U^0 ga teng bo'ladi. Kirish signallarining boshqa kombinatsiyalarida ketma-ket ulangan qayta ulanuvchi tranzistorlardan biri berkiladi. Bu vaqtda chiqish kuchlanishi $U^1 = E_M$ ga teng bo'ladi.

Integral – injeksion mantiq elementi (I^2M). Kalit komplementar bipolyar tranzistorlar juftligidan tashkil topgan bo'lib, n - p - n turli VT1 tranzistor ko'pkollektorli bo'lib, uning baza zanjiriga p - n - p turli VT2 ko'pkollektorli tranzistor ulangan. Bu tranzistor injektor nomini olgan bo'lib, barqaror tok generatori vazifasini bajaradi (5.11 a – rasm.)

VT1 tranzistor emitter – kollektor oralig'i kalit vazifasini bajaradi. Signal manbai va yuklama sifatida xuddi shunday sxemalar ishlatiladi. Agar kirishga mantiqiy birga mos keluvchi yuqori potensial berilsa, VT1 tranzistor ochiladi va to'yinish rejimida bo'ladi. Uning chiqishidagi potensial nol potensialiga mos keladi. Kirishga mantiqiy nolga mos keluvchi potensial berilsa, VT1 tranzistorning emitter o'tishi berkiladi. Kovaklar toki I_Q (qayta ulanish toki) VT1 tranzistorning kollektor o'tishini teskari yo'nalishda ulaydi.

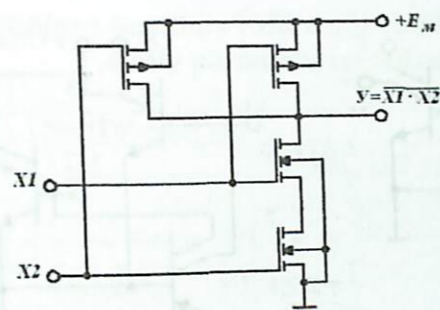
induksiyalanmaydi. p - kanalli tranzistorlarda esa kanal induksiyalanadi, chunki ularning zatvorlari asosga nisbatan manfiy potensialga ega bo'ladi. Bu potensial qiymati $U^0_{KIR} - E_M \approx -E_M$ bo'lib, bo'sag'aviy kuchlanish qiymatidan katta bo'ladi. Lekin, kanallardan berk tranzistorlarning juda kichik toklari o'qib o'tadi. Shu sababli kanallardagi kuchlanish pasayishi deyarli nolga teng bo'ladi va chiqish kuchlanishi $U^1 = E_M$ bo'lib mantiqiy 1 ga mos keladi.

Agar qayta ulanuvchi tranzistorlardan birining zatvoridagi kirish kuchlanishi bo'sag'aviy kuchlanish qiymatidan katta bo'lsa $U^1_{KIR} > U^0_{BO'S}$, bu tranzistorda kanal induksiyalanadi. 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.



5.9- rasm. Komplementar MDYa - tranzistorlarda yasalgan mantiqiy element sxemasi

Berk tranzistorlarning kanalidagi tok juda kichik ($<10^{-10}$ A). Demak, manbadan tok deyarli iste'mol qilinmaydi va sxemaning chiqishida Yem ga yaqin potensial o'rnatiladi (mantiqiy bir darajasi). Agar biror kirish yoki ikkala kirishga mantiqiy bir darajasi berilsa, VT1 va VT2 tranzistorlar ochiladi va element chiqishida potensial nolga yaqin bo'ladi. Element 2YOKI-EMAS amalini bajaradi. Iste'mol quvvati $0,01 \div 0,05$ mVtni, tezkorligi esa $10 \div 20$ ns ni tashkil etadi.

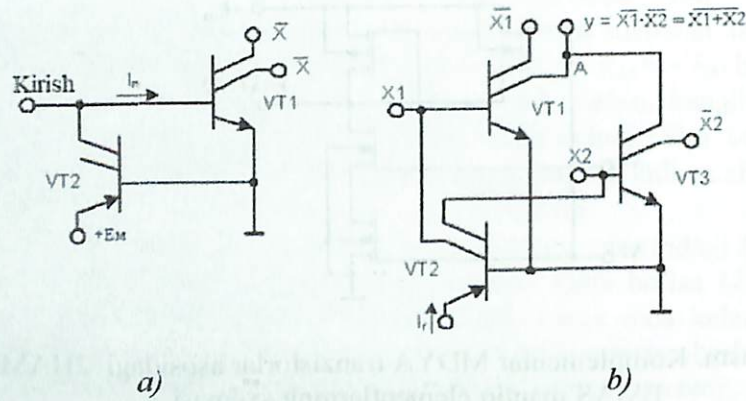


5.10- rasm. Komplementar MDYA tranzistorlar asosidagi 2HAM-EMAS mantiq elementlarning sxemasi

2HAM-EMAS sxema (5.10- rasm) quyidagicha ishlaydi. Sxema kirishlariga $U^0_{KIR} < U^0_{BO'S}$ 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.

Integral - injeksion mantiq elementi (I^2M). Kalit komplementar bipolyar tranzistorlar juftligidan tashkil topgan bo'lib, n-p-n turli VT1 tranzistor ko'pkollektorli bo'lib, uning baza zanjiriga p-n-p turli VT2 ko'pkollektorli tranzistor ulangan. Bu tranzistor injektor nomini olgan bo'lib, barqaror tok generatori vazifasini bajaradi (5.11 a - rasm.)

VT1 tranzistor emitter - kollektor oralig'i kalit vazifasini bajaradi. Signal manbai va yuklama sifatida xuddi shunday sxemalar ishlatiladi. Agar kirishga mantiqiy birga mos keluvchi yuqori potensial berilsa, VT1 tranzistor ochiladi va to'yinish rejimida bo'ladi. Uning chiqishidagi potensial nol potensialiga mos keladi. Kirishga mantiqiy nolga mos keluvchi potensial berilsa, VT1 tranzistorning emitter o'tishi berkiladi. Kovaklar toki I_Q (qayta ulanish toki) VT1 tranzistorning kollektor o'tishini teskari yo'nalishda ulaydi.



5.11– rasm. Integral – injeksion mantiq elementi

Buning natijasida VT1 chiqish qarshiligi keskin ortadi va uning chiqishida mantiqiy bir potentsiali hosil bo‘ladi. Ya’ni mazkur sxema yuqorida ko‘rilgan sxemalar kabi inverter vazifasini bajaradi. Mantiqiy amallarni bajarish inverter chiqishlarini metall simlar bilan birlashtirish natijasida amalga oshiriladi. 5.11 b – rasmda HAM amalini bajarish usuli ko‘rsatilgan. Haqiqatdan ham, agar X1 yoki X2 kirishlardan biriga yuqori potensial berilsa $U^{1_{KIR}}$, natijada birlashgan chiqishlarda (A nuqta) past potentsial hosil bo‘ladi U^0 . Natijada \bar{x}_1 va \bar{x}_2 invers o‘zgaruvchilarning kon’yuksiyasi bajariladi. Ular VT1 va VT3 inverter chiqishlarida hosil bo‘ladi: $y = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$. I²M elementining tezkorligi 10÷100 ns va iste‘mol quvvati 0,01÷0,1 mVt. Kristalda bitta I²M elementi KMDYa –elementga nisbatan 3÷4 marta kichik, TTM – elementiga nisbatan esa 5÷10 marta kichik yuzani egallaydi.

Ko‘rib o‘tilgan mantiqiy IMS negiz elementlarining asosiy parametrlari jadvali

5.4- jadval

Parametr	Negiz element turi		
	TTM	TTMSh	n – MDYa
Kuchlanish manbai, V	5	5	5
Signal mantiqiy o‘tishi ($U^{1_{CHIQ}}$ - U^0_{CHIQ}), V	4,5-0,4	4,5-0,4	TTM bilan mos keladi
Ruxsat etilgan shovqinlar darajasi, V	0,8	0,5	0,5
Tezkorligi, $t_{K.ORI}$, ns	5-20	2-10	10-100
Iste‘mol quvvati, mVt	2,5-3,5	2,5-3,5	0,1-1,5
Yuklama qobiliyati	10	10	20

Negiz elementlar parametrlar

5.5- jadval

Parametr	Negiz element turi		
	KMDYa	EBM	I ² M
Kuchlanish manbai, V	3-15	-5,2	1
Signal mantiqiy o‘tishi ($U^{1_{CHIQ}}$ - U^0_{CHIQ}), V	Yep-0	(-1,6)-(-0,7)	0,5
Ruxsat etilgan shovqinlar darajasi, V	0,4Ep	0,15	0,1
Tezkorligi, $t_{K.ORI}$, ns	1-100	0,7-3	10-20
Iste‘mol quvvati, mVt	0,01-0,1	20-50	0,05
Yuklama qobiliyati	50	20	5-10

Asosiy raqamli IMS seriyalarining mantiq turlari

5.6 - jadval

Mantiq turi	Raqamli IMS seriya raqami
TTM	155, 133, 134, 158
TTMSh	130, 131, 389, 599, 533, 555, 734, K530, 531, 1531, 1533, KR1802, KR1804
EBM	100, K500, 700, 1500, K1800, K1520
I ² M	KR582, 583, 584
r - MDYaTM	K536, K1814
n - MDYaTM	K580, 581, 586, 1801, 587, 588, 1820, 1813
KMYaTM	164, 764, 564, 765, 176, 561

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 ME larning asosiy statik va dinamik parametrlari hamda xarakteristikalarini sanab bering.
5. TTM MELar modifikatsiyasi variantlarini sanab bering va qanday maqsadlarda ishlab chiqilganligini tushuntiring
6. EBM MELaming tezkorligi nima bilan tushuntiriladi?
7. EBM negiz ME sxemasida asosiy tugunlarni ajratib ko'rsatish mumkinmi?
8. Nima sababdan ko'pchilik EBM MELarda emitter qaytargichlar qo'llaniladi?
9. Kirish bo'yicha birlashtirish va chiqish bo'yicha tarmoqlanish koeffitsiyent lari 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 farqinimadan kelib chiqadi?

15. Dinamik yuklamali MDYA – tranzistorli elektron kalit sxemasini keltiring.

16. Tok qayta ulagichi sxemasini keltiring.

17. Bir turdagi MDYA – tranzistorli 3HAM-EMAS va 3YOKI-EMAS amallarini bajaruvchi ME sxemasini keltiring va ularni ishlashini tushuntiring.

18. KMDYA – tranzistorli 3HAM-EMAS va 3YOKI-EMAS MELari sxemasini tushuntiring.

19. Ko'rib o'tilgan mantiqiy IMS negiz elementlarining asosiy parametrlarini keltiring?

20. Integral – injeksion mantiq elementi (I²M)da VT1 tranzistor qanday vazifani bajaradi?

VI BOB
RAQAMLI QURILMALAR ASOSLARI. MANTIQUIY
ALGEBRA QONUNLARI VA AKSIOMALARI

6.1. Bul algebrasi

Ingliz matematigi Bul (1815 – 1864) tomonidan ishlab chiqilgan matematika apparati o'rta maktabning "Ko'pliklar nazariyasi" kursida o'rganiladigan raqamli sxemalarni tahlil (analiz) va sintez qilish uchun xizmat qiladi. Mantiqiy algebra Bul algebrasining maxsus bo'limi sifatida o'rganiladi.

Bul funksiyasiga ta'rif beramiz: n-o'zgaruvchilarni Bul funksiyasi x_1, x_2, \dots, x_n argumentlarni qiymatlarini chekli \vee to'plamdan qabul qiladi. Bu argumentlar o'zaro va ma'lum miqdordagi Bul amallari bilan bog'langan bo'lib, funksiyani o'zi (argumentlar kabi) $B = \{0, 1\}$ to'plamdan qiymatlar qabul qiladi. n-o'zgaruvchilarni Bul funksiyasini $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ko'rinishida yozamiz. Birlashtirish, ko'paytirish va inkor qilish amallarini ma'nosini ochamiz. Buning uchun bir va ikki argument uchun mumkin bo'lgan funksiyani aniqlash lozim. Ikkala bul funksiyasini umumiy sonini aniqlash formulasi argumentlarning soniga bog'liq holda quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$N = 2^n \quad (6.1)$$

bu yerda, N-Bul funksiyalari soni ; n-argumentlar soni.

Bu formuladan bitta argument uchun to'rtta Bul funksiyasi mavjudligi kelib chiqadi. $y=x$ takrorlash funksiyasi, $y = \bar{x}$ inkor funksiyasi, $y=1$ birlik konstanta, $y=0$ nol konstantasi deyiladi.

Matematik mantiqiy amalda bir qiymat qabul qiladigan (rost yoki yolg'on) mulohazalar o'rganiladi. Matematik mantiqiy amallar ustida quyidagi beshta amalni bajarish mumkin:

1. *Dizyunksiya amali.* Ikki mulohazalardan har ikkalasi «yolg'on» qiymat qabul qilganda «yolg'on», qolgan hollarda «rost» qiymat qabul qiladigan mulohazaga aytiladi va $x_1 \vee x_2$ ko'rinishida belgilanadi.

6.1- jadval

X_1	X_2	$X_1 \vee X_2$
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

2. *Konyunksiya amali.* Ikki mulohazaning konyunksiyasi deb har ikkala mulohaza «rost» qiymat qabul qilganda «rost» qolgan hollarda esa «yolg'on» qiymat qabul qiladigan mulohazaga aytiladi va $x_1 \wedge x_2$ ko'rinishida belgilanadi.

6.2- jadval

X_1	X_2	$X_1 \wedge X_2$
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

3. *Implikasiya amali.* x_1 mulohazadan x_2 mulohaza kelib chiqadi deyiladi, agar «rost» dan «yolg'on» kelib chiqishi «yolg'on», boshqa hollarda «rost» qiymat qabul qiladi va $X_1 \rightarrow X_2$ bilan belgilanadi.

6.3- jadval

X_1	X_2	$X_1 \rightarrow X_2$
1	1	1
1	0	0
0	1	1
0	0	1

4. *Ekvivalentlik amali.* Har ikkala mulohazalar bir xil bo'lsa «rost», qolgan hollarda «yolg'on» qiymat qabul qiladigan mulohazaga aytiladi va $x_1 \leftrightarrow x_2$ ko'rinishida belgilanadi.

6.4- jadval

X_1	X_2	$X_1 \leftrightarrow X_2$
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	1

5. *Inkor amali.* Bir mulohazaning inkori deb, mulohaza «rost» bo'lganda «yolg'on», «yolg'on» bo'lganda esa «rost» qiymat qabul qiladigan mulohazaga aytiladi va $\bar{x}_1(\bar{x}_2)$ ko'rinishida bo'ladi.

6.5- jadval

X_1	X_2	\bar{x}_1	\bar{x}_2
1	1	0	0
1	0	0	1
0	1	1	0
0	0	1	1

Mantiqiy algebra-amallar bajarish tartibida qavslar bosqichida amalga oshiriladi. Agar amallar orasida qavslar bo'lmasa amallar tartibi bo'yicha amalga oshiriladi.

Bul algebra qonunlari, konyunksiya va dizyunksiya amallari uchun.

1. Kommutativlik qonuni:

$$x_1 \wedge x_2 = x_2 \wedge x_1 \quad x_1 \vee x_2 = x_2 \vee x_1$$

2. Assotsiativlik qonuni:

$$x_1 \wedge (x_2 \wedge x_3) = x_1 \wedge x_2 \wedge x_3$$

$$x_1 \vee (x_2 \vee x_3) = (x_1 \vee x_2) \vee x_3 = x_1 \vee x_2 \vee x_3$$

3. Idempotentlik (tavtologiya) qonuni:

$$x \wedge x = x; \quad x \vee x = x$$

4. Aylantirish qonuni: agar $x_1 = x_2$ bo'lsa, u holda $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$ bo'ladi.

5. Ikki marta inkor qonuni:

$$\bar{\bar{x}} = x$$

6. Bo'sh to'plam qonuni:

$$x \wedge 0 = 0; \quad x \vee 0 = x$$

7. Universal to'plam qonuni:

$$x \wedge 1 = x; \quad x \vee 1 = 1$$

8. To'ldirish qonuni:

$$x \wedge \bar{x} = 0; \quad x \vee \bar{x} = 1$$

9. Taqsimot qonuni:

$$x_1 \wedge (x_2 \vee x_3) = x_1 \wedge x_2 \vee x_1 \wedge x_3$$

$$x_1 \vee (x_2 \wedge x_3) = x_1 \vee x_2 \wedge x_1 \vee x_3$$

10. Yutilish qonuni: $x_1 \vee x_1 \wedge x_2 = x_1; \quad x_1 \wedge (x_1 \vee x_2) = x_1$

11. Birlashish (yopishish) qonuni:

$$(x_1 \vee x_2) \wedge (x_1 \wedge \bar{x}_2) = x_1; \quad x_1 \wedge x_2 \vee x_1 \wedge \bar{x}_2 = x_1$$

12. Ikki yoqlamalik (De-Morgan) qonuni:

$$\overline{x_1 \wedge x_2} = \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \quad \overline{x_1 \vee x_2} = \bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2$$

yoki chap va o'ng tomonlarni inversiyasidan keyin

$$x_1 \wedge x_2 = \overline{\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2} \quad x_1 \vee x_2 = \overline{\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2}$$

Masalan: De-Morgan qonuni

$$\overline{x_1 \wedge x_2} = \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2$$

Jadval ko'rinishida isboti quyidagicha:

6.6- jadval

x	x	$x_1 \wedge x_2$	$\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2$	\bar{x}_1	\bar{x}_2	$\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2$
1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	1
0	0	0	1	1	1	1

Normal dizyunktiv va konyunktiv normal shakllar $f_i(x_1, x_2)$ funksiyasi
Bul funksiyasi deb ataladi.

6.7- jadval

X_1	X_2	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Bul funksiyasi yordamida EHMning ichida ro'y berayotgan axborotlar almashinuvini tasvirlash mumkin. Bul funksiyalari ustida amallar bajarishni diskret matematika kursi o'rganadi. Ular ustida minimallashtirish operatsiyalarini bajarish mumkin. EHMlari axborotlar almashinuvida mantiqiy elementlar katta vazifani bajaradi. Mantiqiy elementlarni avval normal shakllarga keltiriladi.

Normal shakl deb, faqat dizyunksiya va konyunksiyalardan iborat bo'lgan shakllargagina aytiladi.

Berilgan ifodani dizyunktiv shaklini topish uchun, uning avval konyunktiv shaklga keltirilib, so'ngra esa uning inkori topiladi.

6.2. Mantiqiy algebra

Mantiqiy algebra. Agar raqamli sxemalar yordamida muayyan boshqarish yoki hisoblash qonunlarining bajarilishiga erishmoqchi bo'lsalar, unda o'ylangan narsalarni "amalga oshirish" mumkin bo'lgan sxemalarni topish talab etiladi. Sodda (oddiy) vazifalarga mo'ljallangan sxemalarni tanlab olish yo'li bilan topish mumkin. Biroq sxemaga qo'yiladigan talablar qancha yuqori bo'lsa, uni tanlab olish yo'li orqali topish ehtimoli shuncha kam.

Hatto uzoq muddat davom etgan urinishlardan keyin mos sxemani topishga erishilsa ham, u odatda ortiqcha funksional bo'lib, uni qo'llash iqtisodiy jihatdan maqsadga nomuvofiq bo'lib chiqadi. Tanlash orqali sodda, ammo ideal mos tushadigan sxemani topishning iloji yo'q.

O'zgaruvchan va o'zgarmas kattaliklar (konstantalar). Mantiqiy algebra, oddiy algebra bo'lgani kabi, o'zgaruvchan va doimiy kattaliklar (konstantalar) tushunchasi mavjud. Ammo mantiqiy algebra konstantalar faqat ikkita qiymat, ya'ni 0 yoki 1 ga ega bo'lishlari mumkin. Mantiqiy algebra har qanday o'zgaruvchan qiymat 0, yoki 1 ga teng.

Mantiqiy algebra faqat ikkita konstanta bor: 0 va 1. Bu konstantalar 0 va 1 mantiqiy holatlariga muvofiq keladilar. 0 yoki 1 qiymatlaridan birini olishi mumkin bo'lgan har qanday kattalik o'zgaruvchan kattalik deb hisoblanadi. Sxemaning kirish kattaliklari, masalan A, B, C , o'zgaruvchan kattaliklar bo'ladilar, chunki ular 1 yoki 0 mantiqiy holatlariga ega bo'lishlari mumkin. Shuningdek sxemaning chiqish kattaliklari ham o'zgaruvchan kattaliklardir. (A va B) ko'rinishidagi, ikki o'zgaruvchan kattalikdan tashkil topgan ifodalar ham o'zgaruvchan kattalik bo'ladilar, chunki ular ham faqat 0 yoki 1 ga teng bo'la oladilar.

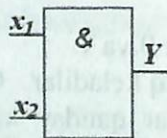
Bundan kelib chiqib, mantiqiy algebraning o'zgaruvchan qiymati binar kattalikdir. Uni shuningdek uzgich ko'rinishida ham ko'rgazmali tarzda tasvirlash mumkin (rasm 6.1). Quyidagilar to'g'risida kelishib olamiz: kalitning ochiq holatiga 0 mantiqiy holati muvofiq keladi; kalitning yopiq holatiga 1 mantiqiy holati muvofiq keladi.

O'zgaruvchan kattaliklarning ushbu shemotexnik taqdimotini juda oson tushunib olish mumkin. Doimiy kattaliklarni grafik ko'rinishida ham shu kabi sodda tasvirlash mumkinmi? Doimiy kattaliklarni «qayd etilgan uzib-ulagichlar» tarzida tushunish mumkin. Agar uzib-ulagich ochiq holatida qayd etilgan bo'lsa, u hech qachon tutashmaydi (yopilmaydi) va doim 0 qiymatiga ega bo'ladi. Agar uzib-ulagich tutashgan (yopiq) holatda qayd etilgan bo'lsa, u hech qachon ochilmaydi va doim 1 qiymatiga ega bo'ladi. Doim yopiq uzib-ulagichni liniyadagi uzilish sifatida ko'rib chiqish mumkin. Doim tutashgan uzib-ulagichni oddiy sim deb qarash ham mumkin (rasm 6.2).

6.3. Mantiqiy algebra qonunlari

Mantiqiy algebra ning asosiy qonunlari doimiy kattaliklar ustida bajariladigan mantiqiy operatsiyalar uchun amal qiladigan aksioma deb nomlanadigan qoidalardir.

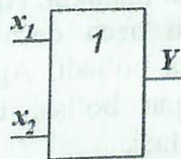
$$Y = x_1 * x_2 \quad Y = x_1 \wedge x_2 \quad (6.2)$$



x_1	x_2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Rasm 6.1. Mantiqiy ko'paytirish "HAM qoidasi

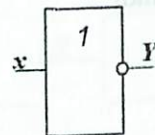
$$Y = x_1 \setminus x_2 \quad Y = x_1 + x_2 \quad (6.3)$$



x_1	x_2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

6.2- rasm. Mantiqiy ko'paytirish "YOKI" qoidasi

$$Y = \bar{x}$$



x_1	Y
0	1
1	0

6.3- rasm. Mantiqiy inkor qilish qoidasi (inversiya) "EMAS"

"EMAS" mantiqiy elementida kirishdagi bir chiqishda 0 ga, kirishdagi 1 esa – chiqishdagi 0 ga aylanadi (6.3- rasm).

Mantiqiy algebra aksiomalari va o'zaro o'xshashliklari. Mantiqiy amallar uchun o'zgaruvchan kattalikning konstanta bilan yoki o'zgaruvchan kattalikning o'z-o'zi bilan yoki invertirlangan qiymati bilan bajarilish qoidalari *aksiomalar deb nomlanadi*.

Ma'lum o'zgaruvchan kattalikni A deb belgilaymiz. A uchun to'g'ri bo'lgan barcha narsa har qanday boshqa o'zgaruvchan kattalik uchun ham to'g'ri. 6.4-rasmda mantiqiy ko'paytirishning to'rt ehtimoliy aksiomalari tasvirlangan. A inversiyasini taqdim etish uchun normal-tutashgan kontakt qo'llangan. Bosh uzgich ochiq bo'lsa, u tutashgan (yopiq). Bosh uzgich tutashganida esa u ochiladi. Shunday qilib, $A \wedge A$ bo'lganida oldinma-ketin ulangan (yoqilgan) kalitlardan biri doim ochiq bo'lib, liniyada uzilish mavjud (0).

Mantiqiy algebra aksiomalarini oddiy sxemalar ko'rinishida taqdim etish (tasvirlash) juda ko'rgazmali. Shuningdek, aksiomalarni haqiqiylik jadvallari ko'rinishida ham tasvirlash mumkin (6.5- rasm). "YOKI" ko'paytirish mantiqiy operatsiyasi uchun aksiomalarni 6.6- olish mumkin. "YOKI" operatsiyasini kontaktlarning parallel ulanishi sifatida tasvirlash mumkin.

Agar o'zgaruvchan son invertirlansa va yana bir marta invertirlansa, u boshlang'ich qiymatga ega bo'ladi (6.7- rasm). O'zgaruvchan ustidan ikki inversiya shtrixi uning holatini o'zgartirmaydi.

To'qqizta aksioma 1 dan 9 gacha raqamlangan. Ana shu raqamlar ostida ular quyidagi formulalar to'plamida keltirilgan.

Kommutativlik va assosiativlik qonunlari. Kommutativlik qonunini yana ko'chirib o'tkazish qonuni deb ham ataydilar. U

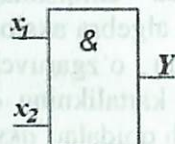
mantiqiy qo'shish va ko'paytirish amallari uchun qo'llanib, 6.8 va 6.7-rasmdagi sxemalardan intuitiv tushunib olsa bo'ladi.

Mantiqiy ko'paytirish "HAM" aksiomalari:

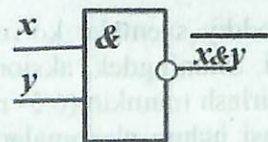
$$Y = x_1 * x_2$$

$$Y = x_1 \wedge x_2 \quad (6.4)$$

x_1	x_2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

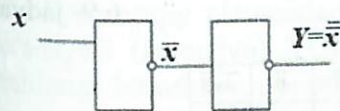


6.4- rasm. Mantiqiy ko'paytirish "HAM" aksiomalari uchun haqiqiylik jadvallari



x	y	$\overline{x \wedge y}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

6.5- rasm. Mantiqiy ko'paytirish "HAM-EMAS" amali va haqiqiylik jadvallari



x	\bar{x}	$\bar{\bar{x}}$
0	1	0
1	0	1

6.6- rasm. Mantiqiy "EMAS" aksiomasi va haqqoniylik jadvali

$$Z = A \vee (B \vee C) = (A \vee B) \vee C \quad (6.6)$$

Mantiqiy ko'paytirish "HAM" operatsiyasining natijasi o'zgaruvchan qiymatlarga ishlov berish tartibiga bog'liq emas.

Mantiqiy qo'shish "YOKI" operatsiyasining natijasi o'zgaruvchan qiymatlarga ishlov berish tartibiga bog'liq emas.

Assosiativlik qonunini yana birikuv qonuni deb ham ataladi. U mantiqiy ko'paytirish (6.9- rasm) va qo'shish (6.10- rasm) uchun qo'llanadi.

De Morgan teoremasi. Ingliz matematigi de Morgan (1806-1871) mantiqiy algebraning aksiomalarini o'zining nomi bilan atalgan teoremlar bilan to'ldirdi. De Morgan teoremlari "HAM-EMAS" va "YOKI-EMAS" elementlari uchun bajariladigan mantiqiy operatsiyalar uchun invertirlanadigan ifodalarni soddalashtirishda katta amaliy ahamiyatga ega. De Morganning ikki teoremasi mavjud.

De Morganning birinchi teoremasi:

$$Z = \overline{A \wedge B} = \bar{A} \vee \bar{B} \quad (6.6)$$

Bu teorema haqiqiylik jadvali yordamida isbotlanadi (6.9- jadval). De Morganning ikkinchi teoremasi

$$\overline{\bar{A} \vee \bar{B}} = A \wedge B \quad (6.7)$$

Teoremlarga ko'ra mantiqiy operatsiya tipi birgalikda o'zgaradi (VA va YOKI).

Ikkinchi teorema haqiqiylik jadvali yordamida isbotlanadi (6.10- jadval).

Morganning birinchi teoremasini isbotlash uchun haqiqiylik jadvali
6.9- jadval

Var	A	B	$A \wedge B$	$\overline{A \wedge B}$	\overline{A}	\overline{B}	$\overline{A \vee B}$
1	0	0	0	1	1	1	1
2	0	1	0	1	0	1	1
3	1	0	0	1	1	0	1
4	1	1	1	0	0	0	0

\uparrow $\overline{A \wedge B}$ \downarrow $\overline{A \vee B}$

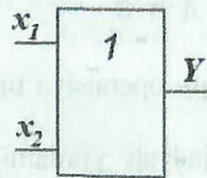
Morganning ikkinchi teoremasini isbotlash uchun haqiqiylik jadvali
6.10- jadval

Var	B	A	$A \vee B$	$\overline{A \vee B}$	\overline{A}	\overline{B}	$\overline{A \wedge B}$
1	0	0	0	1	1	1	1
2	0	1	1	0	0	1	0
3	1	0	1	0	1	0	0
4	1	1	1	0	0	0	0

\uparrow $\overline{A \vee B}$ \downarrow $\overline{A \wedge B}$

6.4. Turli mantiqiy elementlarni hosil qilish

YOKI-EMAS operatsiyasi (Vebba funksiyasi) ni bajaruvchi mantiqiy element bir taktli sxemalarda barcha zaruriy mantiqiy bog'liqliklarni olish imkonini beradi. SHu sababli ushbu element universal hisoblanadi. YOKI-EMAS mantiqiy elementini shartli belgilanishi 6.7-rasmida keltirilgan:

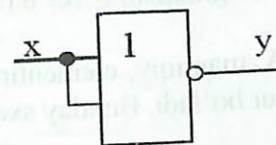


6.7- rasm. YOKI-EMAS mantiqiy elementining shartli belgilanishi

YOKI-EMAS mantiqiy elementi yordamida "EMAS", "YOKI", "HAM" mantiqiy elementlarini amalga oshirish mumkin. "EMAS" operatsiyasi (inversiya) YOKI-EMAS, mantiqiy elementi parallel kirishlarini birlashtirish orqali olinishi mumkin. Bunday sxema (6.7-rasm) ga ega bo'ladigan funksiya quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi: "EMAS" operatsiyasi:

$$X = X + X, \quad Y = X$$

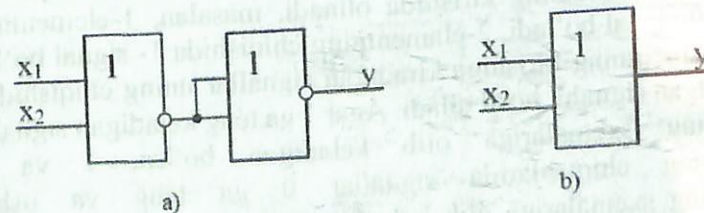
Bunday invertorni shartli belgilanishi 6.8-rasm.



6.8-rasm. Invertorni shartli belgilanishi

"YOKI" operatsiyasini amalga oshirish uchun ikkita "YOKI-EMAS" mantiqiy elementlarini quyidagi 6.9, a-rasmida ko'rsatilganidek tarzda ketma-ket ulash talab etiladi.

Birinchi elementni kirishlariga 0 signali berilsa, birinchi mantiqiy elementni chiqishida 1 signali hosil bo'ladi. Ushbu signal ikkinchi elementni kirishiga uzatiladi va ikkinchi mantiqiy elementni chiqishida 0 signali hosil bo'ladi. Birinchi elementni ikkita kirishidan bittasiga 1 signali berilsa, ikkinchi elementni kirishiga 0 signali uzatiladi va uni chiqishida 1 signali hosil bo'ladi.



6.9- rasm. YOKI operatsiyasini amalga oshirish

Shu tarzda, agar birinchi elementni bitta yoki bir vaqtda ikkita kirishiga 1 signali berilsa, u holda ikkinchi mantiqiy elementni chiqishida 1 signali hosil bo'ladi.

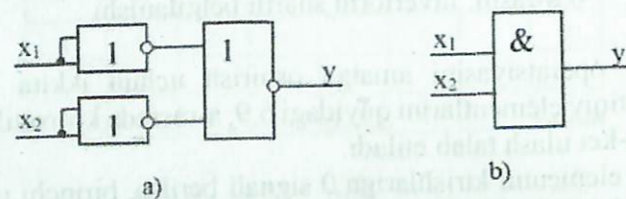
Ushbu sxema bo'yicha bajariladigan funksiya quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$Y_1 = \overline{x_1 + x_2}, \quad Y = \overline{Y_1}$$

$$Y = \overline{\overline{x_1 + x_2}} = x_1 + x_2$$

YOKI elementini shartli belgilanishi 6.10- b rasmda ko'rsatilgan.

Ikki o'zgaruvchili VA mantiqiy elementini olish uchun uchta YOKI-EMAS elementi zarur bo'ladi. Bunday sxemani amalga oshirish 6.10- a rasmda keltirilgan:



6.10- rasm. "HAM" operatsiyasini amalga oshirish

1 va 2-elementlarning chiqishlariga murojaat qilganda 1-elementlar paydo bo'ladi, ular 3-elementning kirishiga kelib 0-ga teng bo'lgan chiqishida signal hosil qiladi. 1-signalni qo'llashda faqat bitta kontaktlarning sxemaning kirishida olinadi, masalan, 1-elementning chiqishida 0-signal bo'ladi. 2-elementning chiqishida 1-signal bo'ladi signal, 3-elementning kirishiga kiradigan signallar uning chiqishida 0 ga teng bo'lgan signalni hosil qiladi. Agar 1 ga teng keladigan signallar kontaktlarning sxemalariga olib keladigan bo'lsa, 1 va 2-elementlarning chiqishlarida signallar 0 ga teng va ushbu kontaktlarning sxemalariga olib kelganda signal 1 ga teng. Shuning uchun bu ketma-ketlikni "HAM" elementi bajaradi. Bu funksiyalarni bajarilishi quyidagicha aniqlanadi:

$$Y_1 = \overline{x_1} \quad Y_2 = \overline{x_2}$$

Bu yerda,

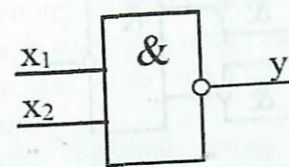
$$y = \overline{\overline{Y_1 + Y_2}} = x_1 + x_2 = \overline{\overline{x_1}} * \overline{\overline{x_2}} = x_1 * x_2$$

"HAM" elementini sxematik ko'rinishi 9.9 b chizmada keltirilgan.

Bu yerda,

$$y = \overline{\overline{Y_1 + Y_2}} = x_1 + x_2 = \overline{\overline{x_1}} * \overline{\overline{x_2}} = x_1 * x_2$$

"HAM - EMAS" elementining belgilanishi 6.11-rasmda keltirilgan. Bazis "HAM" - EMAS: 2 1

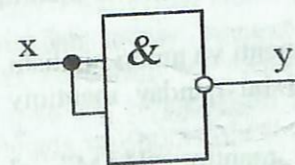


6.11- rasm. "HAM - EMAS" elementning belgisi

Asosiy mantiqiy operatsiyalarni quyidagi ko'rinishlarda tasvirlaymiz (6.11- rasm):

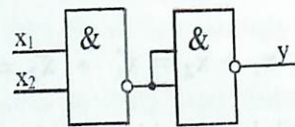
- EMAS operatsiyasi:

$$\overline{x} = \overline{x * x}, \quad y = \overline{x}$$



"HAM" operatsiyasi:

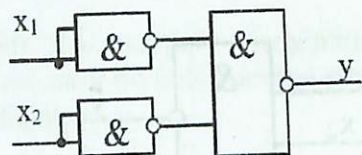
$$Y = x_1 \cdot x_2 = \overline{\overline{x_1 \cdot x_2}}$$



6.12- rasm. "HAM" operatsiyasi

YOKI operatsiyasi:

$$x_1 + x_2 = \overline{\overline{x_1 + x_2}} = \overline{\overline{x_1} * \overline{x_2}}$$



6.13- rasm. "EMAS", "HAM", "YOKI" mantiqiy elementlarini "HAM-EMAS" elementlarida amalga oshirilishi

Nazorat savollar

1. Bul funksiya haqida umumiy tushuncha.
2. Mantiqiy algebra haqida umumiy tushunchalar.
3. De-Morgan qonunlari haqida umumiy tushuncha va isbotlash uchun haqiqiylik jadvallari.
4. Mantiqiy algebra qonunlari.
5. Raqamli texnika elementlari va mantiqiy elementlar turlariga misollar keltiring?
6. VA mantiqiy elementi va uning tuzilishi.
7. Vebba funksiyasi bu qanday mantiqiy elementlar yordamida amalga oshiriladi?
8. Diod-tranzistorli mantiq "HAM" elementining haqiqiylik jadvalini tuzing?
9. FLH 271-7405 mikrosxemasi qanday mantiqiy elementlardan tuzilgan?
10. "EMAS", "HAM", "YOKI" mantiqiy elementlarining rele kontakt va diod tranzistorli tuzilmaviy sxemasi

VII BOB ELEKTRONIKA VA SXEMALAR 2 FANI BO'YICHA MUSTAQIL ISHLAR

7.1. Elektronika va sxemalar 2 fani bo'yicha talabalar mustaqil ishining maqsad va vazifalari

Talabaning mustaqil ishi aniq bir fandan o'quv rejasida va fan dasturida belgilangan bilim, ko'nikma va malakaning ma'lum bir qismini talaba tomonidan fan o'qituvchisi maslahati va tavsiyalari asosida auditoriya va auditoriyadan tashqarida o'zlashtirilishiga yo'naltirilgan tizimli faoliyatdir.

Talaba mustaqil ishining asosiy maqsadi o'qituvchining rahbarligi va nazorati ostida talabada muayyan o'quv ishlarini mustaqil ravishda bajarish uchun zarur bo'lgan bilim va ko'nikmalarni shakllantirish va rivojlantirishdan iboratdir.

Talabaga qiyinchilik darajasi uning shaxsiy imkoniyatlari, qobiliyati va bilim darajasiga muvofiq bo'lgan biror mavzu bo'yicha vazifa tayyorlash topshiriladi. Bunda talaba asosiy adabiyotlardan tashqari qo'shimcha adabiyotlardan va internet ma'lumotlaridan foydalanib materiallar yig'adi, tahlil qiladi, tizimga soladi va mavzu bo'yicha imkon darajasida to'liq, keng ma'lumot berishga harakat qiladi. Zarur hollarda o'qituvchidan maslahat oladilar. Mavzu bo'yicha referat kompyuterda tayyorlanib, aniq vazifalar bo'yicha elektr sxemalar xisoblanadi, ushbu sxemalar MULTISIM dasturi yordamida yig'iladi, tahlil etib, grafiklari keltirilib fan o'qituvchiga topshiriladi. Topshirilgan vazifaning mazmuni, olingan ma'lumotlarning boyligi va boshqa belgilari bo'yicha fan o'qituvchisi talabani baholaydi.

Mustaqil ishni bajarishdan asosiy maqsad— kafedra professor-o'qituvchilarining bevosita rahbarligi va nazorati ostida talabalarni semestr davomida fanni uzluksiz o'rganishini tashkil etish, olingan bilim va ko'nikmalarni yanada mustahkamlash, kelgusidagi darslarga tayyorgarlik ko'rish, aqliy mehnat madaniyatini, yangi bilimlarni mustaqil ravishda izlab topish va qabul qilishni shakllantirish natijasida raqobatbardosh kadrlarni tayyorlashga erishishdan iborat.

Mustaqil ish uchun beriladigan topshiriqlarning shakli va hajmi, qiyinchilik darajasi semestrda—semestrda ko'nikmalar hosil bo'lishiga muvofiq ravishda o'zgarib, oshib borishi lozim. Ya'ni, talabalarning

topshiriqlarni bajarishdagi mustaqilligi darajasini asta-sekin oshirib, ularning topshiriqlarni bajarishga tizimli va ijodiy yondoshishga o'rganib borishi kerak.

Talaba mustaqil ishining vazifalari quydagilardan iborat:

- yangi bilimlarni mustaqil tarzda puxta o'zlashtirish ko'nikmalariga ega bo'lishi;

- kerakli ma'lumotlarni izlab topishning qulay usullari va vositalarini aniqlashi;

- axborot manbalari va manzillaridan samarali foydalanishi;

- an'anaviy o'quv va ilmiy adabiyotlar, me'yoriy hujjatlar bilan ishlashi;

- elektron o'quv adabiyotlar va ma'lumotlar banki bilan ishlashi;

- internet tarmog'idan maqsadli foydalanishi;

- berilgan topshiriq va vazifalarning ratsional yechimini topishi;

- ma'lumotlar bazasini tahlil etishi;

- ish natijalarini ekspertizaga tayyorlash va ekspert xulosasi asosida qayta ishlashi;

- topshiriq va vazifalarni bajarishda tizimli va ijodiy yondashishi;

- ishlab chiqilgan yechim, loyiha yoki g'oyani asoslash va mutaxassislar jamoasida himoya qilish.

Mavzuni mustaqil o'zlashtirish. Fanning xususiyati, talabalarining bilim darajasi va qobiliyatiga qarab ishchi o'quv dasturiga kiritilgan alohida mavzular talabalarga mustaqil ravishda o'zlashtirish uchun topshiriladi. Bunda mavzuning asosiy mazmunini ifodalash va ochib berishga xizmat qiladigan tayanch iboralar, mavzuni tizimli bayon qilishga xizmat qiladigan savollarga e'tibor qaratish, asosiy adabiyotlar va axborot manbalarini ko'rsatish lozim.

Topshiriqni bajarish jarayonida talabalar mustaqil ravishda o'quv adabiyotlaridan foydalanib, ushbu mavzuni konspektlashtiradilar, tayanch iboralarning mohiyatini anglagan holda mavzuga taalluqli savollarga javob tayyorlaydilar. Zarur hollarda (o'zlashtirish qiyin bo'lsa, savollar paydo bo'lsa, adabiyotlar yetishmasa, mavzuni tizimli bayon eta olmasa va h.k.) o'qituvchidan maslahatlar oladilar. Mustaqil o'zlashtirilgan mavzu bo'yicha tayyorlangan matn o'qituvchiga himoya qilish orqali topshiriladi.

«Elektronika va sxemalar» fani bo'yicha mustaqil ishlarni referatlar shaklida tashkil etilishi talabalarni ilmiy-ijodiy o'quv

jarayoniga jalb qilishning keng tarqalgan usullaridandir. Talabalar ilmiy ijodi ta'lim shakllaridan biri sifatida o'qitish, bilim berish va tarbiyalash vazifalarini bajarishda o'z xususiyatlariga ega. Talaba tadqiqot faoliyatiga jalb qilinib, ilmiy adabiyotlar bilan ishlash, statistik va boshqa materiallarni yig'ish, qayta ishlash va tahlil qilish ko'nikmalariga ega bo'ladi, o'rganilayotgan hodisani tanqidiy baholashga o'rganadi, nazariyani amaliyot bilan bog'laydi va h. k.

Agar referat tayyorlashning darslik bo'yicha tayyorlangan seminar mashg'ulotidagi chiqishga qaraganda mazmun va sifat jihatdan yuqoriligi hisobga olinsa, referat shubhasiz katta foyda keltiradi. Talaba auditoriya oldida referatda bayon qilingan qoidalarni himoya qilishga, yoqlashga tayyorlanishi kerak, Informatika fanini o'rganishda bu muhim ahamiyatga ega.

Referat - bu talabalar mustaqil ishlarining samarali shakllaridan biridir. Mazkur shakl talaba tomonidan referat mavzusini tanlash, unda yoritiladigan masalalar mazmunini oldindan rejalashtirish, referatni tayyorlash va muhokama qilishning barcha bosqichlarida kafedra professor-o'qituvchilarining tashkiliy-uslubiy yordami va maslahati asosidagina samarali amalga oshishi mumkin. Bu yerda o'qituvchi tomonidan talabalarining referat ishlariga rahbarlik qilish qanchalik batafsil va malakali amalga oshirilganligi va referatlarga talablar mezoni qanchalik to'g'ri qo'yilganligi albatta, hal qiluvchi ahamiyatga ega. Topshiriq talabalarining referat yozish ko'nikmalarini, ilmiy qiziqishlari va bilim darajasini hisobga olgan holda berilishi juda muhim.

Ko'rgazmali vositalar va taqdimotlar tayyorlash. Talabaga muayyan mavzuni bayon qilish va yaxshiroq o'zlashtirish uchun yordam beradigan ko'rgazmali materiallar tayyorlash vazifasi topshiriladi. Mavzu o'qituvchi tomonidan aniqlanib, talabaga ma'lum ko'rsatmalar, yo'l-yo'riqlar beriladi. Ko'rgazmali vositalarning miqdori, shakli va mazmuni talaba tomonidan mustaqil tanlanadi. Bunday vazifani bir mavzu bo'yicha bir necha talabaga yoki talabalar guruhiga topshirish ham mumkin.

7.2. Mustaqil ishlarni bajarishda qo'yiladigan vazifalar. Mavzu bo'yicha testlar, munozarali savollar va topshiriqlar tayyorlash

Talabaga mustaqil ish sifatida muayyan mavzu bo'yicha testlar, qiyinchilik darajasi har xil bo'lgan masalalar va topshiriqlar, munozaraga asos bo'ladigan savollar tuzish vazifasi topshiriladi.

Bunda o'qituvchi tomonidan talabaga testga qo'yiladigan talablar va uni tuzish qonun-qoidalari, qanday maqsad ko'zda tutilayotganligi, muammoli savollar tuzishda mavzuning munozarali jihatlarini qanday ajratish lozimligi, topshiriqlarni tuzish usullari bo'yicha yo'l-yo'riq beriladi.

Ilmiy maqola, tezislar va ma'ruzalar tayyorlash. Talabaga muayyan mavzu bo'yicha (mavzuni talabani o'zi ham tanlashi mumkin) ilmiy maqola, tezis yoki ma'ruza tayyorlash topshirilishi mumkin. Bunda talaba o'quv adabiyotlari, ilmiy-tadqiqot ishlari, dissertatsiyalar, maqola va monografiyalar hamda boshqa axborot manbalaridan mavzuga tegishli materiallar to'playdi.

Talabalarning ilmiy-nazariy konferentsiyalari ham talabalar mustaqil ishlarining shakllaridan biridir. Kafedra professor-o'qituvchilari talabalar ilmiy-nazariy konferentsiyasini tashkil etish orqali o'z ishini guruhning kasbiy yo'naltirilganligini, a'zolarining yosh tarkibini, qiziqishlarini hisobga olib, tabaqalashgan holda tashkil qilishi kerak. Faqat shu holdagina talabalarning konferentsiyani o'tkazishda faol ishtiroki va manfaatdorligi ta'minlanadi. «Diskret tuzilmalar» fani bo'yicha talabalarning ilmiy-nazariy konferentsiyalarini quyidagi bosqichlarda amalga oshirish maqsadga muvofiqdir:

1-bosqich – fan o'qitilayotgan barcha o'quv guruhlarida konferentsiyalarni o'tkazish;

2-bosqich – har bir guruhda tanlab olingan talabalarning eng yaxshi ma'ruzalarini fakultet konferentsiyasiga taqdim etish va o'tkazish;

3-bosqich – fakultetda o'tkazilgan konferentsiyada tanlab olingan eng yaxshi ma'ruzalarni universitetda o'tkaziladigan ilmiy-nazariy konferentsiyaga taqdim etish.

Butun guruhlar uchun yagona bo'lgan konferentsiya mavzusini tasdiqlab, talabalarning ma'ruza va chiqishlarini guruhlarining qiziqishlariga qarab ixtisoslashtirish mumkin.

Elektr zanjirlarini hisoblash. Talaba o'qituvchi tomonidan olgan vazifasi bo'yicha aniq elektr zanjirini tahlil etadi. Bunda zanjirning tugunlarini, zanjir shahobchalarini va konturlarni belgilab oladi. Elektr zanjiriga ixtiyoriy tok yo'nalishlarini kiritadi. Tugunlar uchun Kirxgoffning 1 chi, 2 chi qonunini keltiradi va toklarni aniqlaydi. Kontur toklar usulida talaba hisoblanadigan zanjirning tugunlarini, zanjir shahobchalarini va konturlarni belgilab oladi. Zanjir uchun tuziladigan tenglamalarni sonini aniqlaydi. Elektr zanjiriga ixtiyoriy tok yo'nalishlarini kiritadi. Zanjir uchun tenglamalar tizimini tuzib shahobchalardagi toklarni aniqlaydi. Talaba bajarilgan ishni hisobot shaklida hujjatlashtirib himoya qiladi.

Elektr zanjirlarini amaliy yig'ish. Talaba o'qituvchi tomonidan olgan vazifasi bo'yicha aniq elektr zanjirini yig'ish sxemasi chizadi, bu zanjirni loyihalaydi. Elektr zanjirni yig'ish uchun kerakli elementlarni tanlaydi, monaj platasini tayyorlaydi, elementlarni joylashtirish uchun platada yo'lakchalar hosil qilinadi. Tayyorlangan plataga elementlar payvandlash va kovsharlash orqali yig'iladi. Talaba tayyor bo'lgan sxemani topshirish uchun ishlashini namoyish qiladi va sxemadagi elementlar vazifalarini tushintirib beradi. Elektr zanjirini yig'ishda texnik havfsizlikka rioya qilish talab etiladi.

Elektr zanjirlarini MULTISIM dasturiy ta'minoti yordamida yig'ish. Talaba o'qituvchi tomonidan olgan vazifasi bo'yicha aniq elektr zanjirini yig'ish sxemasi chizadi, bu zanjirni loyihalaydi. Elektr zanjirni yig'ish uchun MULTISIM dasturida elementlarni tanlaydi. MULTISIM dasturiy ta'minotida oynakchada sxemani yig'ish uchun elementlarni joylashtirib, ulanishlarni bajaradi. Tayyorlangan sxemani o'lchash qurilmalari yordamida tekshirib, grafiklarini oladi. Talaba tayyor bo'lgan sxemani topshirish uchun ishlashini namoyish qiladi va sxemadagi elementlar vazifalarini, olingan grafiklarni tushintirib beradi.

Ko'rgazmali vositalar va taqdimotlar tayyorlash. Talabaga muayyan mavzuni bayon qilish va yaxshiroq o'zlashtirish uchun yordam beradigan ko'rgazmali materiallar tayyorlash vazifasi topshiriladi. Mavzu o'qituvchi tomonidan aniqlanib, talabaga ma'lum ko'rsatmalar, yo'l-yo'riqlar beriladi. Ko'rgazmali vositalarning miqdori, shakli va mazmuni talaba tomonidan mustaqil tanlanadi. Bunday vazifani bir mavzu bo'yicha bir necha talabaga yoki talabalar guruhiga topshirish ham mumkin.

7.3. “Elektronika va sxemalar 2” fanidan mustaqil ish mavzulari va ularni bajarish bo‘yicha tavsiyalar
“Elektronika va sxemalar 2” fanidan mustaqil ish mavzulari

No	Mustaqil ta‘lim mavzulari	Berilgan topshiriqlar	Hisobot shakli	Hajmi (soatda)
1	2-3-ma‘ruzalar amda, 1 - laboratoriya mashg‘uloti mavzulari asosida “Raqamli IMSlar klassifikatsiyasi, markalanishi va sxemalarda shartli belgilanishi”	Vazifa bo‘yicha berilgan raqamli IMSlar klassifikatsiyasi, markalanishi va sxemalarda shartli belgilanishi to‘g‘risida ma‘lumotlarni o‘rganish.	Referat tayyorlab, ma‘lumotlar taqdimot shaklida topshiriladi.	12
2	10-12- ma‘ruzalar hamda, 14- laboratoriyamashg‘ulotim avzulariasosidaTTMvaTT MSH,markalanishivaxarakteristikalarini tahlil qilish. Hisoblash natijalari hisobot shaklida topshiriladi.	Vazifa bo‘yicha berilgan TTM va TTMSH lar asosida Multisim dasturida sxema yig‘ish. Asosiy xarakteristikalarini tekshirish.	Hisobot, sxemalarni chizmalari, jadvallar, grafiklar	15
3	14 - ma‘ruza hamda 13- laboratoriya mashg‘uloti mavzulari asosida. KMDYa, markalanishi va xarakteristikalari	Vazifa bo‘yicha berilgan KMDYa lar asosida Multisim dasturida sxema yig‘ish. Asosiy xarakteristikalarini tekshirish.	Hisobot, sxemalarni chizmalari, jadvallar, grafiklar	15
4	O‘tilgan mavzular asosida turli elektr sxemalarni yaratish va ularni taqdimot qilish. Taqdimot shaklida topshiriladi.	Vazifa bo‘yicha berilgan turli elektr sxemalarini Multisim dasturida yig‘ish. Asosiy xarakteristikalarini tekshirish.	Hisobot, sxemalarni chizmalari, jadvallar, grafiklar. Taqdimot shaklida topshiriladi.	48
Jami				90

1- Mustaqil ishi. Raqamli integral mikrosxemalar (IMS) klassifikatsiyasi, markalanishi va sxemalarda shartli belgilanishi

Ishning maqsadi: 2-3 - ma‘ruzalar hamda, 1- laboratoriya mashg‘uloti mavzulari asosida raqamli integral mikrosxemalar (IMS) klassifikatsiyasi, markalanishi va sxemalarda shartli belgilanishini, elektr zanjirlarni IMS texnologiyalarini o‘rganish.

Tavsiyalar: Talabalar vazifa bo‘yicha berilgan raqamli IMSlar klassifikatsiyasi, markalanishi va sxemalarda shartli belgilanishini o‘rganib, referat tayyorlaydi. Asosiy ma‘lumotlarni o‘ganib chiqadi. Vazifa bo‘yicha berilgan elektr zanjirlarini tuzib, IMS larni hosil qilish jarayonini chizmalar shaklida, uch xil ko‘rinishida keltirib o‘tadi.

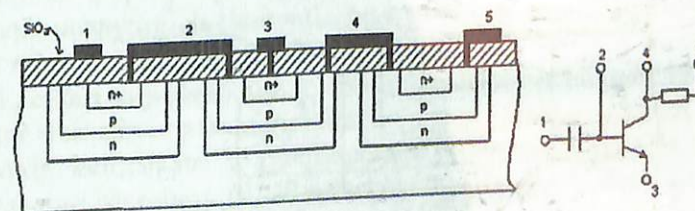
Qisqacha ma‘lumot: Integral mikrosxema (IMS) o‘ta ixcham, o‘ta pishiq, kichik tannarhga ega bo‘lgan va kam quvvat iste‘mol qiladigan radioelement yasash yo‘lidagi urinishlar mahsulidir.

IMS elementi deb, konstruksiyasi bo‘yicha kristall yoki asosdan ajralmaydigan, elektroradio elementlari (ERE) funksiyasini bajaruvchi IMSning qismiga aytiladi.

IMS komponenti deb, diskret element funksiyasini bajaruvchi, lekin montajdan avval mustaqil maqsulot bo‘lgan IMSning bo‘lagiga aytiladi.

Zamonaviy mikrosxemalar texnologik tayyorlash jarayoniga va bajarish funkciyalariga qarab ikki turga bo‘linadi: yarimo‘tkazgichli (monolit) va qatlamli mikrosxemalarga.

Yarimo‘tkazgichli integral sxema - bu komponentalari yarimo‘tkazgich plastinkasining sirti qismida tayyorlanadigan yaxlit mikrosxemadan iborat.



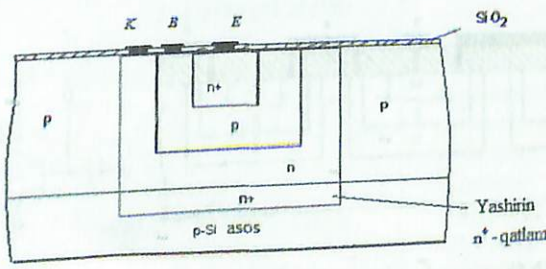
7.1-rasm. IMS topologiya qirqimi va yarimo‘tkazgichlar ko‘rinishidagi principal sxemasi

Aksariat hollarda integral sxema tayyorlashda kremniy kristali ishlatiladi. Bu turdagi integral sxema (IS) aktiv (diodlar, tranzistorlar) va passiv (qarshiliklar, kondensatorlar, induktiv g'altaklar) komponentalardan tashkil topgan bo'ladi. qatlamli IS - komponentalari taglik sirtiga har xil qatlamlarni o'tkazish orqali tayyorlanadigan mikrosxema hisoblanadi. Dielektrik taglik sifatida alyuminiy oksidi, shisha va keramikalar qo'llaniladi. Qatlamli IS asosan passiv elementlar - qarshiliklar, kondensatorlar va induktiv g'altaklarni tashkil qiladi. Ulardan asosan RC-filtrlar tuziladi.

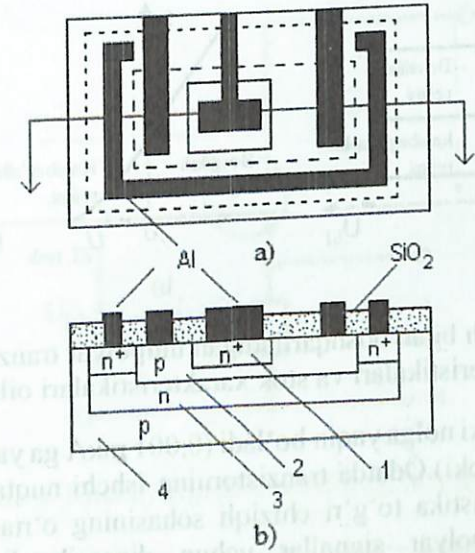
Bulardan tashqari yana duragay IS mavjud bo'lib, bu mikrosxema ham dielektrik asosidagi passiv elementlar va diskret aktiv elementlarning bog'lanishidan tashkil topadi. Odatda diskret aktiv elementlar ISlarda aktiv elementlar deb yuritiladi. Bu elementlar asosan ixchamlashtirilgan qobiqsiz diod va tranzistorlardan tashkil topgan bo'ladi.

Aralash IS - bu mikrosxemaning aktiv elementlari yarimo'tkazgich materiali asosida tayyorlanib, yarimo'tkazgichli ISga o'hshash bo'ladi, passiv elementlari esa qatlamli mikrosxemalar kabi (qarshilik, kondensator, induktiv g'altak) tayyorlangan bo'ladi. Ular umumiy taglikka izolyatsiyalangan holda joylashtiriladi. Hozirgi paytda yarimo'tkazgich IMS larning ikki turi mavjud: biqutbiy IS va metall-oksid-yarimo'tkazgich (MDYA) integral sxemalar. IMSlarning bir-biridan farqi, asosan, aktiv elementlarning ishlashi va ISlarning tayyorlash texnologiyasiga bog'liqdir.

Ikki qutbli IS asosini n-p-n yoki n-p-n turdagi ikki qutbli tranzistorlar, MDYA-turdagi ISlar asosini maydoniy tranzistorlar tashkil etadi.



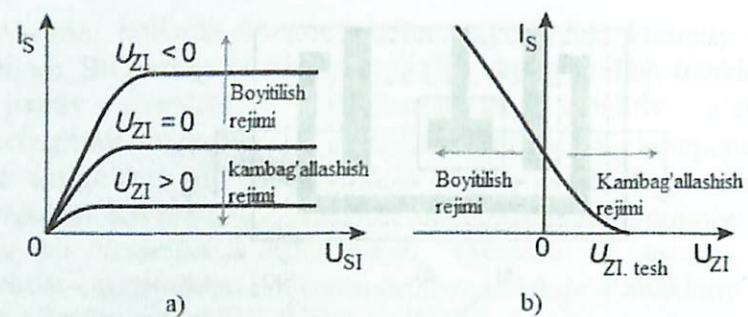
7.2-rasm. Integral tranzistorlar



7.3- rasm. Tipik biqutbiy integral tranzistor geometriyasi (a) va ko'ndalang kesimi (b). 1-emitter; 2-baza; 3-kollektor; 4-atlam.

Integral sxemani tayyorlash jarayonlarini asosan tranzistorlarni tayyorlash texnologiyasi tashkil qiladi, qolgan barcha elementlar ham qo'shimcha texnologik jarayonsiz, tranzistorni tayyorlash orqali yasaladi.

Mustaqil ishiga vazifa va topshiriqlar: IMS kuchaytirgich xarakteristika va parametrlarini tadqiq etish, Tajriba yo'li bilan unipolyar tranzistorning volt-amper xarakteristikasini (VAX), kuchaytirgich bosqichining amplituda va amplituda - chastotaviy xarakteristikalarini o'lchash, kuchaytirgich elementlari parametrlari uning xususiyatlariga qanday ta'sir ko'rsatishini o'rganish. Zatvori teskari siljirilgan p-n o'tish bilan boshqariladigan unipolyar transistor stok-zatvor xarakteristikalarini va stok xarakteristikalarini o'rganilayotgan r-kanalli KPI103II turdagi tranzistorning ish rejimi $U_{ZI} > 0$ mos keladi.

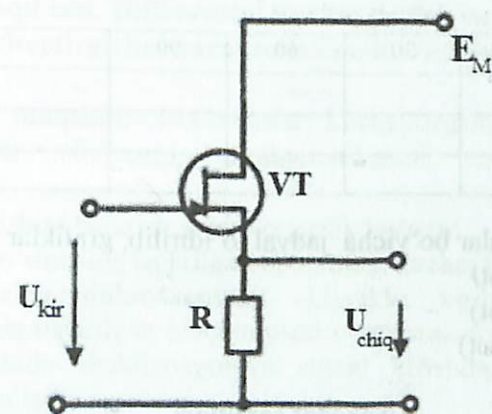


7.4- rasm. p-n o'tish bilan boshqariladigan unipolyar tranzistor stok-zatvor xarakteristikallari va stok xarakteristikallari oilalari

Bunda zatvor toki nolga yaqin bo'ladi (0,001 mKA ga yaqin, teskari ulangan p-n o'tish toki). Odatda tranzistorning ishchi nuqtasi dinamik stok-zatvor xarakteristika to'g'ri chiziqli sohasining o'rtasi yaqinida olinadi. Bunda bipolyar signallar uchun dinamik diapazonning maksimal qiymatiga erishiladi.

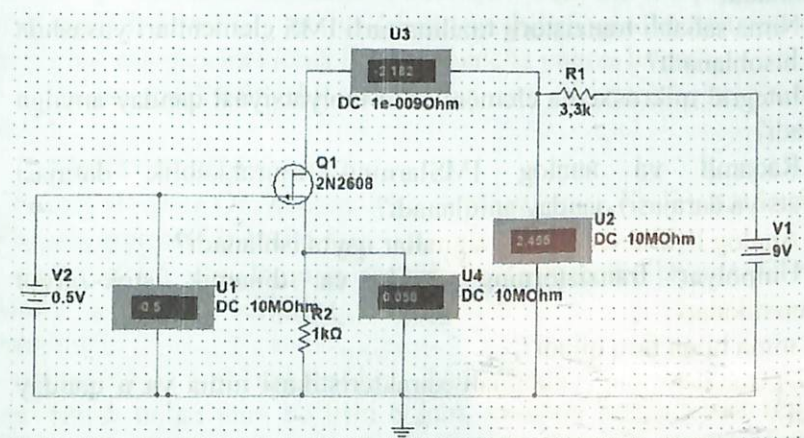
7.5-rasmda kuchaytirgich bosqichining prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. $CP1$ va $CP2$ kondensatorlar kaskadlarni o'zgarmas tok bo'yicha ajratib turadi. $R3$ rezistor esa zatvor zanjirida zaryadlarning oqishini ta'minlaydi. Unipolyar tranzistorli sxemalar ishlashini tahlil qilishda tranzistorning kichiksignal (differensial) parametrlari ishlatiladi; $R1$ - ichki (differensial) qarshilik, $S_{stok-zatvor}$ xarakteristikasining ishchi nuqtadagi tikligi. Yuqori chastotalarda tranzistorning elektrodleri orasidagi (C_{ZI} , C_{ZS} , C_{SI} - nomlanishi mos ravishda kirish, uzatish va chiqish) sig'implari hisobiga olinishi kerak.

O'rta chastotalarda - sxemaning reaktiv komponentalari hisobga olinmasa, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefitsiyentini hisoblash uchun $K_0 = S(R_{yu})$ formulani topish qiyin emas, bu yerda R_{yu} - yuklama qarshiligi.



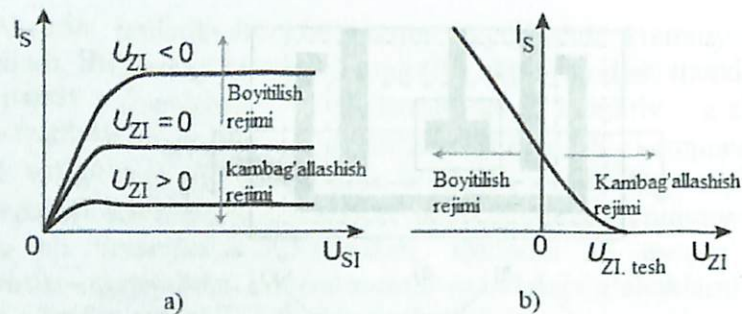
7.5- rasm. Kuchaytirgich kaskadining prinsipial sxemasi

Ishni bajarish uchun talabalar quyidagi sxemani Multisim dasturi yordamida yig'ish talab etiladi.



7.5- rasm. Tadqiq sxemasi

Sxemani tadqiq etish uchun $R=3.3 \text{ kOm}$, $U_{ZI}=0.6$ qilib o'rnatiladi $E_1 = -(1-0.6 \sin \omega t)$ ifodasi yordamida aniqlaniladi.

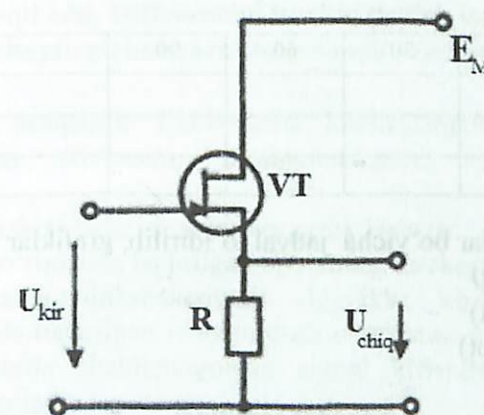


7.4- rasm. p-n o'tish bilan boshqariladigan unipolyar tranzistor stok-zatvor xarakteristikalari va stok xarakteristikalari oilalari

Bunda zatvor toki nolga yaqin bo'ladi (0,001 mA ga yaqin, teskari ulangan p-n o'tish toki). Odatda tranzistorning ishchi nuqtasi dinamik stok-zatvor xarakteristika to'g'ri chiziqli sohasining o'rtasi yaqinida olinadi. Bunda bipolyar signallar uchun dinamik diapazonning maksimal qiymatiga erishiladi.

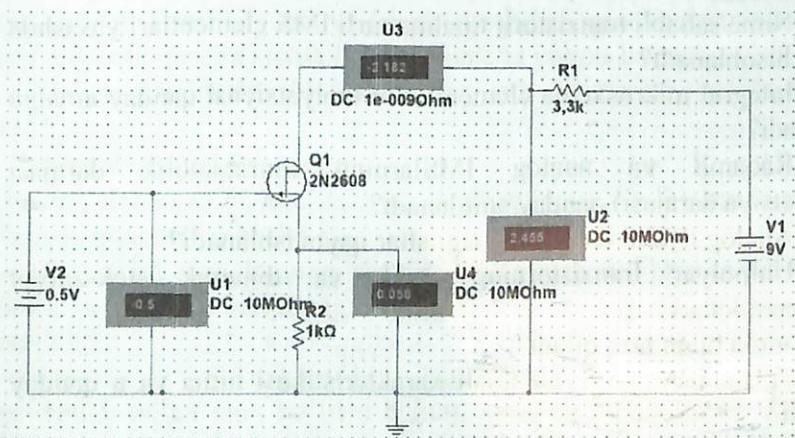
7.5-rasmda kuchaytirgich bosqichining prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. $CP1$ va $CP2$ kondensatorlar kaskadlarni o'zgarmas tok bo'yicha ajratib turadi. $R3$ rezistor esa zatvor zanjirida zaryadlarning oqishini ta'minlaydi. Unipolyar tranzistorli sxemalar ishlashini tahlil qilishda tranzistorning kichiksignal (differensial) parametrlari ishlatiladi; $R1$ – ichki (differensial) qarshilik, S_{stok} - zatvor xarakteristikasining ishchi nuqtadagi tikligi. Yuqori chastotalarda tranzistorning elektrodleri orasidagi (C_{ZI} , C_{ZS} , C_{SI} – nomlanishi mos ravishda kirish, uzatish va chiqish) sig'implari hisobga olinishi kerak.

O'rta chastotalarda – sxemaning reaktiv komponentalari hisobga olinmasa, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefitsiyentini hisoblash uchun $K_0 = S(R_{yu})$ formulani topish qiyin emas, bu yerda R_{yu} – yuklama qarshiligi.



7.5- rasm. Kuchaytirgich kaskadining prinsipial sxemasi

Ishni bajarish uchun talabalar quyidagi sxemani Multisim dasturi yordamida yig'ish talab etiladi.



7.5- rasm. Tadqiq sxemasi

Sxemani tadqiq etish uchun $R=3.3 \text{ kOhm}$, $U_{ZI}=0.6$ qilib o'rnatiladi $E_1 = -(1-0.6 \sin \omega t)$ ifodasi yordamida aniqlaniladi.

7.2- jadval

ωt	0	30	60	90	...	360
$E_1(\omega t)$						
$I_s(\omega t)$						
$U_s(\omega t)$						

Olingan natijalar bo'yicha jadval to'ldirilib, grafiklar chiziladi:

- $E_1(\omega t) = f(\omega t)$
- $I_s(\omega t) = f(\omega t)$
- $U_s(\omega t) = f(\omega t)$
- $I_s = f(U_s)$

Nazorat savollari

- Integral mikrosxema (IMS) nima?
 - IMS asosiy xususiyati nimada?
 - IMS elementi va komponentasi deb nimaga aytiladi?
 - Pardali, gibrid va yarim o'tkazgichli IMSlarning bir - biridan farqi nimada?
 - Nima sababli tranzistorli tuzilma turli IMS elementlari yasashda asosiy hisoblanadi?
 - Integral mikrosxema elementlarini izolyatsiyasi qanday amalga oshiriladi?
 - Raqamli va analog IMSlarning murakkablik darajasi (integratsiya darajasi) qanday aniqlanadi?
 - Analog IMSlarda qanday signallar qayta ishlanadi?
 - Unipolyar tranzistorning statik va dinamik stok-zatvor xarakteristikalarini o'zaro nima bilan farq qiladi?
 - Tranzistorning yuklamali xarakteristikasi nima va u qanday quriladi?
 - Kuchaytirgichda past va yuqori chastotali buzilishlarning sabablari nimalarga bog'liq?
 - Kuchaytirgichning o'tkazish oraliq'ini qanday kengaytirish mumkin?
- Kuchaytirgichning o'tkazish oraliq'i chegaraviy chastotalari va to'g'ri burchakli impulslar shakllarining buzilishi orasida qanday bog'lanishlar bor?

2- Mustaqil ishi. Differensial kuchaytirgich va operatsion kuchaytirgichni xarakteristikasini tadqiq etish

Ishning maqsadi: Differensial kuchaytirgich va operatsion kuchaytirgichni sxemasini, xarakteristikasini va parametrlarini o'rganish.

Mustaqil ishini bajarishga tayyorgarlik ko'rish:

Integral ko'rinishda bajarilgan operatsion kuchaytirgich (OK) – bu universal analog mikrosxemadir. U ikki kirishli differensial kuchaytirgichda bajarilgan kengpolosali o'zgaras tok kuchaytirgichi bo'lib, chiqishida shakllanayotgan signal kirishdagi signallarning farqiga teng bo'ladi.

Uning chiqishida teskari aloqa zanjirini qo'llab kirishdagi signallar ustidan turli matematik amallar bajarish imkoniyati borligi tufayli ham – operatsion kuchaytirgich nomini olgan. Chiqish zanjirini tanlashga qarab OK qo'shish, ayirish, ko'paytirish, o'rta qiymatni aniqlash, integrallash, differensiallash, logarifmlash va boshqa amallarni bajarish uchun qo'llanilishi mumkin. Amallarni bajarish aniqligi OKning kuchaytirish koeffitsiyenti va kirish qarshiligi qancha katta, chiqish qarshiligi esa qancha kichik bo'lsa, shuncha yuqori bo'ladi.

OK ni karakterlovchi parametrlar soni bir necha o'n qiymatga yetadi.

Ularga quyidagilar kiradi:

- teskari aloqasiz OK kuchaytirish koeffitsiyent - K_U . K_U ning teskari aloqasiz qiymati bir necha o'n – yuz mingni tashkil etadi;
- sinfaz kirish signallarning so'nish koeffitsiyenti – K_{TA-SF} . OKning ikkala kirishiga berilayotgan signallarni so'ndirish qobiliyatini baholaydi.
- siljituvcchi kirish kuchlanishi - U_{sil} . Bu kattalik, OK chiqishida kuchlanish nolga teng bo'lishi uchun, kirishga berish kerak bo'lgan kuchlanish qiymatini belgilaydi. Bu kattalik OK ning ideal emasligini xarakterlaydi va kirish kaskadidagi tranzistorlarni bir xil emasligiga asoslangan. Odatda U_{sil} qiymati millivolt- o'nmillivoltlarda bo'ladi;
- kirish toklari - I_{kir} . Chiqishdagi kuchlanish nolga teng bo'lganda- kirishlarda oqib o'tadigan tokni bildiradi. Bu toklar kirishdagi bipolyartranzistorlarning baza toklari yoki OK kirish kaskadida maydoniy tranzistorlar qo'llanilgan bo'lsa zatvordagi sizish toki bilan

tushuntiriladi. Odatda IKIR qiymati nanoamper- o'n mikroamper (10-10...10-15A) larda belgilaydi;

- kirish toklarining farqi I_{kir} - 10...20% ga yetishi mumkin. Bu kattalik OK kirish kaskadining simmetrik emasligini ifodalaydi;

- chiqish kuchlanishining ortib borish tezligi $V_{u.chiq}$ - bu kattalik U_{chiq} qiymatini o'zining nominal qiymatidan 10% dan 90% gacha o'zgarishining, shuo'zgarishlarga ketgan vaqtga nisbatiga teng;

- birlik kuchaytirish chastotasi - f_l . Bu kattalik OKda kuchlanishni kuchaytirish koeffitsiyenti birga teng bo'ladigan kirish signali chastotasini bildiradi. Bu kattalik OK kuchaytirishi mumkin bo'lgan signallarning chastota diapazonini belgilaydi.

Mustaqil ishni bajarish:

1. OK (operatsion kuchaytirgich) kuchaytirish koeffitsiyentining chegaraviy qiymatini aniqlang. Qancha katta qiymatga ega bo'lsa, uni bevosita o'lchash qiyin. Shu sababli K_U qiymati hisoblash natijasida olinadi.

2. 7.6- rasmda keltirilgan sxemani yig'ing (OK sokoli ilovada keltirilgan). (Shuni eslatib o'tmoqchimizki, chatotani tahrirlovchi sxema yig'ilgan bo'lsa ham uning sxemasi ko'rsatilmagan. Keyinchalik E3 manba elementi ham tushirib qoldiriladi).

3. Generator chiqishida (1) amplitudasi $U_g=1$ V va chastotasi $f_g=10..20$ Hz bo'lgan sinusoidal signal o'rnatilgan. Bu vaqtda ostsillograf ekranida (2) shakli buzilmagan signal kuzatilishi kerak (agar buzilishlar mavjud bo'lsa, U_r ni kamaytirish kerak).

4. Voltmetr (3) yordamida o'zgaruvchan U_1 kuchlanish ("A" nuqta bilan umumiy sim orasida) va U_{chiq} ni o'lchang, so'ngra K_U quyidagi ifoda yordamida aniqlang:

$$K_U = \frac{U_{chiq}}{U_1} \cdot \frac{R_2}{R_3} \quad (7.1)$$

OK siljituvchi kuchlanishi (U_{sil}) va kirish toki (I_{kir}) ni hisoblab toping. Bu kattaliklar kichik qiymatga ega bo'lganligi uchun ularni bevosita o'lchash mushkul. Shu sababli ular hisoblash yordamida aniqlanadi.

5. 7.3 - rasmda mos ravishda sxemani yig'ing (sxemada manba va tahrirlash zanjirlari ko'rsatilmagan).

6. OK inverslamaydigan kirishini (sxemada "+" ishora bilan ko'rsatilgan) umumiy sim bilan ulovchi Π qayta ulagichni o'rnatilgan (R_1 rezistor o'rniga).

7. Voltmetr ko'rsatayotgan U_{chiq1} o'zgarimas kuchlanish qiymatini yozib oling.

8. Π 1 qayta ulagichni olib tashlang va uni OKning inverslamaydigan kirishi bilan R_1 rezistor umumiy simi o'rtasiga o'rnatilgan. Bu vaqtda voltmetr ko'rsatmasi o'zgaradi.

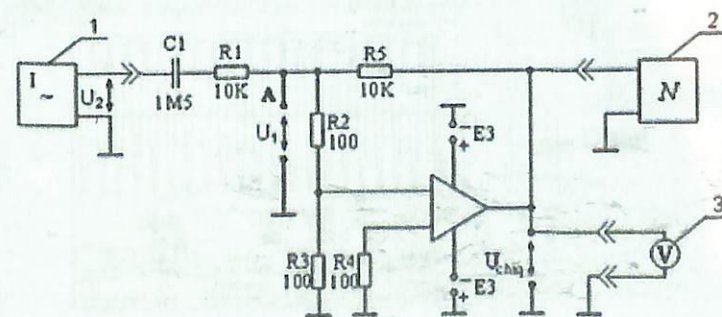
9. Bu qiymatni U_{chiq2} deb belgilab, yozib oling. U_{chiq1} va U_{chiq2} qiymatlarning ishorasiga e'tibor bergan holda siljitish kuchlanishi

$$U_{sil} = |U_{chiq2} - U_{chiq1}| \cdot \frac{R_1}{R_3}$$

va OK kirish toki:

$$I_{kir} = \frac{U_{sil}}{R_2}$$

10. 7.7- rasmdagi sxemada U_2 voltmetr ko'rsatgichi U_{kir} , U_3 voltmetr ko'rsatgichi esa U_{chiq} qiymatlarini ko'satadi. Talabalarga o'qituvchi tomonidan XFG1 generatoridan beriladigan signalning parametrlari A- signalni amplitudasi, f-chastotasi beriladi. Sxemani yig'ib quyidagi jadval to'diriladi.

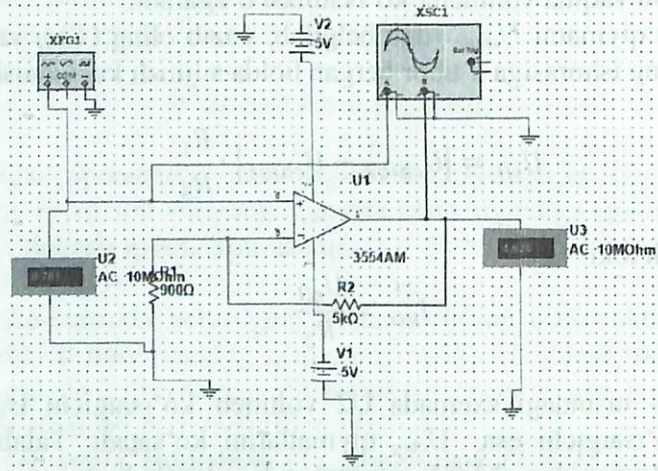


7.6- rasm. Tadqiq sxemasi

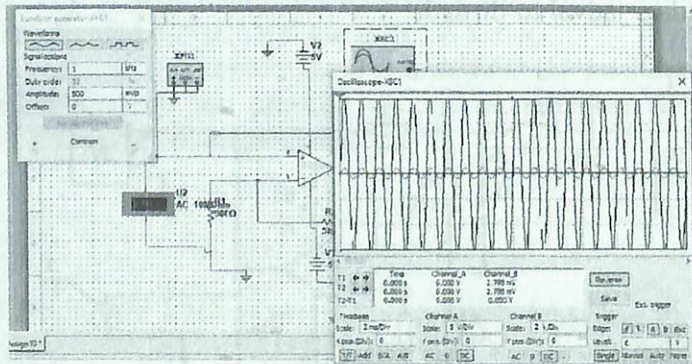
O'lchash natijalari

7.3- jadval

Berilgan	R ₂	1	2	3	4	5
Hisoblash	K _U *					
	K _U **					
O'lchashlar	U _{kir}					
	U _{chiq}					



a)



b)

7.7- rasm. a-inverslamaydigan opeartsion kuchaytirgichning tadqiq sxemasi, b-ossilograf ko'rinishi

Inversiyalamaydigan operatsion kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagicha hisoblanadi:

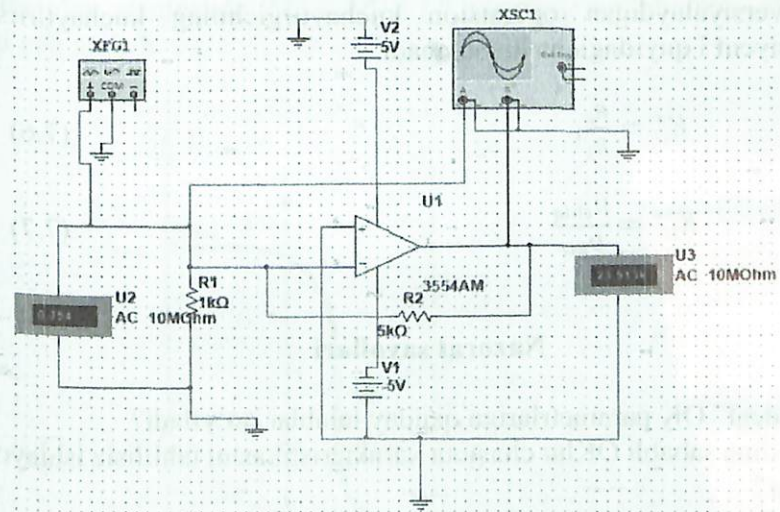
$$K_U^* = 1 + \frac{R_2}{R_1}; \quad (7.4)$$

$$K_U^{**} = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} \quad (7.5)$$

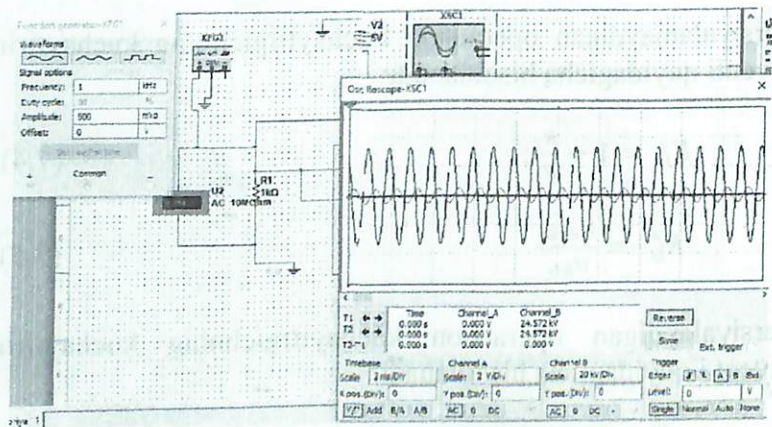
Inversiyalaydigan operatsion kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti i quyidagicha hisoblanadi:

$$K_U^* = \frac{R_2}{R_1}; \quad (7.6)$$

$$K_U^{**} = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} \quad (7.7)$$



a)



b)

7.8- rasm. Inverslaydigan opreatsion kuchaytirgichning tadqiq sxemasi (a), ossilograff ko'rinishi (b)

Inversiyalaydigan operatsion kuchaytirgichning kuchaytirish koefitsiyent i quyidagicha hisoblanadi:

$$K_U^* = \frac{R_2}{R_1} \quad (7.6)$$

$$K_U^{**} = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} \quad (7.7)$$

Nazorat savollari

1. Ideal" OK parametrlariga qanday talablar qo'yiladi?
2. Nima sababli OKlar chastota xarakteristikasini tahlilisiz ishlayol maydilar?
3. OK siljish kuchlanishi parametri ma'nosini tushuntirib bering.
4. OK kirish tokining o'rtacha qiymati va kirish toklarining farqiparametrlarining fizik ma'nosini tushuntiring. Ular qanday kirish signallarida o'Ichadilar?
5. Chiqish kuchlanishi o'sish tezligi parametrning fizik ma'nosini tushuntiring.

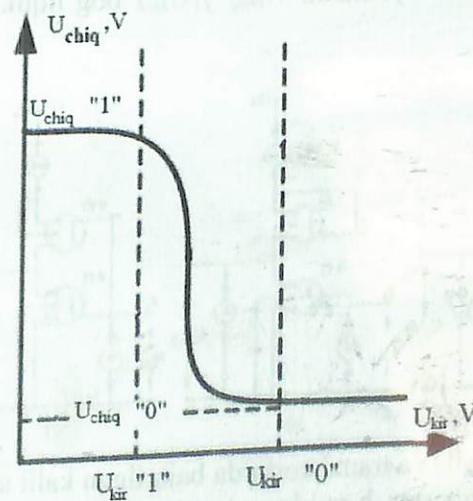
3- Mustaqil ishi. Komplimantar dielektirik yarimo'tkazgichli elementlarining parametrlari va xarakteristikalari

Ishning maqsadi: Komplimantar dielektirik yarimo'tkazgichli elementlar haqida ma'lumotlarga ega bo'lish. Maydoniy tranzistor (MT)larni kalit rejimida ishlash xossalari o'rganish. MTni yuklama rezistori sifatida qo'llanilishini o'rganish.

Mustaqil ishini bajarishga tayyorgarlik ko'rish

Mustaqil ishini bajarishda stok toki zanjiridagi qarshilik qiymatining uzatish xarakteristikasi ko'rinishiga ta'sirini o'rganib chiqing. Kvazi chiziqli yuklama sifatida turli maydoniy tranzistorlar qo'llanilganda uzatish xarakteristikalar turlicha bo'lishiga ahamiyat bering. Mantiqiy signallar sathlarini aniqlashda kalitning uzatish xarakteristikasi $U_{chiq} = f(U_{kir})$ dan foydalanilishiga e'tibor bering. (7.8- rasm)

Mantiqiy nol U^0 hamda mantiqiy bir U^1 sathlar uzatish xarakteristikasi va uning ko'zguli aksi (punktir chiziq) kesishgan nuqtalardan aniqlanadi. $\Delta U = U^1 - U^0$ mantiqiy signallarning sathlar farqi deb ataladi.



7.9- rasm. Kalitning uzatish xarakteristikasi

Mustaqil ishini bajarish uchun topshiriq

1. MT da yasalgan kalit uzatish xarakteristikasiga yuklama qarshiligining ta'sirini $U_{chiq}=f(U_{kir})$ tadqiq etish. n - turdagi kanali induksiyalangan MDYa tranzistorda bajarilgan kalit sxemasi 7.10- rasmda keltirilgan.

Sxema $E2 = 9B$ manbaidan ta'minlanadi. Kirish kuchlanishi U_{kir} roslanuvchi $E1$ kuchlanish manbaidan beriladi. Chiqish kuchlanishi U_{chiq} va iste'mol qilinayotgan tokni o'lchash uchun raqamli voltmetr va ampermetrlardan foydalaning. VT1 sifatida 2N7000 n-kanalli tranzistorlarning birini oling. Ishlash qulay bo'lishi uchun ilovada keltirilgan mikrosxema prinsipial sxemasini chizib oling va elektrolari raqamlarini belgilab oling.

Tajribani quyidagi tartibda olib borish tavsiya etiladi:

MDYa tranzistor stok zanjiriga chiziqli rezistor $R=51\text{ k}\Omega$ ni ulang;

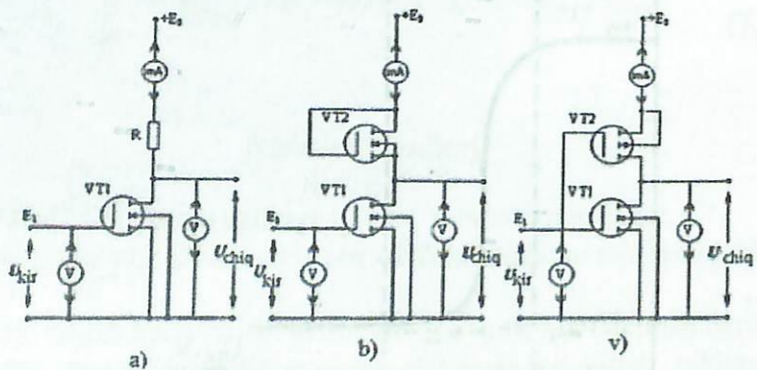
– kuchlanish manbai qiymatini $E2=9\text{ V}$ qilib o'rnatib;

– kirish kuchlanishini 0 dan 9V gacha o'zgartirib borib,

$U_{chiq}=f(U_{kir})$ va $I_I=f(U_{kir})$ bog'liqligini o'lchang;

– qarshilikning $R=10\text{ k}\Omega$ va $3,5\text{ k}\Omega$ qiymatlari uchun o'lchashlarni takrorlang;

– tajriba natijalaridan foydalanib $U_{chiq}=f(U_{kir})$ bog'liqlik grafiklarini quring.



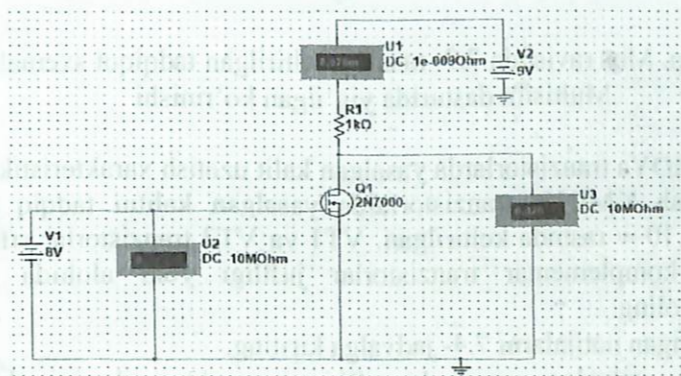
7.10- rasm. n – MDYa tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemasi a- yuklamada rezistor, b-yuklamada tranzistor, v- ixtiyoriy komplementar tranzistorlar juftligi yoki alohida kalit sxemasi

2. n - MDYa tranzistorlarda yasalgan kalit uzatish xarakteristikasini tadqiq etish. n - MDYa tranzistorlarda yasalgan kalitni tadqiq etish sxemasi 7.10 a- rasmda keltirilgan. VT1 va VT2 tranzistorlar sifatida ixtiyoriy tranzistorlarni yoki alohida kalit sxemasini oling.

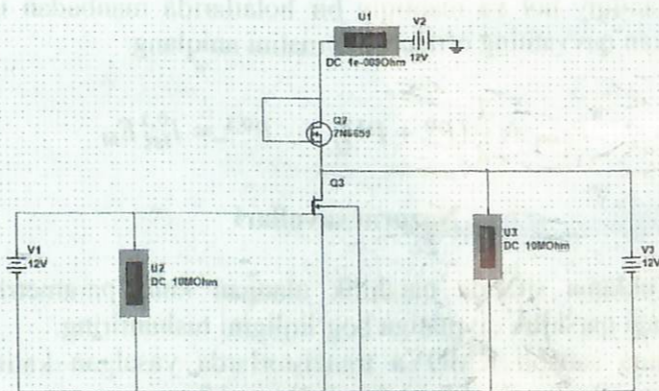
O'lchash natijalari

7.4- jadval

U_{kir}, V	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7
U_{chiq}, V									
I_s, mA									



a)



b)

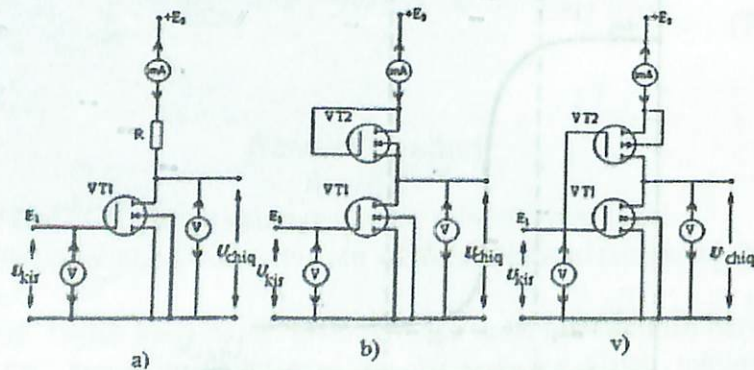
Mustaqil ishini bajarish uchun topshiriq

1. MT da yasalgan kalit uzatish xarakteristikasiga yuklama qarshiligining ta'sirini $U_{chiq}=f(U_{kir})$ tadqiq etish. n - turdagi kanali induksiyalangan MDYa tranzistorda bajarilgan kalit sxemasi 7.10– rasmda keltirilgan.

Sxema $E2 = 9B$ manbadan ta'minlanadi. Kirish kuchlanishi U_{kir} roslanuvchi $E1$ kuchlanish manbaidan beriladi. Chiqish kuchlanishi U_{chiq} va iste'mol qilinayotgan tokni o'lchash uchun raqamli voltmetr va ampermetrlardan foydalaning. VT1 sifatida 2N7000 n -kanalli tranzistorlarning birini oling. Ishlash qulay bo'lishi uchun ilovada keltirilgan mikrosxema prinsipial sxemasini chizib oling va elektrodleri raqamlarini belgilab oling.

Tajribani quyidagi tartibda olib borish tavsiya etiladi:

- MDYa tranzistor stok zanjiriga chiziqli rezistor $R=51\text{ k}\Omega$ ni ulang;
- kuchlanish manbai qiymatini $E2=9\text{ V}$ qilib o'rnatng;
- kirish kuchlanishini 0 dan 9V gacha o'zgartirib borib, $U_{chiq}=f(U_{kir})$ va $I_I=f(U_{kir})$ bog'liqligini o'lchang;
- qarshilikning $R=10\text{ k}\Omega$ va $3,5\text{ k}\Omega$ qiymatlari uchun o'lchashlarni takrorlang;
- tajriba natijalaridan foydalanib $U_{chiq}=f(U_{kir})$ bog'liqlik grafiklarini quring.



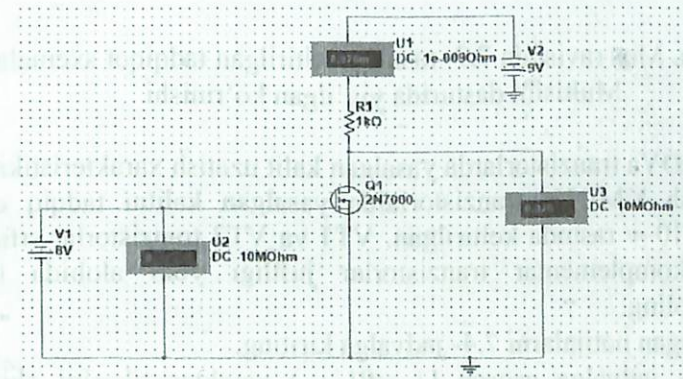
7.10- rasm. n – MDYa tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemasi a- yuklamada rezistor, b-yuklamada tranzistor, v- ixtiyoriy komplementar tranzistorlar juftligi yoki alohida kalit sxemasi

2. n - MDYa tranzistorlarda yasalgan kalit uzatish xarakteristikasini tadqiq etish. n - MDYa tranzistorlarda yasalgan kalitni tadqiq etish sxemasi 7.10 a– rasmda keltirilgan. VT1 va VT2 tranzistorlar sifatida ixtiyoriy tranzistorlarni yoki alohida kalit sxemasini oling.

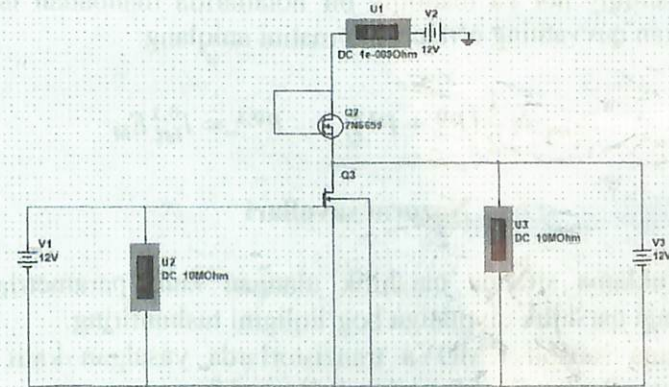
O'lchash natijalari

7.4- jadval

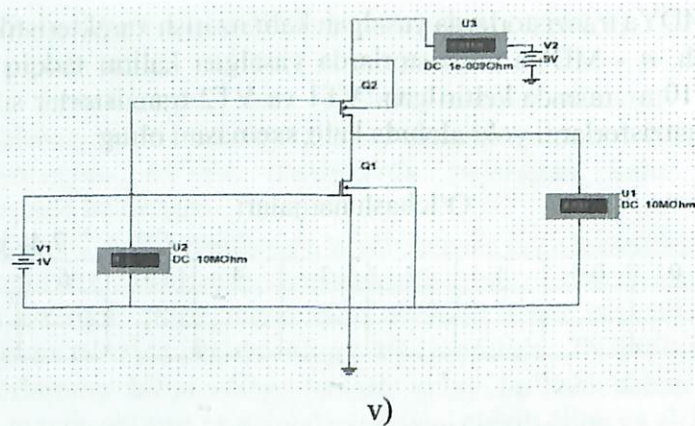
U_{kir}, V	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7
U_{chiq}, V									
I_S, mA									



a)



b)



7.11- rasm. Mos ravishda 7.9- rasmda keltirilgan tadqiqot sxemalarini Multisim dasturida yig'ilgan ko'rinishi

3. KMDYa tranzistorlarda yasalgan kalit uzatish xarakteristikasini tadqiq etish KMDYa tranzistorlarda yasalgan kalitni tadqiq etish sxemasi 7.10–v rasmda keltirilgan. VT1 va VT2 tranzistorlar sifatida ixtiyoriy komplementar tranzistorlar juftligi yoki alohida kalit sxemasini oling.

4. Olingan natijalarni 7.4- jadvalga kiriting.

5. 7.4- jadvalga asosan $U_{kir}=f(U_{chiq})$ xarakteristikasini chizish (Excel dasturi yordamida) talab etiladi.

6. Mantiqiy nol va mantiqiy bir holatlarida manbadan iste'mol qilinayotgan quvvatning o'rtacha qiymatini aniqlang:

$$P_{ort} = \frac{1}{2}(P^0 + P^1); \quad P^{0,1} = I_{1st}^{0,1} E_M$$

Nazorat savollari

1. Yuklama sifatida qarshilik ulangan kalit parametrlarining yuklamadagi qarshilik qiymatiga bog'liqligini tushuntiring.

2. Nima sababli KMDYa tranzistorlarda yasalgan kalit statik holatlarda manbadan quvvat iste'mol qilmaydi?

3. Kanali qurilgan MDYA – tranzistorning ishlash prinsipi nimadan iborat ?

4. Kanali induksiyalangan MDYA – tranzistorning ishlash prinsipi

nimadan iborat ?

5. MTlar statik xarakteristikalari xususiyatlarini ayting.

6. Kanali qurilgan MDYA – tranzistorlar statik VAXlari xususiyatlarini ayting.

7. Kanali induksiyalangan MDYA – tranzistorlar statik VAXlari xususiyatlarini ayting.

8. MTlarning chastota xususiyatlarini ayting.

4- Mustaqil ishi. Bipolyar va maydoniy tranzistorlarda barqaror tok generatorlarini hosil qilish parametrlari va xarakteristikalarini

Ishning maqsadi: Bipolyar va maydoniy tranzistorlarda barqaror tok generatorlarini NI Multisim dasturiy ta'minoti yordamida yig'ish va parametrlarini hamda xarakteristikalarini olish.

1- qism. BTGning vazifasi kirish kuchlanishi va yuklama qiymati o'zgarganda chiqish toki qiymatini o'zgarms saqlashdan iborat bo'lib, ular turli funksional vazifalarni bajaruvchi analog va raqamli mikrosxemalarda ishlatiladilar. O'zgarms tok qiymatini faqat cheksiz katta dinamik qarshilikka ega bo'lgan ideal tok manbai taminlashi mumkin. Ideal tok manbai VAHi gorizonta AV to'g'ri chiziqdan iborat (7.12-rasm). UB sxemada ulangan BTning chiqish xarakteristikasi ideal tok generatori VAHiga 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 ikkita yoki undan ko'p tranzistor ishlatiladi.

Eng sodda BTG sxemasi 7.12-rasmda ko'rsatilgan. Sxemada II 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 munosabati bilan uning xususiyatlari UB sxemaning xususiyatlariga mos keladi. Ma'lumki, UB ulangan sxemada aktiv rejimda kollektor toki kollektordagi kuchlanishga deyarli bog'liq bo'lmaydi (7.11-rasm). Shuning uchun ixtiyoriy R_{YU} dan o'tayotgan tok I₂ tayanch kuchlanish U_{EB2} bilan aniqlanadi. I₂ = I₁ ekanligini amalda ko'rsatamiz.

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

$$I_E = I_0 \exp\left(\frac{U_{BE}}{\varphi_T}\right) \quad (7.8)$$

ifoda bilan approksimatsiyalanadi, bu erda, I₀ - teskari siljirilgan EO'ning to'yinish toki. Tranzistorlarning I_{E0} va φ_T parametrlari aynan birxil bo'lgani uchun U_{BE1} = U_{BE2} shartdan

$$I_{E1} = I_{E2}$$

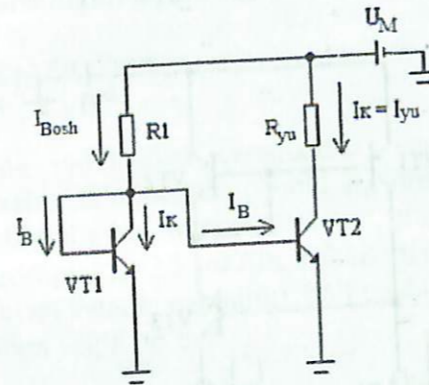
$$I_1 = I_{E1} + I_{B2}; \quad I_2 = I_{K2} = I_{E2} - I_{B2}$$

7.8 ni e'tiborga olgan holda

$$I_2 = I_1 - 2I_{B2} \quad (7.9)$$

yoziish mumkin. Baza toki kollektor tokidan 50÷100 marta kichik bo'ladi. Shuning uchun hisoblashlarda I₂ = I₁ deb olish mumkin. Bunday hatolik 1÷2% dan oshmaydi. Demak, R_{YU} yuklama zanjiridagi chiqish toki I₂, zanjir qanday bo'lishidan qat'iy nazar, kirish tokini ham qiymat, ham yo'nalish bo'yicha takrorlaydi. Kirish toki qiymatiga kelsak u etarli aniqlik bilan I₁ = (E₁ - 0,6)/R ga teng.

I₁ tokning o'zgarmsligi barqarorlashgan kuchlanish manbai E_{M1} dan foydalanish hisobiga erishiladi. Natijada, I₂ tokning zanjir parametrlari E_{M2} va R_{YU} ga bog'liqligi yo'qotiladi.



7.12- rasm. Ikki tranzistorli barqaror tok generatorining sxemasi

Lekin bunday BTGda I₂ tokning temperatura bo'yicha barqarorligi ta'minlanmaydi, chunki baza toki I_{B2} temperatura o'zga-rishlariga juda bog'liq. I₂ tokning temperatura bo'yicha barqarorligini ta'minlash uchun murakkabroq sxemalardan foydalaniladi. Masalan, 7.12-rasmda BTGning uchta tranzistorli sxemasi (Uilson tok ko'zgusi) keltirilgan. Unda boshqaruvchi VT1 va VT2 tranzistorlarnig baza toklari qarama-qarshi yo'nalgan.

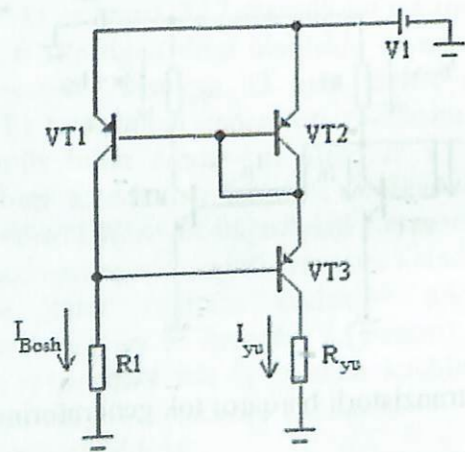
Sxemadan:

$$I_1 - I_{B1} + I_{B2} = I_{E1}; \quad I_2 + I_{B2} - I_{B1} = I_{E3}$$

ko'rinib turibdi.

VT1 va VT2 tranzistorlar egizak. Ularning ishlash rejimlari bir birinikidan kollektor-baza kuchlanish bo'yicha farq qiladi. VT1 tranzistorning kollektor-baza kuchlanishi VT2 tranzistorning emitter-baza kuchlanishiga teng, ya'ni qiymati kichik. VT2 tranzistorning kollektor-baza kuchlanishi esa R rezistordagi va R_{yu} zanjirdagi kuchlanish pasayishlari bilan aniqlanadi va sezilarli darajada katta bo'lishi mumkin. Lekin baza toki kollektor-baza kuchlanishi qiymatiga sust bog'langan, shuning uchun I_{B1} = I_{B2}. Emitter toklari ham 7.12-rasmdagi holat sabablariga ko'ra bir-biriga teng I_{E1} = I_{E3}. Natijada,

$$I_2 = I_1 - 2(I_{B2} - I_{B1}) = I_1$$



7.13- rasm. Uilson tok ko'zgusi sxemasi.

Qator integral sxemalarda tayanch toki I₁ (I₂ << I₁) qiymati katta bo'lgan kichik tokli BTGlar talab etiladi. Ushbu hollarda sodda BTGning takomillashgan sxemasidan foydalaniladi (7.12- rasm). Bu sxema tok transformatori sxemasi deb ataladi. Uning uchun

$$I_{E2}R_E = U_{BE1} - U_{BE2}; \quad U_{BE1} = E_M - I_1R \quad (7.10)$$

ifoda o'rinli.

Ideallashtirilgan o'tish VAX (7.8) dan foydalanib

$$U_{BE1} = \varphi_T \ln \left(\frac{I_1}{I_0} \right); \quad U_{BE1} = \varphi_T \ln \left(\frac{I_2}{I_0} \right) \quad (7.11)$$

yo'zish mumkin.

(7.10) va (7.11) ifodalardan:

$$I_2 = \frac{\varphi_T}{R_E} \ln \frac{E_M - U_{BE1}}{I_2 R} \quad (7.12)$$

hosil qilamiz.

I₂ tokning berilgan qiymati asosida (7.12) dan foydalangan holda, R_E rezistorning qarshiligini topish mumkin:

$$R_E = \frac{\varphi_T}{I_2} \ln \frac{E_M - U_{BE1}}{I_2 R} \quad (7.13)$$

Ushbu sxema soddaligiga qaramasdan, temperatura bo'yicha barqarorlikni yaxshi ta'minlaydi, chunki R_E rezistor orqali manfiy TAga ega. hisoblashlardan temperatura bir gradusga o'zgarganda tokning nobarqarorligi ΔI₂ = 2,5 mkAni tashkil etishi ma'lum. Bundan tashqari, R_E = 1 kOm (statik qarshilik) bo'lganda BTGning dinamik qarshiligi 1 MOmga yaqin bo'ladi.

Mustaqil ishini bajarish tartibi:

- jadvalda berilgan parametrlar asosida dastlabki hisoblashlar uchun berilgan formulalar yordamida hisob-kitob qiling;
- rasmda keltirilgan sxemani berilgan parametrlar asosida NI Multisim dasturiy muhitida yig'ib, olingan natijalarni 7.5 -jadvalni to'ldiring;
- 7.11 jadval asosida olingan natijalarga ishlov bering.

Berilgan parametrlar:

7.11- rasm uchun. Ikki tranzistorli BTG ishlashini tadqiq etishda NI Multisim dasturiy muhitida foydalanilish tavsiya etiladigan tranzistor: BC547A yoki BC556AP

7.5 -jadval

Talaba №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
E_M, V	10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15	16	10	11
I_B, mA	5	5.5	6	4	5	4	5	2	3	4	5.5	5	3.5	4.5	4	5

Dastlabki hisoblashlar

Ikki tranzistorli BTG uchun R_1 qarshilikni hisoblash. Kremniydan tayyorlangan tranzistorlarda $U_{BE}=0,6...0,8 V$ gacha bo'ladi. R_1 ni quyidagi formula bilan hisoblash mumkin.

$$R_1 = \frac{U_M - U_{EB}}{I_{yu}} \quad (7.14)$$

7.11- rasmda keltirilgan sxemani berilgan parametrlar asosida NI Multisim daturiy muhitida yig'ib, $R_2=R_n$ qiymatlarini o'zgartirgan holda olingan natijalarni 7.6- jadvalni to'ldiring:

7.6- jadvalni

$R_{yu}, k\Omega$	0	0.1	0.2	...	1.5
U_{Ryu}, V					
I_{yu}, mA					
$\delta, \%$					

Boshqaruv tok qiymatidan chetlashishni hisoblash:

$$\delta = \frac{I_B - I_{yu}}{I_B} \cdot 100\% \quad (7.15)$$

Olingan natijalar asosida quyidagi grafiklar chiziladi:

1) $I_{yu} = f(R_{yu})$; 2) $I_n = f(U_{Ryu})$; 3) $\delta = f(R_{yu})$.

7.13- rasmda keltirilgan uch tranzistorli (Uilson) BTG uchun dastlabki hisoblashlar.

Uch tranzistorli (Uilson) BTG uchun R_1 qarshilikni hisoblash. Kremniydan tayyorlangan tranzistorlarda $U_{BE}=0,6...0,8 V$ gacha bo'ladi. R_1 ni quyidagi formula bilan hisoblash mumkin.

$$R_1 = U_{kVT1} / I_B$$

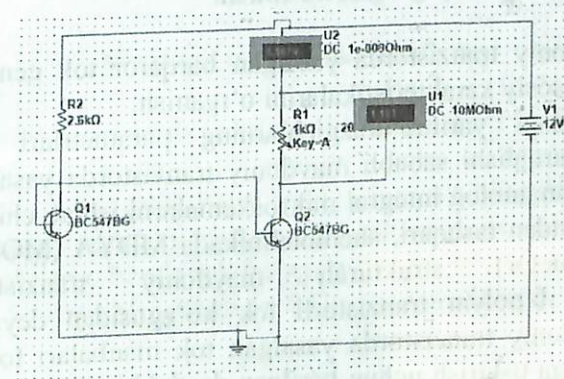
Bu yerda, $U_{kVT1} = U_M - U_{BEVT2} - U_{BEVT3} = U_M - 2U_{BE}$ ya'ni $U_{kVT1} = U_M - 2U_{BE}$.

7.13- rasmda keltirilgan sxemani berilgan parametrlar asosida NI Multisim daturiy muhitida yig'ib, $R_2=R_n$ qiymatlarini o'zgartirgan holda olingan natijalarni 7.7- jadvalni to'ldiring:

7.7- jadvalni

O'lchash natijalari

$R_{yu}, k\Omega$	0	0.1	0.2	...	1.5
U_{Ryu}, V					
I_{yu}, mA					
$\delta, \%$					



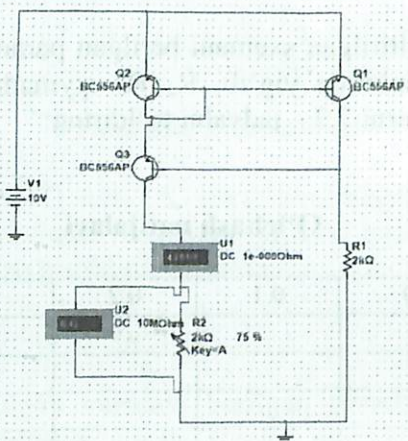
7.14- rasm. Ikki tranzistorli barqaror tok generatorining sxemasini Multisim daturiy muhitida yig'ilgan ko'rinishi

Boshqaruv tok qiymatidan chetlashishni hisoblash:

$$\delta = \frac{I_B - I_{yu}}{I_B} \cdot 100\%$$

Olingan natijalar asosida quyidagi grafiklar chiziladi:

$$1) I_n = f(R_{yu}); \quad 2) I_n = f(U_{R_{yu}}); \quad 3) \delta = f(R_{yu}).$$



7.15- rasm. Uilson tok ko'zgusi sxemasini Multisim dasturiy muhitida yig'ilgan ko'rinishi

2- qism. Maydoniy tranzistorda yasalgan barqaror tok generatorini tadqiq etish va asosiy xarakteristikalarini o'rganish.

Ushbu turdagi yarimo'tkazgichlarning parametrlari sezilarli darajada keng tarqalishi sababli maydoniy tranzistorda yasalgan tok manbalari asosan analog integral mikrosxemalarni ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Bundan tashqari, shemoteknikada MDYA (MOS metal-oxide-semiconductor) strukturali maydoniy tranzistorlardan foydalanilganda bipolyar tranzistorli tok ko'zgidan deyarli farq qilmaydi. Maydoniy tranzistorda yasalgan tok manbalari tok hisob-kitoblarini amalga oshirish uchun berilgan dastlabki ma'lumotlar: I_B - boshqaruvchi tok, E_M - kuchlanish manbasi va U_{Z1} zatvor chegara kuchlanishi. U_{Z1} ($V_{GS(th)}$ (Gate Threshold Voltage)) - tranzistor ochiladigan chegara kuchlanish. Bu kuchlanish, o'tkazuvchilar o'rtasida kanal hosil qiladigan kuchlanish hisoblanadi va u stok va istok o'rtasida tok o'tishini ta'minlaydi. Agar zatvor va istok kuchlanishi U_{Z1} ni $V_{GS(th)}$ qiymatigacha pasaytirib borsak tranzistor yopilib holadi ya'ni tok o'tmaydi.

Ushbu laboratoriya mashg'ulotida 2N6660 modeldagi maydoniy tranzistordan foydalanamiz. har bir tranzistorning parametrlari va xarakteristikalari uning pasportida keltirilgan bo'ladi. Ushbu parametrlar asosida amaliyotda qurilma vazifasiga qarab tranzistorlar tanlab olinadi. 2N6660 modeldagi tranzistor xarakteristikalari va parametrlar quyidagi 7.16-rasmda keltirilgan.

7.8- jadval

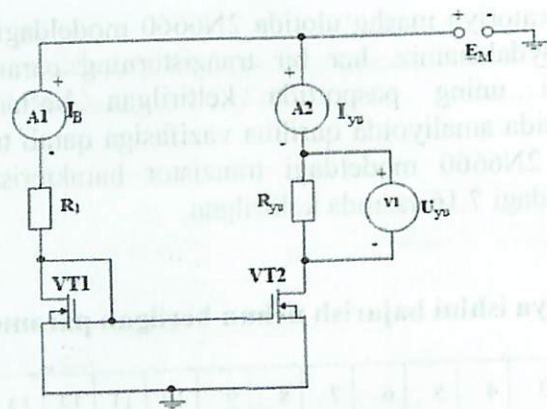
Laboratoriya ishini bajarish uchun berilgan parametrlar

Talaba №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
E_M, V	14	15	16	13	14,5	14	10	15	11	9	11,5	14	15	16	17	14
I_B, mA	12	12,5	14	11	12,5	12	7	13	9	7	9,5	12,5	13,5	14,5	15	12
U_{Z1}	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

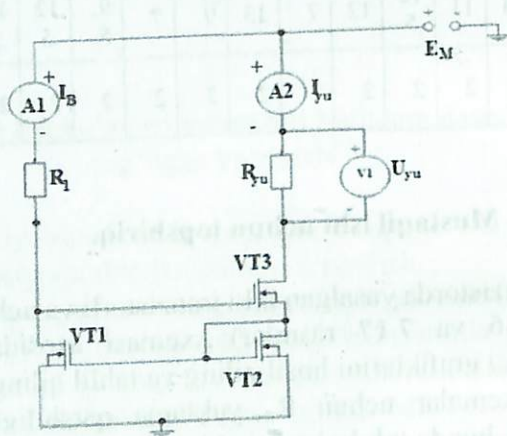
Mustaqil ishi uchun topshiriq.

Maydoniy tranzistorda yasalgan ikki tranzistorli va uch tranzistorli tok ko'zgusi (7.16 va 7.17 rasmlar) sxemasi asosida $I_n = f(R_{yu})$, $I_n = f(U_{R_{yu}})$, $\delta = f(R_{yu})$ grafiklarini hosil qiling va tahlil qiling.

Yuqoridagi sxemalar uchun R_n yuklama qarshiligi maksimal qiymatini aniqlang, bunda tok ko'zgusi chiqish toki qiymati kirish tok qiymatidan 5 foizga farq qiladi va bu nuqtani grafiklarda ko'rsating.



7.16- rasm. Maydoniy tranzistorda yasalgan ikki tranzistorli tok ko'zgusi sxemasi



7.17- rasm. Maydoniy tranzistorda yasalgan uch tranzistorli tok ko'zgusi sxemas

Maydoniy tranzistorda yasalgan ikki tranzistorli tok ko'zgusi:
 – ishini bajarish uchun 7.16- rasmda keltirilgan sxemani NI Multisim daturiy muhitida yig'ing. – 6.1 jadvalda belgilangan variantingizdagi berilgan parametrlar (Masalan: $E_M=V_1=12V$, $I_B=10\text{ mA}$, $U_{ZI}=2V$.) asosida E_M kuchlanish manbasi qiymatini o'rnatib va R_1 qarshilikning qiymatini quyidagi formula asosida hisoblab toping:

$$R_1 = \frac{E_M - U_{ZI}}{I_B} \quad (7.16)$$

Dastlabki hisoblash natijasi asosida sxemani sozlang, simulyatorni ishlatishing, 7.17- rasm.

Simulyasiya natijasida U_1 ampermetr boshqaruvchi tok $I_B=9,981\text{ mA}$ qiymatini ko'rsatmoqda, lekin variant bo'yicha 10 mA bo'lishi kerak edi. Bunda, tokoqimi xatoligi $0,19\%$ ni tashkil etdi. Simulyasiyani birinchi marta ishga tushirganda I_B boshqaruvchi tok oqimi xatoligi 3% gacha bo'lishi mumkin.

$$\delta = \frac{I_B - I_{yu}}{I_B} \cdot 100\%$$

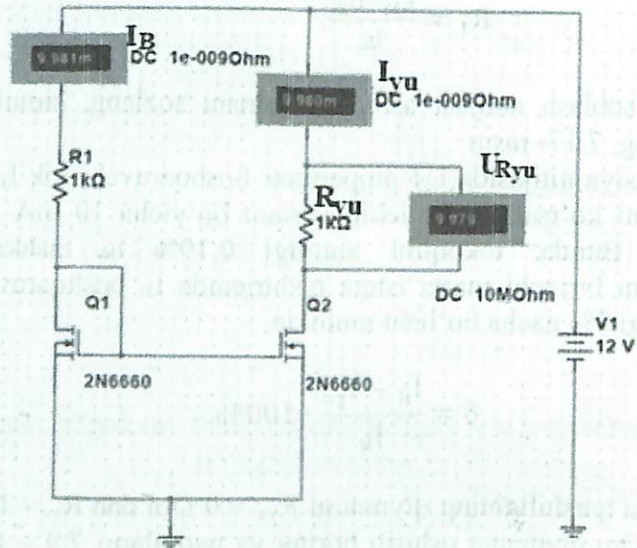
Yuklama qarshiligining qiymatini $R_{yu} = 0\text{ Om}$ dan $R_{yu} = 1,5\text{ kOm}$ gacha $0,1\text{ kOm}$ qiymatga oshirib boring va natijalarni 7.9 – jadvalga yozib oling.

O'lchash natijalari

7.9- jadvalni

R_{yu}, kOm	0	0.1	0.2	...	1.5
U_{Ryu}, V					
I_{yu}, mA					
$\delta, \%$					

Yuqoridagi 7.16- rasmda keltirilgan sxema uchun R_{yu} yuklama qarshiligi maksimal qiymatini aniqlang, bunda tok ko'zgusi chiqish toki qiymati kirish tok qiymatidan 5 foizga farq qiladi va bu nuqtani grafiklarda ko'rsating. Olingan natijalar asosida $I_{yu}=f(R_{yu})$, $I_{yu}=f(U_{Ryu})$, $\delta=f(R_{yu})$ grafiklarini hosil qiling.



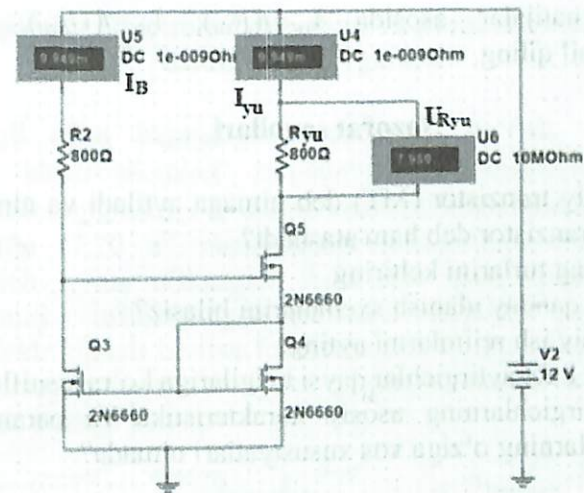
7.18- rasm. MTda yasalgan 2 tranzistorli BTG sxemasini NI.Multisim muhitida yig'ilgan ko'rinisi

Maydoniy tranzistorda yasalgan uch tranzistorli tok ko'zgusi:
– laboratoriya ishini bajarish uchun 7.16- rasmda keltirilgan sxemani NI Multisim daturiy muhitida yig'ing.

R_1 qarshilikning qiymatini quyidagi formula asosida hisoblab toping:

$$R_1 = \frac{E_M - 2U_{Z1}}{I_B} \quad (7.17)$$

Simulyasiya natijasida U1 ampermetr boshqaruvchi tok $I_B=9,949$ mA qiymatini ko'rsatmoqda, lekin variant bo'yicha 10 mA bo'lishi kerak edi. Bunda, tok oqimi xatoligi 0,51% ni tashkil etdi. Simulyasiyani birinchi marta ishga tushirganda I_B boshqaruvchi tok oqimi xatoligi 3% gacha bo'lishi mumkin.



7.19- rasm. MTda yasalgan uchta tranzistorli (tok ko'zgusi) barqaror tok generatori sxemasini NI.Multisim muhitida yig'ilgan ishchi holati

Yuklama qarshiligining qiymatini $R_{yu}=0$ Om dan $R_{yu}=1,5$ kOm gacha 0,1 kOm qiymatga oshirib boring va natijalarni 7.10– jadvalga yozib oling. Yuqoridagi 7.18- rasmda keltirilgan sxema uchun R_{yu} yuklama qarshiligi maksimal qiymatini aniqlang, bunda tok ko'zgusi chiqish toki qiymati kirish tok qiymatidan 5 foizga farq qiladi va bu nuqtani grafiklarda ko'rsating.

O'lchash natijalari

7.10– jadvalni

R_{yu}, kOm	0	0.1	0.2	...	1.5
U_{Ryu}, V					
I_{yu}, mA					
$\delta, \%$					

Xatolikni hisoblash ifodasi:

$$\delta = \frac{I_B - I_{yu}}{I_B} \cdot 100\% \quad (7.18)$$

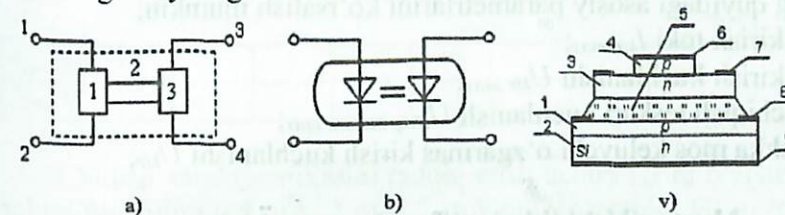
Olingan natijalar asosida $I_{yu}=f(R_{yu})$, $I_{yu}=f(U_{Ryu})$, $\delta=f(R_{yu})$ grafiklarini hosil qiling.

Nazorat savollari

1. Maydoniy tranzistor (MT) deb nimaga aytiladi va nima uchun uni unipolyar tranzistor deb ham atashadi?
2. MTlarning turlarini keltiring.
3. MTning qanday ulanish sxemalarini bilasiz?
4. MT asosiy ish rejimlarini ayting.
5. Elektron kuchaytirgichlar qaysi belgilariga ko'ra tasniflanadilar?
6. Kuchaytirgichlarning asosiy xarakteristika va parametrlarini aytib bering. Ularning o'ziga xos xususiyatlari nimada?

5- Mustaqil ishi: Optronlar ishlashini va parametrlarini o'lchash uslublarini o'rganish

Mustaqil ishini bajarishga tayyorgarlik ko'rish. Optronlar – funksional elektronikaning zamonaviy yo'nalishlaridan biri – optoelektronikaning asosiy struktura elementi hisoblanadi. Eng sodda diodli optron (7.20 a– rasm) uchta elementdan tashkil topgan: fotonurlatgich 1, nur o'tkazgich 2 va foto qabul qilgich 3 bo'lib, yorug'lik nuri tushmaydigan germetik korpusga joylashtirilgan. Kirishga elektr signali berilsa fotonurlatgich qo'zg'otiladi. Yorug'lik nuri nur o'tkazgich orqali foto qabul qilgichga tushadi va unda chiqish elektr signali yuzaga keladi.



7.20- rasm. Diodli optron (a), uning shartli belgisi (b) va konstruksiyasi (v), bu yerda 1,2 – fotodiodning p va n sohalari; 3,4 – yorug'lik diodining n va r sohalari; 5 – selen shisha asosidagi nur o'tkazgich; 6,7 – yorug'lik diodi kontaktlari; 8,9 – fotodiod kontaktlari

Optronning asosiy xususiyati shundaki, undagi elementlar o'zaro nur orqali bog'langan bo'lib, kirish bilan chiqishlar esa elektr jihatdan bir – biridan ajratilgan. Shu xususiyatidan kelib chiqqan holda, yuqori kuchlanishli va past kuchlanishli zanjirlar bir – biri bilan oson muvofiqlashtiriladi. Diodli optronning shartli belgisi 7.20 b– rasmda, uning konstruksiyasi esa 7.20 v– rasmda keltirilgan.

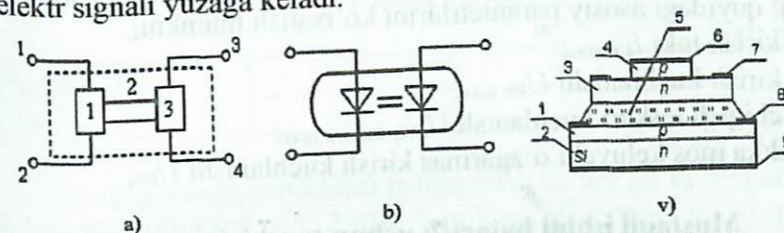
Olingan natijalar asosida $I_{yu}=f(R_{yu})$, $I_{yu}=f(U_{Ryu})$, $\delta=f(R_{yu})$ grafiklarini hosil qiling.

Nazorat savollari

1. Maydoniy tranzistor (MT) deb nimaga aytiladi va nima uchun uni unipolyar tranzistor deb ham atashadi?
2. MTlarning turlarini keltiring.
3. MTning qanday ulanish sxemalarini bilasiz?
4. MT asosiy ish rejimlarini ayting.
5. Elektron kuchaytirgichlar qaysi belgilariga ko'ra tasniflanadilar?
6. Kuchaytirgichlarning asosiy xarakteristika va parametrlarini aytib bering. Ularning o'ziga xos xususiyatlari nimada?

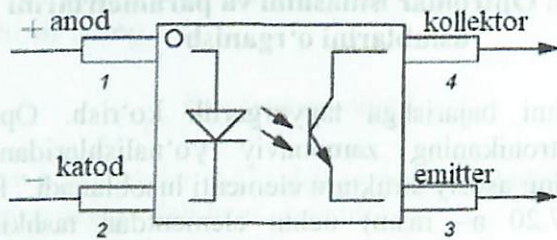
5- Mustaqil ishi: Optronlar ishlashini va parametrlarini o'lchash uslublarini o'rganish

Mustaqil ishini bajarishga tayyorgarlik ko'rish. Optronlar – funksional elektronikaning zamonaviy yo'nalishlaridan biri – optoelektronikaning asosiy struktura elementi hisoblanadi. Eng sodda diodli optron (7.20 a– rasm) uchta elementdan tashkil topgan: fotonurlatgich 1, nur o'tkazgich 2 va foto qabul qilgich 3 bo'lib, yorug'lik nuri tushmaydigan germetik korpusga joylashtirilgan. Kirishga elektr signali berilsa fotonurlatgich qo'zg'otiladi. Yorug'lik nuri nur o'tkazgich orqali foto qabul qilgichga tushadi va unda chiqish elektr signali yuzaga keladi.



7.20- rasm. Diodli optron (a), uning shartli belgisi (b) va konstruksiyasi (v), bu yerda 1,2 – fotodiodning p va n sohalari; 3,4 – yorug'lik diodining n va r sohalari; 5 – selen shisha asosidagi nur o'tkazgich; 6,7 – yorug'lik diodi kontaktlari; 8,9 – fotodiod kontaktlari

Optronning asosiy xususiyati shundaki, undagi elementlar o'zaro nur orqali bog'langan bo'lib, kirish bilan chiqishlar esa elektr jihatdan bir – biridan ajratilgan. Shu xususiyatidan kelib chiqqan holda, yuqori kuchlanishli va past kuchlanishli zanjirlar bir – biri bilan oson muvofiqlashtiriladi. Diodli optronning shartli belgisi 7.20 b– rasmda, uning konstruksiyasi esa 7.20 v– rasmda keltirilgan.



7.21- rasm. Tranzistorli optronning shartli belgisi

Optron inersionligi yorug'lik diodi va nur qabul qilgichdagi jarayonlar bilan bog'liq bo'lib, yordamida aniqlanadi. Diodli optronning quyidagi asosiy parametrlarini ko'rsatish mumkin:

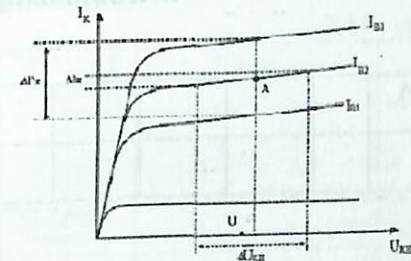
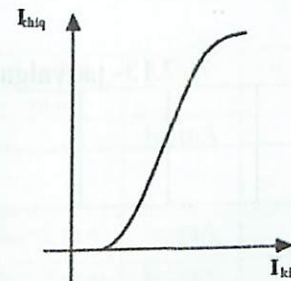
- maksimal kirish toki $I_{kir\ max}$;
- maksimal kirish kuchlanishi $U_{kir\ max}$;
- maksimal chiqish teskari kuchlanish $U_{chiq\ teskari\ max}$;
- berilgan tokka mos keluvchi o'zgarmas kirish kuchlanishi U_{kir} ;

Mustaqil ishini bajarish uchun topshiriq

- chiqishdagi teskari qorong'ulik toki $I_{chiq\ teskari\ k}$;
- chiqish signalining ortib borish t_{op} va kamayib borish t_{kam} vaqtlari (berilgan diodli optron chiqishidagi signal o'zining maksimal qiymatidan 0.1-0.9 va 0.9-0.1 oraliqlarda o'zgaradi);
- tok bo'yicha uzatish koeffitsiyenti K_I - chiqish toki o'zgarishining kirish tokiga nisbati $K_I = (I_{chiq} - I_{chiq\ teskari\ q}) / I_{kir}$.

Tadqiq etilayotgan optron prinsipial sxemasini va chegaraviy qiymatlarini yozib oling.

Optron xarakteristikasini tadqiq etish. 7.22- rasmda keltirilgan sxemani yig'ing. Manbadan berilayotgan chegaraviy tok qiymatini optron chegaraviy qiymatlariga mos ravishda o'rnating. E1 ni o'zgartirib borib, optronning kirish xarakteristikasi $I_{kir} = f(U_{kir})$ ni o'lchang va 7.11- jadvalga kiriting.



7.22- rasm. Tranzistorli optronning shartli belgisi

O'lchash natijalari

7.11- jadvalga

I_{kir}, mA									
U_{kir}, V									

Chiqish xarakteristikasini tadqiq etish uchun E1 ni o'zgartirib, I_{kir} tokini qiymatini 0,5 mA, 2 mA, 7 mA qilib o'nating. E2 ni qiymatini o'gartirib I_K tokini qiymatlarini yozib oling (7.12- jadval).

O'lchash natijalari

7.12- jadval

	U_{KE}, V	0	0.5	1	1.5	...	8	
$I_{kir}=0.5 \text{ mA}$	I_K, mA							
$I_{kir}=2 \text{ mA}$	I_K, mA							
$I_{kir}=7 \text{ mA}$	I_K, mA							

Tadqiqot natijasida olingan qiymatlar asosida kirish va chiqish xarakteristikalarini chizing.

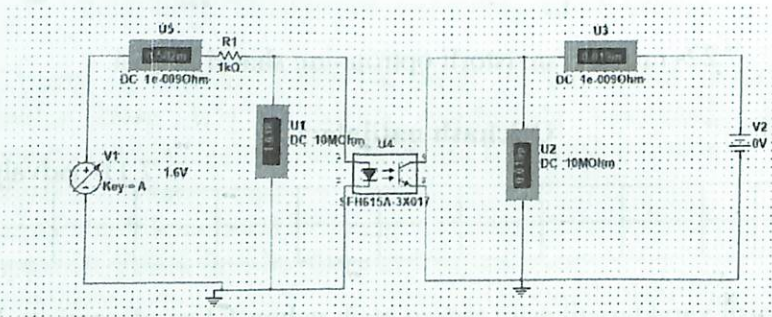
Kuchaytirgichli diodli optronni o'lchash sxemasini tadqiq etish uchun 7.23- rasmdagi sxemani Multisim dasturiy muhitida yig'ing.

Tranzistorli optronni tadqiq etish jarayonlarini takrorlang va grafiklarini chizing. Kirish xarakteristikasini oling (7.13- jadval).

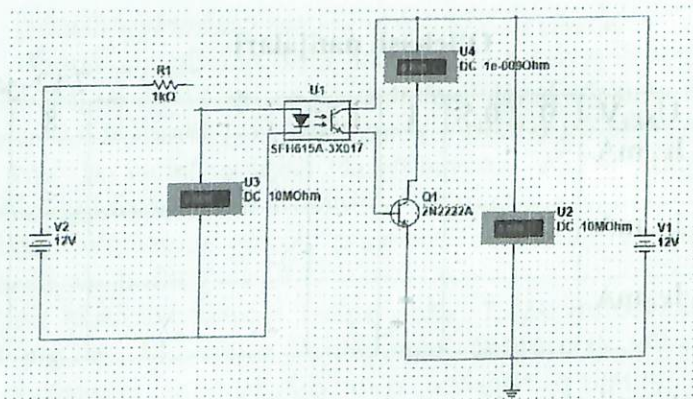
O'lchash natijalari

7.13- jadvalga

I_{kir}, mA								
U_{kir}, V								



7.23- rasm. Tranzistorli optronni tadqiq etish sxemasi



7.24- rasm. Kuchaytirgichli optronni tadqiq etish sxemasi

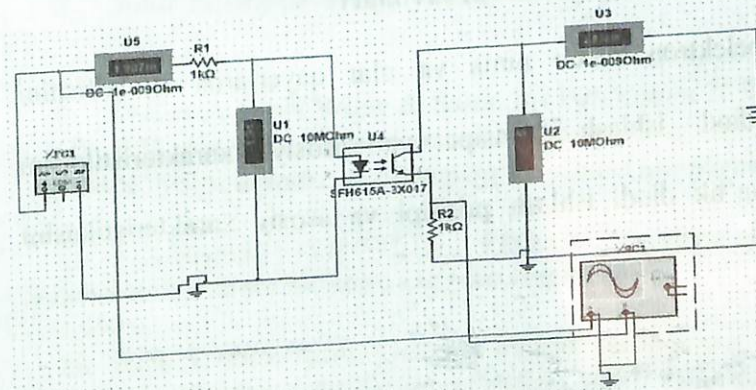
Chiqish xarakteristikasini tadqiq etish uchun $E1$ ni o'zgartirib, I_{kir} tokini qiymatini 0,5 mA, 2 mA, 7 mA qilib o'nating. $E2$ ni qiymatini o'gartirib I_K tokini qiymatlarini yozib oling (7.12- jadval).

O'lchash natijalari

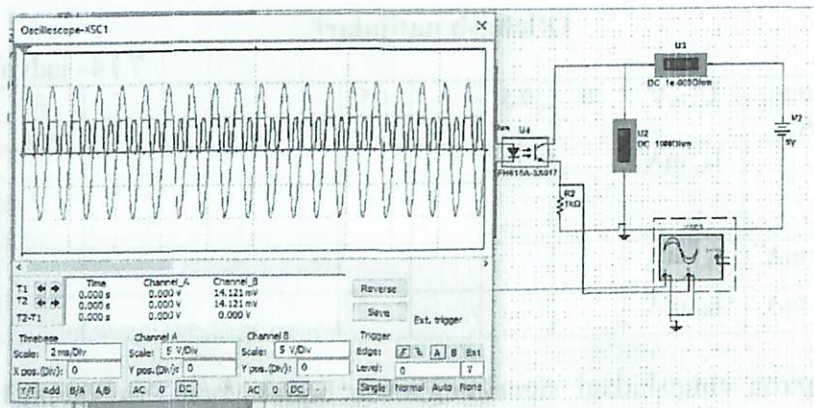
7.14- jadval

$I_{kir}=0.5$ mA	U_{KE}, V	0	0.5	1	1.5	...	8
	I_K, mA						
$I_{kir}=2$ mA	I_K, mA						
$I_{kir}=7$ mA	I_K, mA						

Optron chiqishidagi signalning ortib borish $topm.$ va kamayib borish t_{kam} vaqtlarini o'lchang. 7.25- rasmda keltirilgan sxemani yig'ing, yorug'lik diodi zanjiriga impuls generatorini ulang. Generator chiqishida amplitudasi 5V va chastotasi 1kHz bo'lgan impulsni o'rning. $R2$ qarshilikka 1:10 kuchlanish bo'luvchisi orqali ossilograf ulang. (Ossilografning boshqa kanalidan generator chiqishidagi impuls amplitudasini o'lchash uchun foydalaning). $E2=5$ V o'rning va chiqish toki ossilogrammasidan signalning ortib borish $topm.$ va kamayib borish t_{kam} . Vaqtlarini o'lchang. $E2=0$ ni o'rning va fotovoltaiik rejim uchun vaqt o'lchovlarini takrorlang.



7.25- rasm. Optron chiqishidagi signalni tadqiq etish sxemasi



7.26– rasm. Optron chiqishidagi signalni ossilogrammasi

Optronda signal tarqalishining o'rtacha kechikish vaqtini hisoblab toping.

$$t_{o'rt.kech} = \frac{1}{2} \left(\frac{t_{ort}}{2} + \frac{t_{kam}}{2} \right)$$

Nazorat savollari

1. Optoelektron asbob nima va ular qayerlarda ishlatilishini tushuntiring.
2. Fotodiod ishlash prinsipi va asosiy xarakteristikasini tushuntiring.
3. Yorug'lik diodi ishlash prinsipi va asosiy xarakteristikasini tushuntiring.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. **X.K. Арипов, Н.Б. Алимова, З.Е. Агабекова, Ж .Т Махсудов.** Аналоговая и интегральная схемотехника. Т.: ТЭИС, 2000. 90 с.
2. **N. Yunusov, I.S. Andreyev, A.M. Abdullayev, X.K. Aripov, Y.O.Inog'omova.** Elektronika bo'yicha asosiy tushuncha va atamalarning o'zbekcha-ruscha-inglizcha izohli lug'ati. — Т.: TEA1, 1998. — 160 b.
3. **By Robert L Boylestad.** Introductory Circuit Analysis., Twelfth Edition Pearson New International Edition, 2014. p. 1096.
4. **Stephen Brown and Zvonko Vranesic.** Fundamentals of Digital Logic with Verilog Design Third edition 2014, p.864.
5. **A.Saha., N, Manna.** Digital Principles and Logic Design. Infinity Science Press LLS.2007, p. 506.
6. **K.Maini.** Digital Electronics: Principles, Devices and Applications Anil John Wiley&Sons Ltd, 2007.
7. **Baker, R. Jacob.** CMOS: circuit design, layout, and simulation/ Jaker Baker. 3 rd ed 2010, 1214p.
8. **John F.** Digital design principles and practices Wakerly 3rd ed Prentice HALL 795 p.
9. **Wiley A JohN Wiley & Sona.** Ins Publication 2013 369 p.
10. **В.В. Амосов.** Схемотехника и средства проектирования цифровых устройствах. С-Петербург, «БхБ-Петербург», 2014, 541с.
11. **Е.Д.Баран.** LabVIEW FPGA реконфигурируемые измерительные и управления систем. Издательство ДМД, Москва, 2014, 450 с.
12. **И.П. Степаненко.** Основы микроэлектроники: Учебное пособие. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. 488 с.
13. **Ю.Ф. Опдчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров.** Аналоговая и цифровая электроника: Учебник для вузов. -М.: Горячая линия-Телеком, 2003. 768 с.
14. **А.Н. Игнатов, С.В. Калинин, В.Л. Савиных.** Основы электроники. Н.: СибГУТИ, 2005. 323 с.

15. А.Н.Игнатов., С.В. Калинин., Н.Е. Фадеева. Микросхемотехника и нанозлектроника: Учебное пособие. — Н.: СибГУТИ, 2007. 244 с.

16. Х.К. Арипов, А.М. Абдуллаев, Н.Б. Алимова. Основы электроники: Учебное пособие для учащихся профессионально-технических колледжей. - Т.: ИПТД им. Чулпана, 2007. 136 с.

17. Х.К. Арипов, А.М. Abdullayev, Н.В. Alimova. Elektronika: O'quv qo'llanma. - T.: TATU, 2009. - 136 b

18. Авдеев, В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование / В.А. Авдеев. - М.: ДМК, 2016. - 848 с.

19. Аверченков, О.Е. Схемотехника: аппаратура и программы / О.Е. Аверченков. - М.: ДМК, 2014. - 588 с.

20. Амосов, В. Схемотехника и средства проектирования цифровых устройств / В. Амосов. - СПб.: ВHV, 2012. - 560 с.

21. Новожилов, О.П. Электроника и схемотехника в 2 ч. часть 2: Учебник для академического бакалавриата / О.П. Новожилов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 421 с.

MUNDARIJA

So'z boshi.....	3
I Bob. Elektronika va sxemalar 2 faniga kirish. Fanning mazmuni va usullari.....	4
1.1 “Elektronika va sxemalar 2” fanining o‘rni.....	4
1.2 Integral mikrosxemalar haqida umumiy ma’lumotlar va ularning yaratilish tarixi	5
1.3 Integral mikrosxemalarining texnologiyala.....	7
1.4. Pardali va gibrid mikrosxemalar	8
1.5. Yarim o‘tazgichli interal mikrosxemalar.....	9
1.6. Yarimo‘tkazgich integral mikrosxemalar yaratishda texnologik jarayon va operatsiyalar.....	12
1.7. Yarimo‘tkazgichli integral mikrosxemalarda rezistorlar va kondansatorlar.....	17
1.8. Yarimo‘tkazgichli ISlarda diodlar.....	18
1.9. Nanoelektronikani rivojlanish bosqichlari.....	18
1.10 Nanozarralar.....	20
1.11 Akustoelektronika va magnitoelektronika asboblari.....	28
II Bob. Analog integral mikrosxemalar.....	37
2.1. Analog integral mikrosxemalar haqida tushunchalar... ..	37
2.2. Analog integral mikrosxemalar elementar negiz bosqichlari. Kuchaytirgich parametrlari va xarakteristikalari.....	38
2.3. Bipolyar tranzistorlarda emitter qaytargich sxemasi.....	42
2.4. Komplementar emitter qaytargich.....	43
2.5. Keng polosali kuchaytirgichlar. Bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi.....	44
2.6. Kuchaytirgichlarda teskari aloqa zanjirlari.....	49
2.7. Maydoniy tranzistorlarda yasalgan kuchaytirgichlar....	51
2.8. Ko‘p kaskadli kuchaytirgichlar.....	52
2.9. Analog integral sxemalarning chiqish kaskadlari. Quvvat kuchaytirgichlari.....	53
2.10. Kuchaytirgich kaskadining asosiy parametrlarini hisoblash.....	56
2.11. Balans sxemalari asosidagi kuchaytirgichlar.....	61
2.12. Barqaror tok generatori	62
2.13. O‘zgarmas kuchlanish sathini siljitish qurilmasi	64

III Bob. Differensial kuchaytirgichlar. Operatsion kuchaytirgichlar.....	67
3.1. Differensial kuchaytirgichlar haqida tushunchalar.....	67
3.2. Nosimmetrik kirish va chiqishli differensial kuchaytirgich.....	70
3.3. Dinamik yuklamali differensial kuchaytirgich.....	72
3.4. Tarkibiy tranzistorlar asosidagi differensial kuchaytirgich shemasi.....	73
3.5. Tarkibiy tranzistorlar. Darlington juftligi. Uilson tok ko'zgusi sxemasi.....	73
IV Bob. Operatsion kuchaytirgichlar.....	81
4.1. Operatsion kuchaytirgichlar haqida asosiy ma'lumotlar.....	81
4.2. Operatsion kuchaytirgichlarga iners teskari aloqa zanjirlari.....	90
4.3. Operatsion kuchaytirgichlar asosida aktiv filtrlar.....	93
4.4. Operatsion kuchaytirgichlar asosida logarifmik va antilogarifmik kuchaytirgich sxemalarini qurish.....	95
V Bob. Mantiqiy integral sxemalar negiz elementlari.....	99
5.1. Raqamli texnika asoslari.....	99
5.2. Mantiqiy integral mikrosxemalarning parametrlari.....	101
5.3. Bipolyar tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalar.....	103
5.4. Maydoniy tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar.....	105
5.5. Mantiqiy integral sxemalar negiz elementlari. Tranzistor – tranzistorli mantiq elementlari.....	109
VI Bob. Raqamli qurilmalar asoslari. Mantiqiy algebra qonunlari va aksiomalari.....	122
6.1. Bul algebrasi.....	122
6.2. Mantiqiy algebra.....	126
6.3. Mantiqiy algebra qonunlari.....	128
6.4. Turli mantiqiy elementlarni hosil qilish.....	132
VII Bob. Elektronika va sxemalar 2 fani bo'yicha mustaqil ishlar.....	137
7.1. Elektronika va sxemalar 2 fani bo'yicha talabalar mustaqil ishining maqsad va vazifalari.....	137
7.2. Mustaqil ishlarni bajarishda qo'yiladigan vazifalar. Mavzu bo'yicha testlar, munozarali savollar va topshiriqlar tayyorlash.....	140

7.3. “Elektronika va sxemalar 2” fanidan mustaqil ish mavzulari va ularni bajarish bo'yicha tavsiyalar.....	141
Foydalanilgan adabiyotlar.....	179

II
k

X.X. SHOYUSUPOVA

ELEKTRONIKA VA SXEMALAR 2

O'QUV QO'LLANMA
Sirtqi va ikkinchi oliy ta'lim shakli uchun

Toshkent - "METHODIST NASHRIYOTI" - 2024

Muharrir: Bakirov Nurnuhammad

Texnik muharrir: Tashatov Farrux
Musahhih: Saidova Nurshoda
Dizayner: Ochilova Zarnigor

Bosishga 20.05.2024.da ruxsat etildi.
Bichimi 60x90. "Times New Roman" garniturasida.
Ofset bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog'i 12. Nashr bosma tabog'i 11,5.
Adadi 300 nusxa.

"METHODIST NASHRIYOTI" MCHJ matbaa bo'limida chop etildi.
Manzil: Toshkent shahri, Shota Rustaveli 2-vagon tor ko'chasi, 1-uy.



+99893 552-11-21

Nashriyot roziligisiz chop etish ta'qiqlanadi.

ISBN 978-9910-03-190-8



9 789910 031908

