

«O‘zbekiston temir yo‘llari» AJ
Toshkent temir yo‘l muhandislari instituti

A.A. Xalikov, A.A. Buzrukxonov

ELEKTRONIKA

5350100-“Telekommunikatsiya texnologiyalari (Telekommunikatsiyalar,
Teleradio-eshittirish, Mobil tizimlar)”
ta’lim yo‘nalishi 2-bosqich bakalavriat talabalari va
professor-o‘qituvchilar uchun
o‘quv qo‘llanma

Toshkent-2017

UDK 621382

Elektronika. O'quv qo'llanma. **A.A. Xalikov, A.A. Buzrukxonov.**
ToshTYMI, -T.: 2015 y., 112 b.

Ushbu o'quv qo'llanmada yarimo'tkazgichli asboblarda kechuvchi fizik jarayonlar, integral mikrosxemalarda va hozirgi zamon elektronikasini ba'zi-bir asboblarda kechuvchi jarayonlar, ularning xarakteristikalar va parametrlari ularning qo'llanilishiga oid bo'lgan ba'zi bir sxemalar keltirilgan, shu bilan birga o'quv qo'llanmada radioelektron qurilmalarning asosini tashkil etuvchi kuchaytirgichlar yoritilgan.

Ushbu qo'llanmadan "Telekommunikatsiya" ta'lim yo'nalishining 2-bosqich bakalavriat talabalari va professor-o'qituvchilar foydalanishi mumkin.

Institutning Ilmiy-uslubiy kengashi tomonidan nashrga tavsiya etildi.

Taqrizchilar: M.K. Aripdjanov – t.f.d., prof. (TDTU);
R.K. Karimov – t.f.n., dots. (TTYMI).

Kirish

Elektronika – elektronlarni elektr maydoni bilan ta'sirini hamda axborot uzatish, qayta ishlash va saqlashda qo'llaniladigan elektron asbob va qurilmalarni yaratish usullarini o'rganish bilan shug'ullanadigan fan.

Elektronika, avvalambor, inson jamiyatining axborotga bo'lgan talablarini qondirishga mo'ljallangan. Ishlab chiqarish kuchlarining va ishlab chiqarish munosabatlarining rivojlanishi texnika va texnologiyaning yangi turlarini yaratishga asoslangan va axborot vositalarining rivojlanishi bilan chambarchas bog'liq. Insonlar o'rtasidagi axborot almashish qurilmalarining rivojlanish tarixi bir necha bosqichlardan iborat: harakat va mimika, tovush, yozuv, kitob bosmasi, elektronika. Hozirgi kunda axborot uzatish, qayta ishlash va saqlash qurilmalarining barchasi inson jamiyati tomonidan ishlatilmoqda. Axborot uzatishning yangi usuliga o'tish doim jamiyatda ishlab chiqarish kuchlarini keskin o'sishiga olib kelgan. Elektronika uzoq masofalarga uzatilayotgan axborotning uzatish tezligi va hajmini keskin orttirdi. Elektronika rivojlanish jaryonida to'rt bosqichni bosib o'tdi.

Birinchi bosqich. 1895 yil A.S. Popov tomonidan simsiz telegraf – radio ixtiro qilinishi bilan boshlandi. Bu davrdagi aloqa qurilmalari passiv elementlardan: simlar, induktivlik g'altaklari, magnitlar, rezistorlar, kondensatorlar, elektromexanik qurilmalar (almashlab ulagichlar, rele va boshqalar) dan iborat edi.

Ikkinchi bosqich. 1906 yil L. de Forest tomonidan birinchi aktiv elektron asbob - triod lampasining yaratilishi bilan boshlandi. Triod – elektr signallarini turli o'zgartirish usullariga ega bo'lgan, asosan, quvvat kuchaytirish xossasiga ega bo'lgan birinchi aktiv elektron asbob bo'ldi. Kuchsiz signallarni elektron lampalari yordamida kuchaytirish hisobiga telefon orqali suhbatlarni uzoq masofalarga uzatish imkoniyati yuzaga keldi. Elektron lampalari radio orqali tovush, musiqa, keyinchalik esa televideniye orqali tasvirlarni ham uzatishga o'tishga imkon yaratdi. Ikkinchi bosqich elektronika apparaturalari elementlariga elektron lampalar, rezistorlar, kondensatorlar, transformatorlar kiradi.

Uchinchi bosqich. 1948 yili Dj. Bardin, V. Bratteyn va V. Shoklilar tomonidan qattiq jismli (yarimo'tkazgichli) elektronikaning asosiy aktiv (kuchaytirgich) elementi bo'lgan bipolyar tranzistorning kashf etilishi bilan boshlandi. Tranzistor elektron lampaning barcha funksiyalarini bajarishga qodir.

Tranzistor yaratilishi bilan, uning almashlab ulagich vazifasini bajara olish xossasi, kichik o'lchamlari va yuqori ishonchliliga ko'ra bir necha

ming elektr radioelementlardan (ERE) tashkil topgan murakkab elektron qurilma va tizimlarni yaratish imkoniyati tug'ildi. Bunday qurilmalarni loyihalash juda oson, lekin xatosiz yig'ish va ishlashini ta'minlash esa deyarli mumkin emas edi. Gap shundaki, har bir ERE alohida yaratilgan edi (diskret elementlar) va boshqa elementlar bilan individual bog'lanishni (montajni) talab qilar edi. Hatto juda aniq montajda ham uzilish, qisqa tutashuv kabi xatoliklar yuzaga kelar va tizimni darhol ishga tushishini ta'minlamas edi. Masalan, 50 yillar so'ngida yaratilayotgan EHM lar o'nlab rezistor va kondensatorlarni hisobga olmaganda, 100 mingga yaqin diodlar va 25 mingtacha tranzistorlardan iborat edi.

Diskret elementlar quyidagi xossalarga ega: o'rtacha quvvati 15mVt, o'lchamlari (bog'lanishlari bilan) 1 sm³, o'rtacha og'irligi 1g va buzilish ehtimolligi 10⁻⁵s⁻¹. Natijada diskret elementlardan tuzilgan EHM ning sochilish quvvati 3kVt, o'lchamlari 0,2m³, og'irligi 200kg bo'lib, har bir soatda ishdan chiqar edi. Bu albatta EHM ish qobiliyatini kichikligidan dalolat beradi. Bunday diskret tranzistorli texnika yordamida murakkab elektron qurilmalarni yaratish imkoni mavjud emas. Demak, buzilishlar ehtimoli, o'lchamlari va og'irligi, tannarxi va boshqalar bir necha darajaga kichik bo'lgan sifatli yangi element baza yaratish talab qilinar edi. Integral mikrosxemalar xuddi shunday element baza talabalariga javob berdi.

To'rtinchi bosqich integral mikrosxemalar (IMS) asosida qurilma va tizimlar yaratish bilan boshlandi va **mikroelektronika davri** deb ataladi.

Mikroelektronikaning birinchi mahsulotlari – integral mikrosxemalar 60 yillar so'ngida paydo bo'ldi. Hozirgi kunda IMS lar uch xil konstruktiv – texnologik usullarda yaratiladi: qalin pardali va yupqa pardali gibrid integral mikrosxemalar (GIS) va yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalar. Integral mikrosxemalar radio elektron apparaturalarda elementlararo ulanishlarni ta'minlash bilan birgalikda, ularning kichik o'lchamlarini, energiya ta'minotini, massa va material hajmini ta'minlaydilar.

1. Yarimoʻtkazgichlar

1.1. Yarimoʻtkazgichlarning elektr oʻtkazuvchanligi

Qattiq jismlar oʻzlarining elektr oʻtkazuvchanlik xususiyatlariga koʻra oʻtkazgichlar, dielektriklar va yarim oʻtkazgichlarga ajratiladi.

Oʻtkazgichlar guruhiga metallar va elektr oʻtkazuvchanligi 10^5 - $10^6 \text{Om}^{-1} \text{sm}^{-1}$ boʻlgan materiallar kiradi.

Elektr oʻtkazuvchanligi 10^{-10} - $10^{-15} \text{Om}^{-1} \text{sm}^{-1}$ tartibda boʻlgan jismlar dielektriklar yoki izolyatorlar guruhini tashkil etadi. Yarimoʻtkazgichlar guruhiga esa, elektr oʻtkazuvchanligi 10^5 - $10^{10} \text{Om}^{-1} \text{sm}^{-1}$ boʻlgan barcha materiallar kiradi.

Demak, yarimoʻtkazgichlar elektr oʻtkazuvchanligi qiymat jihatdan metallar bilan dielektriklar elektr oʻtkazuvchanligining oraligʻiga toʻgʻri keladigan moddalar ekan.

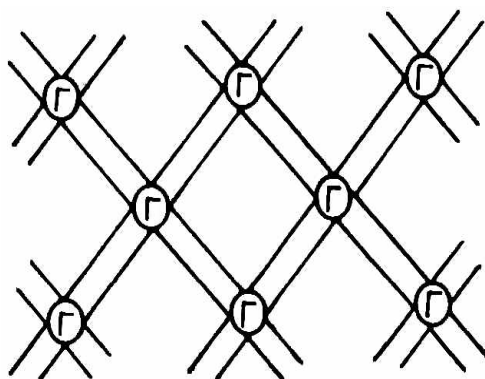
Yarimoʻtkazgichlarning elektr oʻtkazuvchanlik xususiyati metallarnikidan sifat jihatdan farq qiladi. Ular quyidagilar:

- a) oz miqdordagi aralashmaning oʻtkazuvchanlikka kuchli taʼsir etishi;
- b) oʻtkazuvchanlik xarakteri va darajasining haroratga bogʻliqligi;
- c) oʻtkazuvchanlikning tashqi kuchlanishga kuchli bogʻliqligi.

Yarimoʻtkazgich materiallarga kimyoviy elementlar-germaniy va kremniy, kimyoviy birikmalar – metall oksidlari (oksidlar), oltingugurt birikmalari (sulfidlar), selen birikmalari (selenidlar va boshqalar kiradi. Biz shulardan sof yarimoʻtkazgich material-germaniy (yoki kremniy) ning ayrim xususiyatlari bilan tanishib chiqamiz. Uning sirtqi elektron qobigʻida 4 ta valent elektron bor. Bu elektronlarning har biri qoʻshni 4 ta atom bilan juft elektron bogʻlanishida boʻladi, yaʼni kovalent bogʻlanishni hosil qiladi. Har bir atomning qobigʻi 8 ta elektron bilan toʻlgani uchun u mustahkam boʻladi.

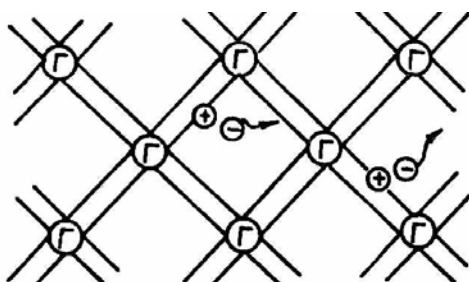
Germaniy (yoki kremniy) kristallining bunday bogʻlanishda boʻlishi uni dielektrik deb qarash kerakligini koʻrsatadi va absolyut nol haroratda bu fikr toʻliq boʻladi. Qulaylik uchun bogʻlanishga kiruvchi har bir elektronni bitta toʻgʻri chiziq kesmasi bilan ifodalasak, kristallning har bir atomi qoʻshni toʻrt atom bilan sakkizta chiziq bilan tutashgan boʻladi (1.1-rasm).

Bu kristallda erkin elektronlar yoʻqligini aniq koʻrsatadi. Ularni hosil qilish (chiziqni uzish) uchun tashqi energiya berish kerak. Uni turlicha amalga oshirish mumkin. Masalan, kristallni qizdirish, yorugʻlik nurini taʼsir ettirish va boshqalar.



1.1-rasm. Kovalent bog‘lanishning shartli belgisi

Faraz qilaylik, kimyoviy sof germaniy kristalli yetarli energiyaga ega bo‘lgan zarralar bilan bombardimon qilinayotgan bo‘lsin. Bu holda bog‘lanish energiyasidan katta energiya olgan elektronlar bog‘lanishni uzib, erkin elektronga aylanadi va o‘z o‘rnidan uzoqlashadi (1.2-rasm).



1.2- rasm. Elektron- kovak juftining hosil bo‘lish modeli

Bunda atomning elektr jihatdan neytralligi buziladi va zaryadi elektron zaryadiga teng bo‘lg‘an musbat zaryad ortiq bo‘lib qoladi. Bog‘lanishdan chiqqan elektron bir vaqtda ikki atomga tegishli bo‘ladi. Shuning uchun bir vaqtda ikki atomning qisman ionlanishi vujudga keladi. Bunda hosil bo‘ladigan musbat zaryad bog‘lanishda elektron yetishmasligini - bog‘lanish yetishmovchiligi (defekti) ni ko‘rsatadi. Uni *kovak* deb ataladi.

Kovak-vakant (bo‘sh) o‘rin bog‘lanishdagi qo‘shni elektron yoki ozod bo‘lgan erkin elektron bilan to‘ldirilishi mumkin. Agar u erkin elektron hisobiga to‘ldirilsa, atomning elektr neytralligi tiklanadi. Bu jarayon *rekombinatsiya* deb ataladi. Agar kovak qo‘shni bog‘lanishdagi elektronning siljishi hisobiga to‘lsa, ko‘chish o‘rnida yangi kovak vujudga keladi.

Umuman olganda, bog‘lanishdagi elektronning bog‘lanish defekti o‘rniga o‘tishi uzoq vaqt ichida yuz beradi va tartibsiz - xotik xarakterga ega. Agar yarim o‘tkazgich kristalli elektr maydoniga joylashtirilsa, bog‘lanishni uzib chiqqan elektronlar manbaning musbat qutbi tomon

ko'cha boshlaydi va elektron tokini hosil qiladi. Bu holda bog'lanish defektlarining ko'chishi ham yo'nalganlik xarakteriga ega bo'ladi, ya'ni kovaklar manbaning manfiy qutbi tomon harakatlanadi va kovak toki vujudga keladi. Shuni yodda tutish kerakki, kovak toki elektronlar hisobiga, ya'ni bog'langan elektronlarning bir o'ndan ikkinchi o'ringa o'tishi hisobiga vujudga keladi. Shuning uchun kovaklarning ko'chishi uzluksiz bo'ladi. Lekin, qulaylik uchun kovaklar elektronlar kabi erkin tok tashuvchilar deb olinib, harakati uzluksiz deb qoraladi.

Kovak toki ion tokidan tubdan farq qiladi. Chunki ion toki hosil bo'lishida elektrolitda ionlashgan atom yoki molekula bir joydan ikkinchi joyga ko'chadi va ma'lum miqdordagi moddani olib o'tadi. Kovak toki hosil bo'lishida esa, atomlar ko'chmay o'z o'rnida qoladi. Ularda navbat bilan ionlanish vujudga keladi.

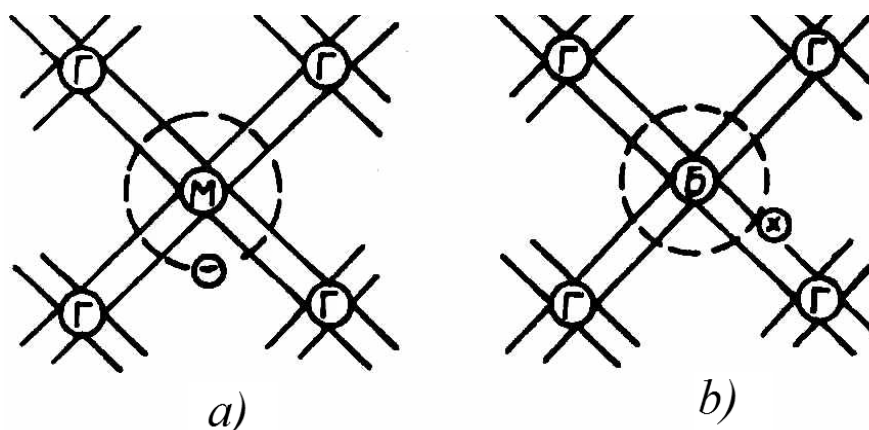
Shunday qilib, kimyoviy sof yarim o'tkazgich kristallida elektron kovak juftining hosil bo'lishi asosida ikki xil o'tkazuvchanlik – elektron va kovak o'tkazuvchanligi mavjud bo'lib, ularning miqdorni bir-biriga tengdir.

Yarim o'tkazgichning elektron o'tkazuvchanligi *p - tur o'tkazuvchanlik* (*negative - manfiy* so'zidan olingan), kovak o'tkazuvchanligi esa, *n-tur o'tkazuvchanlik* (*positive-musbat* so'zidan olingan) deb ataladi. Ular birgalikda yarim o'tkazgichning *xususiy o'tkazuvchanligi* deyiladi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan o'tkazuvchanlikni hosil qilish usuli ratsional emas. Chunki amalda o'tkazuvchanlik turlaridan biri yo elektron, yo kovak o'tkazuvchanligi asosiy qilib olinadi. Uni sof germaniy (yoki kremniy) kristalliga begona modda qo'shib qotishma tayyorlash yo'li bilan amalga oshiriladi. Kiritiladigan begona moddaning miqdori asosiy kristall miqdoriga nisbatan juda oz bo'ladi. Misollar ko'rib chiqamiz.

Faraz qilaylik, germaniy kristalliga besh valentli margimush (mishyak) elementi kiritilsin. Bunda birikma tarkibida margimush tugunlari ham hosil bo'ladi. Uning to'rtta valent elektroni qo'shni germaniy atomlari bilan mustahkam bog'lanish hosil qilib, beshinchisi sust bog'langan bo'lib qoladi (1.3,a-rasm).

Uni bog'lanishdan uzish uchun kam energiya talab qilinadi va xatto uy haroratida ham uni erkin elektron deb qarash mumkin. Bunda margimush tugunidan (atomidan) elektronning uzoqlashishi uni musbat ionga aylantiradi, lekin, uni kovak deb qarash mumkin emas. Chunki kristall panjarada u mustahkam bog'lanishda bo'ladi va kovak kabi ko'cha olmaydi.



1.3-rasm. Elektron (a) va kovak (b) o'tkazuvchanligining hosil bo'lish modeli

Margimushning musbat ioni harakatdagi erkin elektron bilan rekombinatsiyalanishi mumkin. Lekin, u elektron tokining miqdoriga deyarli ta'sir etmaydi.

Shunday qilib, ko'rgan misolimizda elektron o'tkazuvchanligi asosiy, kavak o'tkazuvchanligi esa asosiy bo'lmagan o'tkazuvchanlik bo'ladi. Asosiy o'tkazuvchanligi elektron o'tkazuvchanlikdan iborat bo'lgan kristall *p-tur kristall* yoki *yarim o'tkazgich* deyiladi. Margimushga o'xshash o'z valent elektronlarini bog'lanishga beruvchi begona element *donor modda* yoki oddiy *donor* deb ataladi.

Ikkinchi misolimizda germaniy kristalliga uch valentli bor (B) elementi kiritilsin. Bunda Bor atomi qo'shni to'rt germaniy atomi bilan birikkanida bitta bog'lanish o'рни yetishmay qoladi (1.3,b-rasm). Elektr jihatdan hosil bo'lgan zaryad yetishmovchiligi (defekt) neytral hisoblanadi. Lekin, tashqi issiqlik energiyasi ta'sirida bu defektga qo'shni germaniy kristallidan bog'langan elektron ko'chib o'tishi mumkin. Bunda Bor atomi manfiy ionga aylanib, elektron ko'chgan o'rinda kavak hosil bo'ladi. Shuning uchun hosil bo'lgan asosiy o'tkazuvchanlik kavak o'tkazuvchanligi bo'lib, elektron o'tkazuvchanligi asosiy bo'lmaydi.

Asosiy o'tkazuvchanligi kavak o'tkazuvchanlik bo'lgan yarim o'tkazgich *n-tur yarimo'tkazgich* deb ataladi. Uni hosil qiluvchi begona modda *akseptor* deyiladi.

Shuni aytish kerakki, yarimo'tkazgichli asboblarda asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar o'tkazuvchanligi katta ahamiyatga ega. Ularning hosil bo'lishi va tugatilishi rekombinatsiya markazlari deb atalgan joylarda sodir bo'ladi. Bunday markazlar vazifasini donor yoki akseptor elementlarning tugunlari-atamlari bajaradi. Shuning uchun, begona elementlarning miqdori ortishi bilan rekombinatsiya markazlari ham ko'payadi va asosiy tok tashuvchilarning yashash vaqti qisqaradi. Bu hol begona elementning miqdori va turini tanlashda albatta hisobga olinishi kerak.

Shunday qilib, biz yuqorida tanishgan o'tkazuvchanlik turlarini hosil qilish usuli va uni tushuntirish juda yuzaki va taqribiydir. Ular asosan zonalar nazariyasi bilan tekshiriladi va miqdor o'lhovlari kiritiladi.

Biz zonalar nazariyasidan yarim o'tkazgichlarning ayrim xususiyatlarini sifat jihatdan tekshirishda foydalanamiz.

1.2. n - p o'tish hodisasi

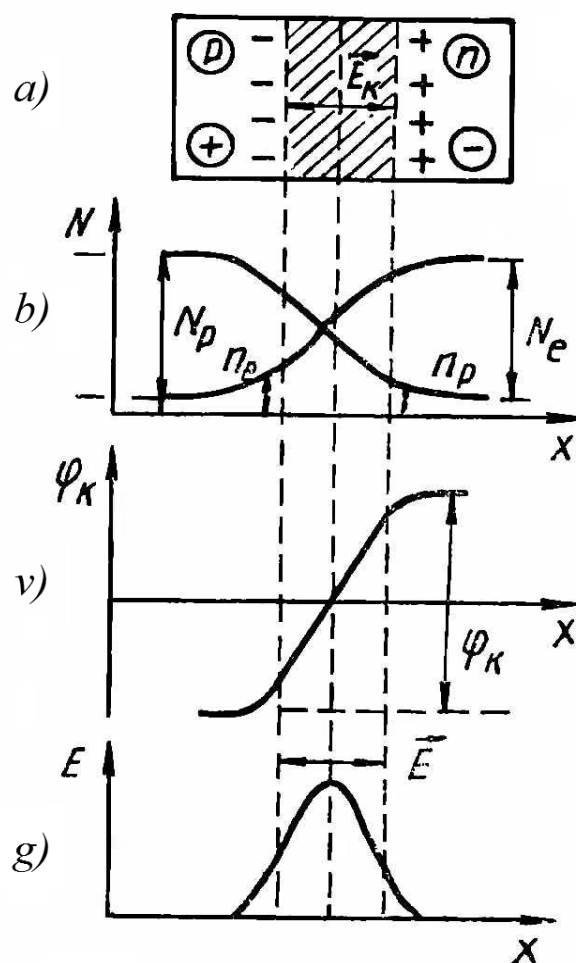
Yarimo'tkazgichli asboblarning ishlash prinsipi n - p o'tish degan hodisaga asoslangandir. U o'tkazuvchanliklari turlicha bo'lgan yarim o'tkazgichlarni kontaktga keltirish natijasida hosil bo'ladi. Lekin, bunda yarimo'tkazgichlarning mexanik kontakti n - p o'tishni hosil qilolmaydi, chunki ular orasida ideal kontakt hosil qilish mumkin emas. Shuning uchun yagona yarim o'tkazgich kristalli olinib, shartli ikki bo'lak deb qaraladi va ularda turli ishorali o'tkazuvchanlik hosil qilinadi. Shartli bo'laklar orasidagi yupqa qatlam kontakt sohasi deb qaraladi.

n - p o'tish hodisasini sifat jihatdan ko'rib chiqaylik. Faraz qilaylik, germaniy (yoki kremniy) monokristallida turli ishorali o'tkazuvchanlik hosil qilingan bo'lsin. Oson bo'lishi uchun donor va akseptor moddalarning miqdorini bir xil deb hisoblaymiz. Unda turli ishorali tok tashuvchilarning miqdori ham teng bo'ladi (1.4,a-rasm).

Kontaktga keltirishning boshlang'ich vaqtida n -sohadagi kavaklar miqdori p sohadagidan, p sohadagi elektronlar miqdori n sohadagidan katta bo'ladi (1.4b-rasm). Shuning uchun kontakt sohasida tok tashuvchilar diffuziyasi vujudga keladi. Bunda p sohadagi elektronlar n soha tomon, n sohadagi kavaklar esa p soha tomon ko'chadiki, unga bir xil ishorali zaryadlarning o'zaro itarilishi yoki turli ishorali zaryadlarning o'zaro tortishishi sabab bo'lmaydi. Diffuziya hosil bo'lishining asosiy sababi kontakt sohasidagi tok tashuvchilar konsentratsiyasining turlicha bo'lishidir.

p sohadan n sohaga elektronlarning siljishi natijasida kontakt chegarasida musbat zaryadli atomlar-ionlar qoladi. Ular musbat qo'zg'almas zaryadlarning konsentratsiyasi ortiqcha bo'lishiga olib keladi. Natijada, bu soha elektronlarga kambag'al bo'lib qoladi. Xuddi shunday jarayon natijasida n sohada manfiy zaryadlar konsentratsiyasi ortib, soha kavaklarga kambag'al bo'ladi. Kontakt sohasida bunday kambag'allashgan sohaning vujudga kelishi kondensator qoplamalariga o'xshash turlicha zaryadga ega bo'lgan ikki qatlamni hosil qiladi. Natijada potentsiallar ayirmasi φ_k va maydon kuchlanganligi E_k bo'lgan elektr maydonini hosil qiladi (1.4,v,g-rasm). Uning yo'nalishi shundayki, asosiy tok tashuvchilarning diffuziyasiga to'sqinlik qilib, asosiy bo'lmagan tok

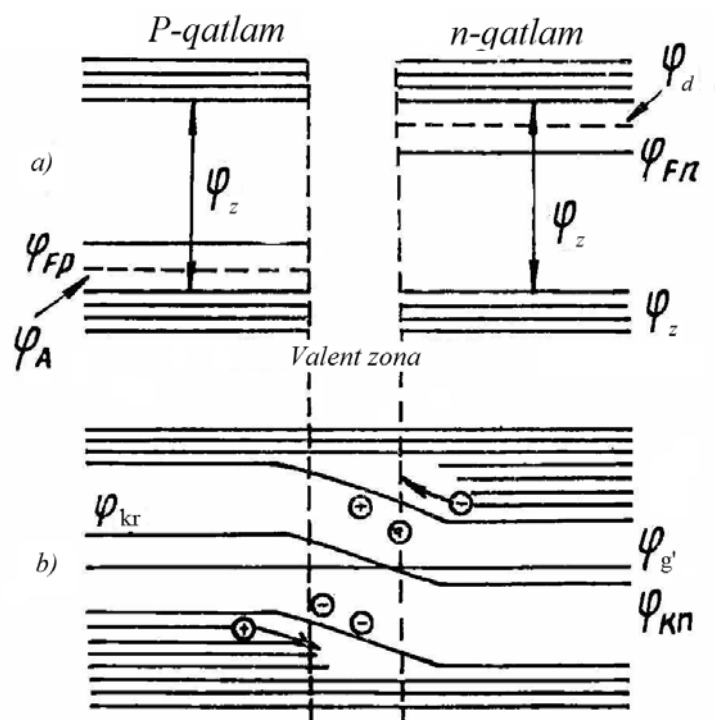
tashuvchilarning ko‘chishiga imkon beradi. Zaryadlarning ko‘chishi elektr maydon kuch chiziqlari bo‘yicha bo‘lgani uchun uni *dreyf toki* deyiladi.



1.4-rasm. *n-p* o‘tishning hosil bo‘lishi: a - turli o‘tkazuvchanlikli yarimo‘tkazgichlar kontakti; b - tok tashuvchilar taqsimoti; v - kontakt potentsiallari farqi; g - elektr maydon kuchlanganligining taqsimoti

Diffuziya toki bilan dreyf toki tenglashganda muvozanat hosil bo‘ladi. U *dinamik muvozanat* deyiladi. Unda vaqt birligi ichida qarama-qarshi yo‘nalishda o‘tuvchi tok tashuvchilarning sopi o‘zaro teng bo‘ladi.

Kontakt sohasidagi zaryadlarga kambag‘al bo‘lgan soha yarimo‘tkazgichning kavak va elektron o‘tkazuvchanlikka ega qatlamlarini bir-biridan ajratib turadi. Bu qatlam *to‘siq qatlam deb*, hosil bo‘lgan potentsiallar ayirmasi esa, *potensial to‘siq* deb ataladi. Ko‘rib o‘tilgan jarayon *n-p o‘tish hodisasi* yoki *n-p o‘tish* deb ataladi. *n-p* o‘tish hodisasini bunday tushuntirish juda yuzaki bo‘lib, kontakt sohasida yuz beradigan jarayonlarning fizik mohiyatini to‘liq ifodalay olmaydi. Uni zonalar nazariyasi asosida aniq bajarish mumkin.



1.5-rasm. p va n qatlamlarning muvozanat holati (a) va n - p o'tishning zona diagrammalari (b)

1.5-rasmda n va p o'tkazuvchanlikli yarimo'tkazgichning zonalar diagrammasi (a) va n - p o'tishning muvozanat holat uchun diagrammasi (b) tasvirlangan. Unda:

φ_z - to'siq zonaning potentsiali (energiyasi);

φ_d - donorlar aralashmasi uchun energiya sathining potentsiali;

φ_A - akseptor aralashmasi uchun energiya sathining potentsiali;

$\varphi_{g'}$ - Fermi sathi deb ataluvchi energetik sathining potentsiali.

Fermi sathi deganda, to'ldirilish ehtimolligi 0,5 ga teng bo'lgan energetik sath tushuniladi.

G'alayonsiz yarimo'tkazgichlarda Fermi sathi to'siq zona o'rtasida yotadi. G'alayonlangan yarimo'tkazgichlarda esa, u ruxsat etilgan, ya'ni o'tish mumkin bo'lgan biron zonaning ichiga joylashgan bo'ladi.

Fizikaviy jihatdan olganda Fermi potentsiali yarimo'tkazgichning kimyoviy va elektr potentsiallarining algebraik yig'indisini tashkil qiladi. Shuning uchun uni *elektrokimyoviy potentsial* deb ham ataladi.

Ma'lumki, kimyoviy potentsial modda zarralarining konsentratsiyasiga bog'liq miqdordir. Shuning uchun kimyoviy potentsiallar farqining mavjudligi modda zarralari konsentratsiyasining farqi mavjudligini ko'rsatadi. Zarra konsentratsiyasida farq bo'lishi, o'z navbatida, ularning katta konsentratsiyali o'ndan kichik konsentratsiyali o'ringa ko'chishiga olib keladi, ya'ni zarralar diffuziyasini vujudga keltiradi. Shunga ko'ra kimyoviy potentsial erkin zarralarning (elektr zaryadga ega bo'lish yoki bo'lmasligidan qat'iy nazar) diffuziyalana olish imkoniyatini ifodalaydi.

Elektr potensial esa, zaryadlangan zarralarning elektr maydonida ko'cha olish imkoniyatini - dreyfni ifodalaydi. Demak, Fermi potensialining gradienta bir vaqtda ikki xil harakat - diffuziya va dreyfni xarakterlaydi.

Tizimning muvozanat holatida Fermi potensialining gradienti nolga teng bo'ladi, ya'ni $\phi_g = \text{const}$ dir. Shuning uchun Fermi sathi doimiy (gorizontal) joylashgan bo'ladi. Lekin, bu elektr va kimyoviy potensiallarning ham doimiyligi degan gap emas. Boshqacha aytganda, tizimning muvozanat holatida uning elektr va kimyoviy potensiallari o'zgarishi mumkin, ya'ni zarralarning diffuziya va dreyf oqimlari mavjud bo'ladi, lekin bu oqimlar bir-birini muvozanatlab turadi.

Shuni aytish kerakki, «Fermi sathi» so'zi asosan muvozanat holatdagi tizimlar uchun ishlatiladi, chunki bunda erkin elektronlar va kavaklarning soni, mos ravishda, teng bo'ladi. Tizim muvozanatda bo'lmaganda esa, bu tenglik saqlanmaydi va «Fermi sathi» o'zgarishga uchraydi. Bu holda uni «*Fermining kvazi sathlari*» (f_{Gp} va f_{Gr}) deb ataladi.

Umuman olganda, potensial to'siqning kattaligi ko'chib o'tgan tok tashuvchilarning konsentratsiyasi va haroratga bog'liq bo'ladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\phi_k = U_k \ln \frac{N_p}{n_e} = U_k \ln \frac{N_e}{n_p} = U_T \ln \frac{N_e N_p}{n_1^2}. \quad (1.1)$$

Bunda $N_p - n$ sohadagi asosiy tok tashuvchilar (kavaklar);

$N_e - n$ sohadagi asosiy tok tashuvchilar (elektronlar);

$p_r - p$ sohadagi asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar;

$p_e - p$ sohadagi asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar;

p_l - yarim o'tkazgich kristallining xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi.

U_T kattalik *harorat potensiallari ayirmasi* yoki *harorat potentsiali* deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$U_T = \frac{kT}{q} \approx \frac{T}{11600}, \quad (1.2)$$

q - elektron zaryadi;

k - $1,38 \cdot 10^{-23}$ j/grad - Boltzman doimiysi;

T - absolyut harorat.

Harorat potensialining fizik mohiyati shundan iboratki, u elektr birliklarida ifodalanagan statistik harorat yoki elektron gazdagi erkin elektronlarning o'rtacha kinetik energiyasidir. Uy haroratida ($T=300^\circ\text{K}$) u 25 millivoltga teng bo'ladi. Harorat potensialining maksimal qiymati yarim o'tkazgich materiali to'siq zonasining kengligi D_{sh} ni ifodalovchi potensiallar ayirmasiga teng bo'ladi.

Potensial to‘siqning haroratga bog‘liqligi, asosan, yarim o‘tkazgichning xususiy tok tashuvchilari konsentratsiyasining haroratga bog‘liqligi orqali belgilanadi:

$$n_1 = A \cdot T^{3/2} \cdot e^{-\frac{\Delta w}{2kT}}, \quad (1.3.)$$

bunda A - yarim o‘tkazgich materialiga bog‘liq koeffitsiyent.

Haroratning har bir darajaga ortishi bilan potensial to‘siqning 2 millivoltga kamayishi aniqlangan.

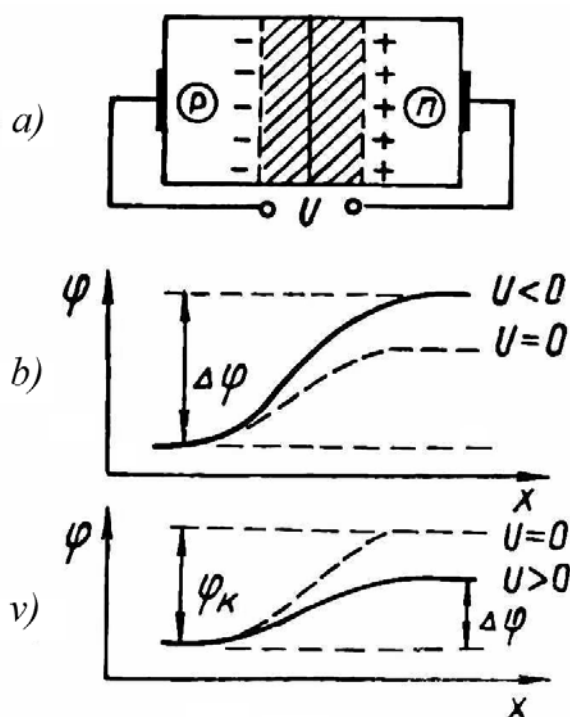
Potensial to‘siqning tashqi manba ta’sirida o‘zgarishini, yani $n-p$ o‘tishning volt-amper xarakteristikasini aniqlaylik. $n-p$ o‘tishga tashqi manba ulansa, potensial to‘siqning balandligi o‘zgaradi va tok tashuvchilarning dinamik muvozanati buziladi. Natijada diffuziya va dreyf toklarining muvozanati ham buzilib, natijaviy tokning kattaligi tashqi manbaning kuchlanishiga bog‘liq bo‘lib qoladi. Bu bog‘lanishni analitik hisoblab, grafikda tasvirlash mumkin. Uni $n-p$ o‘tishning *volt-amper xarakteristikasi* deb ataladi.

Volt-amper xarakteristikani aniqlashda oson bo‘lishi uchun, tashqi manbaning kuchlanishi faqat kontakt sohasiga qo‘yilgan deb qaraladi, ya’ni yarim o‘tkazgich hajmidagi potensial tushuvi hisobga olinmaydi.

Birinci holda tashqi manbani shunday ulaylikki, uning hosil qilgan maydon kuchlanganlik vektori $n-p$ o‘tishning xususiy maydon kuchlanganligi vektori bilan mos tushsin. Buning uchun manbaning musbat qutbi p - soha kontaktiga, manfiy qutbi esa, n -soha kontaktiga ulanishi kerak (1.6,a-rasm). Bunda natijaviy maydon kuchlanganligi ortadi, ya’ni potensial to‘liq kattalashib, asosiy tok tashuvchilarning harakati yanada qiyinlashadi (1.6,b-rasm).

Shuning uchun, manba kuchlanishi ortishi bilan asosiy tashuvchilarning potensial to‘siqni yengib o‘tish ehtimolligi kamayadi va diffuzion tok nolgacha kamayadi. Lekin, asosiy bo‘lmagan tok tashuvchilar uchun maydonning tezlantiruvchi ta’siri ortadi va ular kontakt sohasini kesib o‘tishda davom etadi. Hosil bo‘ladigan dreyf tokining kattaligi potensial to‘siq kattaligiga bog‘liq bo‘lmay, asosiy tok tashuvchilarning miqdori bilan belgilanadi. Vaqt birligi ichida hajmda hosil bo‘ladigan asosiy bo‘lmagan tok tashuvchilar soni o‘zgarmas bo‘lgani uchun, potensial to‘siqning ortishi faqat ularning tezligini oshirib, sonini o‘zgartira olmaydi. Shuning uchun dreyf tokining ortishi uchun biror sababga ko‘ra yangi asosiy bo‘lmagan tok tashuvchilar hosil bo‘lishi kerak. Aks holda u to‘yingan bo‘ladi. Bunda hosil bo‘ladigan *tok teskari tok*, qo‘yilgan kuchlanishni esa, *teskari kuchlanish* deb ataladi. Demak, teskari ulanishda $n-p$ o‘tishning qarshiligi yetarlicha katta bo‘ladi. Uni *teskari o‘tish*

qarshiligi deb ataladi.



1.6-rasm. Manbani to'g'ri (a) va teskari (b) ulanishda potentsal to'siqning o'zgarishi

Manbaning qutblarini almashtiraylik, ya'ni n - sohaga musbat, p - sohaga manfiy qutb ulansin. Bunda kontakt sohasida tashqi manba hosil qilgan maydon kuchlanganligi vektori n - p o'tishning xususiy maydon kuchlanganligi vektoriga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi va natijaviy maydon kuchlanganligi kichrayadi. Bu potentsal to'siqning kichrayishiga olib keladi va diffuziya toki ortadi (1.6,v-rasm). Bunday ulanish *to'g'ri ulanish* deb ataladi. Hosil bo'ladigan tok *to'g'ri tok* n - p o'tish qarshiligi esa, *to'g'ri ulanish qarshiligi* deyiladi.

n - p o'tishda hosil bo'ladigan natijaviy tok quyidagicha ifodalanadi:

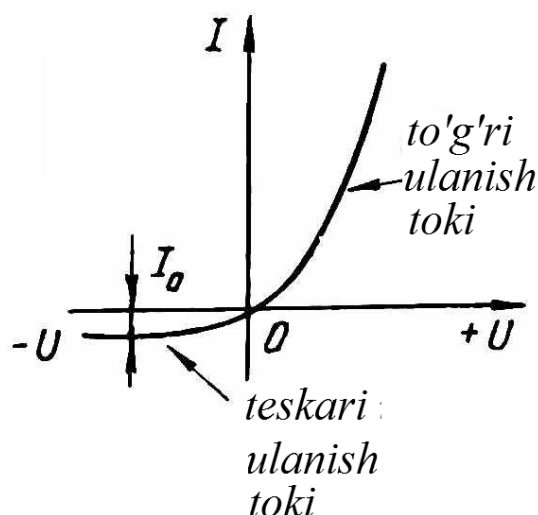
$$I = I_0 \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right), \quad (1.4)$$

bunda I_0 - teskari tokning to'yinish qiymati;

U - tashqi manba kuchlanishi;

e -elektron xaradikasi.

1.7-rasmda tashqi manba kuchlanishiga qarab diffuziya tokining o'zgarish grafigi tasvirlangan. Uni n - p o'tishning volt-amper xarakteristikasi deb ataladi (Unda tok o'qining darajalanishi bir xil emas. Teskari tok o'qining darajalanish qiymati bir necha marta kattalashtirilgan, chunki to'g'ri tok – mA da, teskari tok esa μA da o'lchanadi). Demak, n - p o'tish tokni bir tomonga afzal o'tkazish ventil xususiyatga ega.



1.7- rasm. n - p o'tishning volt-amper xarakteristikasi

2. Yarimo'tkazgichli diodlar

2.1. To'g'rilovchi diodlar

To'g'rilovchi diodlar kuchlanish manbai o'zgaruvchan kuchlanishini o'zgarmasga o'girishda qo'llaniladi. To'g'rilovchi diodlarning asosiy xossasi bir tomonlama o'tkazuvchanlik bo'lib, uning mavjudligi to'g'rilash effekti bilan aniqlanadi.

To'g'rilovchi diodlarning ishlatilish chastota diapazoni juda keng. Shu sababli ular ishchi chastota diapazoni bo'yicha sinflanadilar.

Past chastotali to'g'rilovchi diodlar (PCh diodlar) sanoat chastotasidagi (50Gs) o'zgaruvchan tokni o'zgarmasga o'girishda qo'llaniladi. PCh diodlariga qo'yiladigan asosiy talab bu katta qiymatga ega bo'lgan to'g'rilangan toklar olish. To'g'rilovchi diodlar odatda 0,3A gacha, 0,3A dan 10A gacha va 10A dan yuqori bo'lgan to'g'rilangan toklarga mo'ljallangan kichik, o'rta va katta quvvatli diodlarga bo'linadi. PCh diodlari katta p - n o'tish bilan xarakterlanadilar.

Yuqori chastotali to'g'rilovchi diodlar (YuCh diodlar) o'n va yuz megagers chastotagacha bo'lgan signallarni nochiziqli elektr o'zgartirishga mo'ljallangan. YuCh diodlari yuqori chastota signallari detektorlari, aralashtirgichlar, chastota o'zgartirgich sxemalar va boshqalarda qo'llaniladi. Yuqori chastota diodlari kichik inersiyaga ega, chunki kichik yuzaga ega bo'lgan nuqtaviy p - n o'tishga ega va shu sababli ularning to'siq sig'imi pikofaradning bir qismini tashkil etadi.

Shotki to'sig'ili diodlar kuchlanish manbai qayta ulagichlarida keng tarqalgan, chunki ular qayta ulanish ishchi chastotasini 100kGs va undan yuqoriga orttirishga, radioelektron apparatura og'irligi, o'lchamlarini

kichraytirishga va kuchlanish manbai FIK oshirishga imkon yaratadilar. Shottki to'sig'i metallni yarimo'tkazgich bilan kontakti natijasida hosil qilinadi. Yarimo'tkazgich material sifatida ko'p hollarda n turdagi kremniy, metall sifatida esa Al, Au, Mo va boshqalar qo'llaniladi. Bu vaqtda metall chiqish ishi kremniy chiqish ishidan katta bo'lishi talab qilinadi. Bunday diodlarda diffuziya sig'imi nolga teng, to'siq sig'imi esa 1 pF dan oshmaydi.

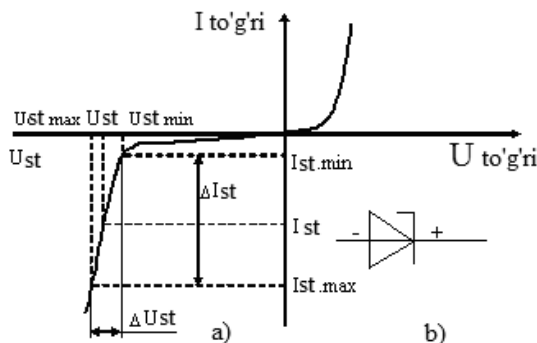
2.2. Stabilitrnlar

Stabilitrn - yarimo'tkazgichli diod bo'lib, uning ishlash prinsipi $p-n$ o'tishga teskari kuchlanish berilganda elektr teshilish sohasida tokning keskin ortishi kuchlanishning uncha katta bo'lmagan o'zgarishiga olib kelishiga asoslangan. Stabilitrnning shartli belgisi 2.1,*b*-rasmida keltirilgan. Stabilitrn sxemalarda kuchlanishni barqarorlash uchun ishlatiladi.

Stabilitrnning asosiy parametri bo'lib, tokning $I_{ST.min}$ dan $I_{ST.max}$ gacha keng o'zgarish oralig'ida barqarorlash kuchlanishi U_{ST} hisoblanadi (2.1,*a*-rasm).

Stabilitrnning VAX sidagi ishchi soha elektr teshilish sohasida joylashadi. Barqarorlash kuchlanishi diod bazasidagi kiritma konsentratsiyasi bilan aniqlanadigan $p-n$ o'tishga bog'liq. Agar yuqori konsentratsiyaga ega bo'lgan yarimo'tkazgich qo'llanilsa, $p-n$ o'tish tor bo'ladi va tunnel teshilishi kuzatiladi. U_{ST} ishchi kuchlanishi 3-4V dan oshmaydi.

Yuqori voltli stabilitrnlar keng $p-n$ o'tishga ega bo'lishi kerak, shuning uchun ular kuchsiz legirlangan kremniy asosida yasaladilar. Ularda ko'chkisimon teshilish sodir bo'ladi, barqarorlash kuchlanishi esa 7V dan ortmaydi. U_{ST} 3 dan 7V gacha bo'lgan oraliqda teshilishning ikkala mexanizmi ishlaydi. Sanoatda barqarorlash kuchlanishi 3 dan 400V gacha bo'lgan stabilitrnlar ishlab chiqariladi.



2.1-rasm

Stabilitrnning elektr teshilish sohasidagi differensial qarshiligi r_d barqarorlash darajasini xarakterlaydi. Bu qarshilik qiymati dioddagi kichik

kuchlanish o'zgarishi qiymatining diod toki o'zgarishiga nisbati bilan aniqlanadi (2.1,a-rasm). r_d qiymati qancha kichik bo'lsa, barqarorlash shuncha yaxshi bo'ladi.

$$r_d = \frac{\Delta U_{st}}{\Delta I_{st}}.$$

Stabilitronning asosiy parametri bo'lib barqarorlash kuchlanishining harorat koeffitsiyenti (KTK) hisoblanadi. KTK – bu harorat bir gradusga o'zgarganda barqarorlash kuchlanishining nisbiy o'zgarishi. Ko'chkisimon teshilish kuzatiladigan kichik voltli stabilitronlar odatda musbat KTK ga ega. KTK qiymati odatda 0,2-0,4%/grad dan oshmaydi.

2.3. Varikaplar

Varikap elektr yordamida boshqariladigan sig'im sifatida qo'llanishga mo'ljallangan. Varikapning ishlash prinsipi elektr o'tish to'siq sig'imining teskari kuchlanishga bog'liqligiga asoslangan.

Varikaplar asosan tebranma konturlarni chastotasini elektron qayta sozlashda qo'llaniladi. Varikaplarning bir necha turi mavjud. Masalan, parametrik diodlar o'ta yuqori chastota signallarini kuchaytirish va generatsiyalashda, ko'paytiruvchi diodlar esa keng chastota diapazoniga ega bo'lgan ko'paytirgichlarda qo'llaniladi.

2.4. Tunnel diodlari

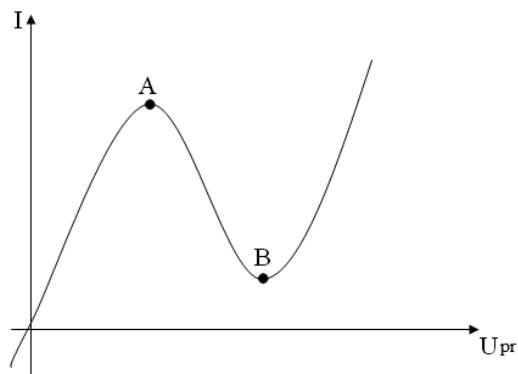
Tunnel diodi deb qo'zg'otilgan yarim o'tkazgich asosida loyihalangan yarimo'tkazgichli asbobga aytiladi. Unda teskari va uncha katta bo'lmagan to'g'ri kuchlanishda tunnel effekti yuzaga keladi va volt–amper xarakteristikada manfiy differensial qarshilikka ega bo'lgan soha mavjud bo'ladi.

Tunnel diodlar boshqa turdagi diodlardan sezilarli farq qilmaydi, lekin ularni yasash uchun 10^{20}sm^{-3} kiritmaga ega bo'lgan yarimo'tkazgichli materiallar qo'llaniladi.

VAX nochiziqli bo'lsa, uning har bir kichik sohasi to'g'ri chiziq deb qaraladi va xarakteristikaning bu nuqtasida $R_i = \frac{dU}{dI}$ differensial qarshilik kiritiladi. Agar xarakteristika kamayuvchi bo'lsa, bu sohada qarshilik R_i manfiy qiymatga ega bo'ladi.

Tunnel diodi VAX 2.2-rasmda keltirilgan. AB soha manfiy differensial qarshilik bilan xarakterlanadi. Agar tunnel diodi tebranma kontur elektr zanjiriga ulansa, u holda kontur va shu zanjirdagi manfiy qarshilik kattaligi

o'rtasidagi ma'lum nisbatlarda tebranishlar kuchayishi yoki generatsiyalanishi mumkin. Tunnel diodlari asosan 3-30GGs diapazonda O'YuCh generatorlar qurishda, hamda maxsus hisob qurilmalari va mantiqiy o'ta yuqori tezlikda ishlaydigan sxemalarda qo'llaniladi.



2.2-rasm

2.5. Generator diodlar

Generator diodlaridan biri bo'lib **ko'chkili-uchma diodlar (KUD)** hisoblanadi. Uning VAX sida n - n o'tishdagi ko'chkisimon teshilishda yuqori chastotalarda manfiy qarshilikka ega bo'lgan soha yuzaga keladi. Agar KUD rezonatorga joylashtirilsa, unda chastotasi 100GGs gacha bo'lgan so'nmaydigan tebranishlar yuzaga keladi. Tebranishlarning chiqish quvvati ($f=1$ GGs bo'lganda) $10V_t$ gacha etishi mumkin. KUD ning FIK 30-50 %ga etadi.

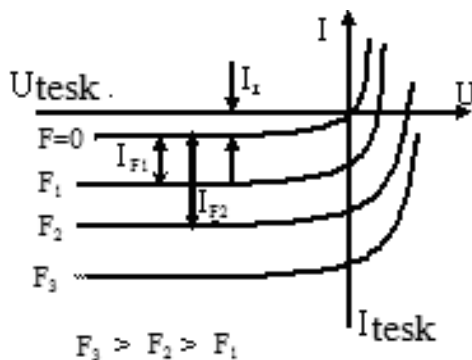
Generator diodining yana bir turi bo'lib **Gann diodi** hisoblanadi, u uzunligi 10^{-2} - 10^{-3} smdan iborat (p - n o'tishsiz) bo'lgan bir jinsli yarim o'tkazgich plastinka ko'rinishida bo'ladi. Plastinkaning yon qismlariga katod va anod deb ataluvchi metall kontaktlar surtiladi. Gann diodlarini yasash uchun n -turdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan intermetall birlashmalar - GaAs, InSb, InAs va InPlar qo'llaniladi. Diod tebranma konturga joylashtiriladi. Kontaktlarga o'zgarmas kuchlanish berilganda Gann diodida kuchlanganligi $3 \cdot 10^3 V/sm$ bo'lgan elektr maydon hosil qiladigan chastotasi 60GGs bo'lgan elektr tebranishlar yuzaga keladi. Tebranishlar quvvati 10 – 15V gacha etishi mumkin, FIK esa 10-12% ga etadi.

2.6. Optoelektronika diodlari

Optoelektronika – elektronikaning bir bo'limi bo'lib, axborotni qabul qilish, uzatish va qayta ishlash jarayonlari yorug'lik signallarini elektr

signallarga aylantirish va aksinchaga asoslangan qurilmalarni nazariyasi va amaliyotini o'rganadi. Optoelektronika elementlari bo'lib fotodiod va yorug'lik diodi hisoblanadilar.

Fotodiod deb, bitta $p-n$ o'tishga ega bo'lgan foto-elektr asbobga aytiladi. Fotodiod tashqi kuchlanish manbali (fotodiodli rejim), hamda tashqi kuchlanish manbaisiz sxemalarga ulanishi mumkin. Tashqi kuchlanish manbai shunday ulanadiki, $p-n$ o'tish teskari siljigan bo'lsin. Yorug'lik tushirilmaganda diod orqali juda kichik "qorong'ulik" ekstraktsiya toki I_0 oqib o'tadi va u berilayotgan kuchlanishga bog'liq bo'lmaydi. n -baza sohasiga ta'qiqlangan zona kengligidan ancha katta bo'lgan $h\nu$ energiyali fotonlardan tashkil topgan yorug'lik tushirilganda, elektron–kovak juftliklar generatsiyalanadi. Agar juftliklar o'tishdan diffuziya uzunligidan oshmaydigan oraliqda hosil bo'lsalar, yorug'lik ta'sirida generatsiyalangan kovaklar o'tishning elektr maydoni ta'sirida ekstraktsiyalanadilar va teskari tok uning "qorong'ulik" qiymatiga nisbatan ortadi. Yorug'lik oqimi F qancha intensiv bo'lsa, diod teskari toki I_F qiymati shuncha katta bo'ladi.



2.3-rasm

2.3-rasmda turli yorug'lik oqimi qiymatlaridagi fotodiod VAX si keltirilgan. Yorug'likning keng nurlanish chegaralarida fototok yorug'lik oqimiga deyarli chiziqli bog'liq bo'ladi.

Proporsionallik koeffitsiyenti $K_F = \frac{dI_F}{dF}$ bir necha mA/mm ni tashkil etadi va **fotodiod sezgirligi** deb ataladi. Fotodiod turli o'lchash qurilmalarida yorug'lik oqimini qabul qilgich, hamda optik tolali aloqa liniyalarida qo'llaniladi.

Fotodiod rejimidan tashqari fotodiodning ventil (fotovoltlik) rejimi keng qo'llaniladi. Bu rejimda fotodiod tashqi kuchlanish manbaiga ulanmasdan ishlaydi va quyosh energiyasini bevosita elektr signalga aylantirishga xizmat qiladi. Diod ventil rejimida nurlatilganda uning chiqishlarida ventil kuchlanish yuzaga keladi. Fotodiod bu holatda **quyoshli aylantirgich** deb ataladi. Bir-biri bilan elektr jihatdan bog'langan

aylantirgich va batareyalar kosmik apparatlar va yer usti qurilmalaridagi REA larni ta'minlash uchun elektr energiya manbai sifatida qo'llanilishi mumkin.

Yorug'lik diodi – bu elektr energiyasini nokoherent yorug'lik nuriga aylantiradigan, bitta $p-n$ o'tishga ega bo'lgan yarimo'tkazgichli asbob. Yorug'lik nuri elektron–kovak juftlarining rekombinatsiyasi natijasida yuzaga keladi. Rekombinatsiya, $p-n$ o'tish to'g'ri ulanganda kuzatiladi. Rekombinatsiya doim ham nurlatuvchi bo'lavermaydi va to'g'ri zonali yarimo'tkazgichlarda, jumladan galliy arsenidida sodir bo'ladi. Bunday yarimo'tkazgichlar spetsifik xona diagrammasiga ega bo'ladilar.

Nurlanayotgan yorug'lik to'liq uzunligi λ kvant energiyasi bilan aniqlanadi. U esa nurlanuvchi rekombinatsiyada yarimo'tkazgichning ta'qiqlangan zona kengligiga deyarli teng bo'ladi. Galliy arsenididan tayyorlangan yorug'lik diodlari uchun $\lambda = 0,9-1,4\text{mkm}$. Qizil, sariq va yashil rang nurlatuvchi diodlar galliy fosfati, siyohrang nurlatuvchi diodlar esa kremniy karbidi asosida yasaladilar va h.k.

Yorug'lik diodining energetik xarakteristikasi bo'lib **kvant chiqishi** (effektivligi) hisoblanadi. U zanjir bo'ylab o'tayotgan har bir elektronga yorug'lik diodi chiqishida qancha yorug'lik kvanti mos kelishini ko'rsatadi. Zamonaviy yorug'lik diodlari uchun kvant chiqishi 0,01-0,04 ni, ikki va uch yarimo'tkazgichli birikmalardan yasalgan geteroo'tishli yorug'lik diodlarida esa ancha katta (0,3 gacha), lekin doim birdan kichik bo'ladi. Volt–amper xarakteristikasi oddiy diodniki kabi eksponensial bog'liqlik bilan ifodalanadi. Yorug'lik diodi $10^{-7}-10^{-9}\text{s}$ da qayta ulanadi, ya'ni yuqori tezlikda ishlovchi yorug'lik manbai hisoblanadi.

Yorug'lik diodlari optik aloqa liniyalari, indikator qurilmalar, optoparalar va h.k. larda qo'llaniladi.

Optoelektron juftlik, yoki optopara, konstruktiv jihatdan optik muhitda bog'langan yorug'lik nurlatuvchi va foto qabul qilgichdan tashkil topgan. Yorug'lik nurlatuvchi va foto qabul qilgich orasidagi to'g'ri optik aloqa barcha turdagi elektr aloqalarni bartaraf etadi.

3. Fotoelektronika

3.1. Fotoelektron asboblari

Yorug'lik energiyasini elektr energiyasiga o'zgartiruvchi elektron asboblarga *fotoelektron asboblari* deyiladi. Fotoelektron asboblari yorug'lik nurlarini qabul qiluvchi yarimo'tkazgichli asboblardir. O'tkazgich sirtiga tushayotgan yorug'lik nurlarining energiyasi ta'sirida yarimo'tkazgich

kristallida hosil bo'lgan erkin elektronlar yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligini oshiradi yoki elektr yurituvchi kuch (foto EYUK) hosil qiladi. Bunday hodisaga *ichki fotoeffekt* hodisasi deyiladi. *Tashqi fotoeffekt* hodisasida yorug'lik nurlari ta'sirida qattiq jism sirtidan elektronlar emissiyasi hosil boladi. Ichki fotoeffekt faqat yarimo'tkazgich va dielektrlarda, tashqi fotoeffekt esa yuqoridagilardan tashqari metallarda ham sodir boladi. Fotoqarshiliklar, fotodiodlar, fototranzistorlar va fototiristorlarning ishlashi ichki fotoeffektga asoslangandir. Bunday fotoelektron asboblarning xususiyatlari ularning yorug'lik va elektr kattaliklarini o'zaro bog'lovchi xarakteristika va parametrlari bilan tavsiflanadi.

Ularning quyidagi xarakteristikalar bor:

1. Yorug'lik xarakteristikasi – $I_f = f(E)$, bu yerda I_f - o'tkazgichdagi elektron va teshiklar hisobiga hosil bo'lgan fototok (mA , mkA); E - yoritilganlik (*lyuks*). Yoritilganlik E yorug'lik oqimi F va yorug'lik nurlari tushayotgan F yuza S orqali aniqlanadi.

Demak, yorug'lik xarakteristikasi fotoasbob toki qiymatini unga tushayotgan yorug'lik oqimi (yoki yoritilganlik) qiymatiga bog'liqligini ko'rsatadi.

2. Spektral xarakteristika – $I_f = f(k)$, bu yerda I_f – fototok (mA , mkA); I_f - yorug'lik nurlarining (oqim to'liqlinining yoki fotonlarning) intensivligi, ya'ni yorug'lik to'liqlinlarining uzunligi (**mkM**).

Ushbu xarakteristika fotoasbob toki qiymatining unga tushayotgan yorug'lik to'liqlinining uzunligiga (yoki chastotasiga) bog'liqligini ko'rsatadi, chunki turli xildagi qattiq jismlar turli uzunlikdagi yorug'lik nurlari ta'sirida tok o'tkazadi.

3. Volt-amper xarakteristikasi – $I_f = k(U_a)$, bu yerda I - fototok (mA , mkA); U_a - fotoasbobga berilayotgan tashqi manba kuchlanishi (V).

Bu xarakteristika fotoasbob toki qiymatining unga berilayotgan tashqi manba kuchlanishi miqdoriga bog'liqligini ko'rsatadi.

Fotoelektron asboblarning quyidagi parametrlari bor:

1. Integral sezgirliigi – $k = I_f / U_a$, bu yerda I_f - fototok (mA , mkA); F - yorug'lik oqimi (Im).

Bu parametr fotoasbobdagi fototokning ma'lum miqdori hosil bo'lishi uchun kerak bo'ladigan yorug'lik oqimi miqdorini ko'rsatadi.

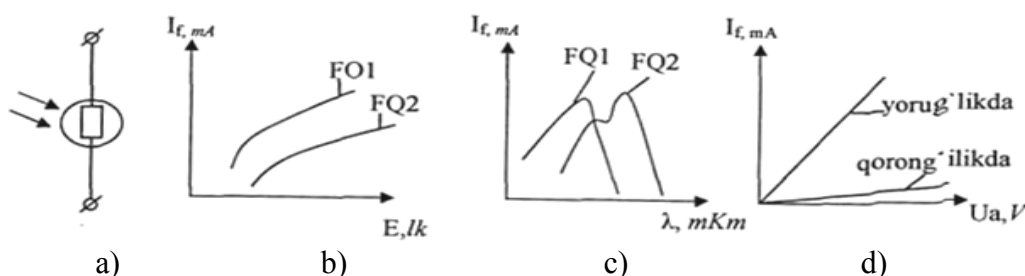
2. Qorong'ilik qarshiligi - R_T (kOm). Bu parametr fotoasbobning yorug'lik tushmagan holdagi qarshiligi miqdorini ko'rsatadi.
3. Ish kuchlanish - U_a (B). Bu parametr fotoasbobga tashqi manbadan beriladigan kuchlanish miqdorini ko'rsatadi.

Fotoelektron asboblarning xarakteristika va parametrlari barcha

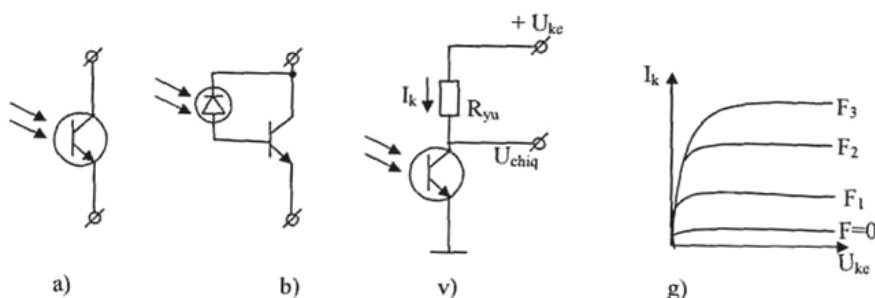
yarimo'tkazgichli asboblari kabi tashqi harorat o'zgarishiga bog'liqdir.

Fotoqarshiliklar. Yorug'lik ta'sirida qarshiligi o'zgaradigan yarimo'tkazgichli asbobga *fotorezistor* deyiladi. Fotorezistorning qarshiligi qorong'ilikda katta, yorug'lik tushganda esa kichikdir. Fotorezistorlar dielektrik asos ustiga yuritilgan turli shakldagi yarimo'tkazgichli plenkalar yoki plastinalar bolib, undan ikkita metal kontakti chiqarilgan. Ular asosan sulfid-kadmiy, selen-kadmiy, sulfid-qo'rg'oshin kabi materiallardan tayyorlanadi.

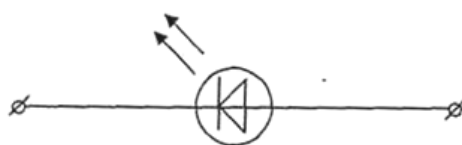
Fotorezistorlarning shartli belgisi; yorug'lik, spektral va volt-ampere xarakteristikalarini 3.1-rasmda keltirilgan (FQ - fotoqarshilik nomi).



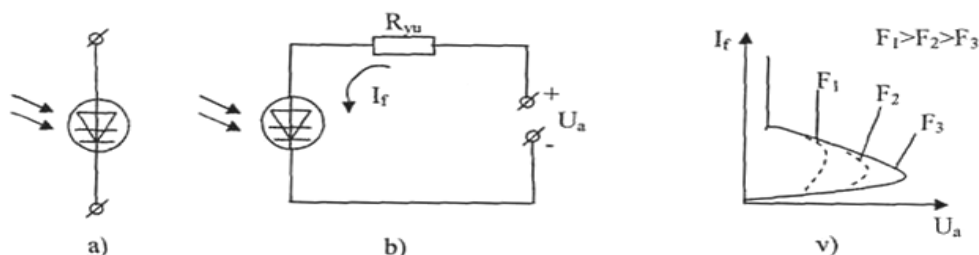
3.1-rasm. Fotoqarshilikning shartli belgisi (a) va uning yorug'lik (b), spektral (c) hamda volt-ampere (d) xarakteristikalarini



3.2-rasm. Fototranzistorning shartli belgisi (a) va uning ekvivalent (b), ulanish (v) sxemalarini hamda chiqishi (g)



3.3-rasm. Yorug'lik diodining shartli belgisi



3.4-rasm. Fototranzistorning shartli belgisi (a), ulanish sxemasi (b) va volt-ampere (v) xarakteristikasi

Fototranzistorlar. Ikki *p-n* o'tishli va ikki elektrodli, yorug'lik ta'sirida hosil bo'lgan kichik qiymatli baza toki (fototok) yordamida katta

qiymatli kollektor tokini boshqaruvchi yarimotkazgichli asbob **fototranzistor** deyiladi. Fototranzistorning konstruktiv tuzilishi bipolyar tranzistornikiga o'xshash bo'lib, faqat baza elektrodini yo'qligi bilan farq qiladi. Fototranzistorlarga tashqi kuchlanish manbai ulanganda kollektor-baza o'tish teskari, baza-emitter o'tish esa to'g'ri kuchlanish ostida bo'ladi. Baza elektроди bo'lmagani uchun kirish zanjiri sifatida fotodiod vazifasini bajaruvchi kollektor-baza o'tish ishlatiladi.

Fototranzistorlarning shartli belgisi, ekvivalent va ishlatish sxemalari hamda chiqish xarakteristikalari 3.2-rasmda ko'rsatilgan.

Fototranzistorning afzalligi - yuqori sezgirligi, kamchiligi esa ishlash tezligini pastligi va parametrlarini haroratga kuchli bog'liqligidir.

Fototiristorlar Uch $p-n$ o'tishli va ikki elektrodli, yorug'lik ta'sirida boshqariladigan (ochilib-yopiladigan) yarimo'tkazgichli asbob fototiristor deyiladi. Fototiristorning konstruktiv tuzilishi shundayki, yorug'lik oqimi uning o'rtadagi ikkala sohasiga (bazasiga) tushadi. Fototiristorni ochilishi boshqarish elektrodining tokini hosil qiladigan yorug'lik oqimining qiymatiga bog'liqdir.

Fototiristorning shartli belgisi, ulanish sxemasi va volt-amper xarakteristikasi 3.3-rasmda keltirilgan. Fototiristorlarda yorug'lik oqimi tushish vaqtini o'zgartirib uning ochilish onini (momentini) boshqarish mumkin.

Indikatsiya asboblari. O'zida axborotni elitayotgan elektr signallarini ko'zga ko'rinadigan tasvirga aylantirib beradigan elektron asboblarga axborotni aks ettirish yoki **indikatsiya** asboblari deyiladi.

Tasvirni hosil qilishda qo'llaniladigan fizik jarayonlarni ko'rinishiga qarab indikatsiya asboblari turli xilda bo'ladi. Hozirgi vaqtda indikatsiya asboblari eng ko'p tarqalgani yarimo'tkazgichli, elektr lyuminessentli, gaz razryadli, suyuq kristalli indikatorlar va elektron nurli trubkalardir. Ular nurlanishning ravshanligi, tejamkorligi, axborotni saqlash hajmi, integral mikrosxemalar bilan birika olish qobiliyati kabi qator xususiyatlari bilan xarakterlanadi.

Universal va eng ko'p tarqalgan qayd qilish asbobi elektron - nurli trubkadir. U tasvirni elektr tebranishlariga (vidikon, vidiokamera) va aksincha, elektr signallarini tasvirga aylantirish (kineskop) uchun xizmat qiladi. Kompyuterlarning elektron-nurli trubka *display* deb ataladi va raqamli signallarni (kodlarni) jadval, grafik va yozuv ko'rinishidagi tasvirga aylantirish uchun xizmat qiladi. Zamonaviy radioelektron qurilmalarda elektron-nurli trubkalar mustahkam o'rin egallagan; ammo boshqaruv, himoya, o'lchov elektron asboblari; reklama va axborot tablolarida hamda maishiy elektron qurilmalarida gaz razryadli, elektro- lyuminesentli, yarimo'tkazgichli va suyuq kristalli indikatorlar keng qo'llanmoqda.

Gaz razryadli indikatorlar. Gaz razryadli indikatorlarning ishlashi gazlardagi elektr razryadlarida kuzatiladigan nurlanish hodisasiga asoslangandir. Yorug'lik nurlarining rangi indikator asbobi to'ldirilgan gazning turiga bog'liq, ya'ni neon-zarg'aldoq, geliy-sariq, argon-zangori shula tarqatadi.

Gaz razryadli indikator ichi gaz bilan to'ldirilgan shisha ballonga joylashgan to'r ko'rinishidagi metall anod va raqamlar, harflar, turli belgilar shaklidagi ingichka metall simdan yasalgan bir necha katodlardan iboratdir. Elektrodlardan ballon tashqarisiga oyoqchalar chiqarilgan. Anod va biror katod orasiga tashqi kuchlanish berilsa, gazda elektr razryadi sodir bo'ladi va katod shaklida ko'rsatilgan belgi nurlanadi.

Gaz razryadini yoqish va uni ushlab turish uchun tashqi manba kuchlanishi katta qiymatga (50 - 400V) ega bo'lishi kerak. Shuning uchun gaz razryadli indikatorlar statsionar turdagi o'lchov-nazorat apparatlarida, axborot shitlarida va boshqalarda ishlatiladi.

Lyuminessentli indikatorlar. Lyuminessentli indikatorlarning ishlashi o'zgaruvchan elektr maydoni ta'sirida segment shaklidagi metallga qoplangan lyuminaforning o'tish hodisasidagi elektro-lyuminessentsiyaga (yuqori kuchlanishli elektr maydoni ta'sirida yarim o'tkazgichlarning yorug'lik nurlarini tarqatib o'tkazuvchanligini oshishi) asoslangandir.

Elektro-luminessentli indikatorga tuzilishi 3.4-rasmda ko'rsatilgan elektro-luminessentli kondensator misol bo'ladi. Yorug'lik tarqatuvchi poroshokli lyuminafor (1) dielektrik bilan organik bog'langan moddadir. Lyuminafor dielektrikli (2) va metall (5) elektrodlar orasiga joylashgan va bu elektrodarga lyuminafomi nurlantiruvchi, ya'ni teshuvchi kuchli elektr kuchlanish beriladi. Segment shaklidagi kondensatorning mexanik chidamliligini oshirish uchun kondensator tiniq bo'lmagan (3) va tiniq bo'lgan (4) plastinalar orasiga joylashtirilgan. Bunday segment ko'rinishidagi kondensatorlardan raqam, harf va belgi shakllari aks ettiruvchi indikator tayyorlanadi.

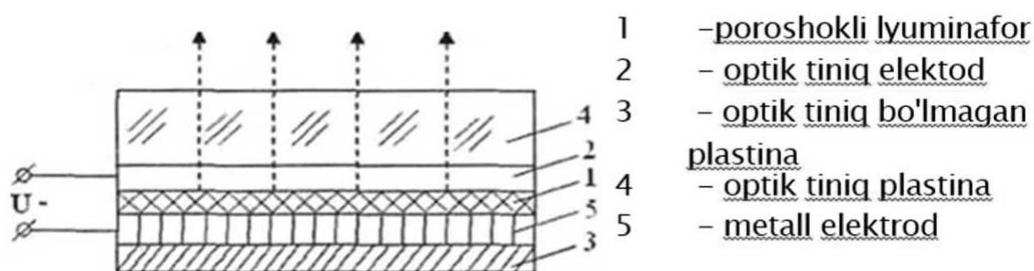
Elektro-luminessentli indikatorlar 220V kuchlanishli elektr tarmog'idan reklama qurilmalarida ishlatiladi.

Yarimo'tkazgichli indikatorlar Yarimo'tkazgichli indikatorlarning ishlashi p-n o'tishda sodir bo'ladigan jarayonlarga, ya'ni yorug'lik diodlaridan to'g'ri tok o'tganda ulami yorug'lik tarqatish hodisasiga asoslangandir. Hozirgi vaqtda turli xildagi va turli ko'rinishdagi yorug'lik diodlari bor. Oddiy ko'rinishdagi diodlar asosida *matrisa ekranidan* tashkil topgan belgilar ko'rinishidagi indikator (3.5,a-rasm) va *segmentlardan* tashkil topgan belgilar ko'rinishdagi indikator (3.5,b-rasm) yaratilgan bo'lib, ular yordamida barcha raqam va harflarni aks ettirish mumkin.

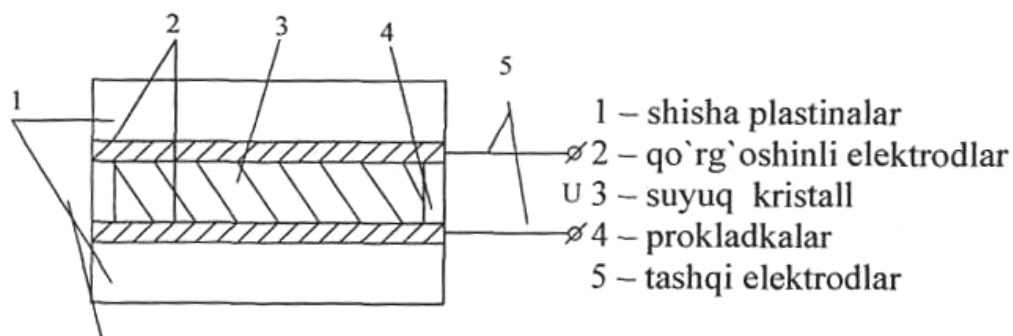
Yarimoʻtkazgichli indikatorlar tashqi manba kuchlanishining kichik qiymatlariga ($1,5-3V$) va alohida yorugʻlik diodlari yoki segmentlaridan oʻtadigan kichik tok qiymatlariga ($2-30mA$) egadirlar. Shuning uchun yarimoʻtkazgichli indikatorlar kichik hajmli koʻchma elektron qurilmalarda ishlatiladi.

Suyuq kristalli indikatorlar. Suyuq kristalli indikatorlarning ishlashi suyuq kristallardagi elektrooptik hodisaga, yaʼni elektr maydoni taʼsirida suyuq kristallning yorugʻlik nurlarini oʻtkazish va sindirish koeffitsiyentlarini oʻzgarishiga asoslangandir. Suyuq kristallar suyuqlik (oqish) va kristallik (optik qutblanish) xususiyatlariga ega boʻlgani uchun ularda turli elektr maydoni taʼsirida oʻtayotgan yoki sinayotgan yorugʻlik bilan turli optik shakllar hosil qilinadi.

Suyuq kristalli indikatorlar matrisa yoki segment tuzilishda boʻlishi mumkin. Indikatorning har bir yacheykasi (3.5-rasm) oraligʻi juda kichik boʻlgan (mikrometr) shisha plastinalar (1), orasiga suyuq kristall (3) joylashgan qoʻrgʻoshinli ichki (2) va tashqi (5) elektrodlardan hamda suyuq kristallni oqib ketishdan saqlovchi prokladkalardan (4) iboratdir.



3.5-rasm. Elektr lyuminessentli kondensatorning tuzilishi

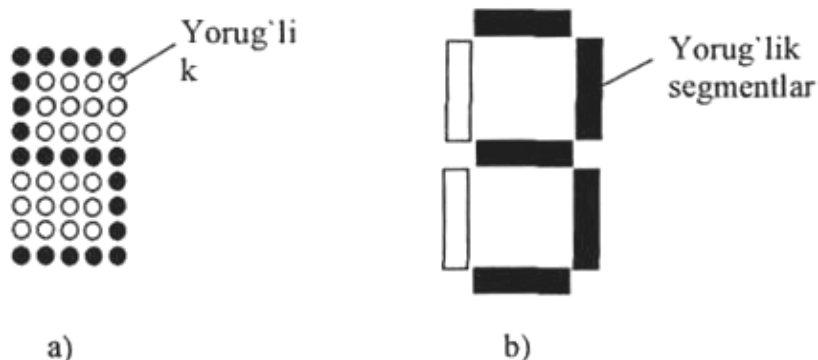


3.6-rasm. Suyuq kristalli indikatorning tuzilishi

Suyuq kristalli indikatorlar juda kichik elektr quvvati (mVt) isteʼmol qilgani uchun ular asosan elektron soatlarda, qoʻl telefonlarida, choʻntak kalkulyatorlarida va boshqalarda ishlatiladi. Hozirgi vaqtda suyuq kristall-dagi tablolar, kompʻyuter displeylari, rangli televizorlar va boshqalar yaratilmoqda.

Suyuq kristalli va yarimoʻtkazgichli indikatsiya asboblarning raqamli elektron qurilmalarda ishlatilishi ikkilik kodida ifodalangan axborotni indikator matritsasidagi yorugʻlik diodlari yoki segmentlari yordamida

tasvirga aylantirish uchun deshifrator talab qiladi.

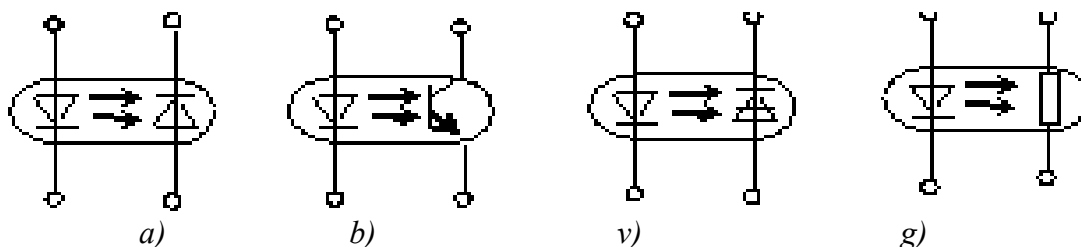


3.7-rasm. Matritsa (a) va segmentlar (b) shaklidagi yarimo'tkazgichli indikatorlar

Masalan, 3.6-rasmdagi yetti segmentli (0, 1, ..., 9 raqamlarini aks ettiruvchi) indikator ishni boshqarish uchun to'rt razryadli deshifrator kerak. Agar indikator matritsasidagi yorug'lik nuqtalarining yoki segmentlarning soni ohsa ishlatiladigan deshifratorning murakkabligi ham oshadi.

3.2. Optronlar

Kirish elektr signali ta'sirida yorug'lik diodi yorug'lik nurlatadi, foto qabul qilgich (fotodiod, fotorezistor va h.k.) esa yorug'lik ta'sirida tok generatsiyalaydi.



3.8-rasm. Yorug'lik diodi va fotodiod (a), fototranzistor (b), fototiristor (v), fotorezistor (g), shartli belgilari

3.8-rasmda yorug'lik diodi va fotodiod (a), fototranzistor (b), fototiristor (v), fotorezistor (g) dan tashkil topgan optoparalar keltirilgan. Optoparalar raqamli va impuls qurilmalar, analog signallarni uzatish qurilmalari, yuqori voltli manbalarni kontaktsiz boshqarish avtomatik tizimlari va boshqalarda ajratuvchi element sifatida qo'llaniladi.

4. Bipolyar tranzistorlar

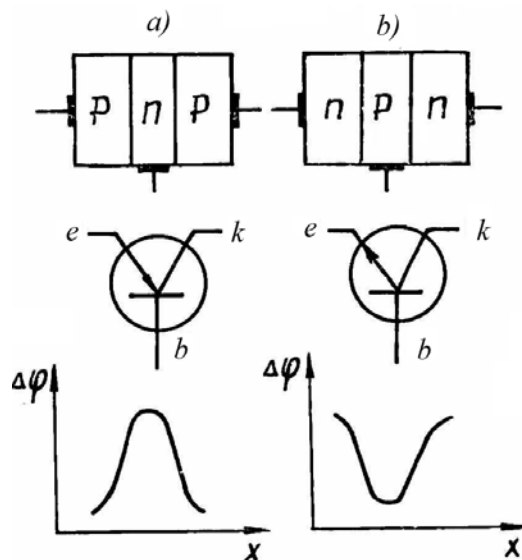
4.1. Umumiy ma'lumotlar

Yarimo'tkazgichli triod elektron asboblarning bir turi bo'lib, *tranzistor* deb ataladi. Tuzilishi va ishlash usuliga qarab tranzistorlar *bipolyar* va

unipolyar tranzistorlarga ajratiladi.

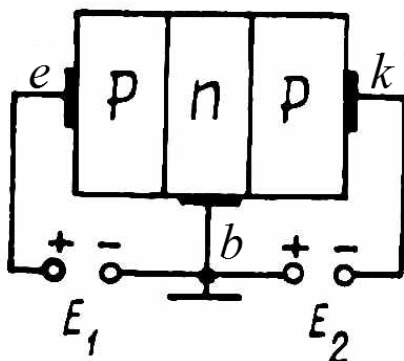
Bipolyar tranzistorlarning ishlashi n - p o'tish hodisasiga, unipolyar tranzistorlarning ishlashi esa bir turdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligini elektr maydoni yordamida boshqarishga asoslangan.

Bipolyar tranzistor yarimo'tkazgich monokristallida ikkita n - p o'tish sohasini hosil qilish asosida yasaladi. Uni o'tkazuvchanligi almashib keladigan 3 ta sohaga ajratish mumkin. Agar monokristallning elektron o'tkazuvchanlik hajmi ikki yonidan kavak o'tkazuvchanlik hajmi bilan chegaralangan bo'lsa, hosil bo'lgan yassi tranzistor n - p - n turdagi tranzistor deyiladi. Aksincha, kavak o'tkazuvchanlik qismi ikkita elektron o'tkazuvchanlik soha orasida bo'lsa, p - n - p turdagi tranzistor hosil bo'ladi. Bu tranzistorlarning sxemada belgilanishi va potensial to'sig'ining ko'rinishi 4.1-rasmida tasvirlangan.



4.1-rasm. Bipolyar tranzistorlarning sxemada belgilanishi va potensial to'sig'i

Shuni aytish kerakki, kontakt sohasi kichik bo'lsa, *nuqtaviy tranzistorlar* hosil bo'ladi.



4.2-rasm. Tranzistorga tashqi manba ulash

Faraz qilaylik, triodning o'rtta kontaktiga nisbatan chap yondagi kontaktiga kichik (voltning bo'laklariga teng) musbat, o'ng yondagi kontaktiga esa katta (bir necha o'n voltgacha) manfiy kuchlanish berilsin (4.2-rasm).

Oson bo'lishi uchun elektr maydon faqat p - p o'tishlar sohasidagina mavjud deb hisoblaymiz. Bunday ulashda chap tomondagi n - p o'tishning potensial to'sig'i kichrayib, o'ng tomondagi n - p o'tishniki ortadi. Shuning uchun kavaklar faqat chap tomondagi n - p o'tishdan o'ta boshlaydi. Chap tomondagi n – sohadan o'rtadagi p - sohaga o'tgan kavaklarning bir qismi bu sohadagi elektronlar bilan rekombinatsiyalanadi, qolgan qismi esa o'ng tomondagi n - p o'tishga yetib keladi. N - p o'tish maydoni ularga tezlantiruvchi ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun kavaklar katta tezlik bilan harakat qiladilar va E_1 bilan E_2 manbalar orqali o'tib, harakat yo'lini tugallaydilar (zanjir yopiladi). Bunda hosil bo'ladigan tok (kavak toki) foydali tok bo'lib, uning kattaligi chap yondagi n -sohadan p -sohaga o'tadigan kavaklarning miqdoriga va ularning n -sohadagi yashash vaqtiga bog'liq bo'ladi. Agar kavaklarning p – sohani bosib o'tish vaqti ularning yashash vaqtidan kichik bo'lsa, o'ng yondagi n - p o'tishga yetib keladigan kavaklar soni yetarlicha ko'p bo'ladi. Chunki juda oz qismi p -sohadagi elektronlar bilan rekombinatsiyalashib ulguradi. (Kavaklarning uchib o'tish vaqtini qisqartirish uchun p -sohaning qalinligi etarlicha yupqa qilib yasaladi). Shunga ko'ra foydali tokning kattaligi, asosan, chap yondagi n - p o'tishda hosil bo'ladigan kavak tokining kattaligi bilan belgilanadi.

Shuni aytish kerakki, tranzistorning n - p o'tishlarida kavak toki bilan bir qatorda elektron toklari ham mavjud bo'ladi. Chap yondagi n - p o'tishning elektron toki chap va o'rtta sohalar orqali o'tib, E_1 manba orqali o'z yo'lini yopadi. U o'ng yondagi n - p o'tish orqali o'tmagani uchun hech qanday foyda keltirmaydi. Uning yondagi kuchlanish teskari ulangan (yopiq) n - p o'tishning elektron toki esa katta ta'sirga ega. Uni *tranzistorning teskari toki* deb ataladi.

To'g'ri o'tish asosida ishlovchi chap tomondagi n - p o'tish *emitter o'tishi* deb, n - qatlam esa *emitter* deb ataladi. Teskari ulanadigan o'ng tomondagi n - p o'tish *kollektor o'tishi* deb, n - qatlami esa - *kollektor* deb ataladi.

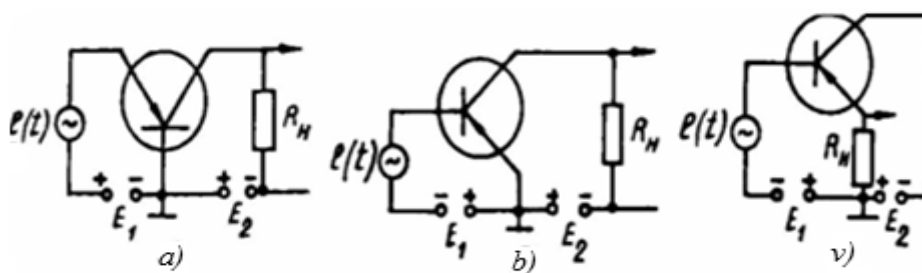
O'rtadagi p -qatlam *baza* yoki *asos* deb ataladi. Bu qatlamlardan metall kontakt orqali chiqarilgan tutashtirish uchlari-elektrodlar mos nomlar - emitter, kollektor va baza deb yuritiladi. Tranzistorni sxemada belgilashda (4.1-rasm) emitter elektrodlarga ko'rsatkich mil (strelka) qo'yiladi. Uning yo'nalishi asosiy tok tashuvchilar yo'nalishini ko'rsatib turadi.

p - n - p turdagi tranzistorlarning ishlash prinsipi n - p - n turdagi tranzistorlarnikidan farq qilmaydi. Bunda faqat E_1 va E_2 manbalarining

ulanish qutbini teskarisiga o'zgartiriladi. Asosiy tok tashuvchilar kavaklar emas, balki elektronlar bo'ladi.

4.2. Bipolyar tranzistorlarning sxemaga ulanishi

Tranzistorlar radiosxemada ishlatilganda uning elektrodlaridan biri hamma vaqt zanjirning kirishi va chiqishi uchun umumiy bo'lgan simga - erga ulangan bo'ladi. Shunga ko'ra bipolyar tranzistorlarning uch xil ulanish sxemasi mavjud (4.3-rasm).



4.3-rasm. Tranzistorning sxemaga ulanish turlari: *a* – UB sxema, *b* – UE sxema, *v* – UK sxema

4.3-rasmda:

1. Umumiy bazali sxema – UB;
2. Umumiy emitterli sxema – UE;
3. Umumiy kollektorli sxema – UK.

Bular ichida UB sxema tranzistorlarning xususiyatlarini tekshirishda eng qulayi hisoblanadi. Shuning uchun tranzistorlarning fizik kattaliklari shu sxema asosida tekshiriladi va u qolgan ikki ulanish sxemasiga tatbiq etiladi. 4.3-rasmda keltirilgan sxema UB sxemadir. Undagi emitter o'tishining kavak tokini I_{ep} va elektron tokini I_{ep} deb belg'ilasak, emitter toki uchun quyidagi ifoda o'rinli bo'ladi:

$$I_e = I_{ep} + I_{ep}. \quad (4.1)$$

Bu tok butun emitter o'tish davomida doimiy bo'ladi. Uning I_{ep} tashkil etuvchisi bazadan emitterga elektronlarning o'tishidan hosil bo'ladi. U emitter o'tishidan biror masofaga uzoqlashgach (4÷5 diffuzion uzunlikda) emitterdagi kavaklar bilan to'la rekombinatsiyalanadi va nolgacha kamayadi. Natijada kavak toki I_{ep} ortadi.

Xuddi shunga o'xshash kollektor o'tishi toki I_k ham ikki tashkil etuvchiga ega bo'ladi: I_{kr} - kavak toki va I_{kp} - elektron toki. I_{kr} ning kattaligi emitterdan bazaga o'tib kollektor o'tishga etib keladigan kavaklar miqdori bilan, I_{kp} esa, kollektordan bazaga o'tadigan elektronlar soni bilan xarakterlanadi.

Emitter o'tishining kuchlanishi o'zgarsa, emitter toki o'zgaradi. Buning

natijasida kollektor tokining I_{kr} tashkil etuvchisi o'zgarib, I_{kp} tashkil etuvchi o'zgarishsiz qoladi. I_{kp} ning o'zgarishi kollektorning hajmiy qarshnligi o'zgarishiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun kollektor tokining I_{kr} tashkil etuvchisi boshqariluvchi foydali tok, I_{kp} - boshqarilmaydigan zararli tok deb qaraladi va hamma vaqt $I_{kp} \ll I_{kr}$ bo'ladi. Umuman olganda, natijaviy kollektor toki kollektor o'tishi uzunligi bo'yicha doimiy tok quyidagicha hisoblanadi:

$$I_k = I_{kr} + I_{kp} . \quad (4.2)$$

Agar 4.3-rasmda keltirilgan sxemaning emitter o'tishi uzilsa (E_1 manba uzilsa), kollektor o'tishidan I_{kt} ga teng teskari tok o'tadi. Uning qiymati kollektorning I_{kp} elektron tokidan katta bo'ladi. Chunki bunda I_{kp} ga bazadan kollektorga o'tib turuvchi (muvozanatdagi) kavaklar toki I_{br} ham qo'shiladi.

I_{kt} boshqarilmaydigan kollektor toki yoki harorat toki deb ataladi. Uni kollektorning *sokinlik toki* deb ham ataladi. Bu tokning kattaligi kollektor kuchlanishining etarlicha katta o'zgarishlarida o'zgarmas qoladi. Lekin tashqi muhit haroratiga juda bog'liq bo'ladi:

$$I_{KT} = A \cdot e^{\frac{\delta}{T}} . \quad (4.3)$$

Bunda 6 koeffitsiyent yarimo'tkazgichning materialiga bog'liq bo'lib, germaniy kristalli uchun 8400 ga teng.

I_{kt} tokning ixtiyoriy haroratdagi ifodasi

$$I_{km}^t = I_{km}^{(20)} \cdot 2^{\frac{\Delta t}{10}} \quad (4.4)$$

ko'rinishda bo'ladi. Demak, germaniyli triodning sokinlik toki harorat har 10°C ga o'zgarganda ikki baravar o'zgarar ekan. Masalan, harorat 20°C dan 50°C ga ortsa, I_{kt} sokinlik toki $2^3 = 8$ marta o'sadi.

I_{kt} sokinlik tokining haroratga bunday kuchli bog'liq bo'lishi tranzistor parametrlarining keskin o'zgarishiga olib keladi. Shuning uchun tranzistorni ishlatishda buni albatta hisobga olish kerak.

Shunday qilib, umumiy holda kollektor tokining kattaligi boshqariluvchi I_{kr} va boshqarilmaydigan I_{kt} toklarning yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$I_k = I_{kr} + I_{kt} . \quad (4.5)$$

Emitter toki « $+E_1 \rightarrow \text{emitter} \rightarrow \text{baza} \rightarrow -E_1$ » zanjir bo'yicha, kollektor toki « $+E_2 \rightarrow \text{baza} \rightarrow \text{kollektor} \rightarrow -E_2$ » zanjir bo'yicha oqadi. Shunga ko'ra baza tokining kattaligi $I_b = I_e - I_k$ ko'rinishida ifodalanishi kerak.

Qulaylik uchun baza toki « $\text{emitter} \rightarrow \text{baza} \rightarrow \text{tashqi zanjir} \rightarrow \text{emitter}$ » zanjiri bo'yicha oqadi, deb qaraladi. Bu holda kollektor toki o'tadigan

zanjir o'zgaradi, ya'ni «+ $E_2 \rightarrow \text{emitter} \rightarrow \text{kollektor} \rightarrow E_2$ » bo'lib, baza zanjiridan o'tmaydi. Shunga asosan, tranzistorning tok tenglamasi qilib

$$I_e = I_k + I_b \quad (4.6)$$

tenglik olinadi.

Ifoda kollektor tokining emitter tokiga bog'liq bo'lishini ko'rsatadi. Bu bog'lanish inersial bo'ladi. Chunki emitterdan bazaga kavaklar o'tganda, baza elektrodi yaqinida elektronlar konsentratsiyasi keskin ortadi va ularning zaryadi kavaklar zaryadini kompensatsiyalaydi. Shuning uchun, kollektor zanjirdagi tok o'zgarishi uchun emitterdan bazaga o'tgan kavaklarning yetarlicha miqdori kollektor o'tishiga yetib kelishi kerak, ya'ni bazada ularning juda oz miqdori rekombinatsiyalanishi kerak. Bunday o'tishning effektivligi uzatish ko'effitsiyenti degan kattalik bilan belgilanadi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\alpha = \left| \frac{\Delta I_k}{\Delta I_e} \right| U_k = \text{const} . \quad (4.7)$$

Uning qiymati hamma vaqt birdan kichik bo'lib, eng yaxshi tranzistorlarda 0,99 gacha yetadi.

Odatda α ko'effitsiyent umumiy bazali ulanishda tranzistorning *tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti* deb ataladi va yuklama qarshiligi nolga teng bo'lgan hol uchun aniqlanadi.

Kollektor toki kollektor kuchlanishiga kam bog'liq bo'lgani uchun α ko'effitsiyent kollektor kuchlanishiga bog'liq bo'lmagan kattalik hisoblanadi. Kollektor o'tishining differensial qarshiligi yetarlicha katta miqdor bo'lgani uchun unga katta qarshilikli R_H tashqi yuklama ulanishi kerak (4.3,a-rasm). U kollektor kuchlanishining katta o'zgarishlarida ham tranzistorning ish rejimini o'zgartirmaydi. Shuning uchun kollektor tokining kichik o'zgarishi ham R_H da katta kuchlanish o'zgarishini hosil qiladi. Haqiqatan ham, kirish kuchlanishining o'zgarishini emitter toki orqali $\Delta U_1 = R_{kip} \cdot \Delta I_E$ ko'rinishida ifodalansa, chiqish kuchlanishining o'zgarishi bo'lib, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti

$$K = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{R_H \cdot \Delta U_k}{R_{kip} \Delta I_e} = \alpha \cdot \frac{R_H}{R_{kip}} \quad (4.8)$$

bo'ladi. Bunda $R_H \gg R_{kip}$ bo'lgani uchun $K > 1$.

Shunday qilib, umumiy bazali sxemada tranzistor kuchlanish (quvvat) bo'yicha kuchaytirish xususiyatiga ega bo'lib, tokni kuchaytirmas ekan. Chunki uning chiqish qarshiligi kirish qarshiligidan yetarlicha katta bo'ladi.

Umumiy emitterli va umumiy kollektorli sxemalarning xususiyatlarini aniqlaylik. Umumiy emitterli sxemaning tok bo'yicha uzatish koeffitsiyenti

$$\beta = \left| \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} \right| U_k = const. \quad (4.9)$$

umumiy kollektorli sxemaniki esa

$$\gamma = \left| \frac{\Delta I_e}{\Delta I_b} \right| U_k = const. \quad (4.10)$$

bo'ladi.

Agar (4.7) va (4.8) ifodalarni hisobga olsak, (4.9) va (4.10) ifodalar quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad \text{va} \quad \gamma = \frac{1}{1-\alpha} \quad (4.11)$$

va hamma vaqt birdan katta qiymatga ega bo'ladi. Bu UE va UK sxemalarning tokni kuchaytirish xususiyatiga ega ekanini ko'rsatadi. Umumiy emitterli sxemaning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti

$$K_U = \frac{\Delta U_k}{\Delta U_b} = \beta \frac{R_n}{R_{kip}}, \quad (4.12)$$

umumiy kollektorli sxema uchun esa

$$K_U = \frac{\Delta U_e}{\Delta U_b} = \gamma \frac{R_n}{R_{kip}} \quad (4.13)$$

bo'ladi.

UE sxemaning kirish qarshiligi chiqish qarshiligidan kichik ($R_{kip} < R_{chiq}$), ammo UB sxemaning kirish qarshiligidan kattaroq bo'ladi. Shuning uchun UE sxema kuchlanishni kuchaytirish xususiyatiga ega. UK sxemada esa kirish qarshiligi chiqish qarshiligidan katta. R_n qarshilik chiqish qarshiligi tartibida bo'lgani uchun u kuchlanish bo'yicha ko'paytirish xususiyatiga ega emas. Shunday qilib, UE sxema ham tok, ham kuchlanish bo'yicha kuchaytirish xususiyatiga ega. Shuning uchun bu sxemada quvvat bo'yicha eng katta kuchaytirishga erishiladi.

4.3. Bipolyar tranzistorlarning statik xarakteristikalar

Tranzistorlar uchun to'rt xil — kirish, chiqish, to'g'ri va teskari o'tish (bog'lanish) xarakteristikalar tizimi mavjud. Kirish xarakteristikalar tizimi tranzistorning kirish tokining kirish kuchlanishiga bog'lanishini, chiqish

xarakteristikalar tizimi chiqish tokining chiqish kuchlanishiga bog'lanishini ifodalaydi. To'g'ri o'tish xarakteristikalar tizimi chiqish tokining kirish kuchlanishi bilan bog'lanishiga asoslanib, tranzistorning kuchaytirish xususiyatlarini ifodalaydi. Teskari o'tish xarakteristikalar tizimi esa, kirish kuchlanishiga chiqish kuchlanishning ta'sirini, ya'ni tranzistordagi ichki teskari bog'lanishni ifodalaydi va tranzistor ishining nostabilligini xarakterlaydi.

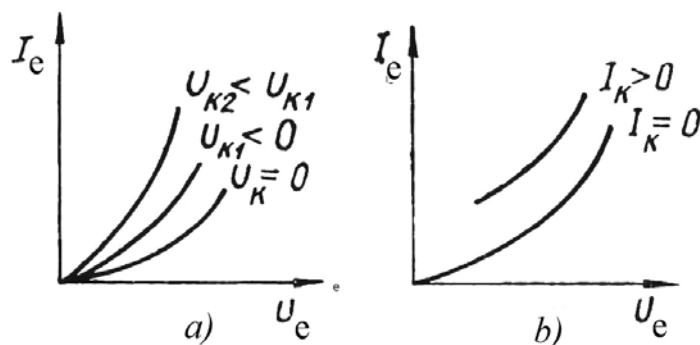
Tranzistorli sxemalarni o'rganishda kirish va chiqish xarakteristikalar tizimi katta ahamiyatga ega. Shuning uchun bu xarakteristikalarni tranzistorning UB va UE ulanish sxemalari uchun aniqlaymiz.

Tranzistorning UB sxema uchun kirish xarakteristikasi deganda kollektor kuchlanishi yoki toki o'zgarmas bo'lgandagi emitter tokining emitter kuchlanishiga bog'liqligi tushuniladi, ya'ni:

$$I_E = f_1(U_E) / U_K I_K = \text{const}. \quad (4.14)$$

Bunda U_K va U_E kuchlanishlarning qiymati umumiy sim-bazaga nisbatan aniqlanadi. Shuning uchun «b» indeks tushurib qoldirilgan, ya'ni U_{eb} , U_{kb} o'rniga oddiy U_e va U_k deb yozilgan.

(4.14) ifodaning grafigi 4.4,a-rasmda ko'rsatilgan. $U_K=0$ bo'lgandagi grafik yarimo'tkazgichli diodning to'g'ri ulanish xarakteristikasining o'zidir. Kollektordagi manfiy kuchlanishning ortishi bilan xarakteristika emitter tokining katta qiymatlari sohasiga siljiydi. Sababi kollektor kuchlanishi ortishi bilan kollektor o'tishi kengayib, baza qatlami torayadi. Bu bazadagi diffuzion tokning, ya'ni emitter va kollektor toklarining ortishiga olib keladi; bazadagi rekombinatsiya toki va baza qarshiligidagi potensial tushuvi kamayadi; tashqi manba kuchlanishini o'zgarmas desak, emitter o'tishidagi kuchlanish ortib emitter tokining ko'payishiga sabab bo'ladi.



4.4-rasm. Tranzistorning UB sxema uchun kirish xarakteristikasi:

a — kollektor kuchlanishi o'zgarmas bo'lganda; b — kollektor toki o'zgarmas bo'lganda

Tranzistorning kollektor zanjiri uzun ($I_K=0$) bo'lgan holda olingan kirish xarakteristikalar 4.4,b-rasmda ko'rsatilgan. U ham yarimo'tkazgichli diodning to'g'ri ulanishi uchun volt-amper xarakteristikalaridan iborat

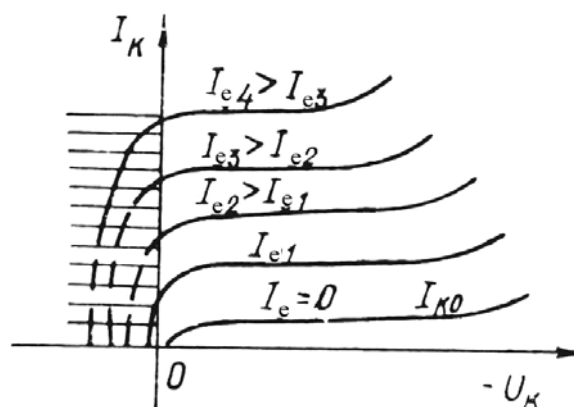
bo‘ladi. Kollektor kuchlanishi ortishi bilan, u emitter tokining katta qiymatlari tomon suriladi.

Tranzistorning UB sxema uchun chiqish xarakteristikasi deganda, emitter kuchlanishi yoki toki o‘zgarmas bo‘lgandagi kollektor tokining kollektor kuchlanishiga bog‘liqligi tushuniladi.

$$I_k = f_2(U_e) / U_e, I_e = \text{const}. \quad (4.17)$$

4.5-rasmda $I_E = \text{const}$ uchun aniqlangan chiqish xarakteristikalar tizimi ko‘rsatilgan. U kollektor tokining kollektor kuchlanishiga juda sust bog‘langanligini ko‘rsatadi. Bu kollektor o‘tishining differensial qarshiligi yetarlicha katta ekanini ifodalaydi.

Xarakteristikalarining boshlanish nuqtasi kollektor kuchlanishining musbat qiymatlariga to‘g‘ri keladi. Shuning uchun, $I_E > 0$ bo‘lgandagi $I_k = 0$ nuqtani aniqlash uchun emitter kuchlanishi ta‘sirini yo‘qotadigan miqdorda musbat kollektor kuchlanishi zarur bo‘ladi. Emitter zanjiri uzoq bo‘lsa ($I_E = 0$), kollektor toki sokinlik toki I_{kt} qiymatigacha kamayadi.



4.5- rasm. Tranzistorning UB sxema uchun $I_E = \text{const}$ holdagi chiqish xarakteristikasi

Ma‘lumki, sokinlik tokining kattaligi baza va kollektor qatlamlaridagi asosiy bo‘lmagan tok tashuvchilarning miqdoriga va tashqi muhit haroratiga kuchli bog‘liq. Shuning uchun, harorat ortishi bilan I_{kt} tez o‘sa boshlaydi va statik xarakteristikalar yuqoriga ko‘tariladi. Bu tranzistor ishining mo‘tadilligi kamayishiga sabab bo‘ladi.

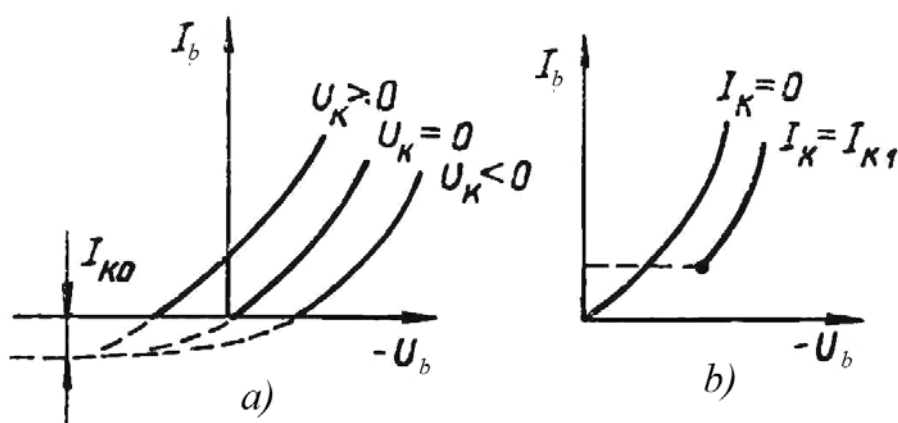
Kollektor kuchlanishining manfiy qiymati juda ortib ketsa, kollektor o‘tishida buzilish vujudga keladi va tok tez o‘saboshlaydi. Ko‘pincha tranzistorda bir vaqtda ham issiqlik ham elektr buzilishi vujudga keladi.

Tranzistorning umumiy emitterli sxema uchun kirish xarakteristikasi deganda, kollektor kuchlanishi yoki toki o‘zgarmas bo‘lgandagi baza tokining baza kuchlanishiga bog‘liqligi tushuniladi, ya‘ni:

$$I_b = I_z(U_b) / U_k, I_k = \text{const}. \quad (4.18)$$

Bu bog‘lanish grafigi 4.6-rasmda ko‘rsatilgan. U emitter — baza

o'tishining to'g'ri ulanish hollari uchun volt-ampere xarakteristikasidir. Shuning uchun ular tranzistorning UB sxema uchun olingan kirish xarakteristikalariga mos keladi. Lekin, ulardan farqli ($U_k = \text{const}$ bo'lgan hol uchun olingan xarakteristikalar kollektordagi manfiy kuchlanish ortishi bilan chapga emas, balki o'ngga surila boshlaydi. Chunki, bunda kollektor kuchlanishi kamayishi bilan baza toki ham kamayadi. Ikkinchi tomondan, $|U_k| = |U_b|$ bo'lganida, baza zanjiri bo'ylab kollektor o'tishining ochiq holatiga mos tok o'tadi. Shuning uchun baza toki ortadi, ya'ni $U_k = 0$ qiymatga to'g'ri keladigan xarakteristika kollektor kuchlanishining katta qiymatlarida olingan xarakteristikaga nisbatan o'ngda emas, balki chapda yotadi. 4.5,a-rasmdan yana shu narsa ko'rinadiki, $U_b = 0$ bo'lganda kollektorda o'zgarmas manfiy kuchlanish bo'lgani uchun, baza zanjiridan kattaligi deyarli I_{kt} sokinlik tokiga teng bo'lgan manfiy tok o'tadi.



4.6-rasm. Tranzistorning UE sxema uchun kirish xarakteristikasi: a - $U_k = \text{const}$ holda; b - $I_k = \text{const}$ holda

Kollektor toki o'zgarmas bo'lgan holda olingan xarakteristikalar (4.6,b-rasm) $U_k = \text{const}$ holdagi xarakteristikalardan farq qilmaydi. Kollektor toki ortishi bilan ular kichik baza toklari sohasiga (o'ngga) suriladi, chunki bunda kollektor kuchlanishi ortishi kerak. Ularning boshlanish nuqtasi $I_{el} = I_{kl} + I_{bl}$ shart bajariladigan nuqtaga mos keladi.

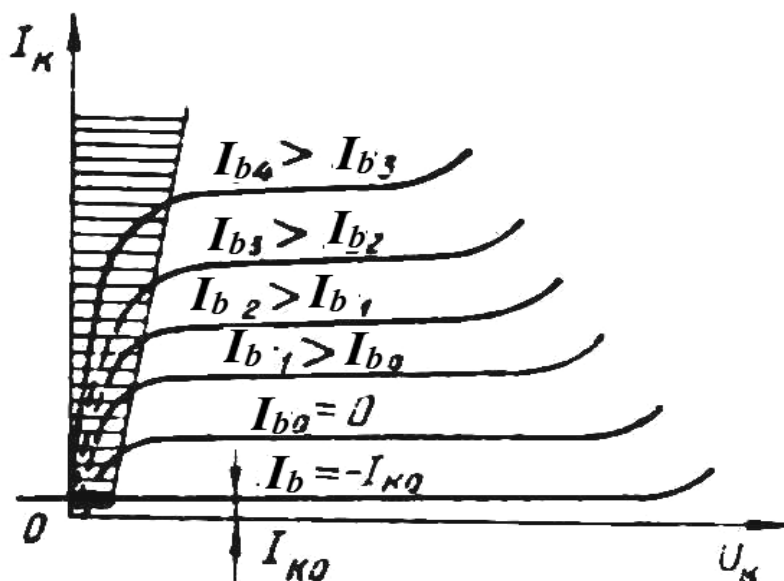
Tranzistorning UE sxema uchun chiqish xarakteristikasi deganda, baza kuchlanishi yoki toki o'zgarmas bo'lgandagi kollektor tokining kollektor kuchlanishiga bog'liqligi tushuniladi, ya'ni

$$I_k = I_4(U_k) / U_b, I_b = \text{const}. \quad (4.19)$$

Amaliy jihatdan $I_b = \text{const}$ bo'lgan holda aniqlangan xarakteristikalar Tizimi katta ahamiyatga ega. Ular 4.7-rasmda ko'rsatilgan.

Bundan shu narsa ko'rinadiki, kollektor kuchlanishining boshlang'ich kichik qiymatlarida kollektor toki keskin o'sadi, uning katta qiymatlarida esa bu o'sish juda susayib qoladi (to'g'ri chiziqli qism). Bu quyidagicha

tushuntiriladi: $U_k=0$ qiymatlarda bo'lganda emitterda to'g'ri ulanish kuchlanishi bo'lgani uchun kollektor o'tishining qarshiligi juda kichik bo'ladi.



4.7-rasm. Tranzistorning UE sxema uchun $I_b=\text{const}$ bo'lgandagi chiqish xarakteristikalari tizimi

Shuning uchun, bu sohada kavaklarning konsentratsiyasi juda katta bo'lib, ularning rekombinatsiyalanishi yetarlicha katta miqdorli tokni hosil qiladi (shtrixlangan soha). Manfiy kollektor kuchlanishi ortishi bilan kollektor o'tishi kengayadi va baza qatlami torayadi. Natijada baza toki kamayishi kerak. Lekin, uning qiymati emitter kuchlanishi yordamida o'zgarmas qilib olingani uchun emitter va kollektor toklari ortadi. Bunda kollektor tokining o'sishi juda sust bo'ladi, ammo u UB sxemadagidan tezroq o'sadi.

Baza toki nolga teng bo'lganda, kollektordan o'tadigan tok I_{kt} sokinlik tokidan yetarlicha katta bo'ladi. Kollektor kuchlanishi ortishi bilan emitter o'tishining potensial to'sig'i qisman kichraygani uchun, bu tok ham ortib boradi. Baza toki ortishi bilan kollektor toki ham o'sa boshlaydi va xarakteristika katta kollektor toki sohasiga suriladi hamda uning og'maligi ortadi. Bu baza toki yordamida kollektor tokini boshqarish mumkinligini ko'rsatadi.

Tranzistor ishlatilganda, xarakteristikaning biror qismi ishchi soha qilib olinadi. Shu maqsadda xarakteristika turli sohalarga ajratiladi. Masalan, chiqish xarakteristikasining boshlang'ich qismi *to'yinish sohasi* deb ataladi. UB sxemada u kollektor kuchlanishining kichik musbat qiymatlariga, UE sxemada esa kollektor kuchlanishining boshlang'ich manfiy qiymatlariga to'g'ri keladi. (Bu kuchlanish germaniyli tranzistorlarda 0,2 voltgacha, kremniyli tranzistorlarda 1 voltgacha boradi.) Bu sohaning

asosiy xususiyati shundaki, unda emitter va kollektor o'tishining kuchlanishlari to'g'ri ulanish holida bo'ladi hamda kollektor o'tishining o'zgarmas va o'zgaruvchan tokka bo'lgan qarshiligi juda kichik (bir necha 10Om gacha) bo'ladi.

Tranzistorlar xarakteristikaning to'yinish sohasida elektron kalit sifati ishlatiladi va kalitning ulangan holiga to'g'ri keladi. Xarakteristikaning kollektor kuchlanishi o'qiga deyarli parallel bo'lgan to'g'ri chiziqli qismi *aktiv soha* deb ataladi. Bu sohada emitter o'tishi kuchlanishi to'g'ri ulanishda bo'lsa, kollektor o'tishidagi kuchlanish teskari ulanishda bo'ladi. Shuning uchun, kollektor o'tishning differensial qarshiligi yetarlicha katta (bir necha o'n kiloOm dan bir necha megaOm gacha) bo'ladi. Aktiv soha tranzistorning kuchaytirish sohasi hisoblanadi. Xarakteristikaning $I_e=0$ va $I_b=0$ qiymatlaridan quyi sohasi *kesishish sohasi* deb ataladi.

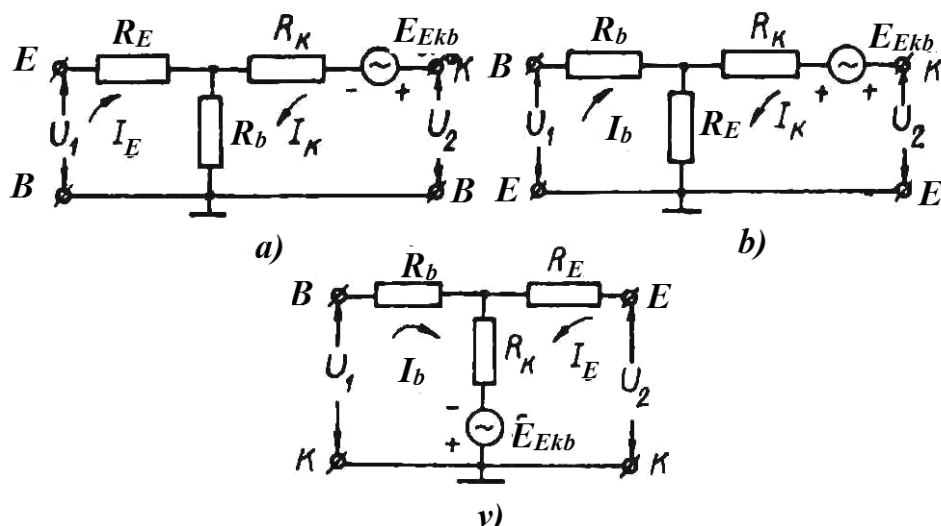
Kollektor kuchlanishining yetarlicha katta qiymatlariga to'g'ri kelgan soha *buzilish sohasi* bo'ladi. Bu sohada (aktiv sohadan keyin) xarakteristika yana tez o'sa boshlaydi. Tranzistor UE sxema bo'yicha ulanganda kollektor kuchlanishi o'zining buzilish hosil qiladigan qiymatiga yetmasdan kollektor toki tez ortib ketishi mumkin. Bunda xarakteristikada manfiy qarshilikli soha vujudga keladi. Xarakteristikaning bu sohasi *ko'chki soha* deb ataladi. Tranzistorning bu sohaga to'g'ri keluvchi ish rejimi *ko'chki rejimi* deyiladi. Ana shu sohasi asosiy qilib olingan maxsus tranzistorlar *ko'chki sohali* yoki *ko'chki tranzistorlar* deb ataladi.

Tranzistorlarning xarakteristikalari haroratga juda bog'liq bo'ladi. Harorat ortishi bilan xarakteristikalar kuchli deformatsiyalanadi, ya'ni chapga surilish bilan birga tokning katta qiymatlari tomon ko'tarilib boradi.

4.4. Bipolyar tranzistorlarning ekvivalent sxema va parametrlari

Radioelektron qurilmalarning ishi ularning ekvivalent sxemalari yordamida tekshiriladi. Lekin, surilmaning ekvivalent sxemasini tuzish uchun, unda qatnashuvchi tranzistorning ekvivalent sxemasini bilish kerak. Tranzistor ekvivalent sxemasining qanday bo'lishi uning ish rejimiga bog'liq bo'lib, uning xarakteristikasining ishchi sohasi bilan belgilanadi. Shunga ko'ra tranzistorning ekvivalent sxemalari xilma-xildir.

Amaliy jihatdan tranzistorning kuchaytirish rejimi katta ahamiyatga ega. Bu rejim uchun past chastotalar sohasida T-simon ekvivalent sxema keng tarqalgan. 4.8-rasmda tranzistorning uch xil ulanishi uchun T-simon ekvivalent sxemalar ko'rsatilgan.



4.8-rasm. Tranzistorning T-simon ekvivalent sxemalari: a - B sxema; b - UE sxema; v-UK sxema

Undagi R_e - emitter-baza o'tishida hosil bo'ladigan diodning to'g'ri o'tish qarshiligi, R_k - kollektor-baza o'tishida hosil bo'ladigan diodning teskari o'tish qarshiligi, R_b esa baza qatlami kristallining qarshiligidir. Bu qarshiliklar differensial, ya'ni tranzistorning o'zgaruvchan tokka bo'lgan qarshiligidir.

E_{ekv} - ekvivalent generatorning elektr yurituvchi kuchi bo'lib, u emitter tokining kollektor zanjiriga bo'lgan ta'sirini ifodalaydi. Shuning uchun, bu generator hosil qiladigan tok emitter toki yo'nalishida bo'ladi (E_{ekv} ning qutblanishi shunga mos tanlanadi). Kollektor toki emitter toki bilan αI_e ko'rinishda bog'langanini va kollektorning qarshiligi R_k ekanini hisobga olsak, ekvivalent generatorning EYUK quyidagicha ifodalanadi:

$$E_{ekv} = \alpha I_e R_k = I_e R_m.$$

Bunda $R_m = \alpha R_k$ - ekvivalent generatorning ichki qarshiligi bo'ladi. Lekin, u tashqi zanjirga ulangan bo'lgani uchun, generatorning ichki qarshiligi nolga teng deb hisoblanadi.

4.9-rasmda tasvirlangan ekvivalent sxemalar uchun Kirxgof tenglamalarini yozaylik.

UB sxema uchun:

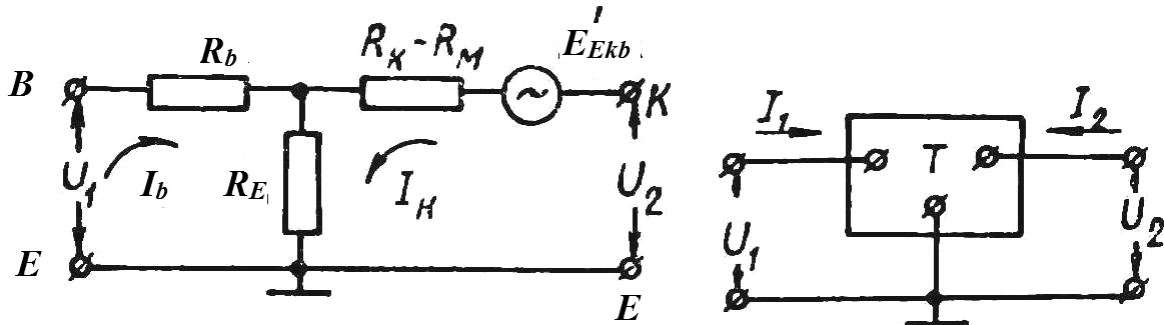
$$\left. \begin{aligned} U_1 &= (R_e + R_b)I_e + R_b I_k \\ U_2 &= (R_b + R_m)I_e + (R_b + R_m)I_k \end{aligned} \right\}. \quad (4.20)$$

UE sxema uchun:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= (R_b + R_e)I_b + R_e I_k \\ U_2 &= R_e I_b + (R_e + R_k)I_k - R_m I_e \end{aligned} \right\}. \quad (4.21)$$

(4.21) tizimning ikkinchi tenglamasidagi I_e tokni (4.9) tenglik orqali ifodalasak, u quyidagi ko‘rinishga keladi:

Natijada tranzistorning UE sxemasi 4.8-rasmda tasvirlangan ekvivalent sxema ko‘rinishiga o‘tadi.



4.9-rasm. Tranzistorning UE 4.10- rasm. To‘rt qutbli tizim ulanish uchun ekvivalent sxemasi

Undagi $R_k - R_m$ qarshilik kollektor zanjiridagi R_m qarshilikni almashtirsa, ekvivalent generator $(E_{ekv})E'_{ekv} = R_m \cdot I_b$ bilan almashtiriladi.

UK sxema uchun

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= (R_b + R_k)I_b + (R_k - R_m)I_e \\ U_2 &= R_k I_b + (R_k - R_m + R_e)I_e \end{aligned} \right\}. \quad (4.22)$$

Uchala ulanish sxemasida triod ikkita kirish va ikkita chiqish klemmalariga ega. Ularni umumlashtirib to‘rt qutbli tizim (4.10-rasm) deb qarash mumkin. Unda manbalar ham qatnashgani uchun u aktiv to‘rt qutbli tizim bo‘ladi.

To‘rt qutbli tizim nazariyasi chiziqli zanjirlar uchun o‘rinlidir. Ammo yarimo‘tkazgichli triod chiziqli bo‘lmagan element bo‘lib, ta’sir qiluvchi signal amplitudasi ortishi bilan uning chiziqli emaslik xususiyati ortib boradi. Shuning uchun ko‘rayotgan holimizda tranzistorni chiziqli element deb qarash uchun ta’sir etuvchi signal amplitudasini yetarlicha kichik deb hisoblaymiz, ya’ni tranzistorning ishchi sohasi qilib voltamper xarakteristikasining faqat to‘g‘ri chiziqli qismi olingan deb faraz qilamiz.

To‘rt qutbli tizimlarni o‘rganishda asos qilib, uning kirish va chiqish kattaliklari orasidagi bog‘lanishni ifodalovchi tenglamalar tizimi olinadi. Ular turlicha bo‘lishi mumkin. Masalan, erkin o‘zgaruvchanlar qilib tok kuchlari olingan holda, u quyidagi bog‘lanish orqali ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= f_1(I_1, I_2) \\ U_2 &= f_2(I_1, I_2) \end{aligned} \right\} \quad (4.23)$$

Bundan kirish va chiqish kuchlanishlarining to‘liq differensialini aniqlaylik:

$$\left. \begin{aligned} dU_1 &= \frac{\partial U_1}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial U_1}{\partial I_2} dI_2 \\ dU_2 &= \frac{\partial U_2}{\partial I_1} dI_1 + \frac{\partial U_2}{\partial I_2} dI_2 \end{aligned} \right\}. \quad (4.24)$$

Bunga quyidagi belgilash kiritamiz:

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_{11} &= \frac{\partial U_1}{\partial I_1} = \frac{dU_1}{dI_1} / I_2 = \text{const} & \dot{Z}_{21} &= \frac{\partial U_2}{\partial I_1} = \frac{dU_2}{dI_1} |_{I_2 = \text{const}} \\ \dot{Z}_{12} &= \frac{\partial U_1}{\partial I_2} = \frac{dU_1}{dI_2} / I_1 = \text{const} & \dot{Z}_{22} &= \frac{\partial U_2}{\partial I_2} = \frac{dU_2}{dI_2} |_{I_1 = \text{const}} \end{aligned} \right\}. \quad (4.25)$$

Unda (4.24) ifoda quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$\left. \begin{aligned} dU_1 &= \dot{Z}_{11} dI_1 + \dot{Z}_{12} dI_2 \\ dU_2 &= \dot{Z}_{21} dI_1 + \dot{Z}_{22} dI_2 \end{aligned} \right\}. \quad (4.26)$$

$\dot{Z}_{11}, \dot{Z}_{12}, \dot{Z}_{21}$, va $\dot{Z}_{22}$ tranzistorning $\dot{Z}$ - *parametrlari* deb ataladi va qarshilik o‘lchamiga ega bo‘ladi. Umuman olganda, ular kompleks kattaliklardir, ya’ni $\dot{Z} = R + jX$. Lekin, to‘rt qutbliga ta’sir etadigan tebranishning chastotasi kichik bo‘lsa, X reaktiv qismning ta’sirini hisobga olmaslik mumkin. Bunda tranzistorning R - *parametrlari* hosil bo‘ladi.

R - parametrlar to‘rt qutblining kirish yoki chiqish zanjiri uzoq bo‘lgan hol uchun aniqlanadi. U holda kuchlanish yoki tokning to‘liq differensiallarini ularning amplituda qiymatlari orqali almashtirish mumkin.

$$R_{11} = \frac{\dot{U}_{m1}}{\dot{I}_{m1}} \bigg|_{\dot{I}_{m2} = 0};$$

to‘rt qutblining chiqish zanjiri uzoq bo‘lgandagi *kirish qarshiligi* deyiladi;

$$R_{12} = \frac{\dot{U}_{m1}}{\dot{I}_{m2}} \bigg|_{\dot{I}_{m1} = 0};$$

to‘rt qutblining kirish zanjiri uzoq bo‘lgandagi *teskari o‘tish* yoki *teskari bog‘lanish qarshiligi* deyiladi. U chiqish energiyasining qayta kirishga uzatilish jarayonini ifodalaydi;

$$R_{21} = \frac{\dot{U}_{m2}}{\dot{I}_{m1}} \bigg|_{\dot{I}_{m2} = 0};$$

to‘rt qutblining chiqish zanjiri uzoq bo‘lgandagi *to‘g‘ri o‘tish qarshiligi* deyiladi. U tranzistorning kuchaytirish xususiyatini ifodalaydi:

$$R_{22} = \left. \frac{\dot{U}_{m2}}{\dot{I}_{m2}} \right|_{\dot{I}_{m1}=0};$$

to'rt qutblining kirish zanjiri uzoq bo'lgandagi *chiqish qarshiligi* deb ataladi.

Shunga ko'ra to'rt qutblining kichik chastotalar sohasidagi tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} U_{m1} &= R_{11}\dot{I}_{m1} + R_{12}\dot{I}_{m2} \\ U_{m2} &= R_{21}\dot{I}_{m1} + R_{22}\dot{I}_{m2} \end{aligned} \right\}. \quad (4.27)$$

4.1-jadval

Parametr	UB sxema	UE sxema	UK sxema
R_{11}	$R_e + R_b$	$R_b + R_e$	$R_b + R_k$
R_{12}	R_b	R_e	$R_k - R_m$
R_{21}	$R_m + R_b$	$R_e - R_m$	R_k
R_{22}	$R_k + R_b$	$R_e + R_k - R_m$	$R_e + R_k - R_m$

Agar (4.27) tizimni (4.20)-(4.22) tenglamalar bilan solishtirsak, tranzistorning uch xil ulanishi uchun R-parametrlarining ifodasi hosil bo'ladi. U 4.1-jadvalda ko'rsatilgan.

Bunda to'rt qutbli tizim aktiv bo'lgani uchun $R_{12} \neq R_{21}$. Shuni aytish kerakki, erkin o'zgaruvchanlar sifatida kuchlanish kattaligi olinsa, to'rt qutblining tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{m1} &= \dot{Y}_{11}\dot{U}_{m1} + \dot{Y}_{12}\dot{U}_{m2} \\ \dot{I}_{m2} &= \dot{Y}_{21}\dot{U}_{m1} + \dot{Y}_{22}\dot{U}_{m2} \end{aligned} \right\}. \quad (4.28)$$

Unda $\dot{Y}_{11}$, $\dot{Y}_{12}$, $\dot{Y}_{21}$ va $\dot{Y}_{22}$ tranzistorning *U parametrlari* deb ataladi va o'tkazuvchanlik o'lchamiga ega bo'ladi. Ularni aniqlashda to'rt qutblining kirish yoki chiqish zanjiri qisqa tutashuv holiga keltiriladi.

Bu parametrlardan tashqari tranzistorning *H - parametrlari* ham mavjud. Ular aralash parametrlar bo'lib, erkin o'zgaruvchi sifatida to'rt qutblining kirish toki va chiqish kuchlanishi olinadi. Shuning uchun tizimning tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{m1} &= \dot{H}_{11}\dot{I}_{m1} + \dot{H}_{12}\dot{U}_{m2} \\ \dot{I}_{m2} &= \dot{H}_{21}\dot{I}_{m1} + \dot{H}_{22}\dot{U}_{m2} \end{aligned} \right\}. \quad (4.29)$$

Ko'rib o'tilgan barcha parametrlar bir xil tranzistorni ifodalagani uchun, ular orasida o'tish formulalari mavjud. Ular 4.2-jadvalda ko'rsatilgan.

Jadvaldagi R, Y va H kattaliklar quyidagi bog'lanishga ega:

$$\left. \begin{aligned} R &= R_{11} \cdot R_{22} - R_{12} \cdot R_{21} \\ Y &= Y_{11} \cdot Y_{22} - Y_{12} \cdot Y_{21} \\ H &= H_{11} \cdot H_{22} - H_{12} \cdot H_{21} \end{aligned} \right\} \text{ yoki } \left. \begin{aligned} R &= \frac{R_{22}}{Y_{11}} = \frac{R_{11}}{Y_{22}} = \frac{H_{11}}{H_{22}} = \\ &= \frac{R_{12}}{Y_{12}} = \frac{R_{21}}{Y_{21}} = R_{22} \cdot H_{11} \\ H &= \frac{R_{11}}{R_{22}} = \frac{Y_{22}}{Y_{11}} = R_{11} \cdot \\ &= Y_{22} \cdot H_{11} \\ RY &= 1 \end{aligned} \right\}.$$

Chastota ortishi bilan tranzistorning ishlashiga emitter va kollektor o'tishlarining sig'imi va tok tashuvchilarning uchib o'tish vaqti ta'sir ko'rsata boshlaydi.

4.2-jadval

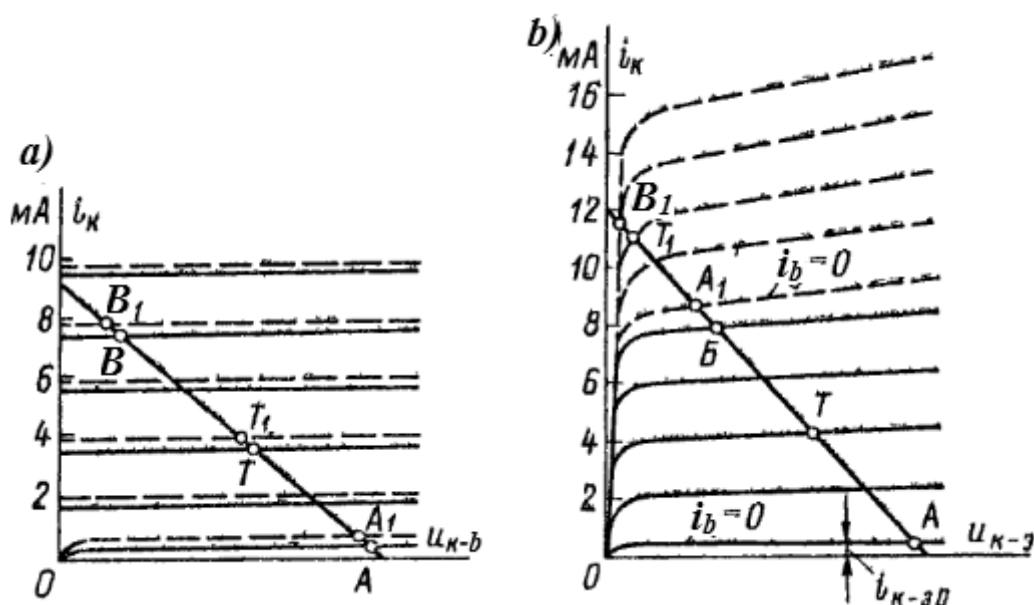
Parametr		Formulasi		O'tish formulasi	
R_{11}	$\dot{U}_{m1} / \dot{I}_{m1} \Big _{\dot{I}_{m2}=0}$	U_{22}/U	H/H_{22}	$U_{22} \cdot R$	$H \cdot R_{22}$
R_{12}	$\dot{U}_{m1} / \dot{I}_{m2} \Big _{\dot{I}_{m1}=0}$	U_{12}/U	H_{12}/H_{22}	$U_{12} \cdot R$	$H_{12} \cdot R$
R_{21}	$\dot{U}_{m2} / \dot{I}_{m1} \Big _{\dot{I}_{m2}=0}$	U_{21}/U	H_{21}/H_{22}	$U_{22} \cdot R$	$H_{21} \cdot R_{22}$
R_{22}	$\dot{U}_{m2} / \dot{I}_{m2} \Big _{\dot{I}_{m1}=0}$	U_{11}/U	I/H_{22}	$U_{11} \cdot R$	$R_{11} \cdot H$
U_{11}	$\dot{I}_{m1} / \dot{U}_{m1} \Big _{\dot{U}_{m2}=0}$	I/H_{11}	$R_{22} \cdot R$	U_{22}/N	$R_{22} \cdot U$
U_{12}	$\dot{I}_{m1} / \dot{U}_{m2} \Big _{\dot{U}_{m1}=0}$	H_{12}/H_{11}	R_{12}/R	H_{12}/U_{11}	$R_{12} \cdot U$
U_{21}	$\dot{I}_{m2} / \dot{U}_{m1} \Big _{\dot{U}_{m2}=0}$	H_{21}/H_{11}	R_{21}/R	H_{21}/U_{11}	$R_{21} \cdot U$
U_{22}	$\dot{I}_{m2} / \dot{U}_{m2} \Big _{\dot{U}_{m1}=0}$	H/H_{11}	R_{11}/R	$H \cdot U_{11}$	$R_{11} \cdot U$
H_{11}	$\dot{U}_{m1} / \dot{I}_{m1} \Big _{\dot{U}_{m2}=0}$	R/R_{22}	I/U_{11}	$R \cdot H_{22}$	H/U_{22}
N_{12}	$\dot{U}_{m1} / \dot{U}_{m2} \Big _{\dot{I}_{m1}=0}$	R_{12}/R_{22}	U_{12}/U_{11}	$R_{12} \cdot H_{22}$	$U_{12} \cdot H_{11}$
H_{21}	$\dot{I}_{m2} / \dot{I}_{m1} \Big _{\dot{U}_{m1}=0}$	R_{21}/R_{22}	U_{21}/U_{11}	$R_{21} \cdot H_{22}$	$U_{21} \cdot H_{11}$
N_{22}	$\dot{I}_{m2} / \dot{U}_{m2} \Big _{\dot{I}_{m1}=0}$	I/R_{22}	U/U_{11}	H/R_{11}	$U \cdot H_{11}$

Shuning uchun, barcha parametrlar kompleks kattaliklarga aylanadi va ekvivalent sxemani tekshirish murakkablashadi. Chastota yetarlicha katta bo'lmaganda, kollektor o'tishining sig'imini hisobga olish bilan cheklanish mumkin. U tranzistorning *chegaraviy chastotasini* belgilaydi. Chegaraviy chastota deganda, tok bo'yicha uzatish koeffitsiyenti o'zining 1000Gs chastotadagi qiymatidan $\sqrt{2}$ marta kichrayadigan chastota qiymati

tushuniladi.

4.5. Bipolyar tranzistorning haroratli xususiyatlari

Haroratning o'zgarishi yarimo'tkazgichli asboblarning ishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Haroratning oshib borishi natijasida yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi oshib boradi. Buning natijasida yarimo'tkazgichli asboblarning p-n o'tishida o'tayotgan to'g'ri va teskari toklar ham oshadi. Toklarning o'zgarishi yarimo'tkazgichli asbob turkumiga kiruvchi tranzistorlarda ham sodir bo'ladi va ularni xarakteristikalarini o'zgarishiga olib keladi. Bu o'zgarishlarni tranzistorning UE va UB bilan ulanish uchun chizilgan chiqish xarakteristikalarida kuzatish mumkin (4.11-rasm).



4.11-rasm

4.11,a,b-rasmlarda $t = 20^{\circ}\text{C}$ va $t = 70^{\circ}\text{C}$ haroratlar uchun chiqish xarakteristikalari ko'rsatilgan.

Punktir chiziq bilan $t = 70^{\circ}\text{C}$ harorat uchun qurilgan xarakteristikalardan ko'rinib turibdiki, haroratning oshishi tranzistorning ish ko'rsatkichini o'zgarishiga olib keladi, bu esa, o'z navbatida, tranzistorning ish rejimiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Xarakteristikalardan ko'rinib turibdiki, UB bilan ulanish UE bilan ulanishga nisbatan haroratning o'zgarishlariga bardoshlidir va bu umumiy baza bilan ulanishning afzalliklaridan biri sanaladi.

Haroratning oshib borishi natijasida tranzistorlarning kuchaytirish xususiyatlari yomonlashadi kuchaytirish katta nochiziqli buzilishlar bilan yuzaga keladi, hatto tranzistor signallarini kuchaytirish xususiyatini

yo‘qotishi ham mumkin .

Bunday holatlarni oldini olish maqsadida kuchaytirgich qurilmalarining sxemalariga haroratli stabillashtiruvchi elektr zanjirlari kiritiladi va buning natijasida tranzistorlarga ko‘rsatiluvchi haroratli ta’sirlarning oldi olinadi .

Ammo haroratli stabillashtiruvchi elektr zanjirlar ham muammolarni to‘liq hal qila olmaydi.

4.6. Bipolyar tranzistorning chastotaviy xususiyatlari

Chastotaning oshib borishi natijasida tranzistorning kuchaytirish xususiyatlari yomonlashib boradi. Bunga sabab, birinchi navbatda, nisbatan yuqori chastotalarda tranzistorlarning ish rejimida kollektor o‘tishning sig‘imi C_k ning salbiy ta’sir ko‘rsata boshlashi.

Buning natijasida kuchaytirilgan kollektor toki C_k kondensator orqali o‘tadi va yuklama orqali kuchaytirilgan tok o‘tishdan to‘xtaydi, yani tranzistor kuchaytiruvchi element sifatida ishlashdan to‘xtaydi.

Bu hodisalarni yaxshiroq tushunish uchun, tranzistorni umumiy baza (UB) bilan ulangan holati uchun chizilgan ekvivalent sxemasiga murojaat qilaylik. Past chastotalarda C_k sig‘imning qarshiligi katta yani $r_k \gg R_H$ va shu sababli $\alpha - I_{M3}$ tokning hammasi yuklama rezistori R_H orqali o‘tadi. Yuqori chastotalardan boshlab C_k sig‘imning qarshiligi kichrayib, u orqali ham generator hosil qilayotgan tokning anchagina qismi o‘ta boshlaydi, yani bunda $r_k \gg R_H$ deb qarash mumkin. Natijada yuklamadagi chiqish quvvati va chiqish kuchlanishi kamayib ketadi. Faraz qilaylik, agar chastota cheksizlikka intilsa, u holda sig‘im qarshiligi $r_k = \frac{1}{\omega C_k}$ nolga intiladi.

Buning natijasida αI_{M3} generetorning toki to‘la-to‘kis C_k sig‘im orqali o‘tadi va bu vaqtda yuklama R_H orqali tok o‘tmay qoladi.

Bunday xulosalarga biz ekvivalent sxema sifatida EYUK generatorli sxemani ko‘rib chiqqanimizda ham ishonch hosil qilishimiz mumkin. Tranzistorning emitter o‘tishining sig‘im qarshiligi ham chastota oshib borishi bilan kamayib boradi, ammo bu sig‘im tranzistorning emitter o‘tishining kichik qarshiligi R_3 bilan shunt holatda bo‘ladi. Shu sababli tranzistorning emitter o‘tishining sig‘imi C_3 tranzistorning ish rejimiga deyarli ta’sir ko‘rsatmaydi .

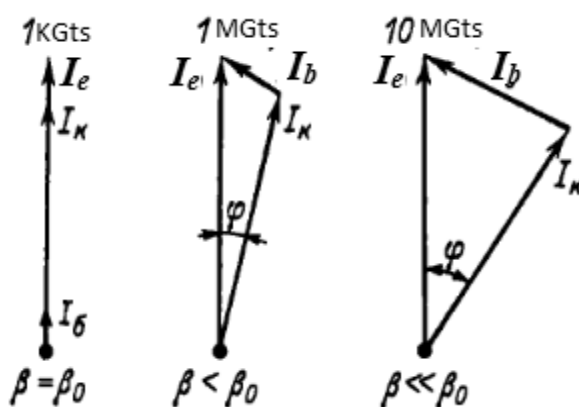
Demak, tranzistor ish rejimiga salbiy ta’sir ko‘rsatuvchi sig‘im kollektor o‘tishning sig‘imi C_k ekan, va bu sig‘im yuqori chastotalarda tranzistorning α va β kuchaytirish koefitsiyentlarni keskin kamayib

ketishiga olib kelar ekan.

Tranzistorning kuchaytirish xususiyatlarini yomonlashishiga sabab bo'luvchi ikkinchi omil - bu kollektorning o'zgaruvchan tokini emitter o'zgaruvchan tokiga nisbatan faza bo'yicha orqada qolishidir. Bu hodisa emitterdan baza orqali kollektorga o'tayotgan zaryadlarning inersiyasi bilan xarakterlanadi. Shu bilan birga, bu hodisa tranzistorning bazasida zaryadlarning to'planishi va so'rilishi uchun sarf bo'luvchi vaqt tufayli vujudga keladi.

Masalan, $n-p$ tipli tranzistor misolida ko'radigan bo'lsak elektronlar uning bazasida diffuzion harakatda bo'ladilar, shu sababli ularning tezligi katta emas.

Baza orqali o'tuvchi zaryad tashuvchilarning yugurib o'tish vaqti T_{to} aksariyat tranzistorlarda 10^{-7} s yoki 0.1 mks va undan kamroq. Bu vaqt juda kichik ko'rinsa ham, ammo yuqori va o'ta yuqori chastotalariga kuchaytirish jarayonida kuchaytiriluvchi signalning davri zaryad tashuvchilarning yugurib o'tish vaqti bilan tenglashadi yoki undan kichik bo'ladi, bu holat esa kollektor va emitter toklari orasida sezilarli faza siljishini yuzaga keltiradi. Kollektor va emitter toklarining fazoviy siljish hosil qilishi esa tranzistorning baza orqali o'tayotgan o'zgaruvchan tokni ortishiga sabab bo'ladi, va buning natijasida tranzistorning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti β ning qiymati pasayib ketadi. Yuqorida keltirilgan jarayonlarni yanada yaxshiroq tushunish uchun vektor diagrammalardan foydalanamiz (4.12-rasm).



4.12-rasm

Vektor diagrammaning birinchisida emitter, kollektor va baza toklari faza bo'yicha bir-biriga mos holatda o'zgaradi chunki bu diagramma past chastotalar uchun (1kgq) qurilgan. Bu chastotalarda β ning qiymati eng katta bo'lib, u $\beta = \beta_0$ bo'ladi.

Kuchaytiriluvchi signal chastotasining oshib borishi (1MGs) natijasida esa ikkinchi vektor diagrammada tasvirlanganidek emitter va kollektor

toklari orasida faza siljishi paydo bo'lishiga sabab bo'ladi.

Bunda emitter va kollektor toklarining algebrik emas, balki geometrik ayirmasi baza tokiga teng bo'ladi, ya'ni $\bar{I}_B = \bar{I}_E - \bar{I}_K$ shu sababli tranzistorning baza toki sezilarli darajada ortadi va $\beta < \beta_0$ holat yuzaga keladi. Yanada yuqori chastotalarda (10MGs) esa β yanada kamayib ketadi, baza tok I_b esa yanada ortadi. Shunday qilib, chastota oshib borishi β ko'effitsiyentni α ko'effitsiyentga nisbatan jadal kamayishiga sabab bo'ladi.

α ko'effitsiyent kollektor o'tishning sig'imi C_k ta'sirida kamayib boradi, ammo β - ko'effitsiyent qiymatiga, bundan tashqari, I_e va I_k toklar orasidagi fazoviy siljish ham ta'sir ko'rsatadi. Bu esa umumiy emitter bilan ulangan tranzistorning chastotaviy xususiyatlari umumiy baza bilan ulangan tranzistorlarning chastotaviy xususiyatlariga nisbatan anchagina yomonroq ekanligini ko'rsatadi.

α va β ko'effitsiyentlar qiymatlarining ruxsat etilgan kamayishi past chastotalardagi α_0 va β_0 ning qiymatlariga nisbatan 30% dan ortiq bo'lishi mumkin emas.

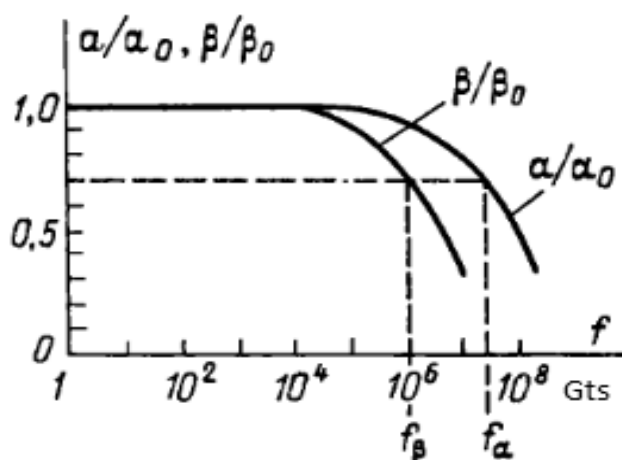
$\alpha = 0,7 \alpha_0$ va $\beta = 0,7 \beta_0$ qiymatlar umumiy emitter va umumiy baza sxemalari uchun chegaraviy kuchaytirish chastotalari deb ataladi. Bu chastotalar o'z navbatida f_α va f_β bilan belgilanadi.

β ko'effitsiyent α ga nisbatan tez kamayishi tufayli f_β chastota kattaligi f_α chastotaga nisbatan sezilarli darajada kichikdir, yani

$$f_\alpha \approx f_\beta / \beta$$

deb hisoblash mumkin.

α va β ko'effitsiyentlarni chastota oshib borishi bilan kamayish grafigi 4.13-rasmda keltirilgan.



4.13-rasm

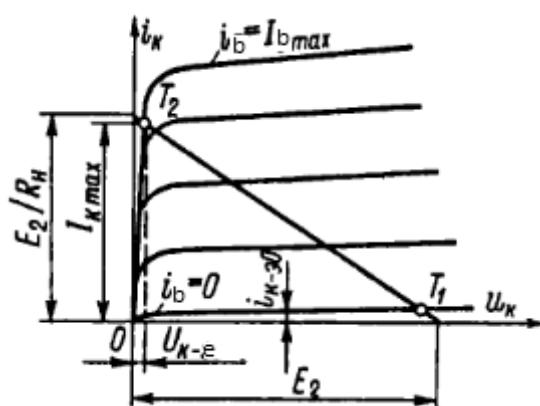
4.7. Bipolyar tranzistorning impuls xususiyatlari

Tranzistorlar turli xil impuls va raqamli elektronika qurilmalarida keng ishlatiladi.

Tranzistorlar kuchaytirgich qurilmalarida aktiv rejimda ishlasa, impuls va raqamli elektronika qurilmalarida impuls rejimida ishlaydi. Tranzistorning impuls rejimi kalit yoki ulab-uzish rejimi deb ataladi.

Tranzistorning impuls rejimini uning umumiy emitter bilan ulangan holat uchun olingan chiqish xarakteristikalarini yordamida ko'rib chiqaylik.

Tranzistorning kollektor zanjiriga yuklama rezistori R_n ulangan bo'lsin. Bu holat uchun tranzistorning chiqish xarakteristikasida (4.14-rasm) yuklama chizig'i qurilgan.



4.14-rasm

Tranzistorning kirishiga tok yoki kuchlanish impulsi berilgunga qadar tranzistor berk holatda bo'ladi (berkilish rejimi). Tranzistorning ushbu holatiga xarakteristikadagi T_1 nuqta mos keladi. Bu vaziyatda tranzistorning kollektor zanjiri orqali juda kichik tok o'tib turadi. Bu tokni i_{k-e0} bilan belgilaylik.

Shu sababli tranzistorning kollektor zanjirini bu holat uchun uzilgan deb qarash mumkin, va E_2 manbaning kuchlanishi to'liq tranzistorga qo'yilgan deb hisoblashimiz mumkin.

Agar tranzistorning kirishiga tok impuls $I_{b_{max}}$ berilsa, tranzistor ochiladi va to'yinish rejimiga o'tadi. To'yinish rejimida tranzistor T_2 nuqtada ishlaydi. Bunda kollektorning impuls tokining qiymati $I_{K_{max}} = E_2/R_n$ ga yaqin bo'lgan kattalikka ega bo'ladi.

Bu tokni aksariyat hollarda to'yinish toki deb ham ataladi. Bu rejimda tranzistor kalit sifatida ishlaydi va uning kollektor o'tishining qarshiligi juda kichik (bir necha o'n Om) bo'ladi. Tranzistorning to'yinish rejimida E_2 manba kuchlanishining deyarli hammasi R_n yuklama qarshiligiga

qo'yilgan deb hisoblashimiz mumkin. Tranzistorda esa bu vaqtda voltning o'ndan bir ulushlariga teng bo'lgan qoldiq kuchlanish mavjud bo'ladi. Bu qoldiq kuchlanishni tranzistorning to'yinish kuchlanishi $U_{KeTo'yin}$ deb aytishimiz mumkin.

Kollektor impuls tokining maksimal qiymati bu holat uchun $I_{K_{max}} = E_2 / R_n$ ga teng bo'ladi.

$I_{K_{max}}$ $I_{B_{max}}$ va U_{KeMAX} kattaliklardan tashqari tranzistorning impuls rejimi tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti deb ataluvchi parametr bilan ham xarakterlanadi. Bu parametr β dan farqli o'laroq T_2 nuqtadagi toklarning kattaliklari nisbati bilan aniqlanadi.

$$\beta = I_{K_{max}} / I_{B_{max}}$$

Boshqacha qilib aytganda β kichik signallar uchun tranzistorning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti bo'lsa, β esa tranzistorni katta signallar uchun kuchaytirish koeffitsiyentini ifodalaydi. Masalan, katta signallarga impuls signallari misol bo'la oladi.

Tranzistorning impuls rejimining parametri sifatida tranzistorning to'yinish holatidagi qarshiligini keltirish mumkin.

$$U_{to'y} = U_{KETO'YIN} / I_{K_{max}}.$$

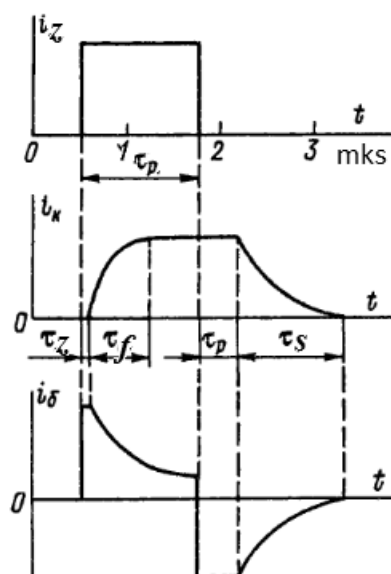
$R_{TO'Y}$ ning kattaligi tranzistorlarning impuls rejimidagi ish holati uchun bir necha Om dan bir necha o'n Om gacha bo'lishi mumkin.

Tranzistorning umumiy baza bilan ulanish holati uchun impuls rejimi ham huddi shu tartibda ishlaydi.

Agar kirishdagi impulsning muddati tranzistordagi o'tkinchi jarayonlar vaqtiga nisbatan katta bo'lsa, u holda tranzistor chiqishidagi impulsning shakli va muddatiga o'xshash bo'ladi.

Agar kirishga berilayotgan impuls qisqa muddatli bo'lsa (masalan, bir necha mikrosekund va undan kam), u holda chiqishdagi tok impulsining shakli va muddati kirishdagi impulsning shakli va muddatiga nisbatan farq qiladi, ya'ni chiqishdagi impulsning muddati ancha cho'ziq holatda va shakli esa kirishdagi impulsning shakliga nisbatan tubdan farq qiladi. Bunga sabab esa kirishga berilayotgan impulsning muddati tranzistorda kechuvchi o'tkinchi jarayonlar (zaryadlarning tranzistor bazasiga to'planishi va so'rilishi vaqtiga tenglashadi yoki undan kichik bo'ladi).

4.15-rasmda kirishga berilayotgan va to'g'ri to'rtburchak shaklga ega bo'lgan tok impulsining shaklini tranzistorda kechuvchi o'tkinchi jarayonlar tufayli buzilishini aks ettiruvchi vaqt diagramma keltirilgan.



4.15-rasm

Vaqt diagrammasidan ko‘rinib turibdiki, tranzistorning kollektor toki kirishidagi tok impulsiga nisbatan kechikib boshlanadi, bunga sabab shuki emitterdan baza orqali kollektorga o‘tuvchi zaryadlar bu ishni amalga oshirishi uchun ma’lum vaqt talab qilinadi.

Chiqishdagi impulsning kechikish vaqti τ_z bilan belgilangan. Chiqishda tok impulsining oshib borishi ham kirishdagi impuls muddati ham bir zumda bo‘lmay u asta-sekin oshib boradi va bunda chiqish impulsning oldingi frontining muddati shakllanadi τ_f $\tau_z + \tau_f = \tau_{HT}$ - ishga tushish vaqtini tashkil etadi.

Kirish impulsining tugashi bilanoq, chiqishdagi tok impulsi biroz vaqt mavjud bo‘ladi, chunki zaryadlarning so‘rilishi uchun ma’lum vaqt talab qilinadi, bu vaqt τ_p bilan belgilangan.

Bazada to‘plangan zaryadlarni so‘rilishi tugashi bilanoq kollektor toki impulsi i_k asta-sekin nolgacha kamayadi, uning kamayish muddati vaqt diagrammasida τ_c bilan ko‘rsatilgan.

$$\tau_p + \tau_c = \tau_{ICH} - \text{tranzistorning ishdan chiqish vaqtini tashkil etadi.}$$

Xulosa qilib aytish mumkinki, tranzistorning bazasiga kiruvchi zaryadlarning to‘yinish va so‘rilish jarayonlari uchun ma’lum vaqt sarf bo‘lishi tufayli tranzistorlarning ishida inersiya yuzaga keladi va tranzistorning kalit rejimidagi ishida nuqsonlar vujudga keladi. Tranzistorning umumiy emitter bilan ulanishida yuzaga keluvchi o‘tkinchi jarayonlar ham xuddi shu tartibda kechadi.

Muddati juda kichik bo‘lgan impulslar bilan ishlovchi tranzistorlar kichik sig‘imga va yupqa bazaga ega bo‘lishi kerak. Bunday tranzistorlar

dreyf tranzistorlari deb ataladi. Dreyf tranzistorlarida bazaga to'plangan zaryadlarning so'rilish jarayonini tezlashtirish uchun aralashmalar aralash-tiriladi. Buning natijasida to'plangan zaryadlarning tezda rekombinatsiyaga uchrashiga sharoit yaratiladi. Aralashmalar sifatida nodir metallar, masalan, oltin yoki kumushdan foydalanish mumkin.

4.8. Bipolyar tranzistorlarning fizik parametrlari va ekvivalent sxemalari

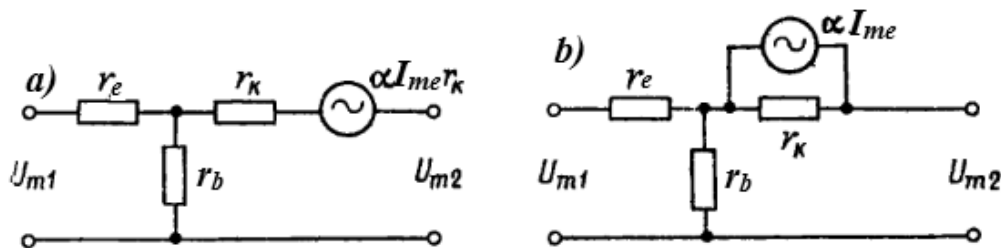
Tranzistorlarning parametrlari ularning xususiyatlarini ifodalovchi va xarakterlovchi kattalik hisoblanadi. Parametrlar orqali biz tranzistorlarning sifatini va, shu bilan birga, tranzistorlarning turli xil sxemalarda qo'llash mumkin emasligi masalalarini hal qilamiz. Tranzistorlarning elektr sxemalarini hisoblashni ham tranzistor parametrlaridan foydalanmay amalga oshirish mumkin emas.

Tranzistorlar uchun bir necha parametrlarning tizimi va ekvivalent sxemalari taklif qilingan. Ularning har biri o'zining afzallik va kamchilik tomonlariga ega.

Tranzistorlarning parametrlarini ikkiga bo'lish mumkin:

1. Tranzistorning xususiyl (birlamchi) parametrlari;
2. Tranzistorning ikkilamchi parametrlari.

Tranzistorning xususiyl parametrlariga tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti α yoki β dan tashqari o'zgaruvchan tok bo'yicha keltirilgan ekvivalent sxemaga ko'ra (4.16-rasm) tranzistorning ba'zi qarshiliklarining ham kiritish mumkun.



4.16-rasm

Keltirilgan T-simon ekvivalent sxema tranzistorning elektrik strukturasi bilan uning kuchaytirish xususiyatlarini aks ettiradi. Bu sxemada va tranzistorning boshqa ekvivalent sxemalarda shuni nazarda tutish kerakki, tranzistorning kirishiga kuchaytirilishi lozim bo'lgan o'zgaruvchan sinusoidal signal berilmoqda. Bu signal kirishda U_{M1} amplitudaga ega bo'lgan kuchlanish hosil qiladi. Tranzistorning chiqishiga esa yuklama R_H (yuklama) ulangan

Tranzistorning asosiy parametrlari bo'lib emitter, kollektor va bazaning

o'zgaruvchan tok bo'yicha emitter qarshiliklari misol bo'ladi.

(r_e) – tranzistorning emitter qarshiligi o'tish qarshiliklarining yig'indisidan iborat.

(r_K) – tranzistorning kollektor qarshiligi, u o'tish qarshiliklarning yig'indisidir.

(r_b) – tranzistor bazasining qarshiligi, u ko'ndalang kesimining qarshiligidir.

4.16-rasmda ko'rsatilgan sxemaning chiqishidagi o'zgaruvchan kuchlanish tranzistorning kollektor zanjiriga ulangan ekvivalent generator orqali olinib, uning elektr yurituvchi kuchi (EYUK) tranzistorning emitter tokiga I_{me} ga proporsional bo'ladi.

Bizga ma'lumki, har qanday generatorning EYUK qisqa tutashish tokining ichki qarshilik ko'paytmasiga teng. Berilgan holat uchun qisqa tutashuv toki αI_{me} ga teng chunki $\alpha I_{mk} / I_{me}$, bunda $R_H = 0$ ga teng, ya'ni bu holat uchun tranzistorning chiqishi qisqa tutashtirilgan. Shunday qilib generatorning EYUK si $\alpha \cdot I_{me} \cdot r_K$ ga teng.

EYUK generatorining o'rniga sxemaga tok generatorini kiritish mumkin. Bunda biz ko'p hollarda ishlatiluvchi ekvivalent sxemani hosil qilamiz (4.16,b-rasm).

Bu sxemada tok generatori $\alpha \cdot I_{me}$ tokni vujudga keltirmoqda.

Tranzistorning birlamchi parametrlarining kattaliklari quyidagicha:

(r_e) - o'nlarcha Om;

(r_b) - yuzlarcha Om;

(r_K) - yuzlarcha kOm yoki bir necha Mom.

Bu uch qarshilikka parametr sifatida yana α ni qo'shish mumkun.

Ko'rib chiqilgan ekvivalent sxema tranzistorning past chastotalardagi ishi uchun keltirilgan.

Yuqori chastotalar uchun esa tranzistorning emitter va kollektor o'tishlarining sig'imini ham hisobga olish kerak. Bu esa ekvivalent sxemani murakkablashishiga sabab bo'ladi.

4.16-rasmda umumiy emitter bilan ulangan tranzistorning tok generatori bilan chizilgan ekvivalent sxemasi ko'rsatilgan. Bu shemada tok generatori $\beta \cdot I_{mbe}$ kattalikdagi tok bermoqda, kollektor o'tishning qarshiligi esa kamaygan va u $r_k (1-\alpha)$ ga yoki taxminan r_k / β tengdir, bunda $\beta = \alpha / (1-\alpha)$ va $\alpha \approx 1$ deb olingan.

Umumiy baza bilan ulanishli ekvivalent sxemadan umumiy emitter bilan ulanishli ekvivalent sxemaga o'tishni quyidagicha ko'rsatish mumkin.

Har qanday generator hosil qilayotgan kuchlanish elektr yurituvchi kuch bilan generatorning ichki qarshiligidagi kuchlanish tushuviga teng.

4.16,a-rasmdagi ekvivalent sxema uchun:

$$U_m = \alpha \cdot I_{me} \cdot r_k - I_{mk} \cdot r_k.$$

I_{me} ni $I_{mk} + I_{mb}$ yig'indiga almashtiramiz, bunda quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\begin{aligned} U_m &= \alpha(I_{mk} + I_{mb})r_k - I_{mk} \cdot r_k = \alpha I_{mk} \cdot r_k + \alpha I_{mb} \cdot r_k - I_{mk} \cdot r_k = \\ &= \alpha I_{mb} \cdot r_k - (I_{mk} r_k - \alpha I_{mk} r_k) = \alpha I_{mb} r_k - I_{mk} \cdot r_k (1 - \alpha). \end{aligned}$$

Bu ifodada $\alpha \cdot I_{mb} \cdot r_k$ elektr yurituvchi kuch bo'lsa, $I_{mk} \cdot r_k (1 - \alpha)$ esa $r_k \cdot (1 - \alpha)$ qarshilikdagi I_{mk} tok tufayli vujudga keluvchi kuchlanishning pasayishidir.

Ekvivalent generator hosil qilayotgan qisqa tutashish toki esa elektr yurituvchi kuchni ichki qarshilikka bo'lgan nisbatiga teng, ya'ni

$$I = \alpha \cdot I_{mb} r_k / [r_k (1 - \alpha)] = \beta I_{mb}.$$

Ko'rib chiqilgan T-simon ekvivalent sxemalar taxminiy bo'lib, aniq emas, chunki tranzistorning emitter, baza va kollektorlari tranzistor ichidagi bitta nuqtada o'zaro ulanmagan. Ammo bu ekvivalent sxemalardan nazariy va amaliy masalalarni yechishda foydalanish katta xatoliklarni yuzaga kelishiga olib kelmaydi.

Tranzistorning ikkilamchi parametrlarini aniqlashda tranzistorni to'rtqutblik deb qabul qilinadi, va asbob ikkita kirish va ikkita chiqish qismlariga ega deb olinadi. Ikkilamchi parametrlar tranzistorning kirishi va chiqishidagi o'zgaruvchan tok va kuchlanishlar orasidagi o'zaro bog'liqliklarni tasvirlaydi.

Bu parametrlardan tranzistor kichik amplitudaviy signallarni kuchaytirish rejimida ishlayotganda foydalanish mumkin.

Tranzistor noxiziqli yarimo'tkazgichli asbob bo'lgani uchun katta amplitudalar rejimida ikkilamchi parametrlarning kattaliklari o'zgarishi mumkin.

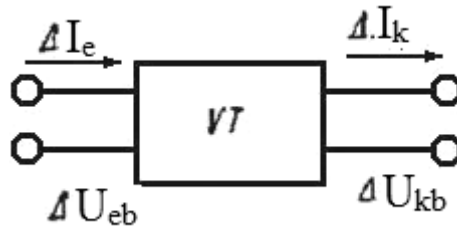
Tranzistorlarning asosiy parametrlariga hozirgi vaqtda gibridd parametr- lar deb ataluvchi h yoki H bilan belgilanuvchi parametrlar kiradi. Tranzistorlarning h -parametrlari tranzistorlarga tegishli ma'lumotnomal- larda (spravochnik) keltirilgan va bu parametrlarni o'lchash mumkin.

4.9. Bipolyar tranzistorlarning h parametrlari

1. Umumiy baza bilan ulanish uchun

Kichik signallarni kuchaytirish rejimida umumiy baza bilan tranzistorni

chiziqli to‘rt qutblik sifatida tasvirlash mumkin (4.17-rasm).



4.17-rasm

Bu holda tranzistorning kirish va chiqish parametirlari o‘zaro quyidagi tenglamalar orqali bog‘langan:

$$\begin{aligned}\Delta U_{eb} &= h_{11b} \cdot \Delta I_e + h_{12b} \cdot \Delta U_{kb} ; \\ \Delta I_k &= h_{21b} \cdot \Delta I_e + h_{22b} \cdot \Delta U_{kb} .\end{aligned}$$

Tranzistor h-parametrining fizikaviy ma‘nosi quyidagichadir:

h_{11b} – chiqishda qisqa tutashish rejimida tranzistorning kirish qarshiligi;

h_{12b} – kirishning siljish rejimida ichki teskari bog‘lanish koeffitsiyenti;

h_{21b} – chiqishning qisqa tutashuv rejimida tokni uzatish koeffitsiyenti;

h_{22b} – kirishning saltish rejimida tranzistorning chiqish o‘tkazuvchanligi. Umumiy sxemali baza (UB) uchun h-parametrlar quyidagi formulalar orqali hisoblanadi:

$$h_{11b} = \frac{\Delta U_{eb}}{\Delta I_e} \quad U_{kb} = const ; \quad (1)$$

bo‘lganda,
$$h_{12b} = \frac{\Delta U_{\text{эб}}}{\Delta U_{kb}} \quad I_e = const ; \quad (2)$$

bo‘lganda,
$$h_{21b} = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_e} \quad U_{kb} = const ; \quad (3)$$

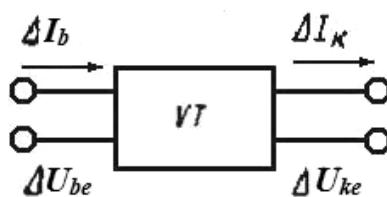
bo‘lganda,
$$h_{22b} = \frac{\Delta I_k}{\Delta U_{kb}} \quad I_e = const . \quad (4)$$

h-parametrlarni analitik hisoblash qiyin va aniq emas. Shu sababli ularni o‘lchash yoki volt-amper xarakteristika orqali aniqlash qulay va osondir.

2. Umumiy emitter bilan ulanish uchun:

Kichik signallar rejimida UE bilan ulangan tranzistorni ham chiziqli to‘rtqutblik sifatida tasvirlash mumkin.

Bunda tranzistorning kirish va chiqish parametrlari quyidagicha o‘zaro bog‘langan bo‘ladi (4.18-rasm).



4.18-rasm

$$\Delta U_{BE} = h_{11H} * \Delta I_B + h_{12e} \Delta U_{ke};$$

$$\Delta I_K = h_{21e} * \Delta I_b + h_{22e} \Delta U_{ke}.$$

UE bilan ulanish holati uchun h-parametrlar quyidagi formulalar yordamida hisoblanadi:

$$h_{11e} = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta I_b} \quad U_{KE} = \text{const, bo'lganda}; \quad (1)$$

$$h_{12e} = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta U_{ke}} \quad I_B = \text{const, bo'lganda}; \quad (2)$$

$$h_{21e} = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} \quad U_{KE} = \text{const, bo'lganda}; \quad (3)$$

$$h_{22e} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{ke}} \quad I_B = \text{const, bo'lganda}. \quad (4)$$

h- parametrlarning kattaliklari

Para metr	Umumiy emitter bilan ulangan sxema	Umumiy baza bilan ulangan sxema
h_{11}	Yuzlarcha Om –bir necha kOm	Birnecha Omdan o‘nlarcha Omgacha
h_{12}	$10^{-3} - 10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-4}$
h_{21}	O‘nlarcha – yuzlarcha	0.950-0.998
I/h_{22}	Bir necha kOmdan o‘nlarcha kOmgacha	Yuzlarcha kOmdan bir necha MOmgacha

5. Maydon tranzistorlari

5.1. Umumiy ma'lumotlar

Maydoniy tranzistor (MT) deb, tok kuchi qiymatini boshqarish ychun o‘tkazuvchi kanaldagi elektr o‘tkazuvchanlikni o‘zgartirish hisobiga elektr maydon o‘zgarishi bilan boshqariladigan yarimo‘tkazgichli aktiv asbobga aytiladi.

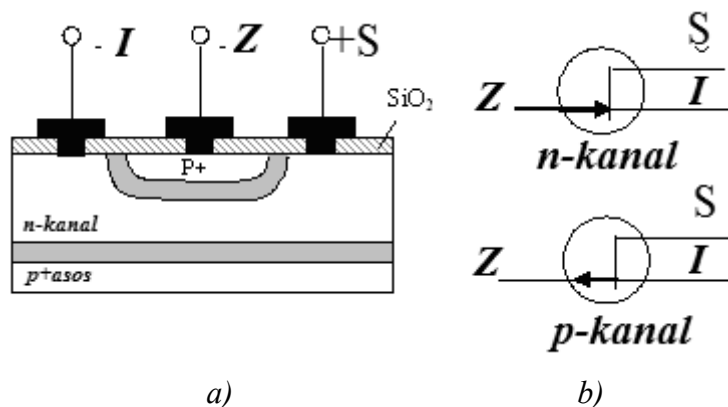
Maydoniy tranzistorlar turli elektr signallar va quvvatni kuchaytirish uchun mo‘ljallangan. Maydoniy tranzistorlarda bipolyar tranzistorlardan farqli ravishda tok tashkil bo‘lishida faqat bir turdagi zaryad tashuvchilar

ishtirok etadi: yoki elektronlar, yoki kovaklar. Shuning uchun ular yana **unipolyar** tranzistorlar deb ham ataladi.

Maydoniy tranzistorlarning tuzilishi va kanal o'tkazuvchanligiga ko'ra ikki turi mavjud: $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistor hamda metall-dielektrik-yarimo'tkazgichli (MDYA) tuzilishga ega bo'lgan zatvori izolyatsiyalangan maydoniy tranzistorlar. Ular MDYA-tranzistorlar deb ham ataladilar.

$p-n$ o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistor.

5.1-rasmda n -kanalli $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorning tuzilishining qirqimi (a) va uning shartli belgisi (b) keltirilgan.

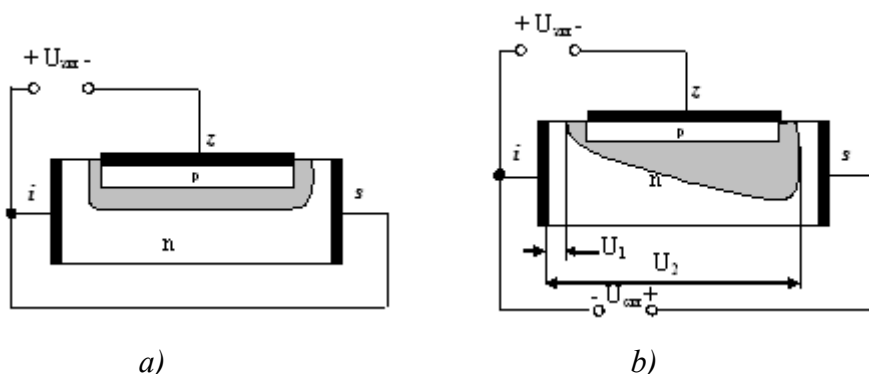


5.1-rasm

n -turdagi soha **kanal** deb ataladi. Kanalga zaryad tashuvchilar kiritiladigan kontakt **istok (I)**; zaryad tashuvchilar chiqib ketadigan kontakt **stok (S)** deb ataladi. **Zatvor (Z)** boshqaruvchi elektrod hisoblanadi. Zatvor va istok oralig'iga kuchlanish berilganda yuzaga keladigan elektr maydoni kanal o'tkazuvchanligini, natijada kanaldan oqib o'tayotgan tokni o'zgartiradi. Zatvor sifatida kanalga nisbatan o'tkazuvchanligi teskari turdagi soha qo'llaniladi. Ishchi rejimda u teskari ulangan bo'lib kanal bilan $r-n$ o'tish hosil qiladi.

Kanalning o'tkazuvchanligi uning qarshiligi bilan aniqlanadi $R = \rho \frac{l}{S}$, bu yerda ρ - kanal materialining solishtirma qarshiligi; l - uzunligi; S - kanalning ko'ndalang kesim yuzasi. Tashqi kuchlanish mavjud bo'lmaganda, kanal uzunligi bo'ylab zatvor ostidagi kanalning ko'ndalang kesim yuzasi bir xil bo'ladi. Berilgan qutblanishda zatvor va istok oralig'iga tashqi kuchlanish berilsa, U_{ZI} $p-n$ o'tish teskari yo'nalishda siljiydi, kanal tomonga kengayadi, natijada kanal uzunligi bo'ylab kanalning ko'ndalang kesim yuzasi bir tekis torayadi. Kanal qarshiligi ortadi, lekin chiqish toki $I_S = 0$ bo'ladi, chunki $U_{SI} = 0$ (5.2, a-rasm).

Agar istok va stok oralig'iga kuchlanish manbai ulansa, u holda kanal bo'ylab istokdan stok tomonga elektronlar dreyfi boshlanadi, ya'ni kanal orqali stok toki I_s oqib o'ta boshlaydi. Kuchlanish manbai U_{SI} ning ulanishi $r-n$ o'tish kengligiga ham ta'sir ko'rsatadi, chunki o'tish kuchlanishi kanal uzunligi bo'ylab turlicha bo'ladi. Kanal potentsiali uning uzunligi bo'ylab o'zgaradi: istok potentsiali nolga teng bo'lib, stok tomonga ortib boradi, stok potentsiali esa U_{SI} ga teng bo'ladi. $p-n$ o'tishdagi teskari kuchlanish istok yaqinida $|U_{zi}|$ ga, stok yaqinida esa $|U_{zi}| + U_{si}$ ga teng bo'ladi. Natijada o'tish kengligi stok tomonda kattaroq bo'lib, kanal kesimi stok tomonga kamayib boradi (5.2,b-rasm).



5.2-rasm

Shunday qilib, kanal orqali oqib o'tayotgan tokni U_{ZI} kuchlanish qiymatini (kanal kesimini o'zgartiradi) hamda U_{SI} kuchlanish qiymatini (tok va kanal uzunligi bo'ylab kesimni o'zgartiradi) boshqarish mumkin. Istok tomonda kanal kengligi berilgan U_{ZI} qiymati bilan, stok tomonda esa $U_{ZI} + U_{SI}$ yig'indi qiymati bilan aniqlanadi. U_{SI} qiymati qancha katta bo'lsa, kanalning va uning qarshiligi shuncha katta bo'ladi.

Kanalning ko'ndalang kesimi nolga teng bo'ladigan vaqtdagi zatvor kuchlanishi **berkilish kuchlanishi** $U_{ZI.BERK}$ deb ataladi.

$|U_{zi}| + U_{si.to'y}$ kuchlanish berkilish kuchlanishiga $U_{ZI.BERK}$ ga teng bo'ladigan vaqtdagi stok kuchlanishi **to'yinish kuchlanishi** $U_{SI.TO'Y}$ deb ataladi.

Bundan

$$U_{SI.TOY} = |U_{ZI.BERK}| - |U_{ZI}|. \quad (5.1)$$

$U_{SI} \leq U_{SI.TOY}$ vaqtidagi tranzistorning ishchi rejimi **tekis o'zgarish** rejimi, $U_{SI} \geq U_{SI.TOY}$ vaqtidagi tranzistorning ishchi rejimi esa **to'yinish** rejimi deb ataladi. To'yinish rejimida U_{SI} kuchlanish qiymatining ortishiga qaramay I_C tokining ortishi deyarli to'xtaydi. Bu holat bir vaqtning o'zida zatvordagi U_{ZI} kuchlanishining ham ortishi bilan tushuntiriladi. Bu vaqtda

kanal torayadi va I_s tokini kamayishiga olib keladi. Natijada I_s dreyfrli o'zgarmaydi.

Biror uch elektrodli asbob kabi, maydoniy tranzistorlarni uch xil sxemada ulash mumkin: umumiy istok (UI), umumiy stok (US) va umumiy zatvor (UZ). UI sxema keng tarqalgan sxema hisoblanadi.

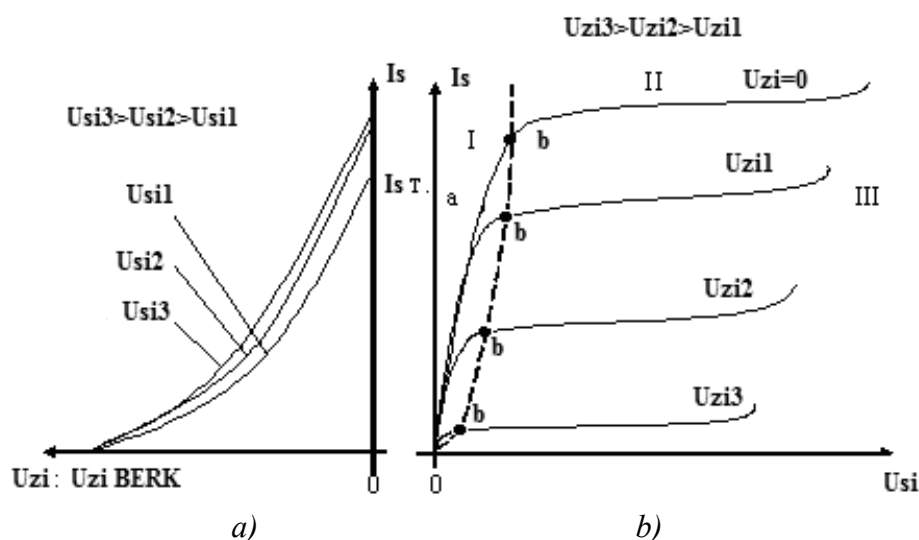
5.2. MT statik xarakteristikalar

Zatvordagi kuchlanish U_{ZI} yordamida stok toki I_s ni boshqarish **stok – zatvor** xarakteristikasidan aniqlanadi. Bu xarakteristika tranzistorning **uzatish** xarakteristikasi deb ham ataladi. 5.3,a-rasmda $U_{SI}=const$ bo'lgandagi stok zatvor xarakteristikalar oilasi $I_s = f(U_{ZI})$ keltirilgan.

Stok-zatvor xarakteristikadan ko'rinib turibdiki, $U_{ZI}=0$ bo'lganda tranzistor orqali maksimal tok oqib o'tadi. U_{ZI} qiymati ortishi bilan kanal kesimi tusha boshlaydi va ma'lum $U_{ZI.BERK.}$ qiymatga yetganda nolga teng bo'lib qoladi va stok toki I_s deyarli nolga teng bo'lib qoladi. Tranzistor berkiladi. U_{SI} ortishi bilan xarakteristika tikkalasha boradi, bu holat kanal uzunligining uncha katta bo'lmagan kamayishi bilan tushuntiriladi. Stok – zatvor xarakteristika tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$I_s = I_{s.TOY} \left(1 - \frac{U_{ZI}}{U_{ZI.BERK.}} \right)^2. \quad (5.2)$$

5.3,b-rasmda maydoniy tranzistorning chiqish (stok) xarakteristikalarini keltirilgan. **Stok xarakteristika** - bu ma'lum $U_{ZI}=const$ qiymatlaridagi $I_s = f(U_{SI})$ bog'liqlik. U_{SI} ortishi bilan I_s deyarli to'g'ri chiziqli o'zgaradi (tekis o'zgarish rejimi) va $U_{SI} = U_{SI.TOY.}$ qiymatiga yetganda (b nuqta), I_s ortishi to'xtaydi.



5.3-rasm

5.3. MT asosiy parametrlari

Maydoniy tranzistorlarning asosiy parametrlaridan biri bo'lib **xarakteristika tikligi** S hisoblanadi.

$$S = \frac{dI_c}{dU_{zi}} \text{ (mA/V)}.$$

Uni quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$S = S_{\max} \left(1 - \frac{U_{ZI}}{U_{ZI.BERK}} \right), \quad (5.3)$$

bu yerda $S_{\max}$ – $U_{ZI}=0$ bo'lgandagi maksimal tiklik. (5.2), (5.3) ifodalardan ko'rinib turibdiki, U_{ZI} ortishi bilan stok toki va maydoniy tranzistor xarakteristika tikligi kamayadi.

Statik xarakteristikalaridan maydoniy tranzistorning boshqa parametrlarini ham aniqlash mumkin.

Tranzistorning **differensial (ichki) qarshiligi** istok va stok oralig'idagi kanal R_i qarshiligini ifodalaydi.

$$R_i = \frac{dU_{SI}}{dI_s}, \quad U_{ZI} = \text{const bo'lganda.} \quad (5.4)$$

To'yinish rejimida (VAX ning tekis qismida) R_i bir necha MOMni tashkil etadi va U_{SI} ga bog'liq emas.

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti tranzistorning kuchaytirish xususiyatini ifodalaydi:

$$\mu = - \frac{dU_{SI}}{dU_{zi}}, \quad I_s = \text{const bo'lganda.} \quad (5.5)$$

Bu koeffitsiyent stokdagi kuchlanish stok tokiga zatvordagi kuchlanishga nisbatan qanchalik ta'sir ko'rsatishini ifodalaydi. "Manfiy" ishora kuchlanish o'zgarishi yo'nalishlarining qarama-qarshiligini bildiradi. Har doim ham bu koeffitsiyentni xarakteristikadan aniqlab bo'lmaganligi sababli, bu kattalikni quyidagicha hisoblash mumkin:

$$\mu = SR_i. \quad (5.6)$$

5.4. Kanali induksiyalangan MDYA – tranzistorlar

$p-n$ o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlardan farqli ravishda MDYA-tranzistorlarda metall zatvor kanal hosil qiluvchi

o'tkazgichli sohadan doim dielektrik qatlami yordamida izolyatsiyalangan. Shu sababli MDYA-tranzistorlar zatvori izolyatsiyalangan maydoniy tranzistorlar turiga kiradi. Dielektrik qatlami SiO_2 dielektrik oksidi bo'lganligi sababli, bu tranzistorlar MOYA – tranzistorlar (metall – oksid-yarimo'tkazgichli tuzilma) deb ham ataladilar.

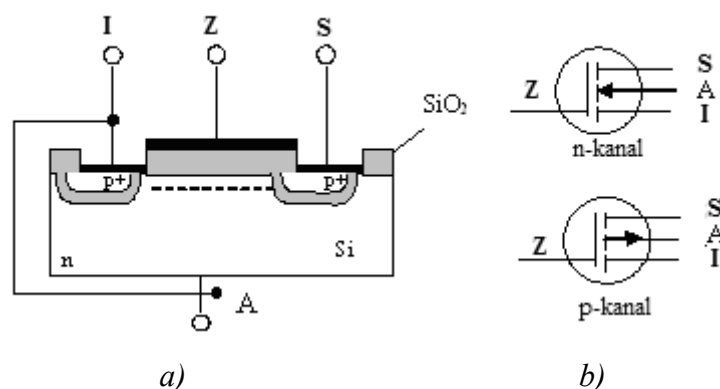
MDYA–tranzistorlarning ishlash prinsipi ko'ndalang elektr maydoni ta'sirida dielektrik bilan chegaralangan yarimo'tkazgichning yuqori qatlamida o'tkazuvchanlikni o'zgartirish effektiga asoslangan. Yarim o'tkazgichning yuqori qatlami tranzistorning tok o'tkazuvchi kanali vazifasini bajaradi.

p -kanali induksiyalangan MDYA–tranzistor tuzilmasi 5.4,*a* –rasmda va uning shartli belgisi 5.4,*b*- rasmda keltirilgan.

Tranzistor quyidagi chiqishlarga ega: istokdan – I , stokdan – S , zatvordan – Z va asos deb ataluvchi – A kristalldan.

Stok va istoklarning p^+ -sohalari n -turdagi yarimo'tkazgich bilan ikkita p - n o'tish hosil qilganligi sababli, U_{SI} kuchlanishining biror qutblanishida bu o'tishlardan biri teskari yo'nalishda ulanadi va stok toki I_S deyarli nolga teng bo'ladi.

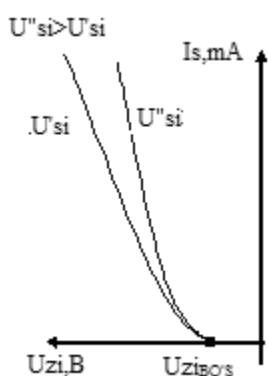
Tranzistorda tok o'tkazuvchi kanal hosil qilish uchun zatvorga teskari qutbdagi kuchlanish beriladi. Zatvor elektr maydoni SiO_2 dielektrik qatlami orqali yarim o'tkazgichning yuqori qatlamiga kiradi, undagi asosiy zaryad tashuvchilar (elektronlar) ni itarib chiqaradi va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar (kovaklar) ni o'ziga tortadi.



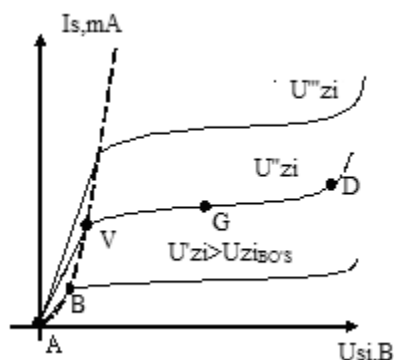
5.4-rasm

Natijada yuqori qatlam elektronlari kambag'allashib, kovaklar bilan esa boyib boradi. Zatvor kuchlanishi bo'sag'aviy deb ataluvchi ma'lum qiymati U_0 ga yetganda, yuqori qatlamda elektr o'tkazuvchanlik kovak o'tkazuvchanlik bilan almashadi va istok va stokni bir-biri bilan bog'lovchi p -turdagi kanal shakllanadi. $U_{ZH} > U_0$ bo'lganda yuqori qatlam kovaklar bilan boyib boradi, bu esa kanal qarshiligini kamayishiga olib keladi. Bu vaqtda stok toki I_S ortadi. 5.5-rasmda p -kanali induksiyalangan MDYA -

tranzistorning stok-zatvor VAXsi keltirilgan.



5.5-rasm

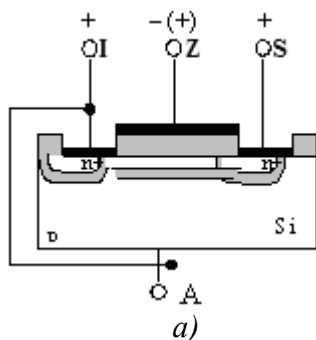


5.6-rasm

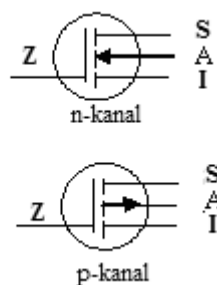
5.6-rasmda n -kanali induksiyalangan MDYA-tranzistorning chiqish (stok) xarakteristikalar oilasi keltirilgan. Zatvorga ma'lum kuchlanish berilganda $|U_{SI}|$ ning ortib borishiga ko'ra stok toki nol qiymatdan avvaliga chiziqli ko'rinishda ortib boradi (VAX ning tikka qismi), keyinchalik esa ortish tezligi kamayadi va yetarlicha katta $|U_{SI}|$ qiymatlarida tok o'zgarmas qiymatga intiladi. Tok ortishining to'xtashi stok yaqinidagi kanalning berkilishi bilan bog'liq.

5.5. Kanali qurilgan MDYA - tranzistorlar

5.7-rasmda n -turdagi kanali qurilgan MDYA tranzistor tuzilmasi (a) va uning shartli belgisi (b) keltirilgan.



a)



b)

5.7-rasm

Agar $U_{ZI} = 0$ bo'lganda U_{SI} kuchlanish o'rnatilsa, u holda kanal orqali elektronlar hisobiga tok oqib o'tadi. Zatvorga istokka nisbatan manfiy kuchlanish berilsa, kanalda ko'ndalang elektr maydon yuzaga keladi va uning ta'sirida kanaldan elektronlar itarib chiqariladilar. Kanal elektronlar bilan kambag'allashib boradi, uning qarshiligi ortadi va stok toki kamayadi. Zatvordagi manfiy kulchlanish qancha katta bo'lsa, bu tok shuncha kichik bo'ladi. Tranzistorning bunday rejimi **kambag'allashish**

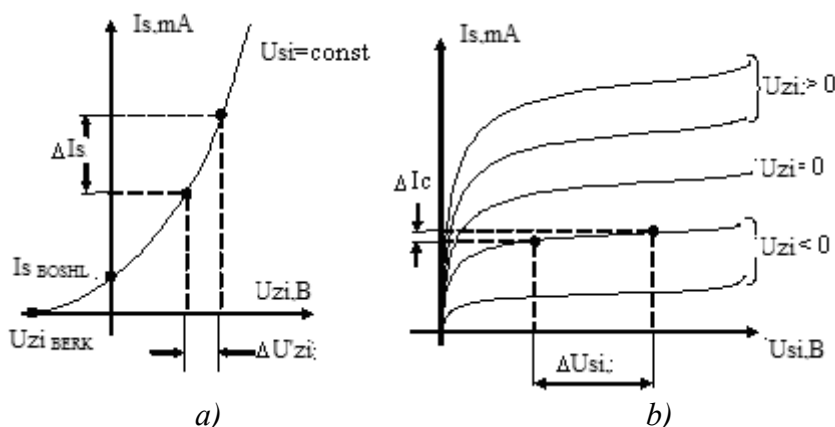
rejimi deb ataladi.

Agar zatvorga musbat kuchlanish ta'sir ettirilsa, hosil bo'lgan elektr maydoni ta'sirida, istok va stok, hamda kristalldan kanalga elektronlar kela boshlaydilar, kanalning o'tkazuvchanligi va shu bilan birga stok toki ortib boradi. Bu rejim **boyish rejimi** deb ataladi.

Ko'rib o'tilgan jarayonlar 5.8,a-rasmda keltirilgan statik stok-zatvor xarakteristikada: $U_{SI}=const$ bo'lgandagi $I_S=f(U_{ZI})$ bilan ifodalangan.

$U_{ZI} > 0$ bo'lganda tranzistor boyish rejimida, $U_{ZI} < 0$ bo'lganda esa kambag'allashish rejimida ishlaydi.

Boyish rejimida stok xarakteristikalari $U_{ZI} = 0$ da olingan boshlang'ich xarakteristikadan - yuqorida, kambag'allashish rejimida esa pastda joylashadi (5.8,b-rasm).



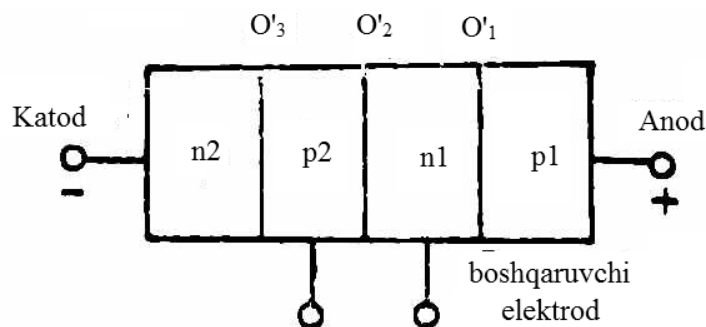
5.8-rasm

S , R_i va μ statik differensial parametrlar xuddi $p-n$ -o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlardagi (5.4), (5.5) va (5.6) ifodalardan mos ravishda aniqlanadi.

Xarakteristika tikligi va ichki qarshilik barcha turdagi maydoniy tranzistorlardagi kabi qiymatlarga ega bo'ladi. Kirish qarshiligi va elektrodlararo sig'implarga kelsak, MDYA - tranzistorlar $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlardagiga nisbatan yaxshi ko'rsatkichlarga ega. R_{ZI} kirish qarshiligi bir necha darajaga yuqori bo'lib 10^{12} - 10^{15} Om ni tashkil etadi. Elektrodlararo sig'implar qiymati S_{ZI} , S_{SI} lar uchun -10pF dan, S_{ZS} uchun - 2pF dan ortmaydi. Bu ko'rsatkichlar tranzistor inersiyasini belgilaydilar.

5.6. Tiristorlar

Tiristor - to'rt qatlamli, ya'ni uchta $n-p$ o'tishli yarimo'tkazgich asboddur. Unda turli xil o'tkazuvchanlikka ega qatlamlar ketma-ket ulanadi (5.9-rasm).



5.9-rasm. Tiristorning tuzilishi

Chetki n -qatlami - *anod*, p_2 -qatlami *katod* deb ataladi. Ichki n_2 va p_1 qatlamlari *boshqaruvchi elektrod* yoki *baza* deyiladi.

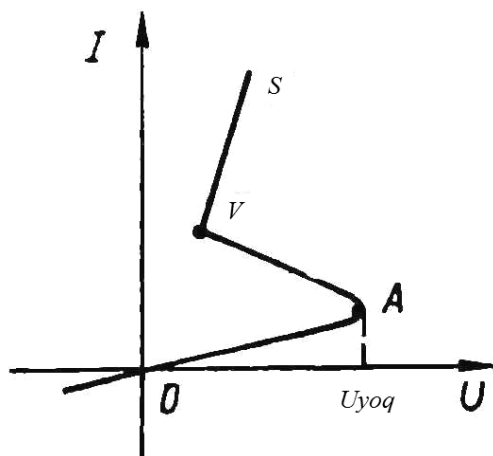
Baza qatlamlari bir xil bo'lmaydi: p -baza n -bazaga qaraganda qalinroq va qotishma miqdori ozroq qilib yasaladi. Natijada p_2 n - p o'tishning to'g'rilash xususiyati juda yaxshi bo'ladi (teskari toki kichik, teskari qarshiligi yetarlicha katta).

Tashqi kuchlanish anod-katod oralig'iga qo'yilgan holni ko'raylik. Manbaning musbat qutbi anodga, manfiy qutbi katodga ulangan bo'lsin. Bunda kuchlanishning kichik qiymatlarida p_1 va p_3 n - p o'tishlar to'g'ri, n_2 n - p o'tish esa, teskari yo'nalishda ulangan bo'ladi. Shuning uchun tashqi kuchlanishni to'liq n_2 n - p o'tishga qo'yilgan deb qarash mumkin. U yopiq bo'lgani uchun tiristordan o'tadigan tok juda kam (teskari tokka teng) bo'ladi. Tiristorning qarshiligi ana shu yopiq p_2 o'tish qarshiligi orqali xarakterlanadi.

Agar tashqi kuchlanish orta boshlasa, qatlamlardagi tok o'tishi bilan bogliq jarayonlar sifat jihatdan o'zgaradi. p_2 o'tishdagi teskari tokning biroz ortishi bilan har ikki bazaga asosiy bo'lmagan tok tashuvchilarning kirishi (tutilib qolishi) zo'rayadi. Masalan, R_2 -bazada kavaklar zichligi ortadi. Bu p_2 o'tish potensial to'sig'ining kichrayishiga, ya'ni qarshiligi-ning kamayishiga olib keladi. Natijada tiristordan o'tadigan tok faqat teskari tokka emas, balki p_2 o'tishga yetib kelgan bazalardagi asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar tokiga ham bog'liq holda orta boshlaydi (5.10-rasm, OA chiziq).

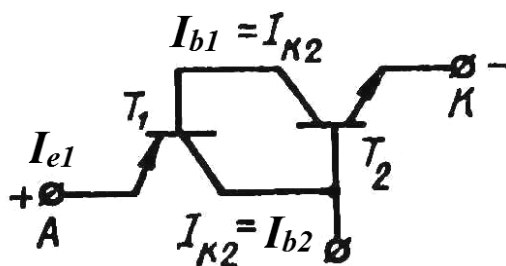
Tashqi kuchlanishning kattaligi biror U_{yoq} kuchlanishga yetgach, tiristor toki ko'chkisimon orta boshlaydi. Bu kuchlanish tiristorning *qayta ulanish to'g'ri kuchlanishi* deb ataladi. Bu vaqtda tiristorning qarshiligi juda kichik bo'lgani uchun undagi potentsiallar ayirmasi ham kichrayadi (AV soha). Uning kattaligi tashqi yuklama qarshiligining qiymati bilan chegaralanadi. Tiristor tokining ortishi davomida asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar p_2 o'tishda to'plana boshlaydi. Ularning konsentratsiyasi yetarlicha bo'lgach, p_2 o'tish to'g'ri ulanish holiga keladi. Natijada p_2 o'tishning qarshiligi eng

kichik bo‘lib, tiristor ochiq (to‘yinish) holatiga o‘tadi. Bu uning turg‘un ish rejimi bo‘ladi (VS chiziq).



5.10-rasm. Tiristorning volt-amper xarakteristikasi

Yuqorida keltirilgan tiristorning ishlashini uning ekvivalent sxemasida tasavvur qilish qulay. Buning uchun uni $n-p-n$ va $p-n-p$ turdagi tranzistorlarning qo‘shmasi deb qarash kerak (5.11-rasm).



5.11-rasm. Tiristorning ekvivalent sxemasi

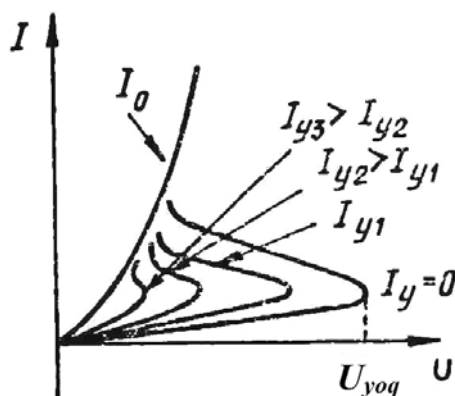
Bunda T_1 tranzistorning emmitter toki ΔI_{e1} miqdorga o‘zgarsa, uning kollektor toki ΔI_{k1} ga o‘zgaradi. U son jihatdan T_2 tranzistorning baza toki o‘zgarishiga teng bo‘ladi. Shuning uchun T_2 tranzistorning kollektor toki $\Delta I_{k2} = \Delta I_{b2} \cdot \beta_2 = \Delta I_{k1} \cdot \beta_2$ miqdorga o‘zgaradi (β_2 - T_2 tranzistorning tok bo‘yicha uzatish koeffitsiyenti). Lekin, T_2 tranzistorning kollektori T_1 tranzistorning bazasi bilan tutashgan. $I_{k2} = \Delta I_{b1}$ bo‘lgani uchun u T_1 tranzistor emmitter tokining yanada ortishiga olib keladi. Bu tiristordagi ko‘chki jarayonini xarakterlaydi (AV chiziq).

Ko‘rib chiqilgan ulanishdagi tiristor *diod-tiristor* yoki *dinistor* deb ataladi. Tiristorning yopiq holatdan ochiq holatga o‘tishini faqat anod-katod orasidagi kuchlanishni o‘zgartiribgina emas, balki bazalardan birortasidagi tokni qisqa muddatga oshirish yo‘li bilan ham amalga oshirish mumkin. Bu tokni *boshqarish toki* (I_u) deb ataladi. U tiristor qatlamlarida hosil bo‘ladigan jarayonlarni o‘zgartirmaydi. Faqat uning qayta ulash to‘g‘ri kuchlanishini kichraytiradi, xolos. Bunday tiristorlar *triode-tiristor* yoki *trinistor* deb ataladi. Uning volt-amper xarakteristikasi

5.12-rasmda ko'rsatilgan.

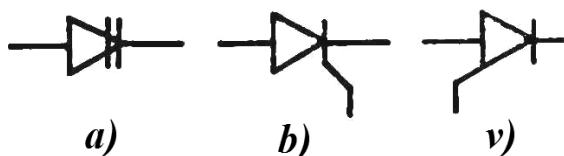
U boshqarish tokining ortishi bilan qayta ulash to'g'ri kuchlanishi kichrayishini ko'rsatadi. $I_y = I_0$ bo'lganda, xarakteristika diodning to'g'ri o'tish xarakteristikasiga aylanadi. I_0 yassilanish toki deb ataladi.

Boshqaruvchi elektrod sifatida bazalardan qaysi biri olinishiga qarab boshqarish katod yoki anod bo'yicha deb ikki turga bo'linadi. Katod bo'yicha boshqarishda tiristorning katodga yaqin R_2 -bazasi, anod bo'yicha boshqarishda esa, anodga yaqin joylashgan p_1 -bazasi boshqaruvchi elektrod vazifasini bajaradi. Ikkala holda ham tiristorning xarakteristikasi deyarli bir xil bo'ladi. Faqat, katod bo'yicha boshqarishda boshqaruvchi elektrodga katodga nisbatan musbat tok impulsi berilsa, anod bo'yicha boshqarishda anodga nisbatan manfiy tol impulsi ta'sir ettiriladi.



5.12- rasm. Tiristorning volt-amper xarakteristikasi

Tiristorlarning sxemada belgilanishi 5.13-rasmda ko'rsatilgan.



5.13-rasm. Tiristorning sxemada belgilanishi: a-diistor; b-katod bo'yicha; v - anod bo'yicha boshqariluvchi tiristorlar

6. Mikrosxemalar

6.1. Mikrosxemalar haqida ma'lumot

Radioelektron qurilmalar juda ko'p sondagi elektron asboblardan tashkil topadi. Fan va texnikaning rivojlanishi bilan ularning soni va turi yanada ortib bormoqda. Shuning uchun radioelektron qurilmaning mustahkamligi, uzoq muddat ishonchli xizmat qila olish qobiliyati va boshqa xususiyatlarini oshirgan holda ularning hajmini kichraytirish, og'irligi va sarf qiladigan quvvatini kamaytirish kabi masalalar o'rtaga qo'yilmoqda.

Yarimo‘tkazgichlar texnikasining rivojlanishi yarimo‘tkazgichli asboblarning ma’lum kombinatsiyadagi tizimini bir qobiqqa joylashtirish imkoniyatini yaratdi. Bunday asboblار *modul-sxemalar* yoki *mikromodullar* deb ataladi. Ularda o‘ta ixcham qobiqsiz yarimo‘tkazgichli asboblار, plyonkali (pardasimon) qarshilik va kondensatorlar ma’lum sxema asosida bir qobiq ichiga yig‘iladi va biror elektron qurilmaning to‘liq sexmasini tashkil etadi. Shuning uchun ular *mikrosxemalar* deb ham ataladi.

Mikrosxemalarning 1sm^3 hajmida kamida 5 ta element (tranzistor, diod, rezistor, sig‘im va induktivlik) qatnashib, ular biror elektron qurilmaning tugallangan sxemasini tashkil etishi lozim. Hozir integral mikrosxema (IMS) deb ataladigan yarimo‘tkazgichli asboblار keng qo‘llaniladi. Ular qurilmaning umumiy hajmini 20 000 martadan ortiq kichraytirish imkonini beradi. IMS shunday qurilmaki, uning barcha elementlari yoki ularning bir qismi ajralmas qilib bog‘langan bo‘ladi. Ular bir-biri bilan shunday tutashganki, natijada bir butun qurilma bo‘lib xizmat qiladi.

Mikrosxemalarni turlarga ajratish juda ko‘p belgilarga asoslanadi: materialining turi, elementlarining soni, funksional bog‘lanishi, qanday maqsadga xizmat qilishi, ishlab chiqarish texnologiyasi, konstruksiyasi va boshqalar. Masalan, bajaradigan ishining turiga qarab – kuchaytirgichlar, generatorlar, mantiqiy elementlar; funksional maqsadiga qarab – raqamli, qiyosiy (chiziqli), qiyosiy-raqamli; ishlab chiqarish texnologiyasi va konstruksiyasiga qarab – yarimo‘tkazgichli, pardasimon (plyonkali), duragay (gibrid) va birlashtirilgan sxemalar mavjud.

IMS ning murakkabligi yarim o‘tkazgich kristallida nechta element joylashtirilganligi bilan belgilanadi. Shunga ko‘ra mikrosxemalar integrallanish darajasi orqali xarakterlanadi. Masalan, elementlarining soni 10 tagacha bo‘lgan mikrosxemalar birinchi darajali integral sxema (IS1) yoki oddiy mikrosxema, elementlarning soni 100 tagacha bo‘lganlari - ikkinchi darajali integral sxema (IS2) yoki o‘rta (UIS) mikrosxema deb ataladi. Elementlarining soni $100 \div 10\,000$ bo‘lgan IS lar III darajali, ya’ni katta integral sxema (KIS), 10.000 dan ortiq elementga ega bo‘lgan mikrosxemalar esa, o‘ta katta (UKIS), ya’ni yuqori darajada integrallanishli mikrosxemalar hisoblanadi. Oddiy IMS ga mantiqiy elementlar, o‘rta IMSga esa, EHMning xotira qurilmalari, hisoblagichlar, jamlash qurilmalari - summatorlar misol bo‘ladi. Arifmetika mantiq va boshqarish qurilmalari katta IMS dir.

Shuni aytish kerakki, mikrosxemalarning integrallanish darajasini orttirish va unga bogliq elementlar o‘lchamini kichraytirishning chegarasi bor. Bir necha o‘n ming elementni bir sxemaga birlashtirish (integrallash) texnologik jihatdan juda murakkab bo‘lib, iqtisodiy jihatdan maqsadga

muvofoiq emas. Shuning uchun funksional mikroelektronikaga o'tilmoqda. Unda qurilmaning biror funksiyasini bajarish standart elementlar yordamida emas, balki fizik hodisalar asosida bajariladi.

Integral mikrosxemalar funksional bog'lanishiga qarab 2 xil impuls – qiyosiy va mantiqiy (logik) bo'ladi. Impuls-qiyosiy IMS garmonik yoki impuls tebranishlarni hosil qilish yoki kuchaytirishda, mantiqiy IMS esa, qurilmani elektron kalit rejimida qishlashini ta'minlashda qo'llaniladi.

IMS larning kichik o'lcham va massaga ega bo'lishi, kam quvvat sarflashi, yuqori ishonch bilan ishlashi, yuqori tezkorligi, arzonligi va boshqalar ularning afzalliklaridir. IMS ning yuqori ishonch bilan ishlashi payvandlanadigan birikmalar sonining kamayishi hisobiga bo'lsa, yuqori tezkorligi elementlari orasidagi tutashtirish oralig'ining kichikligi bilan xarakterlanadi.

Har bir mikrosxemani ishlatishda tashqi manba kuchlanishi, yuklamaning kattaligi, ta'sir etuvchi signal xususiyatlari va boshqalar oldindan aniqlangan bo'lishi lozim. Yarimo'tkazgichli, pardasimon, duragay (gibrid) va birlashtirilgan (qo'shma) IMS lar eng ko'p qo'llaniladigan mikrosxemalardir. Yarimo'tkazgichli IMS yarim o'tkazgich materialidan iborat bo'lib, uning sirtqi qatlamida yoki hajmida elektr sxema elementlariga, tutashtirish simlariga, himoya (izolyatsiya) qatlamlariga ekvivalent bo'lgan sohalar hosil qilingan bo'ladi.

Ko'pincha yarimo'tkazgich sifatida kremniy kristalli olinadi. U mikrosxemaning asosini tashkil qiladi va *taglik* yoki *kristall* deb ataladi. Kristalda *n-p* o'tishlar hosil qilish yo'li bilan sxemaning passiv va aktiv elementlari joriy qilinadi. Ular bir-biridan himoyalangan *orolchalar* deb ataladigan qismlarda tashkil topadi.

Yarimo'tkazgichli IMS lar ko'p to'plamli qilib yasaladi. Har bir to'plamga bir vaqtda juda ko'p mikrosxema joylashadi. Masalan, diametri 76mm bo'lgan bitta plastinkaga 5000 tagacha mikrosxema joylanishi mumkin. Uning har birida 10 tadan 20000 tagacha elektron element qatnashadi.

Pardasimon IMS maxsus taglik sirtida joylashtirilgan ko'p qatlamli pardalar to'plamidan iborat. Taglik sifatida shisha, keramika (sopol) kabi materiallar olinadi. Pardasimon IMS lar ikki turga ajratiladi: yupqa (1-2 mkm) pardali va qalin (10-20 mkm) pardali. Ular faqat qalinliklari bilangina emas, balki taglikka tushirish texnologiyasi bilan ham bir-biridan farq qiladi. Pardasimon IMS dan faqat passiv element – rezistorlar, kondensatorlar, induktivlik g'altagi yasaladi. Ulardan RC - filtrlar tuziladi.

Duragay IMS shunday mikrosxemaki, u pardasimon, yarimo'tkazgichli va diskret osma aktiv elementlarning birorta kombinatsiyasini tashkil

qiladi. Ular pardasimon IMS ning dielektrik tagligiga joylashtiriladi.

Osma element deganda, asosan, ixchamlashtirilgan qobiqsiz diod va tranzistorlar tushuniladi. Ular mustaqil element bo'lib, taglikka yopishtirib (osnb) qo'yiladi va narda elementlari bilan ingichka simlar yordamida tutashtiriladi. Duragay IMS da yarimo'tkazgichli IMS ham osma element hisoblanadi. Ayrim hollarda yetarlicha katta sig'im va induktivlik zarur bo'lganda ixchamlashtirilgan kondensator va induktivlik g'altagi ham osma element sifatida joriy qilinadi, chunki pardasimon IMS da katta sig'im va induktivlikka erishish mumkin bo'lmaydi.

Birlashtirilgan IMS da aktiv elementlar yarimo'tkazgichli mikrosxemadagi, passiv elementlar esa, pardasimon mikrosxemalardagi kabi yasaladi. Ular umumiy taglikka himoyalangan holda joylashtiriladi.

Barcha IMS lar germetik qobiqqa o'ralgan bo'lib, undan sxemaga tutashtirish uchlari - elektrodlar chiqariladi.

6.2. Yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalar

Yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalarning elementlari yarimo'tkazgichli asosning ichki qismida yoki uning yuzasida bajariladi. Yarimo'tkazgichli asos kremniy yarimo'tkazgich materialidan tayyorlangan plastinka bo'lib, uning qalinligi 200-30mkm ga teng bo'ladi. Kremniy plastinka kristall deb ataladi va uning yuzasi aksariyat hollarda 1.5×1.5 dan 6×6 mm bo'lishi mumkin.

Plyonkali va gibrid mikrosxemalarga nisbatan yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalarning soni va ishonchliligi juda yuqori va ishdan chiqish jadalligi juda kichik bo'ladi.

Bu mikrosxemalarning salbiy tomoni shundaki, ularning passiv elementlarining sifati (rezistorlar, kondensatorlar) gibrid va plyonkali mikrosxemalarga nisbatan pastroq bo'ladi, ikkinchi tomondan bu mikrosxemalarda yarimo'tkazgichli strukturada induktiv g'altaklarini hosil qilib bo'lmaydi.

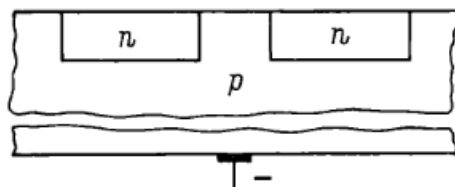
Bu kamchiliklarga qaramasdan yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalar mikroelektronikada yetakchi rollarni o'ynaydi chunki bunday mikrosxemalar yordamida katta va o'ta katta integral mikrosxemalar tayyorlanadi.

Izolyatsiya qilish. Yarimo'tkazgichli mikrosxemalarning hamma elementlari yarimo'tkazgichli kristallda bajarilishi tufayli sxema elementlarning kristall asosdan va bir-biridan ishonchli izolyatsiya qilish juda muhimdir.

Izolyatsiya qilishning bir necha turlari mavjud bo'lib, uning eng oddiy

va arzon usuli p - n o'tish yordamida izolyatsiyalashdir.

Bunday usulda izolyatsiya qilishda kremniyli p tipli kristall asosda diffuziya usulida n -tipli sohalar hosil qilinadi va bu sohalar cho'ntaklar deb ataladi (6.1-rasm).



6.1-rasm

Hosil bo'lgan cho'ntaklarda mikrosxemaning kerakli bo'lgan aktiv va passiv elementlari shakllantiriladi. Kristall bilan cho'ntak orasidagi p - n o'tish mikrosxema ishlayotgan vaqtda doimiy holda teskari kuchlanish ostida bo'ladi.

Kremniyli p - n o'tish teskari kuchlanish ostida yuqori qarshilikka (bir necha MOm) ega bo'ladi va izolyatsiya rolini bajaradi. p - n o'tishli izolyatsiya qilingan vaqtda elementlar orasida baryer sig'im vujudga keladi va yuqori chastotalarda bu mikrosxemalarning ishiga zararli ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu sababli p - n o'tishli izolyatsiya sodda bo'lishi bilan birga uning zararli tomonlari ham mavjuddir.

Izolyatsiyaning ikkinchi turi elementlarni dielektrik qatlam 6.2-rasm bilan izolyatsiya qilishdir. Bunday izolyatsiya qilishda cho'ntaklar bilan kristall yarimo'tkazgich orasida kremniy ikki oksid SiO_2 yordamida yupqa dielektrik qatlamni joylashtiriladi. Bunday qatlamni joylashtirish esa o'z navbatida integral mikrosxemani tayyorlashda qiyinchiliklar tug'diradi.

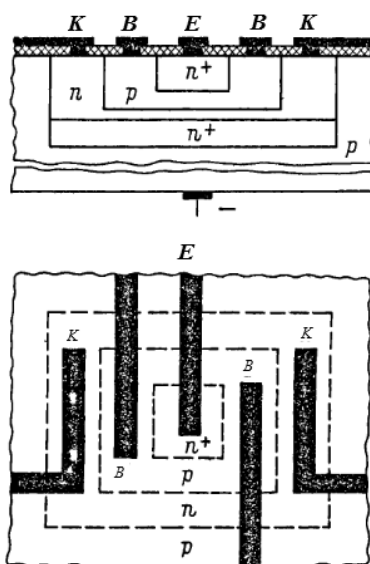
Ammo, boshqa tomondan, bunday izolyatsiya p - n o'tishli izolyatsiyaga nisbatan ancha sifatlidir, chunki bunda cho'ntak bilan kristall orasida vujudga keluvchi zararli baryer sig'iminin kattaligi juda kamdir.

Ammo texnologik jihatdan dielektrik qatlam bilan izolyatsiya qilish murakkab bo'lgani uchun, aksariyat hollarda p - n o'tish yordamida izolyatsiya qilishdan keng foydalaniladi.

Bipolyar tranzistorlar Yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalarda tranzistorlar planar yoki planar-epitaksial texnologiya asosida ishlab chiqariladi. Diffuziya usulida yarimo'tkazgichli kristallda emitter baza va kollektor sohaları yaratiladi.

Rasmda tranzistorning ko'ndalang qismi va yuqoridan gorizontall ko'rinishi tasvirlangan. Tranzistor strukturasi yarimo'tkazgichli kristallga 15 mkm chuqurlik atrofida joylashtirilgan. Tranzistorning o'lchamlarining kattaligi bir necha o'n mikrometrdan oshmaydi. Aksariyat hollarda mikrosxemalarda n - p - n tipli tranzistorlar yaratiladi. Tranzistorning ichki qatlamlari n -tipli bo'lib, yuqori konsentratsiyaga ega bo'lgan aralashmalarga ega.

Bu esa qarshilikni kamaytirib kollektor sohasidagi quvvat isroflarini oshib ketishiga yo‘l qo‘ymaydi. Tranzistorning kollektor o‘tishi va kollektor sohasida aralashmalarning konsentratsiyasi kichik bo‘lib, kollektor o‘tishning sig‘imi katta bo‘lishiga yo‘l qo‘ymaydi va shu bilan birga kollektor o‘tishining teshilish kuchlanishining kattaligi ham oshadi. Emitter sohasining p^+ tipli bo‘lishiga sabab esa emitterdan zaryadlar inyeksiyasini oshirish va emitter o‘tish elektr qarshiligini kamaytirishdir.



6.2-rasm

Tranzistorning yuqori qismiga himoya sifatida kremniy ikki oksid SiO_2 yordamida himoya qatlami yaratiladi. Tranzistorning kollektor va baza sohaslaridan ikkitadan ulanish klemmalari (elektrodlar) chiqariladi bu esa tranzistorni qo‘shni emitterlar bilan ulanishini osonlashtiradi va ulanish vaqtidagi kesishishlarni oldini oladi, chunki kesishishlar integral mikrosxemalarni ishlab chiqarishni murakkablashtirib yuboradi.

Emitterlarni yarimo‘tkazgichli kristallda joylashtirish topologiyasini optimal holatda tashkillashtirish va bunda kesishishlarni oldini olish muhim ahamiyatga ega. Hozirgi vaqtda bu ishni bajarishda komplementar texnologiyalaridan keng foydalanilmoqda.

Integral mikrosxemalarda qo‘llanilayotgan bipolyar tranzistorlarning asosiy parametrlari quyidagicha:

- baza tokining kuchaytirish koeffitsiyenti – 200;
- chegaraviy kuchaytirish chastotasi – 500 MGs;
- kollektor o‘tishning sig‘imi – 0.5pF;
- kollektor o‘tishning teshilish kuchlanishi – 50V;
- emitter o‘tishning teshilish kuchlanishi – 8V;
- n va p qatlamlarining solishtirish qarshiligi bir necha yuz Om;

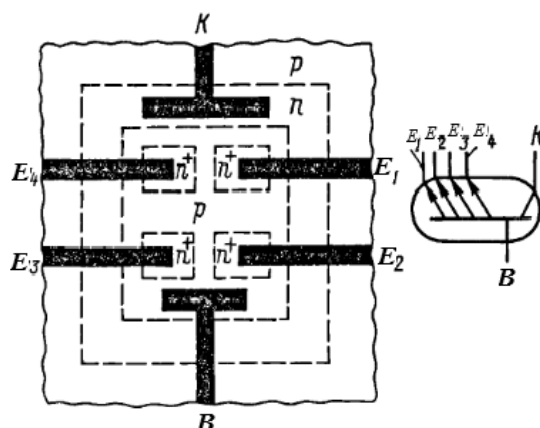
– $p+$ sohaning solishtirish qarshiligi 20 om dan yuqori emas.

Shunga e'tibor berish kerakki, yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalarda zararli va sxema uchun kerak bo'lmaydigan qo'shimcha elementlar paydo bo'ladi. Masalan, 6.2-rasmdan ko'rinib turibdiki sxema uchun kerakli bo'lgan $p-n-p$ tranzistor bilan birga $n-p-n$ tipli zararli va bizga kerak bo'lmagan tranzistor paydo bo'ldi. Shu bilan bizga kerak bo'lgan $p-n-p$ tranzistor bilan yarim o'tkazgich kristalli orasida $p-n-p-n$ tipli zararli tiristor yuzaga keldi.

Ammo, izolyatsiyalangan $n-p$ o'tishda teskari kuchlanish mavjud ekanligi sababli zararli elementlar mikrosxemaning ishiga ta'sir ko'rsata olmaydi.

Ko'p emitterli tranzistorlar raqamli yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalarda oddiy tranzistorlar bilan bir qatorda ko'p emitterli tranzistorlar ham qo'llaniladi.

Bunday tranzistorlarning tuzilishi va sxemalarda ko'rsatilishi 6.3-rasmda keltirilgan.



6.3-rasm. Ko'p emitterli tranzistorning strukturasi va sxemada ko'rsatilishi.

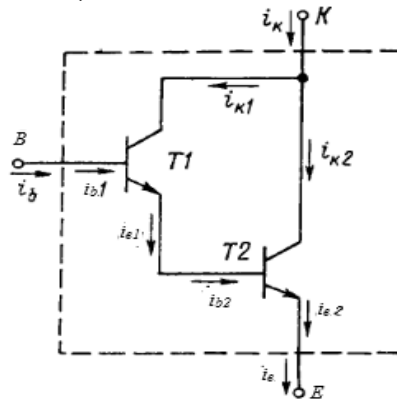
Bunday tranzistorni ochiq holatga o'tkazish uchun uning emitterlaridan biriga to'g'ri yo'nalishida kuchlanish impulsini ta'sir ettirish kifoya.

Bunday tranzistorlarni emitterlariga tranzistorni ochiq holatiga o'tkazuvchi impuls manbalari alohida ulanadi va bu manbalar bir-biriga ta'sir etishiga yo'l qo'yish mumkin emas. Chunki, birinchi emitter E_1 ga berilgan impuls qolgan emitterlarga ta'sir ko'rsatishi natijasida ko'p emitterli tranzistorning ish rejimida nuqsonlar paydo bo'ladi.

Ko'p emitterli tranzistorlar bilan birga ko'p kollektorli tranzistorlar ham ishlatiladi. Masalan, 6.3-rasmdagi ko'p emitterli tranzistor emitterlarini kollektor sifatida ishlatib kollektorni esa emitter sifatida ishlatilsa, ko'p kollektorli tranzistor hosil qilish mumkin.

Tarkibiy, tranzistorlar juft tranzistorlardan tashkil topgan bo'lib,

ularning β koeffitsiyenti juda yuqori bo‘ladi. Ko‘p hollarda Darlington juftliklari uchraydi (6.4-rasm).



6.4-rasm. Tarkibiy tranzistorning elektr sxemasi

Bu sxema asosida quyidagi munosabatlarni yozishimiz mumkin:

$$i_{b2} = i_{e1} = (\beta_1 + 1) \cdot i_{b1};$$

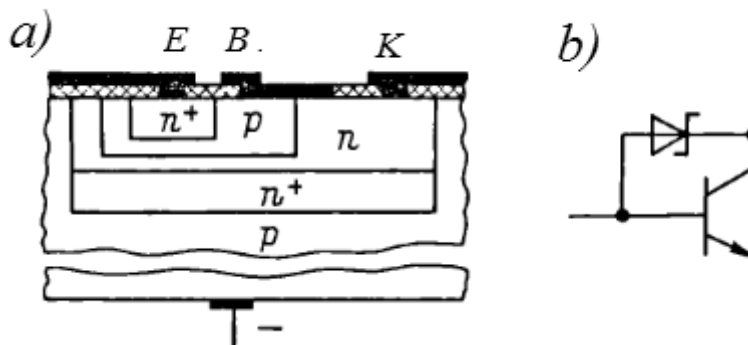
$$i_K = i_{K1} + i_{K2} = \beta_1 i_{b1} + \beta_2 \cdot i_{b2};$$

Ushbu munosabatlardan foydalanib quyidagi formula yozilishi mumkin:

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \cdot \beta_2 \approx \beta_1 \cdot \beta_2.$$

$\beta_1 = \beta_2 = 100$ bo‘lganda, $\beta = 10^4$ bo‘ladi. Amaliyotda β ning qiymati bir necha mingga teng bo‘lishi mumkin.

Shottki baryerli tranzistori – bu shunday bipolyar tranzistorki, uning kollektor o‘tishi shottki diodi bilan shuntlangan. Shotki diodi shunday diodki, unda metall bilan yarimo‘tkazgich orasida kontakt hosil qilingan va bu diod to‘g‘rilagich xususiyatiga ega. Bunday diodlarning asosiy xususiyati shundaki, ularda diffuzion sig‘im mavjud emas, shu tufayli ularning ish chastotalari juda yuqori bo‘lib, 15GGs lar atrofida bo‘ladi. 6.5-rasmda shottki baryeri bo‘lgan tranzistor sxemani va yarimo‘tkazgichli integral mikrosxemadagi tuzilmasi ko‘rsatilgan.

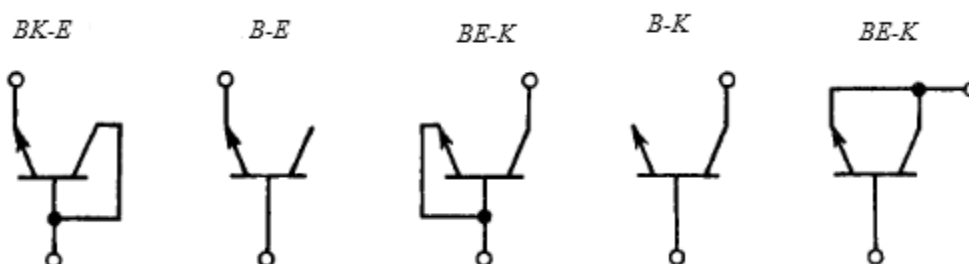


6.5-rasm. Shotki baryerli tranzistorning tuzilmasi (a) va uningi sxemasi (b)

Shotki baryerli tranzistorlarning kalit rejimida tezkorligi juda yuqori bo'lib, ular ochiq holatdan berk holatga o'tish vaqti juda kichikdir.

Diod sifatida ulanuvchi tranzistorlar Integral mikrosxemalarda diod sifatida bipolyar tranzistorlardan foydalaniladi, bu maqsadda tranzistorlar diod sifatida ulanadi. Bunday ulanish natijasida integral mikrosxemalarning ishlab chiqarilishi osonlashadi.

Tranzistorning yarimo'tkazgichli diod sifatida ulashning besh xil turi mavjud, ular bir-biridan o'zining parametrlari orqali farqlanadilar (6.6-rasm).



6.6-rasm. Tranzistorlarni diod sifatida qo'llashning sxematik turlari

Ulanishning BK-E turida tranzistorning baza va kollektori qisqa tutash-tiriladi. Bunday ulanish bilan hosil qilingan diodning bir holatdan ikkinchi holatga o'tish vaqti juda kichik bo'lib, bir necha nanosekundga teng.

Ulanishning B-E turida tranzistorning faqatgina emitter o'tishidan foydalaniladi. Bunday ulanishda diodning bir holatdan ikkinchi holatga o'tish vaqti avvalgi ulanishga qaraganda birnecha marta katta. Ulanishning ikkala turida ham hosil qilingan diodlarning sig'implari juda kichik bo'lib, pikofaradaning o'ndan bir ulushlarini tashkil etadi.

Dioddan o'tayotgan teskari toklar ham bunday ulanishda minimal bo'lib, 0.5-1.0nA ga teng bo'lishi mumkin. Ammo bunday ulanishning kamchiligi teskari kuchlanishning ancha kichik qiymatlarida ham teshilish hosil bo'lishidadir, bu esa asbobni ishdan chiqarishga sabab bo'ladi. Ulanishning BE-K turida tranzistorning baza va emitteri bir-biri bilan qisqa tutashtiriladi va bu taqriban B-E bilan ulanish turiga ekvivalentdir, ammo bu ulanishning teshilish kuchlanishi yuqori bo'lib, 40-50V gacha bo'lishi mumkin, shu bilan birga bunday ulanishda o'tayotgan teskari tok qiymati yuqori bo'lib, 40nA gacha yetishi mumkin.

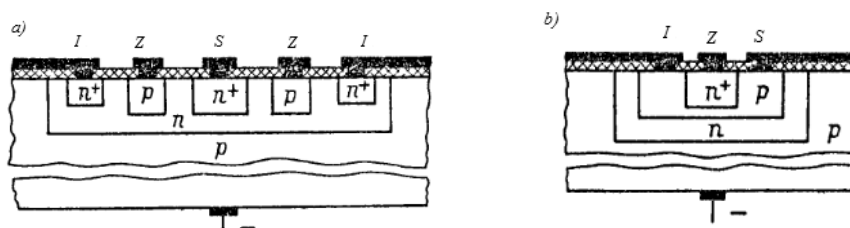
Aksariyat hollarda ulanishning BK-E va B-E turlaridan foydalaniladi. Tranzistorlarning diod sifatida ulanishlarining ba'zilaridan stabilitron sifatida foydalaniladi. Masalan, stabillashgan 5-10V kuchlanish uchun ulanishning B-E turidan foydalaniladi.

Ulanishning BK-E turidan to'g'ri kuchlanishning ikkilangan va stabillashgan kattaligini hosil qilishda foydalanish mumkin. Stabillashgan kuchlanishning harorat koeffitsiyenti bunday stabilitronlar uchun bir necha

millivolt/kelvinni (mV/K) tashkil qiladi.

p - n o'tishli maydon (unipolyar) tranzistorlari bunday tranzistorlarni bipolyar tranzistorlar bilan birga bitta kristallda hosil qilish mumkin.

6.7-rasmda planar maydon tranzistorning struktura sxemasi ko'rsatilgan. Bu tranzistor kanali n -tipli bo'lib p -tipli cho'ntakda n^+ tipli stok-istok sohalari va shu bilan birga, n -tipli zatvor sohasi yaratilgan. Stok markazda joylashgan zatvor uning atrofida hosil qilingan.

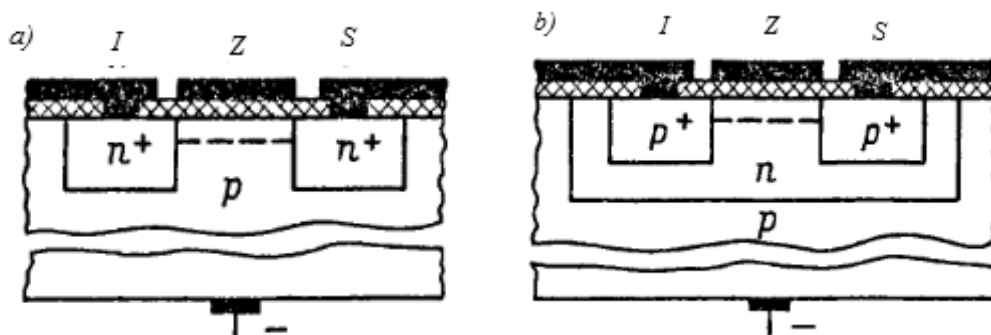


6.7-rasm. p -tipli kanalga ega maydon tranzistori (a);
 p -tipli kanalga ega bo'lgan maydon tranzistori (b)

Maydon tranzistorining boshqa varianti 6.7,b-rasmda keltirilgan.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, uning strukturasini p - n - p tipli tranzistorga o'xshaydi. Bu tranzistorda kanal sifatida tranzistorning bazasidan foydalaniladi.

MDYA-tranzistorlar Integral mikrosxemalarda bipolyar tranzistorlar *MDYA* tranzistorlar tomonidan siqib chiqarilmoqda (*MDYA* metall dielektrik-yarim o'tkazgich). Bu holat *MDYA*-tranzistorlarning bir qancha afzalliklari bilan izohlanadi. Masalan, *MDYA* tranzistorlarning tuzilishi bipolyar tranzistorlarga nisbati juda sodda, ularning kirish qarshiliklari yuqori va h.k. Maydon tranzistorlarning ichida induksiyalangan kanalli maydon tranzistorlarini tayyorlash juda oson. Buning uchun, masalan, n -tipli kristallda diffuziya usulidan foydalangan holda p^+ tipli istok va stok sohalarni yaratish kerak xolos (6.8-rasm).



6.8-rasm. Yarimo'tkazgichli integral mikrosxemada induksiyalangan kanalli p (a) va n tipli (b) kanalga ega bo'lgan M...T tranzistor tuzilmasi

Ammo, boshqa tomondan, mikrorejim holatida tranzistorning kirish qarshiligi keskin oshadi va uning qiymati o'nlar va hatto yuzlar kOmgacha yetadi. Bunday hodisa tranzistor umumiy baza bilan ulanganda

ham yuz beradi.

Mikrorejim holatida ishlovchi tranzistorning chegaraviy kuchaytirish chastotasini oshirish maqsadida ularning $n-p$ o'tishlarining yuzalari kichraytiriladi va buning natijasida $n-p$ o'tishlar sig'implarining qiymati kamayadi. Maydon tranzistorlari mikrorejim holatida ishlaganida, ularning xarakteristikasining tikligi va chastotaviy xususiyatlari yomonlashadi.

MDYA tranzistorlarning ishlab chiqarish texnologiyasi doimiy ravishda yangilanib va takomillashtirilib borilmoqda. Mikrorejimda ishlovchi tranzistorlar Mikroelektronikaning aksariyat sxemalarida tranzistorlarning juda kichik quvvat bilan ishlashi muhimdir. Masalan, bipolyar tranzistorlar uchun mikrorejim holati, agar kollektor tokining kattaligi $100\mu A$ dan kichik bo'lsa yuzaga keladi. Mikrorejim holatida tranzistorning kollektor, emitter elektrodleri orasidagi kuchlanish ham kichik bo'lib, voltning ulushlaridan boshlab bir necha voltgacha bo'lishi mumkin.

Tranzistorlar mikrorejim holatida ishlaganda ularning parametrlarida o'zgarishlar vujudga keladi, masalan, ularning tokni uzatish koeffitsiyenti kamayadi, tezkorligi susayadi va ularning kuchaytirish chastotasi ham pasayadi. Tranzistorlarning stok elektrodleri ham o'zaro parallel ulangan va bu elektrodler chiqish bo'lib xizmat qiladi.

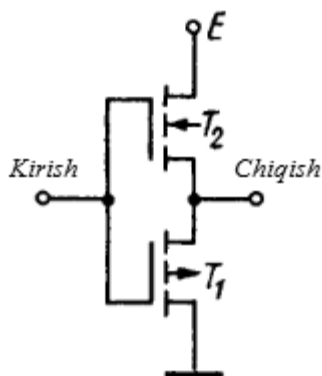
EYUK manbai E ga nisbatan tranzistorlar ketma-ket ulangan. Qarshiligi musbat yoki manfiy kuchlanish berilishiga qarab T_1 yoki T_2 tranzistorda induksiyalangan kanal hosil bo'ladi, ya'ni, agar bir tranzistor ochiq holatda bo'lsa, ikkinchi tranzistor berk holatda bo'ladi. Masalan, agar T_1 tranzistor berk T_2 tranzistor esa ochiq bo'lsa, chiqishdagi kuchlanish kattaligi *EYUK* manbai E ning qiymatiga yaqin bo'ladi; agar tranzistorlarning holati almasha, u holda chiqishdagi kuchlanish nolga yaqin bo'ladi. Ish jarayonida tranzistorlardan biri doim berk holatda bo'lgani uchun, bu sxema manbadan juda kichik quvvat olib ishlaydi. Komplementar tranzistorlar raqamli elektronika sxemalarida keng ishlatiladi va ular kam tok iste'mol qilishi va yuqori tezkorligi bilan ajralib turadi.

Komplementar tranzistorlarning qo'llashni biz raqamli va mantiqiy elektronikaning sxemalarida keng ishlatiladi va ular kam tok iste'mol qilishi va yuqori tezkorligi bilan ajralib turadi. Komplementar tranzistorlarning qo'llash usulini biz raqamli va mantiqiy elektronikaning sxemalarida keng qo'llaniluvchi inverter misolida ko'rib chiqaylik.

6.9-rasmdagi sxemada induksiyalangan va kanali n - va p -tipi bo'lgan tranzistorlar ko'rsatilgan. Ularning zatvorlari bir-biriga parallel ulangan va kirish bo'lib xizmat qiladi.

Bu sohalarining $n-p$ o'tishlari va kristall asos orasidagi $n-p$ o'tishlar teskari kuchlanish ostida bo'ladi. Shunday usul bilan tranzistorlar bir-

biridan hamda kristall asosdan izolyatsiya qilinadi. Xuddi shunday usul bilan tranzistorning kanali kristalldan izolyatsiya qilinadi.

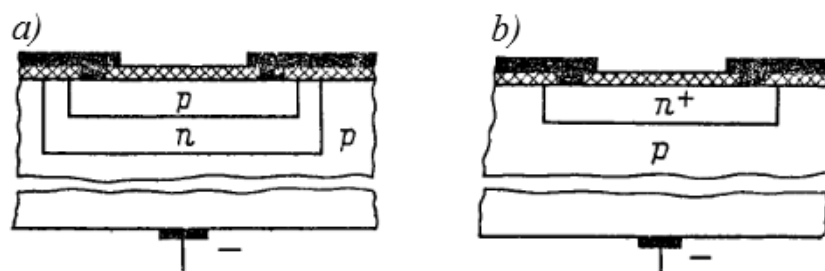


6.9-rasm. Komplementar tranzistorlarda qurilgan invertorning sxemasi

n -tipli kristall asosida n -tipli kanalni hosil qilishda anchagina qiyinchiliklarga duch kelinadi. Chunki bunday tranzistorlarni hosil qilishda birinchi navbatda p -tipli choʻntak hosil qilish kerak (6.7,b-rasm).

Integral mikrosxemalarda hozirgi vaqtda MDYA tranzistorlarning juftliklaridan foydalanish keng tarqalgan, bunda tranzistorlardan biri n -kanalli, ikkinchisi p -kanalli boʻladi. Bunday juftliklar komplementar tranzistorlar deb ataladi (KMDYA).

Rezistorlar yarimoʻtkazgichli mikrosxemalarda diffuzion rezistorlardan foydalaniladi. Ularni tayyorlashda yarimoʻtkazgichli kristallga aralashmalar qoʻshilib p yoki n tipli elektr oʻtkazuvchanlik hosil qilinadi. 6.10-rasmda rezistorning tuzilma (struktura) sxemasi keltirilgan.



6.10-rasm. Yarimoʻtkazgichli integral sxemasining diffuzion rezistorlari

Diffuzion rezistorlarning qarshiligi ularning uzunligi, kengligi, qalinligi va aralashmalar konsentratsiyasiga bogʻliq boʻladi. n -tipli rezistorlar tranzistorning bazasi bilan birga hosil qilinadi va bunda kattaligi oʻnlarcha $k\Omega$ ga teng boʻlgan rezistorlar hosil boʻladi.

Rezistorning emitter qarshiligini oshirish uchun bazan ularni shakli spiralsimon qilinadi. Kichik qarshilikli rezistorlarni hosil qilishda rezistorlar emitter sohasi bilan tayyorlanadi (6.10,b-rasm).

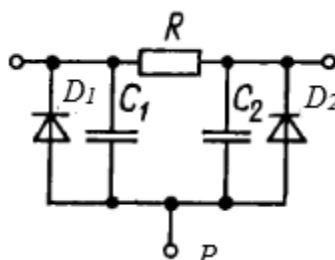
Diffuziya usuli bilan birga rezistorlarni tayyorlashda ionli implantatsiya usuli ham qoʻllaniladi.

Maydon tranzistorlar asosida qurilgan rezistorlarda MDYA-

tuzilmaning kanalidan foydalaniladi. Bunday MDYA-rezistorlar tranzistor sifatida ham ishlashi mumkin, chunki ular tranzistorlarga o'xshash tuzilmaga ega. MDYA-rezistorlarning qarshiligining kattaligini o'rnatish zatvordagi kuchlanishni kattaligini rostlash orqali amalga oshiriladi.

Maydon tranzistorlari asosida yaratilgan rezistorlarning tuzilmasi bipolyar tranzistorlar asosida yaratilgan rezistorlarga nisbatan juda sodda ko'rinishga ega. Chunki, MDYA-tuzilmali rezistorlarda $n-p$ o'tishlarning sig'imi mavjud emas va ular rezistor ishiga ta'sir ko'rsatmaydi.

Bipolyar tranzistorlar asosida qurilgan diffuzion rezistorlar misolida $n-p$ o'tish sig'imlarini rezistor ishiga ko'rsatuvchi zararli ta'sirini tahlil qiladigan bo'lsak, bunday rezistorning ekvivalent sxemasini o'rganishimiz maqsadga muvofiqdir (6.11-rasm).

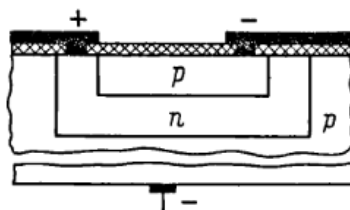


6.11-rasm. Diffuzion rezistr ekvivalent sxemasi

Bu sxemada C_1 va C_2 kondensatorlar rezistor bilan integral mikrosxema asosi orasidagi sig'imlarini tasvirlaydi, D_1 va D_2 diodlar esa rezistor bilan asos orasidagi $n-p$ o'tishni tasvirlaydi. D_1 va D_2 diodlar rezistorning ish jarayoni davomida teskari kuchlanish ostida saqlanadi.

Kondensatorlar yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalar uchun qo'llaniluvchi kondensatorlar diffuzion kondensatorlar bo'lib, ularni hosil qilishda $n-p$ o'tishning baryer sig'imidan foydalaniladi.

Bunday kondensatorlarning sig'imi $n-p$ o'tishning yuzasiga yarim o'tkazgichning dielektrik singdiruvchanligiga va $n-p$ o'tishning qalinligiga bog'liq bo'ladi (6.12-rasm).



6.12-rasm. Yarimo'tkazgichli integral sxemada kondensator hosil qilish

Agar katta sig'im zarur bo'lsa, u holda o'tishlarni tranzistorning emitter o'tishlari sifatida tayyorlanadi. Bunday usulda tayyorlangan kondensatorlarning sig'imi 1500 pikofaradagacha bo'lishi mumkin. Bunday kondensatorlarning $n-p$ o'tishining teshilish kuchlanishi 10V dan oshmaydi. Kollektor o'tishi bilan tayyorlangan kondensatorlarning sig'imi kichik

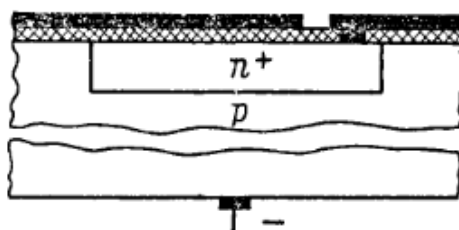
bo'lsa ham (150pF gacha), ularning teshilish kuchlanishi yuqori bo'lib, 50V gacha yetishi mumkin.

Ko'rilgan kondensatorlar sifatligining (dobrotnost) yuqori emasligi ($20 \div 100$) shundaki ular da dielektrik sifatida yarimo'tkazgichli $n-p$ o'tishdan foydalaniladi va unda energiya yo'qotishlari juda kattadir.

Diffuzion kondensatorlarning baryer sig'imi nochiziqli bo'lib, uning kattaligi teskari kuchlanishga bog'liq holda o'zgaradi. Masalan, teskari kuchlanishning $1 \div 10V$ atrofida o'zgarishi sig'imni $2.0 \div 2.5$ martagacha o'zgarishiga olib kelishi mumkin.

Nochiziqli kondensatorlardan radioelektron qurilmalarda o'zgaruvchan kondensator sifatida keng foydalaniladi.

Yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalarda bipolyar tranzistorlar asosida qurilgan diffuzion kondensatorlar bilan birga MDYA kondensatorlardan ham keng foydalaniladi. Bunday kondensatorlarning tuzilmasi 6.13-rasmda keltirilgan.



6.13-rasm. O'tkazgichli integral mikrosxemaning MDYA-kondensatorlarning tuzilmasi

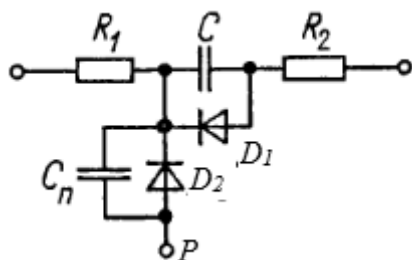
MDYA kondensatorlarning qoplamalaridan biri sifatida kremniyning diffuzion qatlami $p+$ xizmat qiladi. Bu qoplamada kremniy ikki oksidli SiO_2 yupqa dielektrik qatlam hosil qilinadi.

Dielektrik qatlamning ustidan esa metall (alyuminiy) plyonka bilan qoplanadi va bu plyonka kondensator uchun ikkinchi qoplama bo'lib xizmat qiladi. Bunday kondensatorlarning solishtirma sig'imi $400pF/mm^2$ gacha bo'lishi mumkin, sig'imning kattaligi esa 500pF gacha etishi mumkin. Bunday tuzilmaga ega bo'lgan kondensatorlarning teshilish kuchlanishi 20V dan yuqori bo'lishi mumkin.

Bunday tuzilmali kondensatorlarning ishlashi kuchlanish ishoralarining o'zgarishiga bog'liq emas, ularning sifatligining (dobrotnost) 250 gacha etishi mumkin. MDYA kondensatorlarda sig'imning kuchlanishga bog'liqliligi diffuzion kondensatorlarga nisbatan juda kam. Yarimo'tkazgichli integral mikrosxema tuzilmasida yaratilgan kondensatorlarda ham kristall asos orasida zararli sig'imlar va zararli tranzistorlar yuzaga kelishi mumkin.

Diffuzion kondensatorning ekvivalent sxemasi keltirilgan. Bu sxemada asosiy sig'im S bilan birga asosga nisbatan vujudga keluvchi sig'im S_p va

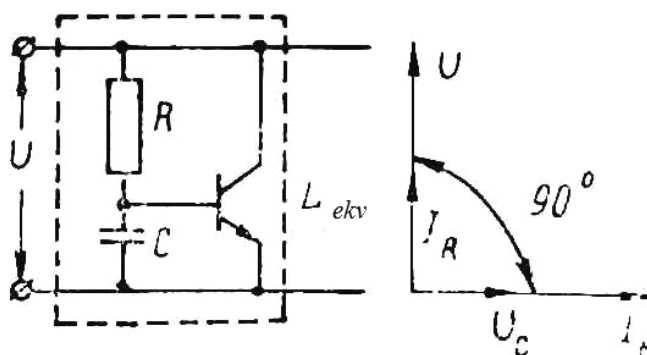
teskari kuchlanish ostidagi D_1 va D_2 diodlar ko'rsatilgan. Ushbu diodlar ikkita $n-p$ o'tish uchun ko'rsatilgan n va p sohalar hosil qiluvchi kondensatorning aktiv qarshiliklari R_1 va R_2 rezistorlar bilan ko'rsatilgan.



6.13-rasm

Induktivlik. Yarimo'tkazgichli IMS larda induktivlik g'altagi va transformatorlar biror texnologiya asosida hosil qilinmaydi. Shuning uchun ular tranzistor, rezistor va kondensatorlarning biror tur ulanishi hisobiga ekvivalent element sifatida olinadi. Masalan, 6.14-rasmda ekvivalent induktivlik hosil qilish sxemalaridan biri keltirilgan.

Unda o'zgarmas kuchlanish manbai ko'rsatilmagan. Rasmga ko'ra, tranzistorning emitter-kollektor oralig'iga ulangan o'zgaruvchan kuchlanishning bir qismi RC zanjir orqali uning bazasiga uzatiladi.



6.14-rasm. Ekvivalent induktivlik sxemasi

Agar R va S elementlar shunday bo'lsaki, $R \gg \frac{1}{\omega C}$ tengsizlik bajarilsa, RC zanjirdan o'tadigan tokning fazasi U kuchlanish fazasi bilan mos tushadi. Lekin, U_C kondensator kuchlanishi undan 90° orqada qoladi. Kondensator kuchlanishi bazaga ta'sir etgani uchun kollektor tokini boshqaradi va u bilan mos fazada o'zgaradi. Shuning uchun I_q tok U kuchlanishdan 90° orqada qoladi. Demak, sxemadagi tranzistor U kuchlanishga induktiv qarshilik ta'sirini ko'rsatadi: $X_L = \frac{U}{I_K} = \omega L_{ekv}$ ya'ni tranzistor $L_{ekv} = \frac{U}{\omega I_K}$ induktivlikka ekvivalent bo'ladi.

6.3. Mikrosxemalarni belgilash

IMS larning turlarini aniqlash GOST 18682-73 tasdiqlagan shartli belgilar asosida olib boriladi. U mikrosxemaning qanday shakl va texnologik asosda ishlab chiqarilganini, qanday maqsad uchun ishlatish mumkinligini hisobga oladi.

Ko'p mikrosxemalar manba kuchlanishining kattaligi, kirish va chiqish qarshiligi, signal sathi kabi kattaliklarni hisobga olgan holda to'plamlar - seriyalarga birlashtiriladi. Bir seriyaga kiradigan mikrosxemalar shunday tanlanadiki, ulardan bir butun radioelektron qurilmani yasash mumkin bo'lsin.

Yasalish shakli va texnologiyasiga qarab IMS lar 3 ta guruhga bo'linadi va raqamlar orqali ifodalanadi:

- a) 1, 5, 6, 7-yarimo'tkazgichli mikrosxema;
- b) 2, 4, 8-duragay mikrosxema;
- c) 3-pardasimon, vakuumli, keramikali (sopol) mikrosxema.

Mikrosxema belgisida uning seriyasi raqamlar bilan ifodalanadigan ikki elementdan tashkil topadi. Unda birinchi raqam mikrosxemani yasashdagi shakl va texnologiyasini ifodalasa, ikkinchisi - ikki xonali (eskicha) yoki uch xonali (yangicha) raqam - seriyaning tartib nomerini ko'rsatadi. Masalan, 1801 seriya 801 tartib nomerli yarimo'tkazgichli IMS deb o'qiladi. 252-seriya 52-nomerli duragay mikrosxemadir.

Qanday maqsadga xizmat qilishiga qarab IMS lar yana nimguruh (podgruppa) va ko'rinishga ajratiladi, masalan, generatorlar, kuchaytirgichlar, mantiqiy elementlar va boshqalar. U mikrosxema belgisida seriyadan keyin yoziladigan ikki harf bilan ifodalanadi: GS - garmonik tebranish generatori, DF - fazaviy detektor, UV - yuqori chastotali kuchaytirgich, UN - past chastotaviy kuchaytirgich, VX - mikrokalkulyator va boshqalar. Ular mikrosxemalarni belgilash jadvallarida ko'rsatiladi. Mikrosxema belgisining oxirida A dan Ya gacha bo'lgan harflar bo'lishi mumkin. Ular bir turdagi mikrosxemaning parametrlaridagi farqni ifodalaydi.

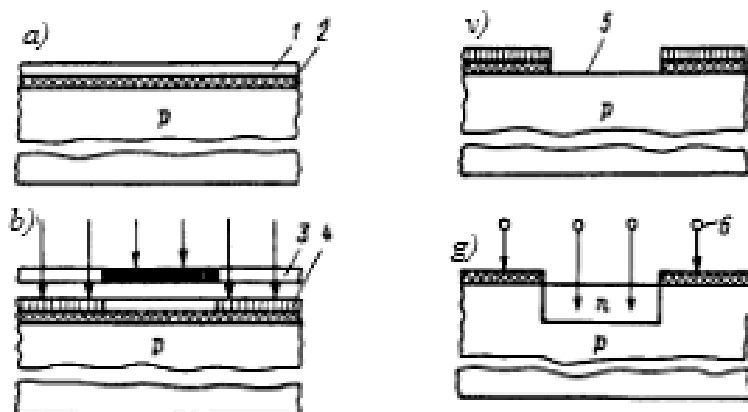
Mikrosxema belgisida seriya belgisidan oldin Q, KM, KN, KR va KA harflar yozilgan bo'ladi. Ular mikrosxemani ishlab chiqargan zavoddan qabul qilib olinganlik shartini ifodalaydi. Bunda K harfi mikrosxemani keng qo'llanishi maqsadida ishlab chiqarilganini bildiradi. Masalan, K155IE 7 deb belgilangan mikrosxema quyidagicha o'qiladi: Keng qo'llanish maqsadida ishlab chiqarilgan 155 seriyadagi 7 tartibli (nomerli) schyotchik (hisoblagich) vazifasini bajaradigan yarimo'tkazgichli mikrosxema; seriya tartibi (nomeri) 55.

Qobiqsiz mikrosxemalar belgisida seriya raqami oldidan B harfi,

oxirida esa chiziqchadan keyin biror raqam qo'yiladi. Bu raqam integral mikrosxemalarni tayyorlash prinsipi.

6.15-rasmda yarimo'tkazgichli integral mikrosxemalarni soddalashtirilgan tayyorlash texnologiyasi aks ettirilgan. Bunda o'ta sayqallangan n -tipli kremniyli yarimo'tkazgichning sirtiga kremniy ikki oksidning yupqa qatlami (2) qoplanadi (6.15,a-rasm). Bu qoplamaning ustida fotorezist deb ataluvchi qatlam hosil qilinadi (1).

Fotorezist shunday moddaki, u yorug'lik ta'sirida o'zining kimyoviy xususiyatini o'zgartirib kislotaliy muhitga bardoshli holatga o'tadi (fotorezist sifatida buning aksi bo'lgan xususiyatga ega bo'lgan moddalardan ham foydalaniladi). Shundan so'ng fotorezistga ultrabinafsha nurlari fotoshablon orqali ta'sir etiladi (3), (6.16,b-rasm). Fotoshablon fotoplastinka bo'lib, unda bo'lajak mikrosxemaning aksi tasvirlangan. Bu tasvir shaffof va noshaffof sohalarga ega bo'ladi. Bunday fotoshablon qog'ozda aks ettirilgan chizmani (sxemani) rasmga olish orqali hosil qilinadi.



6.15-rasm. Yarimo'tkazgichli integral mikrosxemani tasvirlash sxemasi

Fotorezistning (4) yoritilgan sohalari kislota ta'siriga chidamli holatga o'tadi. Shundan so'ng kislota yordamida yorug'lik ta'sir etmagan 1 va 2 qatlamlar eritilib olib tashlanadi. Bunday usulni fotolitografiya usuli deb ataladi. Eritilgan sohalarda darchalar (5) hosil bo'lib, ular orqali donar atomlarning diffuziyasi amalga oshiriladi (6).

Donar atomlarining diffuziyasi sifatida qizdirilgan gaz sifatidagi atomlardan foydalaniladi. Natijada yarimo'tkazgichli kristallda p -sohali cho'ntak vujudga keladi. Yoritilgan sohalardagi erimay qolgan fotorezist maxsus suyuqlik yordamida yuvib tashlanadi.

Shundan so'ng hamma jarayonlar qaytadan amalga oshiriladi. Masalan, akseptor atomlarining diffuziyalash orqali p -sohaning ichki qismida n -soha hosil qilinadi va h.k .

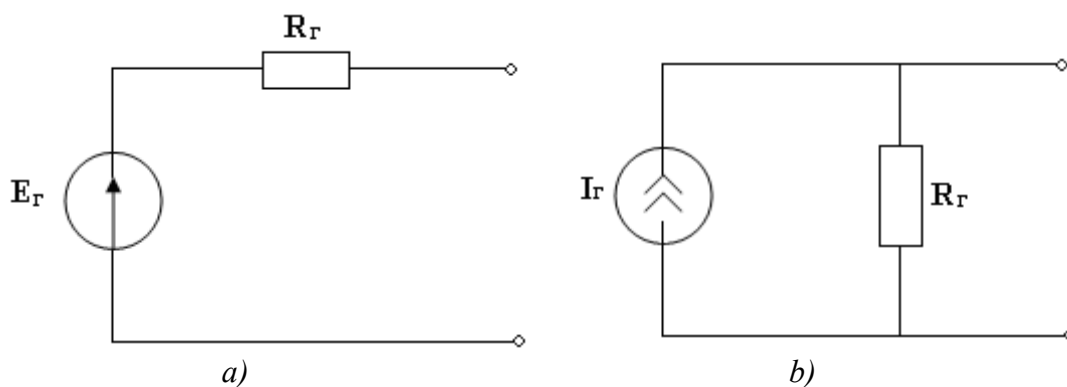
MDYA-texnologiya asosida integral mikrosxemalarni hosil qilish bi-polyar tranzistorlar asosidagi struktura yordamida integral mikrosxema-

larni yaratishga nisbatan ancha arzonga tushadi, ammo MDYA-texnologiya asosidagi integral mikrosxemalarning tezkorligi bipolyar strukturali integral mikrosxemalarga nisbatan kichikroqdir. Bu kamchilikni yo‘qotish uchun MDYA tuzilmadagi integral mikrosxemalarda zararli sig‘imlarning kattaliklari kamaytiriladi, zaryad tashuvchilarning harakatchanligini oshirish maqsadida p -tipli kanallardan foydalaniladi. Ba‘zan esa kombinatsiyalashtirilgan texnologiya asosida bipolyar va MDYA-tuzilmalar birlashtirilgan yarimo‘tkazgichli integral mikrosxemalardan foydalaniladi.

7. Kuchaytirgichlar

7.1. Bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi

Umumiy emitter sxemada ulangan bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi eng keng tarqalgan. Kuchaytirgich tahlil qilinganda signal manbai yoki qarshilik R_G bilan ketma-ket ulangan ideal kuchlanish manbai E_G ko‘rinishida (7.1,*a*-rasm), yoki qarshilik R_G bilan parallel ulangan ideal tok manbai I_G ko‘rinishida (7.1,*b*-rasm) ifodalanishi mumkin.

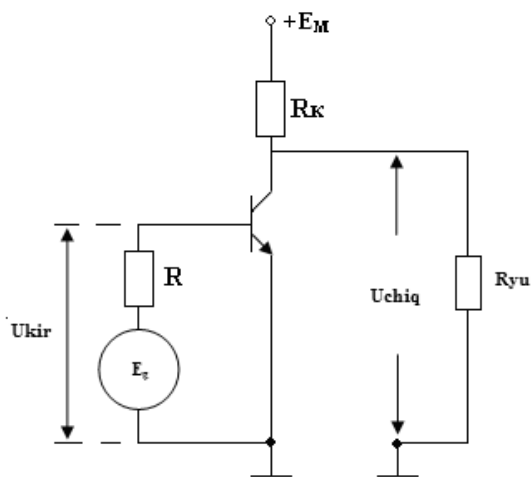


7.1-rasm

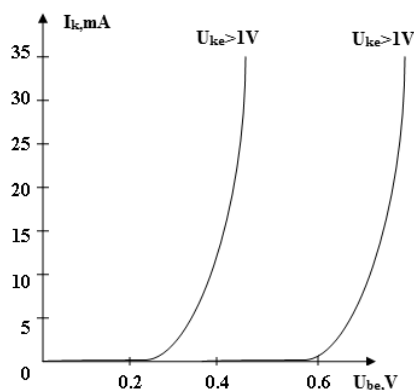
Agar R_G va kuchaytirgich bosqichining kirish qarshiligi qiymatlari bir-biriga yaqin bo‘lsa, signal manbaining turi hisoblash aniqligiga ta’sir ko‘rsatmaydi. Agar R_G kuchaytirgich bosqichining kirish qarshiligidan ancha katta bo‘lsa, 7.1,*b*-rasmدا keltirgan signal manбайдan, aks holda esa 7.1,*a*-rasmدا keltirgan signal manбайдan foydalanish tavsiya etiladi.

Umumiy emitter sxemada ulangan bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi sxemasi 7.2-rasmدا keltirilgan.

Sxemani tahlil qilganda, tranzistor holati kirish kuchlanishi bilan boshqarilganda uzatish xarakteristikasi (7.3-rasm), chiqish xarakteristikalar oilasi hamda kirish xarakteristikalar oilasi dan foydalanish qulay.



7.2 –rasm



7.3-rasm

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

$$I_K = I_{KS} \exp\left(\frac{U_{BE}}{\varphi_T}\right), \quad (7.1)$$

bu yerda $\varphi_T = \frac{kT}{q}$ - harorat potentsiali; I_{KS} – proporsionallik koeffitsiyenti bo‘lib, uning taxminiy qiymati mikroquvvatli kremniyli tranzistorlar uchun $T=300K$ bo‘lganda $10^{-9}mA$ tartibga ega bo‘ladi.

Kirish signali mavjud bo‘lmaganda, kuchaytirgich bosqichi sokinlik rejimida bo‘ladi. Sokinlik rejimida kollektor-emitter kuchlanishining doimiy tashkil etuvchisi $U_{KE} = E_P - I_K R_K$.

Kirishga o‘zgaruvchan kirish signalining musbat yarim davri berilsa, baza toki ortadi va u kollektor toki o‘zgarishiga olib keladi. Bu holat uzatish xarakteristikasi 7.3-rasmda keltirilgan. Kollektor toki I_K ning U_{BE} kuchlanishiga bog‘liq ravishda o‘zgarishi **xarakteristika tikligi** S bilan ifodalanadi:

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

Bu kattalikni (6.1) ifodadan foydalanib ham topish mumkin:

$$S = \frac{dI_K}{\varphi_T}. \quad (7.2)$$

Shunday qilib, tiklik kollektor tokiga proporsional bo‘lib, har bir tranzistorning individual xossalariga 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:

$$K_U = \frac{\Delta U_{CHIQ}}{\Delta U_{KIR}} = -S R_K . \quad (7.3)$$

Masalan, agar $R_K = 5k\Omega$; $\varphi_T = 25mV$; $I_K = 1mA$; $S = 40mA/V$, 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.

$$r_{KE} = \frac{dU_{KE}}{dI_K} = \frac{U_E}{I_K}, \quad U_{BE} = const \text{ bo'lganda.}$$

Bu yerda proporsionallik koeffitsiyenti U_E yerli kuchlanishi. U_E ning qiymatlari kremniyli $n-p-n$ tranzistorlar uchun 80-200V atrofida bo'ladi. r_{KE} hisobiga quyidagiga teng bo'ladi.

$$K_U = -S(R_K // r_{KE}) . \quad (7.4)$$

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 r_{kir} kattaligi kiritiladi.

$$r_{kir} = r_{BE} = \frac{dU_{BE}}{dI_B}, \quad U_{KE} = const \text{ bo'lganda.}$$

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:

$$r_{BE} = \frac{\beta \varphi_T}{I_K}. \quad (7.5)$$

Kuchaytirgich bosqichining chiqish yoki ichki qarshiligi r_{chiq} bu bosqichni yuklama (keyingi bosqich) bilan o‘zaro ta’sirlashuvda 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

$$K_{IYU} = -S(R_K // r_{KE} // R_{YU}). \quad (7.6)$$

Kuchaytirish koeffitsiyenti harorat o‘zgarishiga bog‘liq, chunki $S = \frac{dI_K}{\varphi_T}$.

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

$$\beta = \frac{dI_K}{dI_B}, \quad U_{KE} = const \text{ bo‘lganda.}$$

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

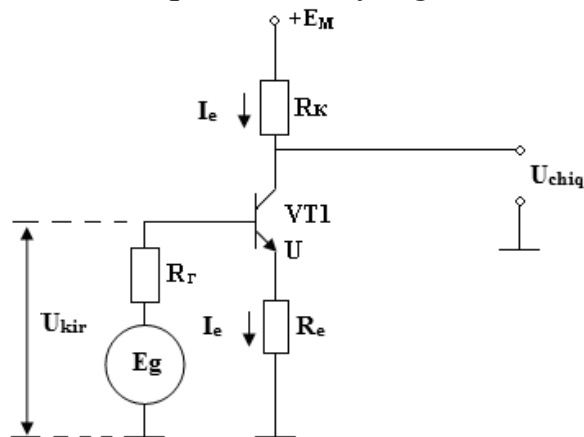
Nochiziqli buzilishlarni kamaytirish va kuchaytirish koeffitsiyentini haroratli barqarorligini oshirish maqsadida kuchaytirgich bosqichiga manfiy teskari aloqa kiritiladi.

Teskari aloqa deb, chiqishdagi yoki biror oraliq zveno qurilmasi chiqishidagi energiya bir qismini uning kirishiga uzatishga aytiladi. Buning uchun sxemaga maxsus zanjir kiritiladi va u teskari aloqa zanjiri deb ataladi. Bu zanjir kuchaytirgich chiqishidagi quvvatning bir qismini uning kirishiga uzatishga xizmat qiladi. Bir bosqichni o‘z ichiga oladigan teskari aloqa – **mahalliy**, ko‘pbosqichli kuchaytirgichning barini o‘z ichiga oladigan teskari aloqa - **umumiy** deb ataladi.

Teskari aloqaning mavjudligi qurilma chiqishidagi 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 qo‘shiladi – bunday teskari aloqa **musbat teskari aloqa** deb ataladi. Ikkinchi holatda esa fazalar

teskari bo‘lib, amplitudalar bir-biridan ayriladi – bunday teskari aloqa **manfiy teskari aloqa** deb ataladi.

Kuchaytirgichlarda faqat manfiy teskari aloqa (MTA) qo‘llaniladi. MTA ning kiritilishi signal kuchayishini kamaytiradi, lekin parametrlarining barqarorligi ortadi va nochiziqli buzilishlar kamayadi. 7.4-rasmda manfiy teskari aloqali bir bosqichli kuchaytirgich sxemasi keltirilgan.



7.4-rasm

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‘zgarishi 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 kollektordagi rezistorda emitterdagi rezistordagiga nisbatan R_K/R_E marta katta kuchlanish ortishiga olib keladi.

Agar $\Delta U_E = \Delta U_{KIR}$ ni inobatga olsak,

$$K_U = \frac{\Delta U_{CHIQ}}{\Delta U_{KIR}} = -\frac{R_K}{R_E}.$$

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.

$$K_U = -\frac{SR_K}{1 + SR_E}.$$

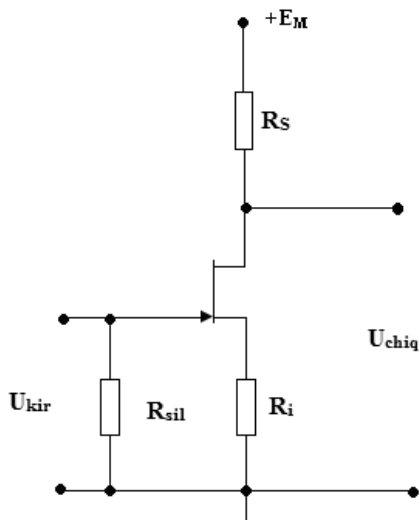
Kuchaytirgich kirish qarshiligi qiymati $r_{KIR} = r_{BE} + \beta R_E$ MTA hisobiga ortadi. Chiqish qarshiligi esa manfiy teskari aloqa hisobiga sekin ortadi va R_K qiymatiga intiladi.

7.2. Maydoniy tranzistorlarda yasalgan kuchaytirgichlar

Maydoniy tranzistorlardan kuchaytirgich yasashda umumiy istok (UI) sxemada ulangan maydoniy tranzistorlar keng qo'llaniladi. 7.5-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'zgaras tok bo'yicha rejim hosil qilish uchun R_I rezistor kiritiladi va u ketma-ket MTA ni hosil qiladi. Bundan tashqari, kuchaytirgich parallel kirishlariga R_{SIL} 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 VAX sidan aniqlanadi (7.3,a-rasmga qarang). VAX dan U_{ZI0} ni aniqlab R_I ni quyidagi ifodadan qiynalmasdan aniqlash mumkin:

$$U_{ZI0} = -I_{S0}R_I.$$



7.5-rasm

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:

$$K_U = \frac{\Delta U_{CHIQ}}{\Delta U_{KIR}} = \frac{\Delta U_{SI}}{\Delta U_{ZI}} = -\frac{S r_S \cdot R_S}{r_S + R_S} = -\frac{\mu_n \cdot R_S}{r_S + R_S}.$$

“Manfiy” ishora UI li sxema signalni inverslashini bildiradi. Amaliyotda $r_c \geq R_c$, shu sababli kuchaytirish ko'effitsiyentini quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

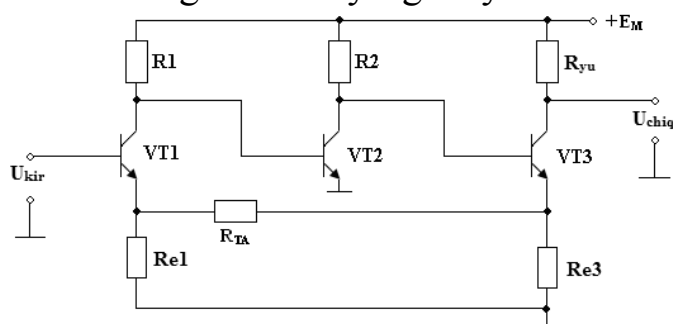
$$K_U = -S \cdot R_c.$$

UI sxemadagi real kuchaytirgich bosqichlarida $K_u=3 \div 50$, $R_{kir} \cong R_{SIL}$, $R_{chiq} \cong R_S$.

7.3. Ko'p bosqichli kuchaytirgichlar

Kuchaytirgich parametrlarining yaxshi barqarorligini ta'minlab beruvchi manfiy teskari aloqa kuchaytirish ko'effitsiyentini keskin kamaytiradi. Katta K_U qiymatini olish uchun keng polosali ko'p bosqichli kuchaytirgichlar qo'llaniladi. 7.6-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 MTA ni amalga oshiradi.

Mahalliy MTA dan 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 ko'effitsiyenti og'ishiga sezgirlikni kamayishini ta'minlaydi. 7.6-sxema integral kuchaytirgich yasashda asos hisoblanadi.



7.6-rasm

Lekin, teskari aloqali asosiy uch bosqichli kuchaytirgichdan tashqari integral kuchaytirgich sxemasi kichik chiqish qarshiligini ta'minlash uchun va kuchaytirgichda qo'shimcha keng polosalik, chidamlilik, haroratli 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'zgaras tok bo'yicha o'zaro bog'langan.

7.4. Analog integral sxemalarning chiqish bosqichlari (quvvat kuchaytirgichlari)

Chiqish bosqichlarining vazifasi – signalning berilgan (yetarlicha katta) quvvatini buzilishlarsiz past Om li 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 nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenti K_G .

Foydali ish koeffitsiyenti chiqish signali quvvatini manbadan tortib olinayotgan quvvatga nisbatiga teng:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} U_{chiq.m} I_{chiq.m}}{E_M I_{o'rt}}, \quad (7.7)$$

bu yerda $I_{chiq.m}$, $U_{chiq.m}$ - chiqish kattaliklar amplitudasi; E_M – kuchlanish manbai; $I_{o'rt}$ - o'rtacha tok.

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

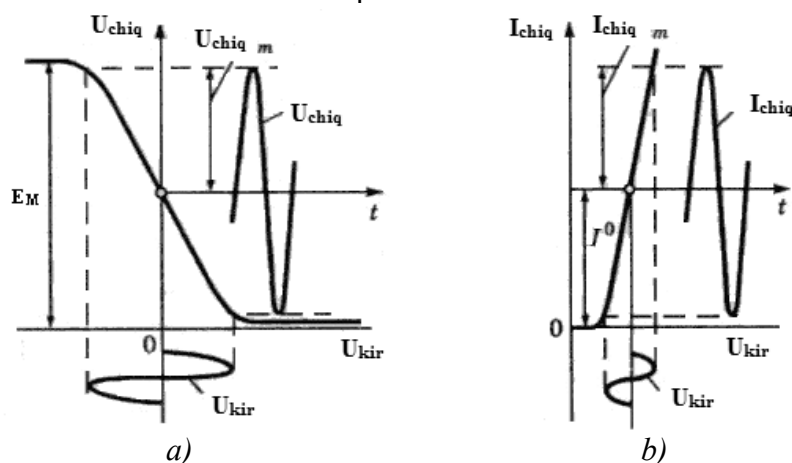
η va K_G kattaliklari ko'p hollarda tranzistorning sokinlik rejimi– kuchaytirish sinfi bilan aniqlanadi. Shu sababli quvvat kuchaytirgichlarida qo'llaniladigan kuchaytirgich sinflarini ko'rib chiqamiz.

Uzatish xarakteristikasidagi ishchi nuqta (sokinlik nuqtasi) holatiga ko'ra ***A***, ***B***, ***AB*** va ***boshqa kuchaytirish sinflari*** mavjud. ***A rejimida*** sokinlik rejimida ishchi nuqta uzatish xarakteristikasi kvazichiziqli soha o'rtasida joylashadi (7.7-rasm).

Kirish signalining ikkala yarim davri uzatish xarakteristikasining kvazichiziqli sohasida joylashganligi sababli nochiziqli buzilishlar eng kichik ($K_G \leq 1\%$) bo'ladi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, agar $U_{chiq.m} = \frac{1}{2} E_M$;

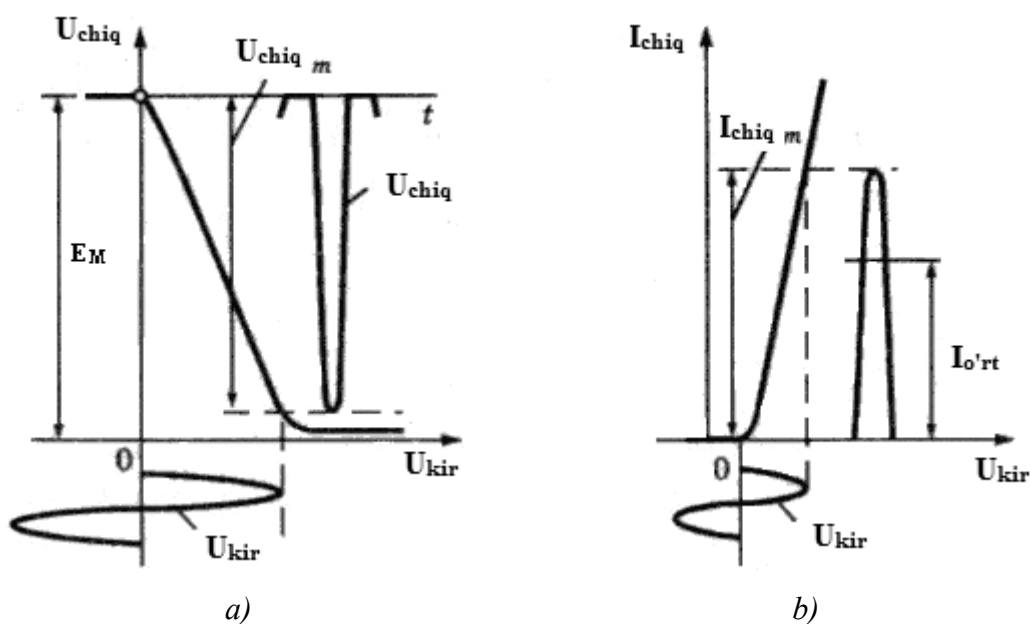
$I_{chiq.m} = I_{o'rt}$ bo'lsa, u holda (6.8)ni o'rniga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$\eta = \frac{1}{4}, \text{ (ya'ni 25 \%)}.$$



7.7-rasm

B rejimda sokinlik rejimidagi ishchi nuqta tranzistorning berk holatiga mos keluvchi kvazichiziqli soha chegarasida joylashadi. Tranzistor faqat musbat yarim davr mobaynida ochiq holatda bo'ladi (7.8-rasm).



7.8-rasm

B rejimda K_G 70 % atrofida bo'ladi. (7.1) ifodaga E_M va $I_{O'RTA} = \frac{2}{\pi} I_{CHIQ.m}$ larni qo'yib, quyidagini hosil qilamiz

$$\eta = \frac{\pi}{4} \text{ (ya'ni 78 \%)}.$$

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

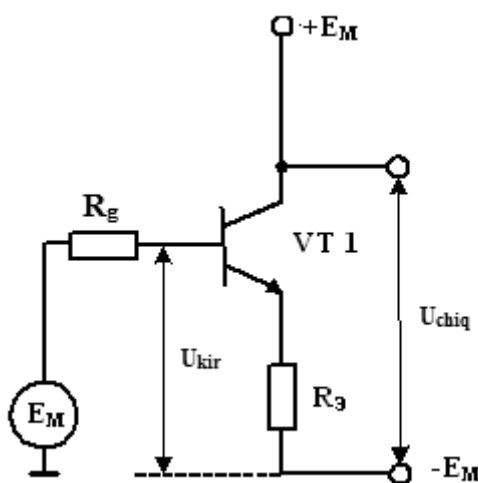
AB sinfi *A* va *B* sinflari oralig'idagi holatni egallaydi va ikki taktli

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 ko'effitsiyent A sinfiga nisbatan yuqori, $K_G \leq 3\%$ bo'ladi.

7.5. Emitter qaytargich

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti 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 qaytargichning klassik sxemasi 7.9-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 kuchlanishi U_{chiq} shunday o'rnatiladiki, baza-emitter kuchlanishi $U_{BE} = \varphi_T \ln \frac{I_E}{I_{KS}}$ ga teng bo'lsin.



7.9-rasm

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

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

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

quyidagiga teng bo‘ladi:

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

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

$$r_{chiq} = \frac{R_G}{\beta + 1} + R_E.$$

Emitter-baza soha qarshiligini ham hisobga olsak, u holda

$$r_{chiq} = \left(\frac{1}{S} + \frac{R_G}{\beta + 1} \right) + R_E.$$

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.

7.6. Kuchaytirgich parametrlari va xarakteristikallari

O‘zgaras tok kuchaytirgichlari, keng polosali va tanlov kuchaytirgichlari analog mikroelektron apparatura negiz elementlari hisoblanadi.

Kuchaytirgich deb kirish signali quvvatini kuchaytirishga mo‘ljallagan qurilmaga aytiladi. Kuchaytirish manbadan energiya iste‘mol qilayotgan tranzistorlar hisobiga amalga oshiriladi. Ixtiyoriy kuchaytirgichda kirish signali faqat manbadan energiyani yuklamaga uzatishni boshqaradi.

Kuchaytirgich xossalarini 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 ko‘effitsiyentlari qo‘llaniladi. Kuchaytirgichlar turli kuchaytirish ko‘effitsiyenti qiymatlariga ega bo‘lishi mumkin, lekin doim $K_P > 1$ bo‘ladi.

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

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 U_{KIR} va chiqish R_{CHIQ} qarshiliklari bilan, kirish signali manbai EYuK Eg esa ichki qarshilik R_G bilan xarakterlanadi.

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

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

R_{chiq} va kuchaytirgich yuklama qarshiligi R_{YO} qiymatlari nisbatlarini kuchlanish kuchaytirgichi ($R_{CHIQ} \ll R_{YU}$), tok kuchaytirgichi ($R_{chiq} \gg R_{yu}$) va quvvat kuchaytirgichi ($R_{CHIQ} \approx R_{YU}$) 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, harorat 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: nochiziqli va chiziqli.

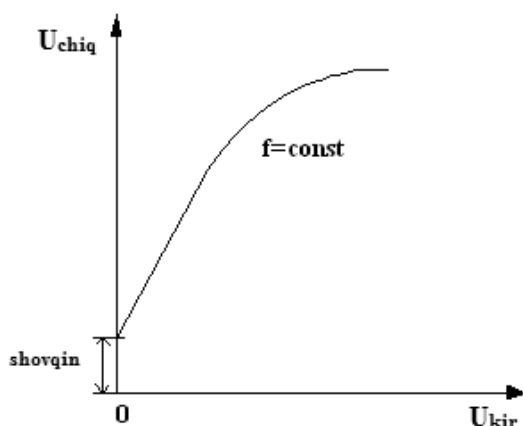
Barcha kuchaytirgichlar volt-ampere xarakteristikalarini (VAX) nochiziqli bo'lgan tranzistorlardan tashkil topadi. Bipolyar tranzistor VAX to'g'ri chiziqli emas, balki eksponenta shakliga ega. Shu sababli, sinusoidal shaklga ega bo'lgan kirish signali kuchaytirilganda, chiqishdagi signal shakli qisman 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 **nochiziqli** deb ataladi.

Agar kuchaytirgich uzatish xarakteristikasi matematik funksiya ko'rinishida ifodalangan bo'lsa, nochiziqli buzilishlarni analitik usulda hisoblash mumkin. Uzatish xarakteristikasi (7.10-rasm) deganda o'zgarmas chastotadagi chiqish signali amplitudasi U_{chiq} ning kirish signali amplitudasi U_{KIR} ga bog'liqligi tushuniladi. Nochiziqli buzilishlar

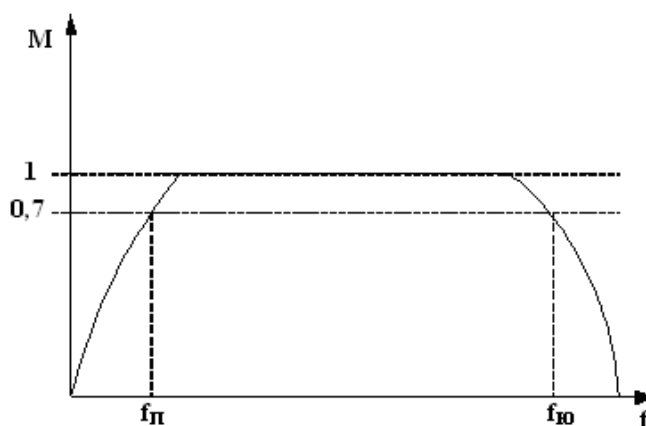
koeffitsiyenti ko‘p hollarda berilgan uzatish xarakteristikasidan grafik usulda aniqlanadi.

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 gorizontaal chiziq hisoblanadi. Real ACHX esa kamayuvchi sohalarga ega bo‘ladi. 7.11-rasmda normallashtirilgan ACHX $M(f) = \frac{K(f)}{K_0}$

keltirilgan. Bu yerda K_0 – nominal kuchaytirish koeffitsiyenti, ya’ni kuchaytirish koeffitsiyenti o‘zgarmas bo‘lgan chastota sohalari. Odatda chastota buzilishlarining ruxsat etilgan koeffitsiyent kattaligi 3dB dan oshmaydi. $\Delta f = f_{YU} - f_P$ kattaligi **kuchaytirgichning o‘tkazish polosasi** deyiladi.



7.10-rasm



7.11-rasm

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 koeffitsiyenti moduli 3dB ($M(x)=0,7$) dan oshmasligi kerak. f_{YU} chastota qiymati bir necha yuz megaGersgacha etishi

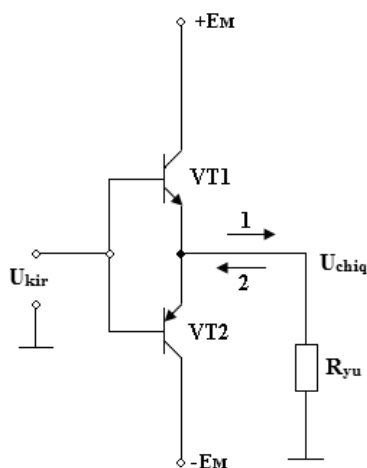
mumkin.

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.

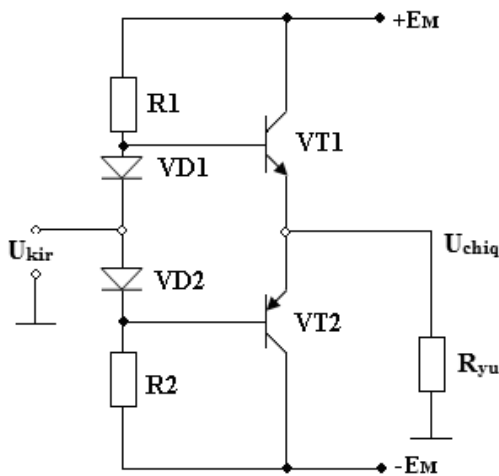
Signalni kuchaytirish amalga oshiriladigan chastotalar oralig'i, **o'tkazish polosasi** deb ataladi. Signallar so'ndiriladigan chastota polosasi **chegaralovchi chastota** deb ataladi. O'tkazgich va chegaralovchi chastotalarning o'zaro joylashishiga ko'ra quyidagi tanlov kuchaytirgichlarning turlari mavjud: past chastotali, yuqori chastotali, polosali o'tkazuvchi, polosali chegaralovchi. Filtrlar RC zanjirlar va aktiv elementlar asosida amalga oshiriladi. Shuning uchun ular **aktiv filtrlar** deb ataladi.

7.7. Komplementar emitter qaytargich

7.12-rasmda komplementar tranzistorlarda: VT1 – tranzistor *n-p-n* turli va VT2 – tranzistor *p-n-p* 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. Natija da, sokinlik rejimida sxema energiya iste'mol qilmaydi.



7.12-rasm



7.13-rasm

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 $p-n-p$ turli tranzistor ochiladi va tok 2 strelka yoʻnalishida oqib oʻtadi. Quvvat kuchaytirish koʻeffitsiyenti taxminan emitter va baza toklari nisbatiga teng boʻladi, yaʼni $(\beta + 1)$.

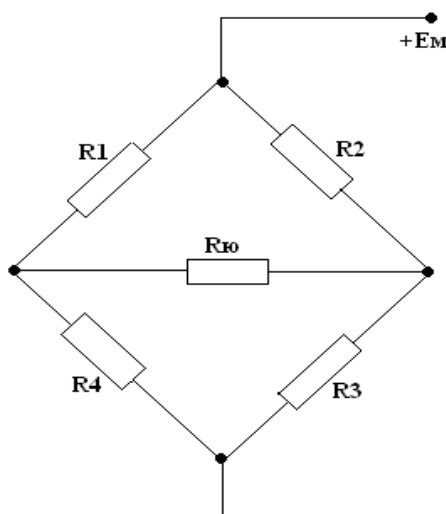
Lekin, V turli kuchaytirgich boʻla turib, sxema katta nochiziqli buzilishlar koʻeffitsiyentiga ega ($K_G > 10\%$). Bu kamchilikni bartaraf etish maqsadida kuchaytirgich murakkablashtiriladi. R_1 va R_2 rezistorlar, hamda VD1 va VD2 diodlar yordamida tranzistor bazalariga individual siljish kiritiladi (7.13-rasm). Natijada dastlabki ishchi nuqta ikkala tranzistor ozgina ochiq holatdagi (AV rejim) sohada joylashadi, lekin ulardan A turli kuchaytirgichlardagiga nisbatan ancha kichik tok oqib oʻtadi.

7.8. Balans sxemalar asosidagi kuchaytirgichlar

Yakka kuchaytirgich bosqichlarini manfiy teskari zanjiri orqali bosqichlash yoʻli bilan keng polosali kuchaytirgichlarni integral usulda yasashda yaxshilash mumkin. Bir vaqtning oʻzida 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 toʻrt yelkali koʻprik sxema misolida tushuntirish mumkin (7.14-rasm).

Agar koʻprik balans sharti bajarilsa, yaʼni $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$, u holda yuklama qarshiligi R_{YU} da tok va mos ravishda kuchlanish nolga teng boʻladi. Kuchlanish manbai qiymati va koʻprik yelkasidagi rezistorlar qarshilik qiymatlari oʻzgarsa ham balans buzilmaydi, faqat rezistor qarshiliklari nisbati oʻzgarishsiz qolsagina.



7.14-rasm

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.

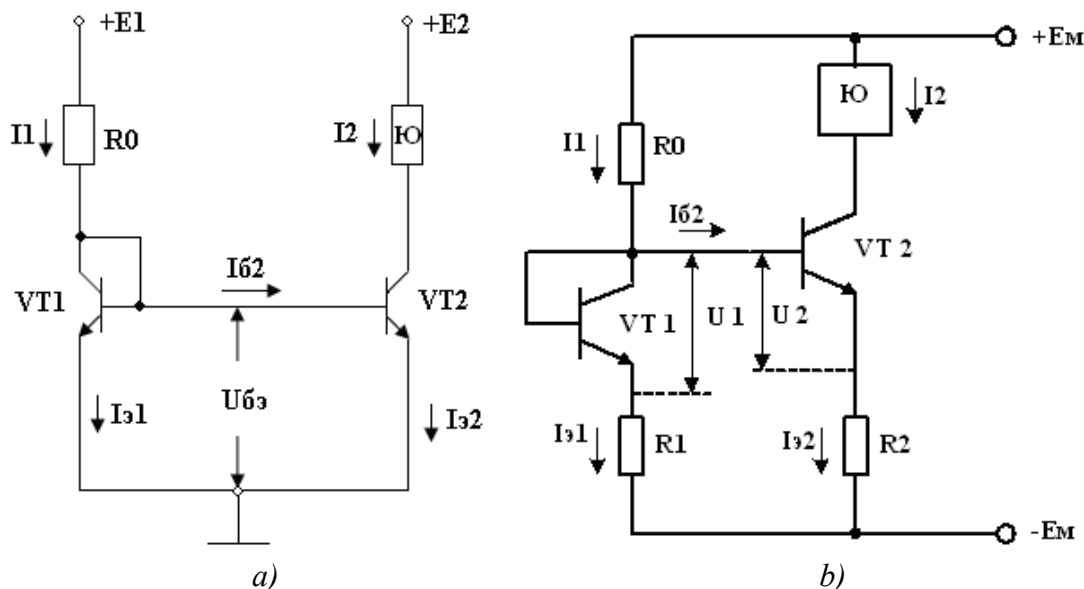
Elementar kuchaytirish bosqichlariga nisbatan differensial kuchaytirgich dinamik xarakteristikalarini barqaror tok generatori hisobiga uning ish rejimini barqarorlash yordamida amalga oshirish ham mumkin.

7.9. Barqaror tok generatori

Barqaror tok generatori yoki manbai (BTG) katta nominalga ega bo'lgan rezistorning elektron ekvivalenti hisoblanadi. BTG qarshiligi R_{YU} 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.

7.15,a-rasmda BTG prinsipial sxemasi keltirilgan.

Bu yerda YU elementi nochiqli yuklama, E_1 – barqarorlangan kuchlanish manbaini bildiradi. Rezistor R_0 , hamda diod ulanish sxemasidagi VT1 tranzistor VT2 tranzistor sokinlik rejimini ta'minlash va barqarorlash uchun xizmat qiladi.



7.15-rasm

VT2 uchun ishchi nuqta uning chiqish xarakteristikasining to'yingan qismida joylashadi (UB sxemadagi BT chiqish xarakteristikasi rasmiga qarang). 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, E_2 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 R_1 va R_2 rezistorlar ulanadi. Bunday qurilma **aktiv tok transformatori** deb ataladi (7.15,b-rasm). 7.15,b-rasmdan quyidagi tengsizlik kelib chiqadi:

$$U_1 + I_{e1}R_1 = U_2 + I_{e2}R_2.$$

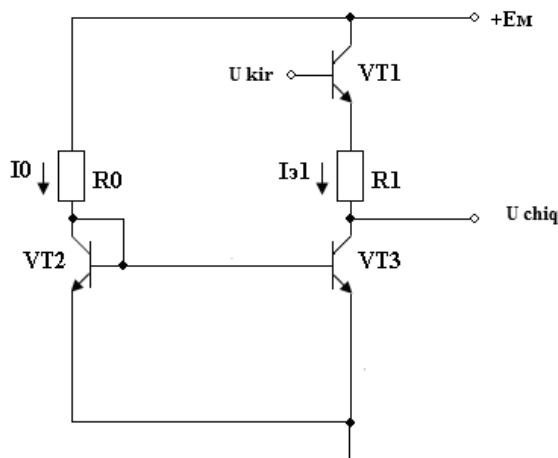
Agar R_1 va R_2 qarshiliklar nominallari bilan farq qilsalar, u holda I_2 tok I_1 tokni yoki “kattalashgan” yoki “kichraygan” masshtabda “aks ettirishi” mumkin.

7.10. O‘zgarmas kuchlanish sathini siljitish qurilmasi

Integral kuchaytirgichlar bevosita bog‘langan bosqich 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‘zgarmas kuchlanish sathini siljitish qurilmalari qo‘llaniladi. Ular sath transformatorlari deb ham ataladilar. Bu vaqtda sath siljitish qurilmasi signal o‘zgarmas tashkil etuvchisini keyingi bosqichga o‘zgarishlarsiz uzatishi kerak, ya’ni kuchlanish bo‘yicha kuchaytirish ko‘effitsiyenti $K_U \approx 1$ bo‘lishi kerak.

Operatsion kuchaytirgichlarda U_{chiq} sathini siljitish VT1 tranzistorda bajarilgan emitter qaytargich asosida amalga oshiriladi. Uning emitter zanjiriga R_1 rezistor va VT2 hamda VT3 tranzistorlarda bajarilgan barqaror tok generatorlari ulanadi (7.16-rasm). Signal mavjud bo‘lmaganda, U_{kir} kirish potentsiali oldingi bosqich chiqish kuchlanishining o‘zgarmas tashkil etuvchisi qiymatiga teng bo‘ladi. Chiqish potentsiali U_{chiq} siljitish sxemasi hisobiga $\Delta U = U_{e1} + I_{e1}R_1$ kattalikka kamayadi. I_{e1} tok barqaror bo‘lganligi sababli, ΔU siljish kuchlanishi ham o‘zgarmas bo‘ladi. Ixtiyoriy U_{kir} qiymatida U_{chiq} chiqish potentsiali $\frac{R_1}{R_0}$ nisbatlarni to‘g‘ri tanlash natijasida

nolga tenglashtirilishi mumkin. BTG dinamik chiqish qarshiligi R_I dan ancha katta bo'lganligi sababli, siljish sxemasida signal deyarli so'nmaydi.

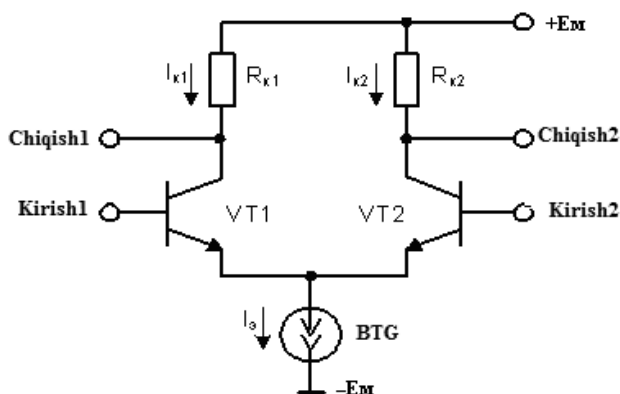


7.16-rasm

7.11. Differensial kuchaytirgichlar

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

7.17-rasmda sodda simmetrik DK 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.



7.17-rasm

Mazkur sxema 7.14-rasmdagi sxemaga aynan o'xshashligini kuzatish mumkin. Buning 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 bittasidan 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, chiqish kuchlanishi esa $U_{chiq1,2} = 0$ bo'ladi.

Sxema simmetrik bo'lganligi sababli, tranzistor xarakteristikasining sabablarga bog'liq bo'lmagan ravishda ixtiyoriy o'zgarishi, ikkala yelka toklarining 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 BTG ning mavjudligi tufayli kollektor toklari o'zgarmaydi va ular o'zgarishsiz va bir-biriga tengligicha qoladi:

$$I_{k1} = I_{k2} = 0,5\alpha I_e,$$

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 sezilarsiz. 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, ikkinchisiniki esa xuddi shu qiymatga kamayadi. DK chiqishida potentsiallar farqi hosil bo'ladi, demak, chiqish kuchlanishi $U_{chiq1,2} = U_{chiq1} - U_{chiq2}$.

Umumiy emitter ulanish sxemasida ishlaydigan kuchaytirgich tahlili natijalaridan foydalangan holda, differensial signal (simmetrik kirish va

chiqishga ega bo'lgan) ning kuchaytirish koeffitsiyenti qiymati K_U ni olamiz.

$$K_U = -S(R_k / r_{ke}) .$$

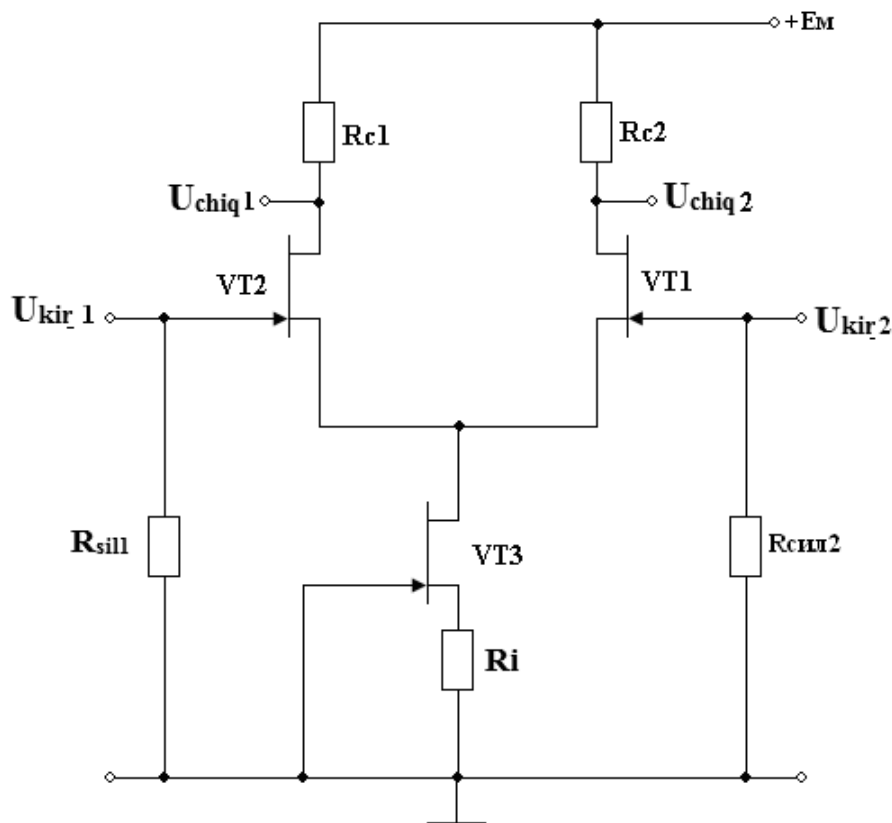
Ideal DK larda sinfaz signallarni so'ndirish natijasida nol dreyfi mavjud bo'lmaydi. Turli harorat o'zgarishlari, shovqinlar va xalaqlar sinfaz signal bo'lishi mumkin. Real DK larda yelkalarining absolyut simmetriyasiga erishish mumkin emas, shuning uchun nol dreyfi mavjud bo'lib, u juda kichik qiymatga 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.

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.

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 $p-n$ bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlarga katta e'tibor qaratiladi. $p-n$ bilan boshqariladigan, kanali n –turli maydoniy tranzistorlarda bajarilgan DK sxemasi 7.18-rasmda keltirilgan. Barqaror tok generatori VT3 va R_I da bajarilgan. R_{sil1} i R_{sil2} rezistorlari VT1 va VT2 tranzistor zatvorlariga boshlang'ich siljishni berish uchun mo'ljallangan.

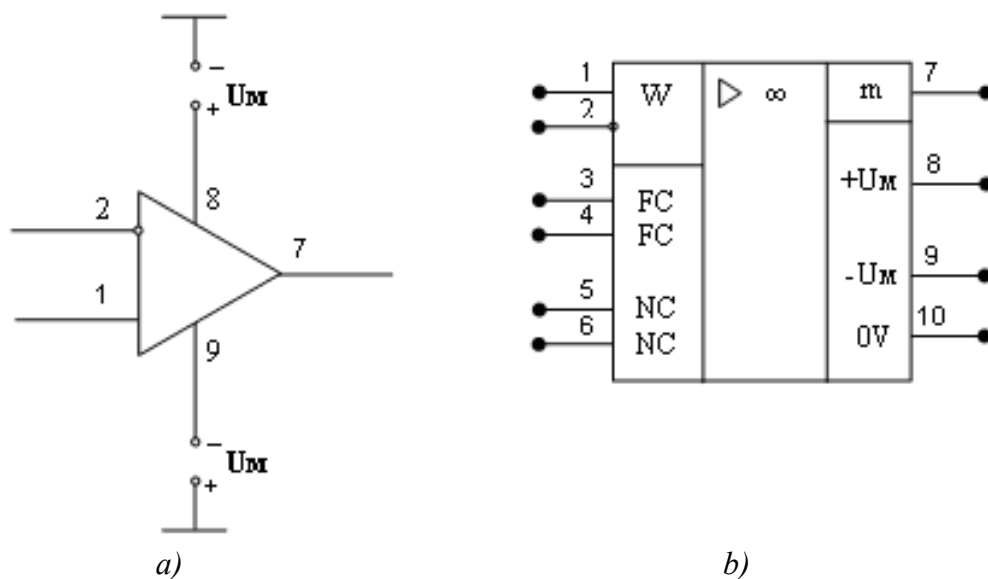


7.18-rasm

7.12. Operatsion kuchaytirgichlar

Umumiy ma'lumotlar. Operatsion kuchaytirgich (OK) – bu kuchlanish bo'yicha yuqori kuchaytirish koeffitsiyenti ($10^4 \div 10^6$), yuqori kirish ($10^4 \div 10^7 \text{Om}$) va kichik chiqish ($0,1 \div 1 \text{kOm}$) 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.

OK ning shartli belgisi 7.19,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 OK larda kuchlanish manbai qiymati $\pm 3 \text{V} \div \pm 18 \text{V}$ oralig'ida yotadi. Signal umumiy shinaga ulangan simmetrik signal manбайдan 1- va 2-kirishlarga, yoki ikkita alohida manbalardan uzatilishi mumkin. Bu kirishlardan biri inverslaydigan kirish, ikkinchisi esa – inverslamaydigan kirish bo'lib, ikkalasi ham umumiy shinaga ulanadi.

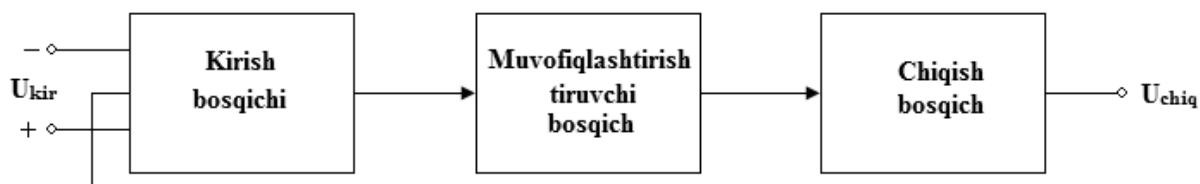


7.19-rasm

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 OK ni diod, tranzistor va hokazo kabi elektron sxemalarning sodda elementi kabi qarash mumkin. Hozirgi kunda OK larning yuzlab turi ishlab chiqariladi, kichik o‘lchamga ega va juda arzon hisoblanadi. Katta kuchaytirish olish uchun OK lar ikki yoki uch bosqichli o‘zgaras tok kuchaytirgichlari asosida quriladi.

7.20-rasmda uch bosqichli OK tuzilmasi keltirilgan.



7.20-rasm

OK larda kirish bosqichi sifatida differensial kuchaytirgich qo‘llaniladi, bu kuchaytirish dreyfini maksimal kamaytirishga va ancha yuqori kuchaytirish olishga imkon yaratadi. U bilan kuchaytirgichning yuqori kirish qarshiligi, sinfaz signallarga sezgirlik va siljish kuchlanishi aniqlanadi. Oraliq (muvofiqlashtiruvchi) bosqichlar kerakli kuchaytirishni ta‘minlaydilar va differensial kuchaytirgich chiqishidagi kuchlanish

siljishini nolga yaqin qiymatgacha kamaytiradi. Oraliq bosqichlarda differensial kuchaytirgichlar kabi, bir bosqichli kuchaytirgichlar ham qo'llaniladi. Chiqish bosqichlari OK ning kichik chiqish qarshiligi va katta chiqish quvvatini ta'minlashi kerak. Chiqish bosqichlari sifatida odatda AB rejimda ishlaydigan komplementar emitter qaytargich qo'llaniladi (7.13-rasmga qarang).

Birinci avlod operatsion kuchaytirgichlari, masalan, K140UD1 uch bosqichli tuzilmasi sxema asosida $n-p-n$ tranzistorlarda bajarilgan. Birinchi kuchaytirish bosqichi 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 ko'effitsiyenti ($K_{U_0} = 300 \div 4000$) va kichik kirish qarshiligi ($R_{kir} \cong 4 kOm$) hisoblanadi.

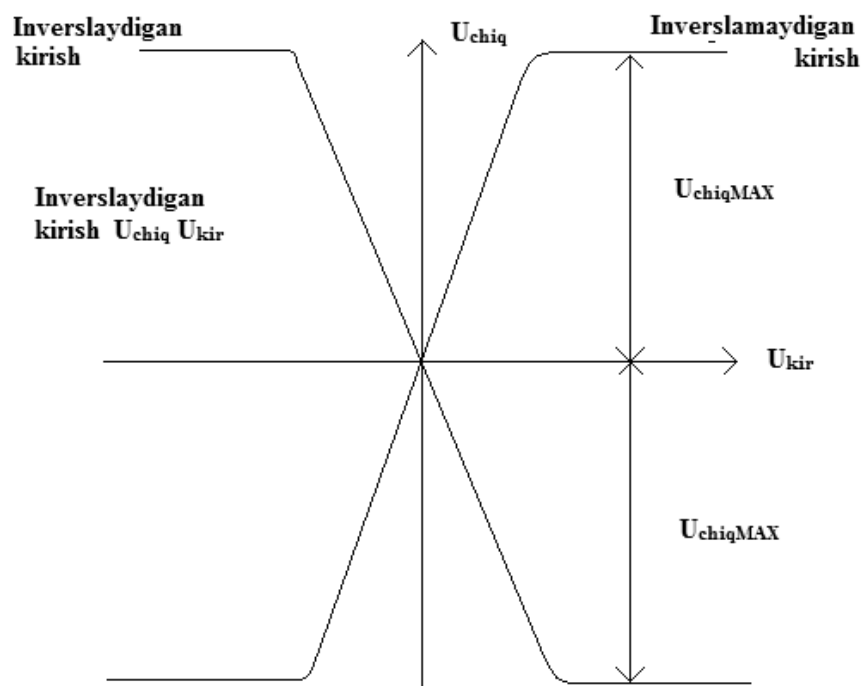
Aytib o'tilgan kamchiliklar **ikki bosqichli** sxemada yasalgan ikkinchi avlod OK larda bartaraf etilgan. Xarakteristikalarini yaxshilash **tarkibiy tranzistorlar**, yuqori Omli rezistorlar qo'llash va differensial bosqich yuklama rezistorlarini dinamik yuklamalarga almashtirish hisobiga amalga oshirilgan.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

140UD7 turdagi kuchaytirgich keng tarqalgan ikki bosqichli OK hisoblanadi. Bu OK kuchaytirish ko'effitsiyenti $K_{U0}=45000$, kirish qarshiligi esa $R_{kir}=400kOm$.

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

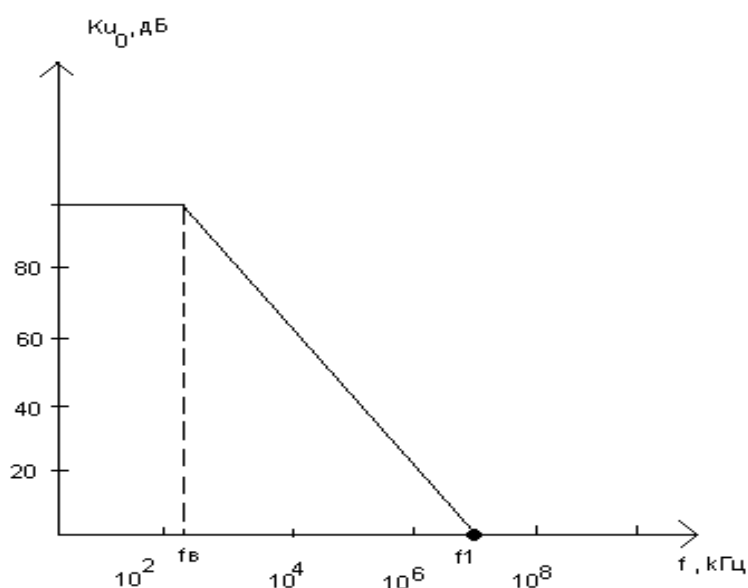
OK ning asosiy xarakteristikalarini bo'lib, uning amplituda (uzatish) xarakteristikalarini hisoblanadi. Ular 7.21-rasmda keltirilgan. Xarakteristikaning qiya (chiziqli) sohasi ishchi soha hisoblanadi, uning og'ish burchagi K_{U_0} qiymati bilan aniqlanadi. $U_{chiq_{max}}$ - maksimal chiqish kuchlanishi bo'lib, manba kuchlanishi E qiymatidan ozgina kichik bo'ladi.

OK ning chastota xossalari uning ACHX sida aks ettiriladi. Bu xarakteristikani qurishda K_{U0} dB larda ifodalanadi, chastota esa logarifm masshtabida gorizontali o'q bo'ylab o'rnatiladi.



7.21-rasm

OK ning bunday ACHX si logarifmik amplituda–chastota xarakteristikasi (LACHX) deb ataladi. 7.22-rasmda tez ishlaydigan K140UD10 turdagi OK ning LACHX si keltirilgan. f_{YU} – chastotadan kichik qiymatlarda kuchaytirish koeffitsiyenti $20 \lg K_{U_0}$ ga teng bo‘ladi, ya’ni LACHX chastota o‘qiga parallel to‘g‘ri chiziqni beradi. Kirish signalining ortishi bilan K_{U_0} kamaya boshlaydi va f_1 chastotada kuchaytirish koeffitsiyenti birga teng bo‘ladi.



7.22-rasm

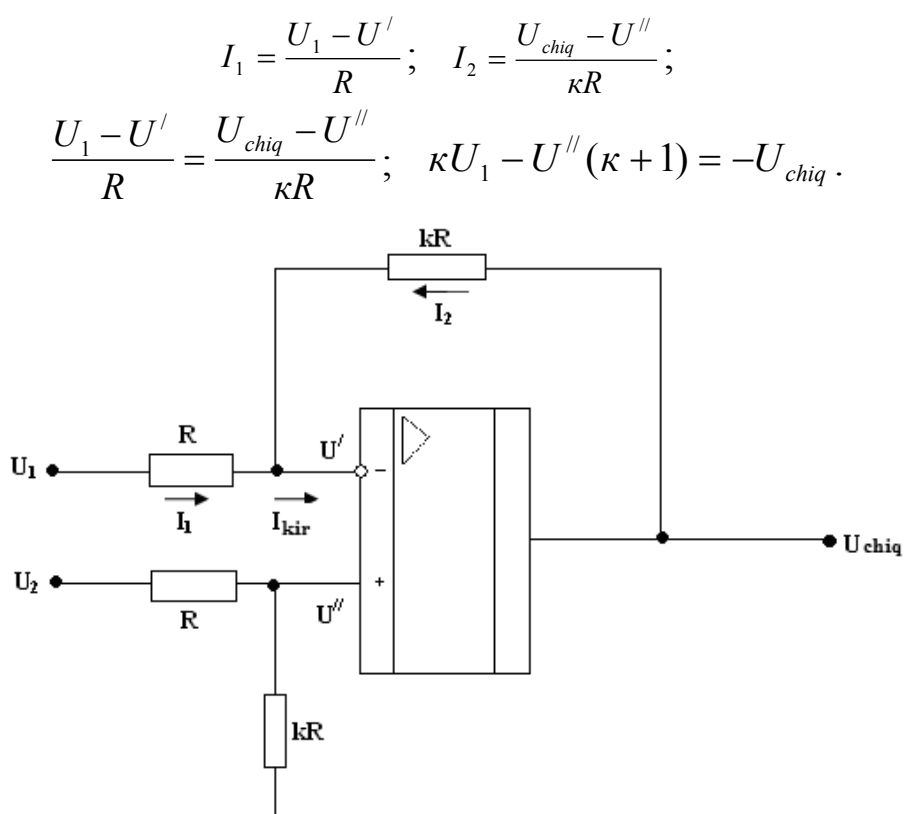
OK asosiy ulanish sxemalari. OK larda doim chiziqli yoki nochiziqli

zanjir ko‘rinishidagi chuqur manfiy teskari aloqa bajarilgan bo‘ladi. MTA xossalari OK asosida turli analog va impuls elektron qurilmalar 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_{U_0} ;
- nol siljish kuchlanishining nolga tengligi U_{sil} , 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.

OK ning differensial ulanishi. 7.23-rasmda OK ning differensial ulanish sxemasi keltirilgan. Kirxgof qonuniga binoan $I_1 + I_2 - I_{kir} = 0$. Bundan xossa $I_{kir} = 0$ bo‘lsa, u holda $I_1 + I_2 = 0$.



7.23-rasm

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

Shunday qilib, OK ning differensial ulanishi natijasida yuzaga kelgan

qurilma *ayiruvchi-kuchaytirgich* hisoblanadi.

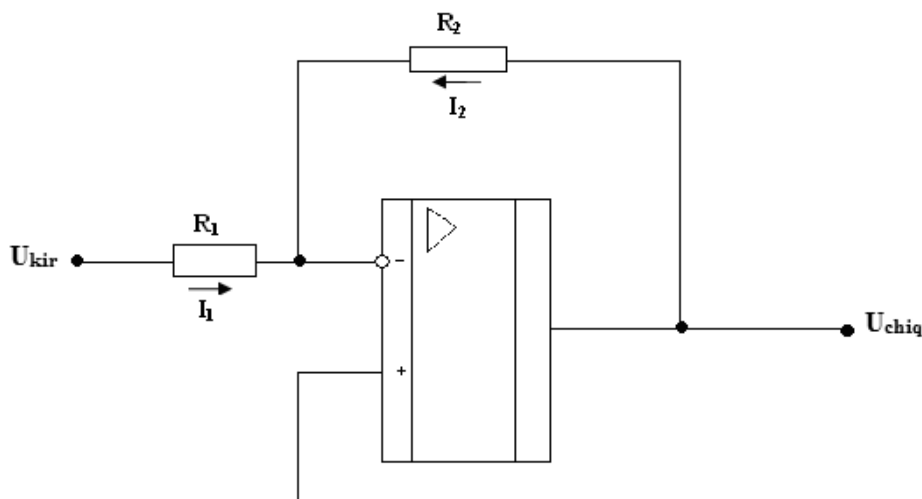
OK ning invers ulanishi. Invers ulanishda OK ning inverslamaydigan kirishi umumiy shina bilan ulanadi (7.24-rasm). Xossa natijasida $I_1 + I_2 = 0$. Kirish potentsiallari nolga teng, demak:

$$I_1 = \frac{U_{kir}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U_{chiq}}{R_2};$$

$$\kappa = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = -\frac{R_2}{R_1}.$$

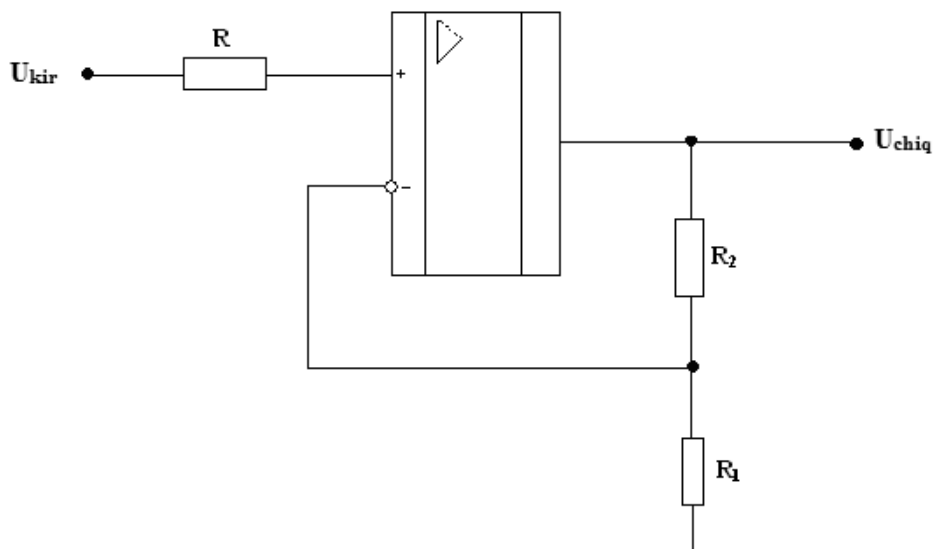
Real OK uchun bu formulaning qo'llanilishi kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblashda xatoliklarga olib keladi. OK ning K_{U0} va R_{kir0} qancha katta bo'lsa, bu formuladan foydalanish shuncha kichik xatolik beradi. Shunday qilib, $K_{U0} = 10^3$, $R_1 = 1 \text{ kOm}$, $R_2 = 100 \text{ kOm}$ va $R_{kir0} = 10 \text{ kOm}$ bo'lsa, kuchaytirish koeffitsiyentini aniqlashdagi xatolik 9% ni tashkil etadi, $K_{U0} = 10^5$ (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 koeffitsiyenti rezistor qarshiliklarining nisbatlariga bog'liq ravishda birdan katta ham, kichik ham bo'lishi mumkin va deyarli barqaror bo'ladi.



7.24-rasm

OK ning inverslamaydigan ulanishi. Inverslaydigan ulanishda kirish signali OK ning inverslamaydigan kirishiga uzatiladi, inverslaydigan kirishga esa R_1 va R_2 bo'luvchi rezistorlar orqali kuchaytirgich chiqishidan teskari aloqa signali uzatiladi (7.25-rasm).



7.25-rasm

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

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

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

8. Nanoelektronika

8.1. Funksional elektronika va nanoelektronika haqida tushuncha

Axborotni qayta ishlash va ishlov berish va hakoza usullari uzluksiz murakkablashib bormoqda. Bu jarayonlarni o'z navbatida mavjud mikroelektron tizimlar yordamida amalga oshirishda qiyinchiliklar kelib chiqishiga olib kelmoqda. Mavjud muammolarni amalga oshirish esa funksonal elektronika asboblardan foydalanish hamda nanoelektronikani rivojlantirish orqali bartaraf etish mumkin.

Nanoelektronika bu elektronikaning shunday yo'nalishiki, bunda

elektronlarning elektromagnit maydon bilan o'zaro ta'sirlashishi va bu ta'sirlashish asosida yuzaga keluvchi fizikaviy jarayonlar va ularga asoslangan holda ma'lumotlarni uzatish, ishlov berish va saqlash usullarini o'rganuvchi va elektronikaning ushbu yo'nalishini tushunish mumkin.

Nanoelektronika deganda, elementlar va jihozlarning o'lchamlarini nanometrik o'lchamlargacha kichraytirish, ya'ni atomlar va molekulalar o'lchamlarigacha tenglashtirish ko'zda tutiladi.

Elektronlarning yuqori darajadagi harakatchanligi va kristall panjara va atomlar ichida elektromagnit maydonlar bilan yaxshi ta'sirlashishiga ega ekanligi sababli yangi avlodga mansub bo'lgan elektron jihoz va qurilmalarni yaratishga imkoniyatlar yaratadi. Yaratilgan bu jihoz va qurilmalar o'zining gabaritlarini kichikligi, yuqori samaradorligi, kam energiya sarf qilishi bilan hozirgi mavjud elektron qurilmalardan tubdan farq qiladi.

Umuman olganda, nanoelektronika mikroelektronikaning rivojlantirish asnosida yuzaga kelgan elektronikaning yangi yo'nalishidir. Mikroelektronika yo'lga qo'yilganda, elektron asboblarning o'lchamlari 10^{-6} gacha kichraygan bo'lsa, nanoelektronikaning yuzaga kelishi elektron asboblarning o'lchamlarini 10^{-9} gacha kichrayishigacha imkoniyat yaratadi.

Mikroelektron asboblardan farqli o'laroq nanoelektron asboblarda elektronlarning to'liqinsimon xususiyatlaridan foydalaniladi. Bunda axborotni tashuvchi obyekt sifatida elektronlarning to'liqinsimon funksiyasiga yondoshiladi.

Nanoelektronika mikroelektronikaning an'anaviy g'oyalarini yanada rivojlantirish bilan birga axborotga ishlov berishni sxemotexnik usullarini yanada takomillashtirish masalalarini yechish sifatida yuzaga keladi. Yuzaga kelgan yangi g'oyalarni amalga oshishi esa yangi avlodga mansub bo'lgan elektron asboblarni vujudga kelishiga imkoniyat yaratadi.

Nanoelektron texnologiyani rivojlantirish bo'yicha faoliyat yuritayotgan AQSH ning "The National Technology" firmasi dasturiga asosan 2017-yildan boshlab zatvorining kengligi $200\text{\AA}$ bo'lgan maydon tranzistorlarini yaratish ko'zda tutilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Aripov X.K., Abdullayev A.M., Alimova N.B., Bustanov X.X., Obyedkov U.V., Toshmatov Sh.T. Elektronika. Darslik. -T.: Fan va texnologiya, 2011 y. 432 b.
2. Xaliqov A.A. Darslik “Elektron qurilmalar, analogli va raqamli sxemotexnika”. TTYMI 2002 y.
3. Aripov X.K., Abdullayev A.M., Alimova N.B. Elektronika. O‘quv qo‘llanma. -T.: TATU: “ALOQACHI”, 2009 y. 136 b.
4. Дулин В.Н. Электронные приборы. М.; Энергоатомиздат, 1989. 496с.
5. Жеребцов И.П. «Основы электроники». -Л.: Энергоатомиздат, 1990.

Mundarija:

Kirish.....	3
1. Yarimo'tkazgichlar.....	5
1.1. Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi	5
1.2. n - p o'tish hodisasi	9
2. Yarimo'tkazgichli diodlar	15
2.1. To'g'rilovchi diodlar	15
2.2. Stabilitronlar.....	16
2.3. Varikaplar.....	17
2.4. Tunnel diodlari	17
2.5. Generator diodlar.....	18
2.6. Optoelektronika diodlari.....	18
3. Fotoelektronika.....	20
3.1. Fotoelektron asboblari	20
3.2. Optronlar	26
4. Bipolyar tranzistorlar.....	26
4.1. Umumiy ma'lumotlar	26
4.2. Bipolyar tranzistorlarning sxemaga ulanishi	29
4.3. Bipolyar tranzistorlarning statik xarakteristikalarini	32
4.4. Bipolyar tranzistorlarning ekvivalent sxema va parametrlari	37
4.5. Bipolyar tranzistorning haroratli xususiyatlari	43
4.6. Bipolyar tranzistorning chastotaviy xususiyatlari.....	44
4.7. Bipolyar tranzistorning impuls xususiyatlari.....	47
4.8. Bipolyar tranzistorlarning fizik parametrlari va ekvivalent sxemalari	50
4.9. Bipolyar tranzistorlarning h parametrlari	52
5. Maydon tranzistorlari	54
5.1. Umumiy ma'lumotlar	54
5.2. MT statik xarakteristikalarini	57
5.3. MT asosiy parametrlari.....	58

5.4. Kanali induksiyalangan MDYA – tranzistorlar	58
5.5. Kanali qurilgan MDYA - tranzistorlar	60
5.6. Tiristorlar	61
6. Mikroshemalar	64
6.1. Mikroshemalar haqida ma'lumot	64
6.2. Yarimo'tkazgichli integral mikroshemalar	67
6.3. Mikroshemalarni belgilash	79
7. Kuchaytirgichlar	81
7.1. Bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi	81
7.2. Maydoniy tranzistorlarda yasalgan kuchaytirgichlar	86
7.3. Ko'p bosqichli kuchaytirgichlar	87
7.4. Analog integral sxemalarning chiqish bosqichlari (quvvat kuchaytirgichlari)	88
7.5. Emitter qaytargich	90
7.6. Kuchaytirgich parametrlari va xarakteristikallari	91
7.7. Komplementar emitter qaytargich	94
7.8. Balans sxemalar asosidagi kuchaytirgichlar	95
7.9. Barqaror tok generatori	96
7.10. O'zgarmas kuchlanish sathini siljitish qurilmasi	97
7.11. Differensial kuchaytirgichlar	98
7.12. Operatsion kuchaytirgichlar	101
8. Nanoelektronika	107
8.1. Funksional elektronika va nanoelektronika haqida tushuncha	107
Foydalanilgan adabiyotlar:	109

**Abdulxaq Abdulxairovich Xalikov,
Anvar Abdusamatovich Buzrukxonov**

ELEKTRONIKA

O‘quv qo‘llanma

Muharrir: Qayumova H.T.
Texnik muharrir va sahifalovchi: Tashbaeva M.X.

Nashrga ruxsat etildi: 02.05.2017 y.
Qog‘oz bichimi: 60×84/16. Hajmi: 8 b.t.
Adadi: 25 nusxa. Buyurtma №25-1/2015
ToshTYMI bosmaxonasida chop etildi
Toshkent sh., Odilxo‘jaev ko‘chasi, 1uy

Toshkent temir yo‘l muhandislari instituti, 2017y.