

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

SAYDUMAROV I.M., SHUKUROVA S.M.



“ELEKTRONIKA VA SXEMOTEXNIKA”

O'QUV QO'LLANMA

Тошкент – 2014

I.M. Saydumarov, S.M. Shukurova. **Elektronika va sxemotexnika**. O'quv qo'llanma – Toshkent: TDTY, 2014, 110 6, 2014-2015 o'quv yili rejasi

Taqrizchilar: **A.M. Nazarov**, texnika fanlari doktori, professor

O'.H. Qurbonova, fizika-matematika fanlari номзоди, доцент

O'quv qo'llanmada yarimo'tkazgichli elektronika qurilmalarining negiz elementlari ko'rib chiqilgan. Diodlar, tranzistorlarning sinflanishi, volt - amper va boshqa xarakteristikalari, asosiy ulanish sxemalari va ularni turli ishchi rejimlarida aniq bir qurilmalarda qo'llanilish xossalari keltirilgan. Analog va raqamli qurilmalarning yasash prinsiplariga alohida e'tibor qaratilgan. Ularning ishlashining matematik ifodalash usullari, hamda berilgan texnik ko'rsatgichlarga ega bo'lgan qurilmalarni analiz va sintez asoslari keltirilgan.

So'nggi yillarda nanoelektronikada muhim amaliy natijalarga erishildi, ya'niy zamonaviy telekommunikasiya va axborot tizimlarning negiz elementlarini tashkil etuvchi: geterotizimlar asosida yuqori samaradorlikka ega lazerlar va nurlanuvchi diodlar yaratildi; fotoqabulqilgichlar, o'ta yuqori chastotali tranzistorlar, bir elektronlitransistorlar, turli xil sensorlar hamda boshqalar yaratildi. Nanoelektron o'ta yuqori va giga yuqori integral sxemalar ishlab chiqarish yo'lga qo'yildi.

O'quv qo'llanma tegishli yo'nalishlarda ta'lim olayotgan talabalar uchun mo'ljallangan.

KIRISH

Elektronika – elektronlarni elektr maydoni bilan ta’sirini va 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 kuchli ravishda 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 o’rtirdi. Elektronika rivojlanish jaaryonida to’rt bosqichni bosib o’tdi.

Birinchi bosqich 1895 yilda 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 yili 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 televidenie 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 jisimli (yarim o’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 darxol ishga tushishini ta'minlamas edi. Masalan, 50 yillar so'ngida yaratilayotgan EHMlar 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 15 mVt, o'lchamlari (bog'lanishlari bilan) 1 sm^3 , o'rtacha og'irligi 1 g va buzilish ehtimolligi 10^{-5} s^{-1} . Natijada diskret elementlardan tuzilgan EHMning sochilish quvvati 3 kVt, o'lchamlari $0,2 \text{ m}^3$, og'irligi 200 kg 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.

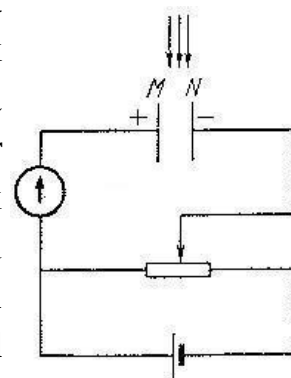
Mikroelektronikaning birinchi mahsulotlari – integral mikrosxemalar 60 yillar so'ngida paydo bo'ldi. Hozirgi kunda IMSlar uch xil konstruktiv – texnologik usullarda yaratiladi: qalin pardali va yupqa pardali gibrid integral mikrosxemalar (GIS) va yarim o'tkazichli integral mikrosxemalar.

Integral mikrosxemalar radio elektron apparaturalarda elementlararo ulanishlarni ta'minlash bilan birgalikda, ularning kichik o'lchamlarini, energiya ta'minotini, massa va material hajmini ta'minlaydilar. Ko'p sonli chiqishlar va qobiqlarning yo'qligi radio elektron apparaturalarning hajmi va massasini kichraytiradi.

I BOB. ELEKTRVAKUUM VA YARIM O'TKAZGICHLI ASBOBLARDA KECHADIGAN FIZIK JARAYONLAR

1.1. Gazlarda elektr toki

Gazlar orqali elektr tokning o'tishini tekshirish uchun 1–rasmda tasvirlangan shema asosida elektr zanjir tuzaylik. Bu zanjirning bir qismi, ya'ni M va N plastinalar (elektrodlar) orasidagi qismi biror gazdan iborat bo'lsin. Shemadagi gal vanometr zanjir bo'ylab elektr tok oqmayotganligini ko'rsatadi, chunki oddiy sharoitlarda gazda zaryad tashuvchilar bo'lmaydi. Demak, zanjir M va N elektrodlar orasida uzilgan bo'ladi. Shuning uchun zanjir orqali elektr tok oqishini ta'minlamoqchi bo'lsak, elektrodlar oralig'iga zaryad tashuvchilar kiritish yoki biror usul bilan elektrodlar orasidagi gazda zaryad tashuvchilar vujudga keltirish kerak. Gazda zaryad tashuvchilar vujudga keltirishning barcha usullarini ikki gruppaga ajratish mumkin:



1–rasm

a) gazdagi zaryad tashuvchilar tashqi faktorlar tufayli vujudga kelishi natijasida kuzatiladigan elektr tokni *nomustaqil gaz razryad* deyiladi;

b) M va N elektrodlar orasidagi elektr maydon ta'sirida vujudga kelgan zaryad tashuvchilar tufayli kuzatiladigan elektr tokni *mustaqil gaz razryad* deyiladi.

Nomustaqil gaz razryad. Agar M va N elektrodlar orasidagi gazni qizdirsak yoki α , β , γ , rentgen, ul trabinafsha nurlar bilan nurlantirsak, gaz molekulalarining ionlashuvi sodir bo'ladi. Ionlashuv jarayonining mohiyati quyidagidan iborat. Tashqi faktorlardan olgan energiya tufayli gaz molekulasidagi bir yoki bir necha elektron molekuladan ajralib chiqadi. Natijada molekula musbat zaryadlangan ionga aylanib qoladi. Ajralib chiqqan elektronlarning bir qismi neytral molekulalar bilan birlashib manfiy zaryadlangan ionlarni vujudga keltiradi. Shuning uchun ham gazdagi (ionlashish jarayoniga sababchi bo'lgan tashqi faktorni *ionizator* (ionlashtiruvchi) deb ataladi.

Ionlanish jarayoni bilan bir qatorda gazda rekombinatsiya jarayoni ham sodir bo'ladi. Rekombinatsiya ionlanishga teskari jarayon bo'lib, bunda musbat va manfiy ionlarning yoki elektron va musbat ionning to'qnashuvi natijasida neytral molekulalar hosil bo'ladi.

Shunday qilib, gazlarda ionlanish jarayonida manfiy zaryad tashuvchilar (elektronlar va manfiy ionlar) hamda musbat zaryad tashuvchilar (musbat ionlar) teng miqdorda hosil bo'ladi, rekombinatsiya jarayonida esa teng miqdorda yuqoladi.

Ionizator ta'sirida gazning birlik hajmida birlik vaqtda n_+ dona musbat va n_- dona manfiy zaryad tashuvchilar vujudga kelayotgan bo'lsin. Odatda $n_+=n_-$ bo'lganligi uchun, oddiygina qilib, n juft zaryad tashuvchilar vujudga kelyapti, deylik.

Rekombinatsiya jarayoni tufayli $\Delta n'$ juft ion kamayayotgan bo'lsin. Elektr maydon tufayli musbat zaryad tashuvchilar manfiy zaryadlangan N elektrodga, manfiy zaryad tashuvchilar esa musbat zaryadlangan M elektrodga tortiladi va ularda neytrallanadi. Buning natijasida $\Delta n''$ juft ionlar kamayotgan bo'lsin. U holda gazning birlik hajmida birlik vaqtda kamayayotgan ionlarning umumiy soni

$$\Delta n = \Delta n' + \Delta n'' \quad (1.1)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Bu ifodadagi qo'shiluvchilarning hissalarini elektr maydonga bog'liq. Ikki chegaraviy holni ko'raylik.

1. Elektrodga berilgan kuchlanishning ancha kichik qiymatlarida, ya'ni kuchsiz elektr maydonlarda ionlar asosan rekombinatsiya tufayli kamayadi ($\Delta n' \gg \Delta n''$). Lekin bir qism ionlar elektr maydon tufayli qarama-qarshi zaryadlangan elektrodga etib boradi va kuchsiz elektr tokni vujudga kelishiga sababchi bo'ladi. Elektr maydon ta'sirida musbat va manfiy zaryad tashuvchilar mos ravishda quyidagi tezliklar bilan harakat qiladi:

$$\begin{aligned} v_+ &= u_+ E, \\ v_- &= u_- E, \end{aligned} \quad (1.2)$$

bu ifodalarda E – elektr maydon kuchlanganligi, u_+ va u_- lar esa mos ravishda musbat va manfiy zaryad tashuvchilarning harakatchanliklari. Ionning harakatchanligi – kuchlanganligi 1 V bo'lgan elektr maydon ta'sirida ion erishgan tezlik bilan harakterlanib, turli gazlar uchun turlicha qiymatlarga ega bo'ladi.

(1.2) ifoda bilan aniqlanuvchi tezliklar bilan tartibli harakat qiluvchi ionlar Δt vaqt ichida plastinalarga quyidagi zaryadlarni yetkazadi:

$$\begin{aligned} Q_+ &= qn v_+ S \Delta t = qn u_+ E S \Delta t, \\ Q_- &= qn v_- S \Delta t = qn u_- E S \Delta t, \end{aligned} \quad (1.3)$$

Bunda Q_+ va Q_- – mos ravishda manfiy va musbat zaryadlangan elektrodga ionlar tashib yetkazayotgan zaryad miqdorlari, q – ionning zaryadi, S – elektrodning yuzi. Elektr maydon tomonidan ko'chirilgan umumiy zaryad miqdori

$$Q = |Q_+| + |Q_-| = qn(u_+ + u_-) E S \Delta t \quad (1.4)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Birlik yuz orqali birlik vaqtda ko'chirilgan zaryad tok zichligi j ni ifodalari edi. Shuning uchun

$$j = \frac{Q}{S \Delta t} = qn(u_+ + u_-) E, \quad (1.5)$$

bu ifodadagi q , u_+ , u_- – lar ayni tajriba sharoiti uchun doimiy kattaliklardir. n esa unchalik katta bo'lmagan elektr maydonlar uchun o'zgarmas hisoblanadi. Demak,

kuchsiz elektr maydonlarda (1.5) ifodadagi $qn(u_++u_-)=\sigma$ ko'paytuvchini o'zgarimas kattalik deb hisoblash mumkin. U holda (1.5) ifoda gazlar orqali o'tuvchi elektr tok uchun Om qonunini ifodalaydi:

$$j=\sigma E \quad (1.6)$$

2. Endi M va N elektrod(lar)ga berilgan kuchlanish yetarlicha katta bo'lgan holni ko'raylik. Bu holda elektr maydon ta'sirida ionlar ancha katta tezliklarga erishadi. Shuning uchun ionizator ta'sirida vujudga kelayotgan ionlarning deyarli hammasi rekombinatsiyalashishga ulgurmasdanoq elektrod(lar)ga etib oladi.

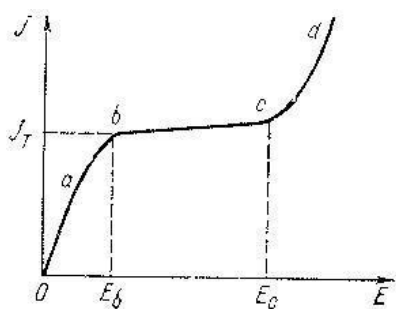
Ionizator ta'sirida gazning birlik hajmida birlik vaqtda n juft ion vujudga keladi, deb hisoblangan edi. U holda bir-biridan l uzoqlikda joylashgan S yuzli ikki elektrod orasidagi hajm $S \cdot l$ ga teng bo'lganligi uchun, bu ikki elektrod oralig'ida Δt vaqt ichida umumiy zaryadi

$$Q=qnSl\Delta t \quad (1.7)$$

bo'lgan ionlar vujudga keladi. Bu ionlarning hammasi tok tashishda qatnashayotganligi uchun gaz orqali o'tayotgan elektr tokning qiymati **to'yinish toki** deyiladi va bu tuyinish tokining zichligi uchun quyidagi ifoda o'rinlidir:

$$j_{\text{tuy}}=\frac{Q}{S\Delta t}=qnl \quad (1.8)$$

2-rasm da nomustaqil gaz razryadda elektr maydon kuchlanganligi qiymatiga bog'liq ravishda tok zichligining o'zgarishini tasvirlovchi grafik chizilgan. Grafikning Oa qismi kuchsiz elektr maydonga mos keladi. Bunday maydonlarda zaryad tashuvchilar kichik tezliklar bilan harakatlanib, ko'pincha elektrod(lar)ga etib bormasdanoq, rekombinatsiyalashadi. Lekin elektr maydon kuchaygan sari ionlar tezligi ortib ularning rekombinatsiyalashuv ehtimolligi kamayib boradi. Bu esa tokning ortishiga sabab bo'ladi.



2-rasm

Bu sohada j va E orasidagi bog'lanish Om qonuniga bo'ysunadi, ab qismda esa j ning E ga chiziqli bog'liqligi buziladi. Grafikning bu qismini *oraliq soha* yoki *o'tish sohasi* deyiladi. bc qismi to'yinish tokiga mos keladi. Maydon kuchlanganligi $E_b \leq E \leq E_c$ bo'lganda ionizator ta'sirida vujudga kelgan ionlarning hammasi tok tashishda qatnashadi. Lekin maydon kuchlanganligi E_c dan ortganda zarbdan ionlanish tufayli tok keskin ortib ketadi (rasmdagi cd qism).

Mustaqil gaz razryad. Tashqi ionizator ta'sir qilmasa ham, nihoyat kuchli elektr maydonlar ta'sirida zaryad tashuvchilar vujudga kelishi mumkin. Zaryad tashuvchilarning vujudga kelishini ta'minlovchi asosiy jarayonlar quyidagilardan iborat.

1. *Zarbdan ionlanish.* Oddiy sharoitlardagi gazda turli sabablar tufayli

vujudga kelgan elektronlar va ionlar mavjud. Lekin ularning soni nihoyat darajada kam bo'lganligi uchun oddiy sharoitlardagi gaz amalda elektr tokni o'tkazmaydi, deyish mumkin. Kuchlanganligi E bo'lgan elektr maydonga q zaryadli tok tashuvchi (ion yoki elektron) ga qE kuch ta'sir etadi. Bu kuch ta'sirida tok tashuvchi ikki ketma-ket to'qnashuv orasida erkin bosib o'tilgan l yo'lda

$$W_k = qEl \quad (1.9)$$

kinetik energiyaga erishadi. Agar bu energiya gaz molekulasining ionlanishi uchun bajarilishi lozim bo'lgan A_i ishdan katta bo'lsa, ya'ni

$$W_k \geq A_i \quad (1.10)$$

shart bajarilsa, tok tashuvchining neytral molekula bilan to'qnashishi natijasida molekula ikki qismga – erkin elektronga va musbat zaryadlangan ionga ajraladi. Bu jarayonni *zarbdan ionlanish* deyiladi. Yangi vujudga kelgan tok tashuvchilar ham o'z navbatida elektr maydon tomonidan tezlatiladi. Shuning uchun ular yana ionlanishiga sababchi bo'lishi mumkin. Shu tariqa gazda ionlanish nihoyat katta qiymatlarga erishadi. Bu hodisa tog'lardagi qor ko'chkisini eslatadi. Ma'lumki, qor ko'chkisining vujudga kelishiga bir siqimgina qor sababchi bo'la oladi. Shuning uchun yuqorida bayon etilgan jarayon ionlar ko'chkisi (quyuni) deyiladi.

2. *Ikkilamchi elektron emissiya*. Gazdagi musbat zaryadli ionlar elektr maydon ta'sirida ancha katta energiyalarga erishgach, manfiy elektrodga urilishi natijasida elektroddan elektronlar ajralib chiqadi. Bu hodisani ikkilamchi elektron emissiya deyiladi.

3. *Avtoelektron emissiya*. Bu hodisa nihoyat kuchli elektr maydonlarda ($E \sim 10^8$ V/m) sodir bo'ladi. Bunda nihoyat kuchli elektr maydon metallardan elektronlarni yulib (tortib) oladi, deyish mumkin.

4. *Fotoionlanish*. Zarbdan ionlanish natijasida vujudga kelgan ion uyg'otilgan holatda bo'lishi mumkin (uyg'otilgan holatdagi sistemaning energiyasi asosiy holatdagiga qaraganda kattaroq bo'ladi). Bu ion uyg'otilgan holatdan asosiy holatga o'tayotganda qisqa to'lqin uzunlikli nur chiqaradi. Bunday nur energiyasi molekulaning ionlanishiga yetarli bo'lib qolganda fotoionlanish hodisasi ro'y beradi.

5. *Termoelektron emissiya*. Manfiy elektrod temperaturasi yetarlicha yuqori bo'lgan hollarda termoelektron emissiya tufayli anchagina elektronlar vujudga keladi.

Mustaqil gaz razryadlarning ba'zi turlari bilan tanishaylik. Oldin oddiy atmosfera bosimlaridagi gazlarda ro'y beradigan razryadlarni tekshiramiz.

1. *Toj razryad*. Razryadning bu turi vujudga kelganda elektrodlar yaqinida huddi quyosh tojiga o'hshagan nurlanish kuzatiladi. Toj razryad vujudga kelishi uchun nihoyat kuchli notekis elektr maydon mavjud bo'lishi shart. Masalan, katta kuchlanishli elektr toklarni o'tkazuvchi simlarni ko'raylik. Sim va erni

kondensatorning ikki qoplamasi deb qarash mumkin. Bu kondensatordagi elektr maydon notekis bo'lib, maydon kuchlanganligi sim yaqinida juda katta qiymatga erishadi. Bu sohadagi gaz elektr maydon ta'sirida nihoyat intensiv ravishda ionlashadi. Shuning uchun bu sohada simni qar tomondan o'rab olgan nurlanish, ya'ni mustaqil gaz razryad kuzatiladi. Bu esa elektr energiyaning isrof bo'lishiga sabab bo'ladi. Toj razryad faqat simlar atrofida emas, balki kuchli va notekis elektr maydon vujudga kelgan elektrodlar atrofida ham vujudga keladi. Masalan, elektrodning biror qismi egrilik radiusi kichik bo'lgan uchlikka ega bo'lsa, bu sohada (uchlikda) elektr zaryadning kontsentratsiyasi juda ortib ketadi. Shuning uchun bu uchlik atrofida nurlanish kuzatiladi. Toj razryad kema machtlarining, daraxtlarning uchlarida ham kuzatiladi. Qadim vaqtlarda bu hodisalarni «avliyo El ma chiroqlari» deb atashgan.

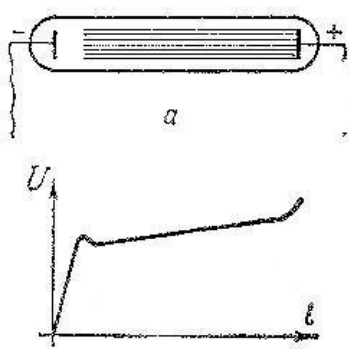
2. *Uchqunli razryad (uchqun)*. Kondensator qoplamalari yoki induksion g'altak chulg'aming ikki uchi orasidagi kuchlanish nihoyat katta ($3 \cdot 10^6$ V/m) bo'lganda gazning turtki ravishda zarbdan ionlanishi natijasida qisqa vaqtli razryad – uchqun vujudga keladi. Eng ulkan uchqun razryad – yashindir. Yashin bulutlar orasida yoki bulut bilan Yer oralig'ida katta poteptsiallar farqi vujudga kelishi natijasida paydo bo'ladi. Uchqun yaqinidagi gaz yuqori temperaturalargacha qiziydi va keskin kengayadi. Bu esa o'z navbatida tovush to'lqinlarining vujudga kelishiga sababchi bo'ladi. Yashinning uzunligi 50 kilometrgacha, tok kuchi 20000 A gacha etadi. Shuning uchun ham yashin tufayli vujudga keladigan tovush, ya'ni momaqaldiraq juda kuchli bo'ladi.

3. *Ey razryad (elektr yoyi)*. Agar 3–rasmda tasvirlangan elektrodلarni bir-biriga tegizsak va elektr tok o'tkazsak, elektrodلarning bir-biriga tegib turgan uchlari qiziydi. So'ng ularni bir-biridan bir oz uzoqlashtiraylik. Katod. bo'lib hizmat qiluvchi elektrod juda ko'p termoelektronلar chiqaradi. Bu termoelektronلar elektrodلar oralig'idagi gazni ionlashtiradi. Natijada elektrodلar orasida yoy shaklidagi kuchli (ko'zni qamashtiradigan darajada yorug') shu'la paydo bo'ladi. Buni elektr yoyi yoki Petrov yoyi deyiladi. Elektr yoyi uchqundan farqli o'laroq, uzluksiz davom etadi. Tajribalar asosida yoy razryad unchalik katta bo'lmagan kuchlanishlarda (~ 40 V) sodir bo'lishi aniqlandi. Lekin tok kuchi katta (~ 3000 A) bo'lishi mumkin. Elektrodلarning temperaturalari ($2500 \div 4000$)°C gacha ko'tariladi. Temperaturaning bu qadar ko'tarilishi metallarni elektr payvandlashda, kuchli yorug'lik tarqatilishi esa yoy lampalarda foydalaniladi.



3–rasm

Endi siyraklashtirilgan gazlarda kuzatiladigan razryad bilan tanishaylik. 4a–rasmda tasvirlangan shisha naychaning ikki tomoniga metall elektrodلar kavsharlangan. Bu naycha ichidagi gaz bosimi 0,1 mm simob ustuniga,



4-rasm

elektrodlarga berilgan kuchlanish bir necha yuz voltga teng bo'lganda naychadagi gazda mustaqil razryad kuzatiladi. Razryad tuzilishining mayda tafsilotlari bilan qiziqmay, uni ikki qismdan iborat deb ko'rishimiz mumkin. Katodga yaqin joylashgan nurlanish sodir bo'lmayotgan sohani katod qorong'i fazosi deyiladi. Razryadning qolgan (anodgacha davom etgan) qismida miltillagan nurlanish kuzatiladi. Razryadning bu qismini nurlanuvchi anod ustuni deyiladi. *Yolqin razryad* deb nomlangan bu razryadda katod hamma vaqt sovuqligicha qoladi. U holda ionlar qanday vujudga keladi? Bu savolga javob berish uchun katod bilan anod oralig'idagi nuqtalarda potensialning o'zgarishi bilan tanishaylik. 4b-rasmda katod va naycha ichidagi tekshirilayotgan nuqta orasidagi kuchlanish U ni katoddan ushbu nuqttagacha bo'lgan masofa l ga bog'liqlik grafigi tasvirlangan. Bu grafikdan ko'rinishicha, potensialning asosiy tushuvi katod qorong'i fazosiga to'g'ri keladi. Shuning uchun ham uni katod potensial tushuvi deb ataladi. Katod tomon tortilayotgan musbat ionlar bu sohada katta energiyalarga erishadi va katodga urilgach, undan bir necha elektron ajralib chiqishiga sababchi bo'ladi. Bu elektronlar o'z navbatida katod potentsiali ta'sirida tezlashib gaz molekulalari bilan to'qnashganda zarbdan ionlanishni vujudga keltiradi. Vujudga kelgan yangi ionlar yana katod tomon intiladi, katod potentsiali ta'sirida yana tezlashadi, katoddan elektronlarni urib chiqaradi va hokazo. Demak, elektrodlar oralig'ida kuchlanish mavjud bo'lsa, razryad uzluksiz davom etaveradi. Shuni ham qayd qilib o'taylikki, fanda elektronlar bilan birinchi tanishuv yuqorida bayon etilgan tajribadagi katoddan ajralib chiqayotgan elektronlar oqimini tekshirish natijasida ro'y bergan. Shuning uchun bu elektronlar oqimi katod nurlari deb atalgan. Katoddan elektronlarni urib chiqarayotgan musbat ionlar esa anod nurlari deb atalgan.

Naychadagi gazni o'zgartirganda nurlanishning rangi qam o'zgaradi. Masalan, neon – qizil, argon – ko'kish, geliy – sariq rangdagi nurlanish beradi. Yolqin razryadning bu xususiyatlaridan kunduzgi yorug'lik lampalarida, vitrinalarni yoritish, bezash maqsadlarida foydalaniladi.

Plazma. Yuqori darajada ionlashgan, lekin kichik makroskopik hajmda elektroneytral bo'lgan gaz *plazma* deb ataladi. Agar gazning barcha molekulalari ionlashgan bo'lsa, ya'ni ionlashganlik darajasi birga teng bo'lsa, *to'liq ionlashgan plazma* deyiladi. Boshqa hollarda qisman ionlashgan plazma bilan ish ko'rilayotgan bo'ladi. Plazmani ikki usul bilan hosil qilish mumkin:

1. O'ta yuqori temperaturalargacha qizdirilgan gaz molekulalari o'zaro to'qnashuvi tufayli ionlanish sodir bo'ladi. Masalan, $T \geq 10000$ K da har qanday jism plazma holatida bo'ladi. Barcha yulduzlar, xususan Quyosh ham, ana shunday

yuqori temperaturali plazmadan iboratdir.

2. Gazdan elektr tok o'tishi (elektr razryad) jarayonida ham plazma hosil bo'ladi. Gaz razryadli plazma elektronlar va ionlar gaz razryadni vujudga keltirayotgan elektr tok manbaidan doimo energiya olib turadi. Natijada ioilar va elektronlarning temperaturalari keskin farq qiladi, chunki elektronlar elektr maydonda ko'proq tezlashadi. Masalan, yulqin razryadda elektronlar temperaturasi ~10000 K bo'lsa, ionlar temperaturasi ~2000 K dan ortmaydi.

Erning ionosferasidagi plazma Quyosh nurlanishi tufayli atmosferadagi gaz molekulalarining fotoionlashuvi natijasida vujudga keladi. Shuning uchun plazmaning bu turi gaz razryadli plazmadan farq qiladi.

Plazma zarralari, huddi oddiy gaz molekulalariga o'hshash betartib harakatda bo'ladi. Lekin neytral molekulalardan tashkil topgan oddiy gazdan farqli ravishda plazma radiotulkinlarni qaytaradi. Buning sababi plazmaning elektromagnit maydon bilan ta'sirlashuvidir.

Plazmaning eng asosiy xususiyati – uning kvazineytralligidir. *Kvazineytrallik* tushunchasi bilan elektronlar na bir xil ionlardan iborat bo'lgan plazma misolida tanishaylik. Bunday plazmada elektronlarning issiqlik harakat tezliklari ionlarnikidan kattaroq bo'ladi. Shuning uchun elektronlar plazmadan tezroq chiqib ketishi va natijada plazmada ionlar miqdorining ortib ketishi tufayli elektr maydon vujudga kelishi lozim edi. Lekin plazmada katta elektr maydonlar vujudga kelmas ekan. Buning sababi quyidagida: plazmaning biror qismida ionlarning to'planib qolishi natijasida vujudga kelgan elektr maydon chiqib ketayotgan elektronlarga tormozlovchi ta'sir ko'rsatadi, so'ng ularni orqasiga qaytaradi. Shu tarzda elektronlarning tebranma harakati vujudga keladi. Bu tebranishlarning chastotasi va amplitudasini topaylik.

Zichligi n_e bo'lgan elektronlarning x masofaga siljishi natijasida vujudga kelgan elektr maydon (bu maydonni birinchi yaqinlashuvda yassi kondensator plastinkalari oralig'idagi elektr maydonga o'hshatsa bo'ladi) kuchlanganligi

$$E = \sigma / \epsilon_0 = - \frac{en_e x}{\epsilon_0} \quad (1.11)$$

ga teng bo'ladi. Bu maydonda elektronga

$$F = eE = - \frac{e^2 n_e x}{\epsilon_0} \quad (1.12)$$

kuch ta'sir etadi. Bu kuch miqdoran siljishga proporsional va siljish yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan. U garmonik tebranishlarni vujudga keltiruvchi kvazielastik kuch ($F = -kx$) ga o'hshashdir. Shuning uchun bu kuch ta'sirida elektron oldinga va orqaga

$$\omega_{pl} = \sqrt{\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e}} \quad (1.13)$$

chastota bilan harakat qiladi. Bu harakatni *plazma tebranishlari*, ω_{pl} ni esa *plazma chastotasi* yoki *lengmyur chastotasi* deyiladi. Albatta, elektronlar bilan ionlar to'qnashuvi natijasida elektronlarning tebranma harakati so'nadi.

Plazma tebranishlari sodir bo'ladigan masofani quyidagi mulohazalar asosida topamiz: elektr maydonda x masofaga siljigan elektron

$$A=F \cdot x = \frac{e^2 n_e x^2}{\epsilon_0} \quad (1.14)$$

ish bajaradi. Bu ish shu elektron kinetik energiyasining o'rtacha o'zgarishi (tahminan kT_e ga teng) hisobiga bajariladi. Shuning uchun

$$\frac{e^2 n_e x^2}{\epsilon_0} = kT_e.$$

Bundan

$$x^2 = \frac{\epsilon_0 k T_e}{e^2 n_e} \quad (1.15)$$

Bu ifoda issiqlik harakati tufayli plazmada zaryadlar fazoviy ajraladigan masofaning maksimal qiymatini aniqlaydi. Odatda, uni *debay radiusi* (λ_D) deb ataladi:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{e^2 n_e}} \quad (1.16)$$

Shunday qilib, debay radiusi zaryadlarning fazoviy ajralish masshtabini, plazma chastotasi esa zaryadlarning ajralmagan holatga qaytish davrini, ya'ni plazmaning zaryad jihatdan neytralligini tiklash davrini harakterlaydi. Bu ikki kattalik plazmaning asosiy harakteristikalari hisoblanadi.

Hulosa qilib aytganda, elektronlar va ionlardan iborat gazni, bu gaz egallagan hajmning chiziqli o'lchamlari debay radiusidan katta bo'lgandagina (faqat shu holdagina kvazineytrallik sharti bajariladi) plazma deb atash mumkin.

Hozirgi vaqtda plazmadan ikki yo'nalishda foydalanish mo'ljallanyapti: 1) boshqariluvchi termoyadro reaksiyalarida; 2) magnitogidrodinamik generatorlarda (MGDG).

1.2. Yarim o'tkazgichlarni fizik va kimyoviy xossalari

Yarim o'tkazgichlar va dielektriklar fizikasi hozirgi zamon fizikasining eng asosiy qismi bo'lib, uning yutuqlari asosida asbobsozlik, radiotexnika va mikroelektronika sohalari rivojlanadi. Yarim o'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligi bo'yicha metallar bilan dielektriklar oralig'idagi moddalar guruhiga kiradi va $T=0$ da ularning valent zonasi elektronlar bilan band bo'lib taqiqlangan zonasining kengligi katta emas ($\sim 1\text{eV}$). Atom elektron buluti bilan o'ralgan yadrodan tashkil topgan.

Yarim o'tkazgichlarga shunday materiallar kiradiki, ularning xona haroratidagi solishtirma elektr qarshiligi 10^{-5} dan 10^{10} om sm gacha bo'ladi. (yarim o'tkazgichli

texnikada 1 sm^3 hajmdagi materialning qarshiligini o'lchash qabul qilingan). Yarim o'tkazgichlar soni metall va dielektriklar sonidan ortiq, juda ko'p hollarda kremniy, arsenid galliy, selen, germaniy, tellur va har xil oksidlar, sulfidlar va karbidlar kabi yarimo'tkazgich materiallardan foydalaniladi.

Yarim o'tkazgich materiallarining elektrofizik xususiyatlarini o'rganish asosida yangi fizik asboblarni yaratish imkoniyati tug'iladi. Ayniqsa, qattiq jismlar fizikasining yarim o'tkazgichlar fizikasi qismini o'rganadigan materiallar asosida hozirgi zamon talablariga javob beradigan fizik asboblarni va qurilmalar yaratiladi.

Elementar yarim o'tkazgich bo'lgan kremniy va germaniy elementlaridan, shuningdek murakkab strukturali yarim o'tkazgichlar xususiyatlarini o'rganish, ularning tashqi ta'sir ostida xususiyatlari o'zgarishini kuzatish orqali ham kerakli xossalarga ega bo'lgan asboblarni yaratish imkoniyati tug'iladi.

Ayniqsa, kremniy elementi kristallidan asbobsozlik va mikroelektronikada juda ko'p qo'llaniladi. Shuning uchun ham bu elementning elektrofizik, mexanik, optik va boshqa xususiyatlarini o'rganish katta ahamiyatga egadir. Tashqi ta'sir: nurlanish, bosim, deformasiya va boshqa ta'sirlarda kremniyning xususiyatlari o'zgarishini o'rganish dolzarb muammodir.

Yarim o'tkazgich bo'lmish kremniyda erkin zaryad tashuvchilar (elektronlar va kovaklar) konsentratsiyasi (p, n), harakatchanlik (μ_p, μ_n) ni o'lchashning bir qancha usullari mavjud. U yoki bu usulning qo'llanilishi ularning metrologik tavsifiga, o'lchanayotgan kattaliklarni tushuntirish ma'lumotlarga boyligi, o'lchash usullarining fizik asoslari, namunaning elektrofizik xossalari, geometrik shakli va o'lchamlariga bog'liq. Bularning hammasi Xoll effektiga asoslangan usuldir. Bu usul bilan kremniy namunasidan p_m, n_m ni o'lchashdan tashqari, elektr o'tkazuvchanligini ham aniqlash mumkin.

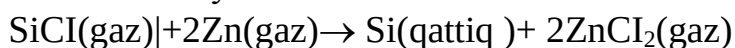
Kremniy Si (Silicium) Mendeleyev davriy sistemasidagi IV-gruppa elementi, atom nomeri 14, atom massasi 28,0856 bo'lib, metallmaslar guruhiga kiradi. Binobarin, uning yakka atomida 14 ta elektroni bo'lib, 10 tasi mustahkam ichki qobig'da 5 ta sathni to'ldirgan, qolgan 4 tasi ikkita tabiiy kremniy 3ta stabil izotopdan $^{28}_{14}\text{Si}$ (92,28 %), $^{29}_{14}\text{Si}$ (4,67 %), $^{30}_{14}\text{Si}$ (3,05%) va ikkita radiaktiv izotopi $^{27}_{14}\text{Si}$ (β^+ , 4.9s), $^{31}_{14}\text{Si}$ (β^- , 170 min) dan iborat.

Elektron strukturasini – $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ ga teng.

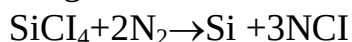
Kremniy Si atomining kristalli kimyoviy radiusi 0,134 nm, Si^{+4} ionining radiusi 0,039 nm. Kremniy Si tomonlari markazlashgan kub fazoviy panjara shaklida kristallashadi va bu kubning panjara doimiysi $\lambda=0,357 \text{ nm}$. Kremniyning zichligi $-2,328 \text{ g/sm}^3$, erish temperaturasi 1415°S , issiqlik sig'imi $-20,1 \text{ kJ/mol}\cdot\text{K}$, erish issiqligi $-49,8 \text{ J/mol}$, bug'lanish issiqligi -355 kJ/mol .

Yarim o'tkazgichli kremniy kristallarni o'stirishda foydalaniladigan ba'zi bir muhim usullari ustida qisqacha to'xtab o'tamiz.

Dastlab toza kremniyni uning birikmalaridan ajratib olish kerak. Buning bir necha usullari mavjud. Kremniy tetraxloridi SiCl_4 ni yuqori haroratda Zn yordamida tiklash yo'li bilan undan ancha toza kremniy Si ajratib olish mumkin:



Kremniy tetroxloridi SiCl_4 ni vodorod yordamida tiklash oldingi usulga nisbatan yana ham toza kremniy olish imkonini beradi. Bu reaksiya 1050°S - 1100°S da amalga oshadi.



Trixlorsilan Si NCl_3 ni vodorod yordamida tiklash usuli ham yuqori haroratda (1000 - 1100°S) kechadi .



Kremniy ajratib olishning bu usullari yetarli darajadagi tozalik-ni bera olmaydi, unda ko'pdan ko'p va xilma-xil kirishmalar qoladi.

Yarim o'tkazgichli materialni parallelopiped shaklida qirqib olinadi va uning sirtiga qo'yilgan elektrodlar orqali o'zgaras tok o'tkaziladi. Buning natijasida yarim o'tkazgich ichida zaryadli zarralarning tartibli harakati yuz beradi. Tok o'tayotgan sirtlarga perpendikulyar yo'nalishda o'zgaras magnit maydoni qo'yiladi va har xil ishorali zaryadli zarralar ushbu maydon ta'sirida o'z harakat yo'nalishlarini o'zgartiradi. Natijada parallelopiped shaklidagi yarim o'tkazgichning qarama-qarshi sirtlarida musbat va manfiy ishorali zaryadli zarralar yig'ilib qoladi va bu sirtlar orasida potentsiallar farqi yuzaga keladi. Bizga ma'lumki, o'zgaras magnit maydonida harakat qilayotgan zaryadli zarrachaga maydon Lorens kuchi bilan ta'sir etadi:

$$\vec{F}_L = q \cdot [\vec{V} \cdot \vec{H}] \quad (1.17)$$

yoki

$$\vec{F}_L = q \cdot \vec{V} \cdot \vec{H} \sin \alpha \quad (1.18)$$

agar $\alpha=90^\circ$ bo'lsa

$$\vec{F}_L = q \cdot \vec{V} \cdot \vec{H} \quad (1.19)$$

Bu kuch ta'sirida zarayadlar harakat yo'nalishini o'zgartiradilar va kuchlanganilgi Y_{e_x} bo'lgan ko'ndalang elektr maydoni hosil qiladi. Bu maydon ham zaryadli zarraga $\vec{F}_x$ kuch bilan ta'sir etadi:

$$\vec{F}_x = q \cdot Y_{e_x} \quad (1.20)$$

Lorens kuchi $\vec{F}_L$ va elektr maydoni hosil qilgan $\vec{F}_x$ kuchlar o'zaro tenglashguncha zaryadli zarrachalarning burilishi davom etadi. Bu kuchlar o'zaro tenglashgach tok tashuvchilar burilmay qoladi, ya'ni :

$$Y_{e_x} \cdot q = q \cdot \vec{V} \cdot \vec{H} \quad (1.21)$$

Shunday holatda A va V sirtlar o'rtasida potentsiallar farqi yuzaga keladi:

$$U_x = E_x \cdot d = \vec{V} \cdot \vec{H} \cdot d \quad (1.22)$$

Bu yerda, d - material qalinligi.

Bizga ma'lumki, elektronlarning V - tezligi, tok zichligi - j bilan yozsak bo'ladi:

$$V = \frac{j}{n \cdot q} = \frac{j}{q \cdot n \cdot b \cdot d} \quad (1.23)$$

bundan:

$$U_x = \frac{1}{q \cdot n} \cdot \frac{j \cdot H}{B} = R \frac{J_o \cdot H}{B} \quad (1.24)$$

Bu yerda $R = \frac{1}{q \cdot n}$ - Xoll ko'effitsiyenti deyiladi.

Elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarim o'tkazgich uchun:

$$R = \frac{1}{n_o \cdot e} \quad (1.25)$$

yoki

$$R = \frac{U_x \cdot b}{J \cdot H} \quad (1.26)$$

Agar tok tashuvchilar musbat teshikchalar bo'lsa:

$$R = \frac{1}{n \cdot e} \text{ yoki } R = \frac{U_x \cdot b}{J \cdot H} \quad (1.27)$$

Shunday qilib, Xoll effektini bilgan xolda tok tashuvchilar konsentratsiyasi p ni va uning ishorasini bilib olish mumkin.

$$n = \frac{1}{R \cdot q} = \frac{J \cdot H}{q \cdot U_x \cdot b} \quad (1.28)$$

Xoll ko'effitsiyenti orqali tok tashuvchilarning harakatchanligini ham aniqlash mumkin:

$$M = R / \rho \quad (1.29)$$

Yarim o'tkazgichlar kattaliklarini o'lchash paytida olinadigan natijalar xatoligi kam bo'lishi uchun yarim o'tkazgichga qo'yilgan o'zgarmas magnit maydonining qiymati juda katta bo'lishi lozim. Aks holda, zaryadli zarrachalarning magnit maydonda burilishi juda kam bo'ladi va hosil bo'ladigan potentsiallar farqini o'lchashda qiyinchiliklar yuzaga keladi.

Yarim o'tkazgich materiallarning asosiy kattaliklari.

Yarim o'tkazgich materiallar element tarkibi bo'yicha 5 guruhga bo'linadi.

1. Elementar yarim o'tkazgichlar;
2. $A^{III} B^V$ yarim o'tkazgich birikmalar;
3. $A^{II} B^{VI}$ yarim o'tkazgich birikmalar;
4. $A^{IV} B^{IV}$ yarim o'tkazgich materiallar;
5. Murakkab yarim o'tkazgich materiallar

Amalda barcha elementar yarim o'tkazgichlar va ko'pchilik $A^{III} B^V$ va $A^{II} B^{VI}$ yarim o'tkazgich birikmalar, shuningdek murakkab yarim o'tkazgich materiallar olmos yoki rux obmankasi tipidagi kristall tuzilishga ega bo'lib, ular – tetraedr fazalariga tegishli, bu erda har bir atom mos kelgan tetraedr balandliklarida joylashgan to'rtta ekvivalent masofaga yaqin qo'shnilar bilan o'rab olingan. Ikkita yaqin qo'shni atomlar o'rtasidagi bog'lanish qarama-qarshi spinga ega bo'lgan elektronlar bilan amalga oshiriladi. Shuning uchun elementar yarim o'tkazgichlarda kimyoviy bog'lanish 100% kovalentli bo'ladi, $A^{III} B^V$ birikmalarda bog'lanish ionli - kovalent ko'rinishga ega. $A^{III} B^V$ birikmalarda ionli bog'lanish ulushi oshadi. Yarim o'tkazgichlarning asosiy

fundamental parametri bo'lib, Y_{e_d} taqiqlangan zona kengligi hisoblanadi. Y_{e_d} kattaligi - kristall panjaraning kimyoviy bog'lanishidagi qatnashadigan valent elektronni ozod qilish uchun zarur energiya bo'lib, u material o'tkazuvchanligini ta'minlashda qatnashadi. Yarim o'tkazgichlarda Y_{e_d} kattaligi asosan kristall panjarani hosil qiluvchi atomlarning valent elektronlari holati orqali aniqlanadi.

Jadval 1.

Element	Elektron tuzilishi	E_g , eV
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	5,48
Si	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$	1,17
+Ge	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$	0,74
Sn	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^2$	0,082

Bu elementlarning hammasi kovalent bog'lanishli olmossimon kristall panjara hosil qilsa ham, lekin ularning atomlari elektron tuzilishidagi valent elektronlarning joylashishi, panjaradagi energiya bog'lanishi, Y_{e_d} taqiqlangan zona kengligini kattaligi juda keskin farqlanishi mumkin. Bunday qonuniyat $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$ yarimo'tkazgich birikmalarda va murakkab materiallarda ham o'rinli bo'ladi. Shuning uchun elementlarni birikmalarda kombinasiyalash natijasida (ya'ni, atomda valent elektronlarning har xil energetik holati) Y_{e_d} boshqariladigan yarim o'tkazgich material olish mumkin. Bu material o'zining fizik kattaliklariga ko'ra olmosga juda yaqin bo'ladi.

Yarim o'tkazgichlarni shartli ravishda keng zonali, bunda $Y_{e_d} \geq 2$ eV, normal - bunda $2 > Y_{e_d} > 0.6$ eV va qisqa zonali $Y_{e_d} < 0.5$ eV kabi turlarga bo'linadi. Aynan yarim o'tkazgichlarning Y_{e_d} kattaligi mikroelektronikaning har xil foto va optoelektron asboblarni ishlab chiqarishda ularning funksional imkoniyatlarini aniqlaydi.

$A^{III}B^V$ bog'lanish turlaridagi yarim o'tkazgichlar va shu turdagi yarim o'tkazgichli qotishmalar.

Yarim o'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlikning ikki: elektron (n) va elektron-kovak (p) turi mavjud bo'lib, ular jismda p-n o'tishini vujudga keltiradi. Bunday jismlarga katta va kichik quvvatga ega turli xildagi elektr to'g'rilagichlar, kuchaytirgich va generatorlar misol bo'la oladi. Ulardan boshqariladigan turli hil moslamalarda keng miqyosda foydalaniladi. Amalda qo'llanilayotgan yarim o'tkazgichlar, asosan, odiy va murakkab xillarga bo'linadi. Yarim o'tkazgichlar turli ko'rinishdagi energiya (issiqlik, yorug'lik) ni elektr energiyasiga aylantirib beradi. Yarim o'tkazgichli o'tkazgichlarga misol tariqasida quyosh batareyasi va termoelektrik generatorlarni keltirish mumkin. Past o'zgarmas kuchlanishdagi rekombinatsiyali chaqnash nur uzatish manbai va hisoblash mashinalaridan axborot chaqirish qurilmalarida ishlatiladi.

Yarim o'tkazgichlarni isitkich asboblarda, radioaktivli nur indikatorlarda va magnit maydon kuchlanganligini o'lchashda foydalaniladi. Hozirgi davrda

shishasimon va suyuq yarim o'tkazgichlar o'rganilmoqda. Oddiy yarim o'tkazgichlardan texnikada keng qo'llaniladiganlariga kremniy va germaniy kiradi. Murakkab yarim o'tkazgichlar Mendeleyev davriy sistemasidagi turli gurux elementlari birikmasidan, masalan: $A^{III} B^V$ (InSb, CaAs, Cap), $A^{II} B^{VI}$ (CdS, ZnSe) elementlari birikmasidan, shuningdek, ba'zi oksidlar (Cu_2O) dan iborat. Yarim o'tkazgichli kompozitsiyalarga (tirit, silit), sopol bilan birikkan kremniy karbidi (SiC) va grafitli yarim o'tkazgichlar misol bo'la oladi.

Yarim o'tkazgich ishlatilgan asbob uskunalar xizmat muddatining yuqoriligi, hajm va og'irligiga nisbatan kichikligi, oddiy ishonchli ishlashi, iqtisodiy samaradorligi va boshqa sifatleri bilan ajralib turadi.

$A^{III} B^V$ birikmalari komponentlari vakuum yoki inert gaz muhitida o'zaro ta'sir ettirish yo'li orqali olinadi. Tozalangan birikmaning erish harorati uni tashkil etuvchi komponentlarning erish haroratidan yuqoriroq bo'ladi.

$A^{III} B^V$ birikmalari u yoki bu turdagi yarim o'tkazgich asboblari tayyorlash uchun muxim material hisoblanadi. Bunday birikmalarga fosfatlar, arsenidlar va antimonidlar kiradi. Bularning ichida amalda eng ko'p qo'llaniladigani galliy arsenidi va fosfidi hamda indiy antimonididir.

Galliy arsenidi taqiqlangan zonasining kengligi 1,43 eV bo'lib, elektronlarning harakatchanligi Ge va Si nikidan yuqoriroq bo'ladi. Galliy arsenididagi kovaklarning harakchanligi Si – dagi teshiklarning siljuvchanligiga yaqin. Bu materialning akseptorlari sifatida rux, qadimiy, misdan foydalaniladi, donorlari sifatida esa S, selen, tellur va davriy sistemadagi VI gurux elementlari olinadi.

Indiy antimonidi. Elektronlarning harakatchanligi katta qiymatga ega bo'lishi bilan bir qatorda, taqiqlangan zonasining kengligi (0,18 eV) nisbatan kichikroqdir. Ushbu materialning fotoo'tkazuvchanligi spektr infraqizil qismining katta (8 mkm. gacha) sohasini qamrab oladi. Bunda fotoo'tkazuvchanlikning eng yuqori qiymati 6,2 mkm to'liq uzunligiga to'g'ri keladi.

Indiy antimonididan o'ta sezgir fotoelementlar optik filtr, termoelektrik generator va sovutkichlar tayyorlashda foydalaniladi.

Galliy fosfidi: taqiqlangan zonaning kengligi (2,3 eV) bilan ajralib turadi. Undan qizil yoki yashil nurlanuvchi diodlar tayyorlanadi. Bundan tashqari, Bor alyuminiy va galliy netridlari birikmalaridan ham nurlanuvchan diodlar ishlab chiqariladi. $A^{III} B^{VI}$ birikmalari sulfidlar (PbS , Bi_2S_3 , $CdSe$, CdS) fotorezistorlar tayyorlashda ishlatiladi. Ulardan lyuminafor sifatida ham foydalaniladi.

Yarim o'tkazgich materiallar

1- jadval

Material	Element yoki birikma	Nomlanishi	Kristall tuzilishi	300K (Å) da panjara doimiysi
Element	C	Uglerod	D	3,56683
	Ge	Germaniy	D	5,64613

	Si	Kremniy	D	5,43095
	Sn	Olovo	D	6,48920
IV-IV	SiS	Kremniy karbidi	W	a=3,086; s=15,117
III-V	AlAs	Alyuminiy arsenidi	Z	5,6605
	AlP	Alyuminiy fosfidi	Z	5,4510
	AlSb	Alyuminiy antimonidi	Z	6,1355
	BN	Bor nitridi	Z	3,6150
	BP	Bora fosfidi	Z	4,5380
	GaAs	Galliy arsenidi	Z	5,6533
	GaN	Galliy nitridi	W	a=3,189; s=5,185
	GaP	Galliy fosfidi	Z	5,4512

Eng muhim yarimoʻtkazgichlarning xossalari

2- jadval

Yarimoʻtkazgich		Taqiqlangan zona kengligi (eV)		300K da Harakatchanlik ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)			Effektiv massa m^*/m_0		
Semiconductor		Bandgap (eV)		Mobility at 300K ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{c}$)		Zona	Effective mass m^*/m_0		
		300K	0K	elektron	kovak	band	elektron	kovak	ϵ_s/ϵ_0
Element	C	5,47	5,48	1800	1200	I	0,2	0,25	5,
	Ge	0,66	0,74	3900	1900	I	1,64 0,082	0,04 0,28	16 ,0
	Si	1,12	1,17	1500	450	I	0,98 0,19	0,16 0,49	11 ,0
	Sn		0,082	1400	1200	D			
IV-IV	α -SiC	2,996	3,03	400	50	I	0,60	1,00	10 ,0
III-V	AlSb	1,58	1,68	200	420	I	0,12	0,98	14
	BN	7,5				I			7,
	BP	2,0							
	GaN	3,36	3,50	380			0,19	0,60	12
	GaSb	0,72	0,81	5000	850	D	0,042	0,40	15
	GaAs	1,42	1,52	8500	400	D	0,067	0,082	13
	GaP	2,26	2,34	110	75	I	0,82	0,60	11
	InSb	0,17	0,23	80000	1250	D	0,0145	0,40	17
	InAs	0,36	0,42	33000	460	D	0,023	0,40	14
	InP	1,35	1,42	4600	150	D	0,077	0,64	12

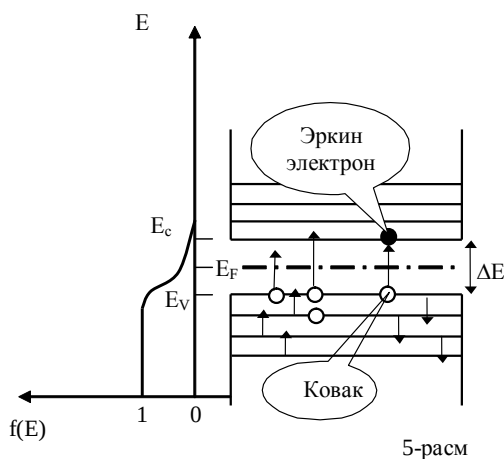
II-VI	CdS	2,42	2,56	340	50	D	0,21	0,80	5,
	CdSe	1,70	1,85	800		D	0,13	0,45	10
	CdTe	1,56		1050	100	D			10
	ZnO	3,35	3,42	200	180	D	0,27		9,
	ZnS	3,68	3,84	165	5	D	0,40		5,
IV-VI	PbS	0,41	0,286	600	700	I	0,25	0,25	17
	PbTe	0,31	0,19	6000	400	I	0,17	0,20	30

I – to‘g‘ri zonali bo‘lmagan tuzilishi.

D – to‘g‘ri zonali tuzilishi.

Yarim o‘tkazgichlar xususiy va aralashmali yarim o‘tkazgich guruhlariga bo‘linadi.

$T=0$ K da xususiy yarim o‘tkazgichlarning valent zonasi elektronlar bilan butunlay to‘lgan bo‘ladi, bu holda yarim o‘tkazgich sof dielektrik bo‘ladi. Agar



temperatura $T \neq 0$ K bo‘lsa, valent zonaning yuqori sathlaridagi bir qism elektronlar o‘tkazuvchanlik zonasining pastki sathlariga o‘tadi (5-rasm). Bu holda elektr maydoni ta‘sirida o‘tkazuvchanlik zonasidagi elektronlarning xolati o‘zgaradi. Bundan tashqari valent zonada hosil bo‘lgan bo‘sh joylar xisobiga ham elektronlar o‘z tezligini o‘zgartiradi. Natijada yarim o‘tkazgichning elektr o‘tkazuvchanligi noldan farqli bo‘ladi, ya‘ni sof yarim o‘tkazgichda erkin elektron va teshik vujudga keladi.

Elektr maydon ta‘sirida butun kristall bo‘ylab elektronlar maydonga teskari yo‘nalishida, teshiklar esa maydon yo‘nalishida harakatga keladi. Bunday elektr o‘tkazuvchanlik faqat sof yarim o‘tkazgiyalar uchun xos bo‘lib, uni xususiy elektr o‘tkazuvchanlik deyiladi.

O‘tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar va valent zonasidagi kovaklar, ya‘ni elektronini yo‘qotgan bo‘sh joylar, Fermi-Dirak taqsimotiga bo‘ysunadi:

$$f_n(E) = \frac{1}{e^{(E-E_f)/kT} + 1} \quad (1.30)$$

$$f_k(E) = 1 - f_n(E) = \frac{1}{e^{-(E-E_f)/kT} + 1} \quad (1.31)$$

Xususiy yarim o‘tkazgichlar uchun o‘tkazuvchanlik zonasidagi elektronlarning konsentrasiyasi valent zonadagi kovaklarning konsentrasiyasiga teng: $n=r$. Konsentrasiyalarni hisoblash uchun Y_e energiyani o‘tkazuvchanlik zonasining tubiga nisbatan o‘lchaymiz ($Y_{e_s} = 0$).

O'tkazuvchanlik zonasi tubidan dE energiya intervalini ajrataylik (Y_e , Y_e+dE). Bu sohada joylashgan elektronlar Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysunadi va ularni energiya bo'yicha taqsimlanishi quyidagi ko'rinishda yoziladi,

$$dn = 4\pi \frac{(2m^*)^{3/2}}{(2\pi\hbar)^3} E^{1/2} \cdot \frac{1}{e^{E-E_F/kT} + 1} dE \quad (1.32)$$

Odatda xususiy yarim o'tkazgichlar uchun $e^{E-E_F/kT} \gg 1$ va maxrajidagi 1 ni hisobga olmasa ham bo'ladi. U holda

$$dn = 4\pi \frac{(2m^*)^{3/2}}{(2\pi\hbar)^3} E^{1/2} e^{-(E-E_F)/kT} dE \quad (1.33)$$

Bu ifodani $0 \div \infty$ oralig'ida integrallab quyidagini hosil qilamiz

$$n = \frac{2(2\pi m_k^* kT)^{3/2}}{(2\pi\hbar)^3} e^{-(\Delta E - E_F)/kT} \quad (1.34)$$

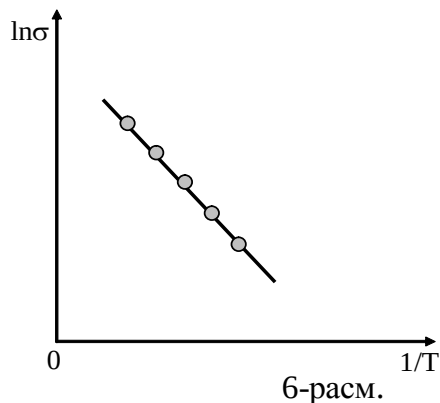
Xuddi shunga o'xshash amallarni bajarib valent zonasidagi kovaklarning konsentrasiyasi uchun

$$p = \frac{2(2\pi m_k^* kT)^{3/2}}{(2\pi\hbar)^3} e^{-E_F/kT} \quad (1.35)$$

ifodani hosil qilish mumkin.

Formulalardan, $n=p$ ni inobatga olib, Fermi sathi energiyasining qiymatini topamiz:

$$E_F = \frac{\Delta E}{2} + \frac{3}{4} kT \ln\left(\frac{m_k^*}{m_s^*}\right) \quad (1.36)$$



Formulaning ikkinchi hadi, birinchisiga nisbatan

juda kichik bo'lgani uchun $E_F = \frac{\Delta E}{2}$ deb olish mumkin.

Demak, xususiy yarim o'tkazgichlarda Fermi sat'ui (Y_e) taqiqlangan zonaning o'rtasida joylashadi.

Yarim o'tkazgichning o'tkazuvchi va valent zonalaridagi elektron va kovaklar zaryad tashuvchilardir. Ma'lumki, o'tkazuvchanlik zaryad tashuvchilarning konsentrasiyasiga proporsional bo'ladi, u holda xususiy yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi σ harorat ortishi bilan ortadi va quyidagi qonuniyat bo'yicha o'zgaradi (6-rasm):

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_k \quad \text{yoki} \quad \sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta Y_e/2kT). \quad (1.37)$$

1.3. Energetik zonalar

Zamonaviy elektronika qurilmalari yarim o'tkazgichli materiallardan tayyorlanadi. Yarim o'tkazgichlar kristall, amorf va suyuq bo'ladi. Yarim o'tkazgichli texnikada asosan kristall yarim o'tkazgichlar (10^{10} asosiy modda tarkibida bir atomdan ortiq bo'lmagan kiritma monokristallari) qo'llaniladi. Odatda yarim o'tkazgichlarga solishtirma elektr o'tkazuvchanligi σ metallar va dielektriklar oralig'ida bo'lgan yarim o'tkazgichlar kiradi (ularning nomi ham shundan kelib chiqadi). Xona temperaturasida ularning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi 10^{-8} dan 10^5 gacha Sm/m (metrga Simens)ni tashkil etadi. Metallarda $\sigma = 10^6 - 10^8$ Sm/m, dielektrlarda esa $\sigma = 10^{-8} - 10^{-13}$ Sm/m. Yarim o'tkazgichlarning asosiy xususiyati shundaki, temperatura ortgan sari ularning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi ham ortib boradi, metallarda esa kamayadi. Yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi yorug'lik bilan nurlantirish va hatto juda kichik kiritma miqdoriga bog'liq. Yarim o'tkazgichlarning xossalari **qattiq jism zona nazariyasi** bilan tushuntiriladi.

Har bir qattiq jism ko'p sonli bir-biri bilan kuchli o'zaro ta'sirlashayotgan atomlardan tarkib topgan. Shu sababli bir bo'lak qattiq jism tarkibidagi atomlar majmuasi yagona tuzilma deb qaraladi. Qattiq jismda atomlar bog'liqligi atomning tashqi qobig'idagi elektronlarni juft bo'lib birlashishlari (valent elektronlar) natijasida yuzaga keladi. Bunday bog'lanish **kovalent bog'lanish** deb ataladi.

Atomdagi biror elektron kabi valent elektron energiyasi W ham diskret yoki kvantlangan bo'ladi, ya'ni elektron **energetik sath** deb ataluvchi biror ruxsat etilgan energiya qiymatiga ega bo'ladi. Energetik sathlar elektronlar uchun ta'qiqlangan energiyalar bilan ajratilgan. Ular **ta'qiqlangan zonalar** deb ataladi. Qattiq jismlarda qo'shni elektronlar bir-biriga juda yaqin joylashganligi uchun, energetik sathlarni siljishi va ajralishiga olib keladi va natijada **ruxsat etilgan energetik zonalar** yuzaga keladi. Energetik zonada ruxsat etilgan sathlar soni kristaldagi atomlar soniga teng bo'ladi. Ruxsat etilgan zonalar kengligi odatda bir necha elektron – voltga teng (elektron – volt – bu 1V ga teng bo'lgan potentsiallar farqini yengib o'tgan elektronning olgan energiyasi). Ruxsat etilgan zonadagi minimal energiya sathi tubi (W_c), maksimal energiya esa shipi (W_v) deb ataladi.

7-rasmda yarim o'tkazgichning zona diagrammasi keltirilgan. Ta'qiqlangan zona kengligi ΔW_t yarim o'tkazgichning asosiy parametri bo'lib hisoblanadi.



7 – rasm. Yarim o'tkazgichlarni zona diagrammasi.

Elektronikada keng qo'llaniladigan yarim o'tkazgichlarning ta'qiqlangan zona kengliklari ΔW_t (eV) quyidagiga teng: germaniy uchun – 0,67, kremniy uchun – 1,12 va galliy arsenidi uchun -1,38.

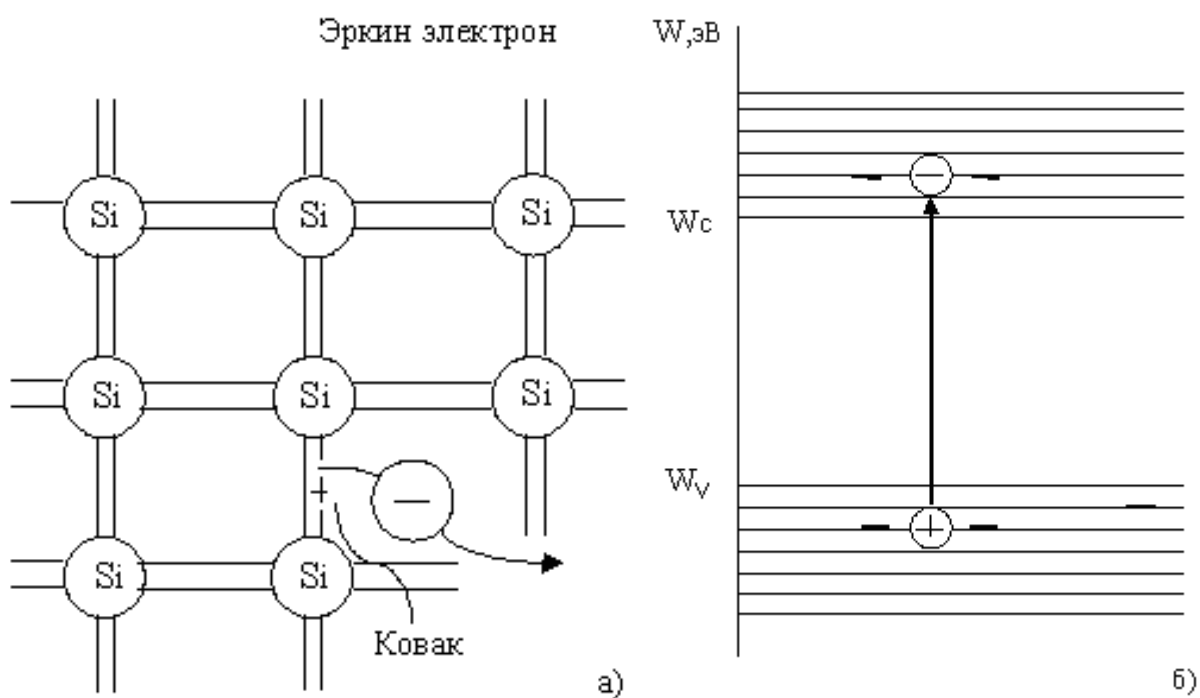
Dielektriklarda ta'qiqlangan zona kengligi $\Delta W_t \geq 2$ eV, metallarda esa ruxsat etilgan zonalar bir – biriga kirib ketgan bo'ladi, ya'ni mavjud emas.

Yuqoridagi ruxsat etilgan zona ***o'tkazuvchanlik zonasi*** deb ataladi, ya'ni mos energiyaga ega bo'lgan elektronlar, tashqi elektr maydoni ta'sirida yarim o'tkazgich hajmida harakatlanishlari mumkin, bunda ular elektr o'tkazuvchanlik yuzaga keltiradilar. O'tkazuvchanlik zonasidagi biror energiyaga mos keladigan elektronlar ***o'tkazuvchanlik elektronlari*** yoki ***erkin zaryad tashuvchilar*** deb ataladilar. Quyidagi ruxsat etilgan zona ***valent zona*** deb ataladi.

Absolyut nol temperaturada (0 K) yarim o'tkazgichning valent zonasidagi barcha sathlar elektronlar bilan to'lgan, o'tkazuvchanlik zonasidagi sathlar esa elektronlardan xoli bo'ladi.

1.4. Yarim o'tkazgichlarda xususiy elektr o'tkazuvchanlik

Yarim o'tkazgichli elektronika maxsulotlarining deyarli 97 % kremniy asosida yasaladi. 8 – rasmda kiritmasiz kremniy panjarasining soddalashtirilgan modeli (a) va uning zona energetik diagrammasi (b) keltirilgan. Agar yarim o'tkazgich kristalli tarkibida kiritma umuman bo'lmasa va kristall panjaraning tuzulmasida nuqsonlar (bo'sh tugunlar, panjara siljishi va boshqalar) mavjud bo'lmasa, bunday yarim o'tkazgich xususiy deb ataladi va i harfi bilan belgilanadi.



8 – rasm. Xususiy yarimo'tkazgichlar.

8 – rasmdan ko‘rinib turibdiki, kremniy xususiy kristallida uning atomining to‘rtta valent elektroni kremniyning qo‘shni atomining to‘rtta elektroni bilan bog‘lanib, mustahkam sakkiz elektronli qobiq (to‘g‘ri chiziq) hosil qiladi. 0 K temperaturada bunday yarim o‘tkazgichda erkin zaryad tashuvchilar mavjud bo‘lmaydi. Lekin temperatura ortishi bilan yoki yorug‘lik nuri tushirilganda kovalent bog‘lanishlarning bir qismi uziladi va valent elektronlar o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tish uchun yetarlicha energiya oladilar (8 b-rasm).

Natijada valent elektron erkin zaryad tashuvchiga aylanadi va kuchlanish ta’sir ettirilsa, u tok hosil qilishda ishtirok etadi. Elektron yo‘qotilishi natijasida atom musbat ionga aylanadi.

Bir vaqtning o‘zida valent zonada bo‘sh sath hosil bo‘ladi va valent elektronlar o‘z energiyalarini o‘zgartirishlariga, ya’ni valent zonasining biror ruxsat etilgan sathidan boshqasiga o‘tishiga imkon yaratiladi. Shunday qilib, u tok hosil bo‘lish jarayonida qatnashishi mumkin. Temperatura ortgan sari ko‘proq valent elektronlar o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tadilar va elektr o‘tkazuvchanlik ortib boradi.

Valent zonadagi erkin energetik sath yoki erkin valent bog‘lanish qovakli deb ataladi va u elektron zaryadining absolyut qiymatiga teng bo‘lgan erkin musbat zaryad tashuvchi hisoblanadi. Kovakning harakatlanishi valent elektroni harakatiga qarama – qarshi bo‘ladi.

Shunday qilib, atomlar orasidagi kovalent bog‘lanishning uzilishi bir vaqtning o‘zida erkin elektron va elektron ajralib chiqqan atom yaqinida kovak hosil bo‘lishiga olib keladi. Elektron – kovak juftligining hosil bo‘lish jarayoniga **zaryad tashuvchilar generatsiyasi** deb ataladi. Agar bu jarayon issiqlik ta’sirida amalga oshsa, u issiqlik generatsiyasi deb ataladi. O‘tkazuvchanlik zonasida elektronning hosil bo‘lishi va valent zonasida kovakning yuzaga kelishi 8 b-rasmda mos ishoralar yordamida aylanalar ko‘rinishida tasvirlangan. Strelka yordamida elektronning valent zonasidan o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tishi ko‘rsatilgan.

Generatsiya natijasida yuzaga kelgan elektronlar va kovaklar yarim o‘tkazich kristallida yashash vaqti deb ataladigan biror vaqt mobaynida tartibsiz harakatlanadilar, so‘ngra erkin elektron to‘liq bo‘lmagan bog‘lanishni to‘ldiradi va bog‘lanish hosil bo‘ladi. Bu jarayon **rekombinatsiya** deb ataladi.

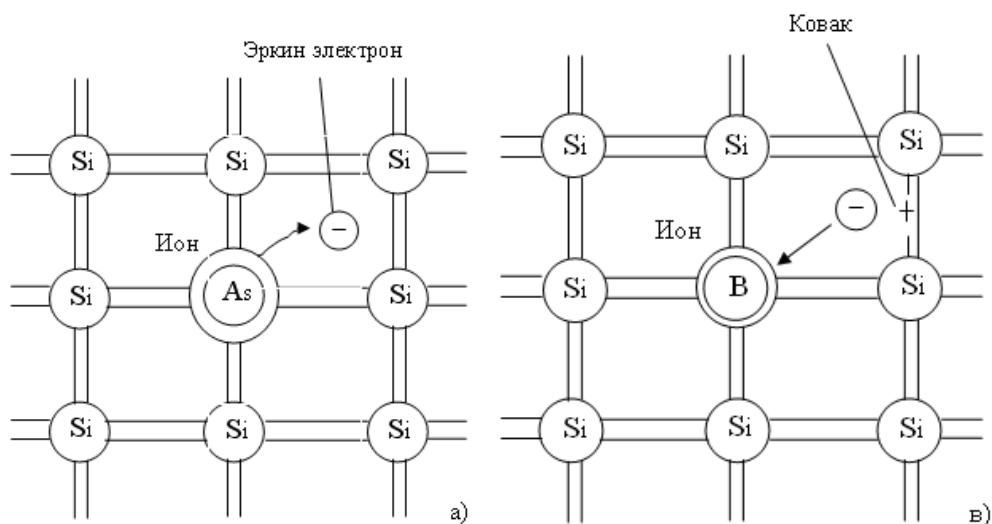
O‘zgarmas temperaturada (boshqa tashqi ta’sirlar mavjud bo‘lmaganda) kristall muvozanat holatda bo‘ladi. Ya’ni, generatsiyalangan zaryad tashuvchilar juftligi soni rekombinatsiyalangan juftliklar soniga teng bo‘ladi. Birlik hajmdagi zaryad tashuvchilar soni, ya’ni ularning konsentratsiyasi, solishtirma elektr o‘tkazuvchanlik qiymatini beradi. Xususiy yarim o‘tkazgichlarda elektronlar konsentratsiyasi kovaklar konsentratsiyasiga teng bo‘ladi ($n_i = p_i$). n (negative so‘zidan) va p (positive so‘zidan) harflari mos ravishda elektron va kovakka mos keladi. Kiritmasiz yarim o‘tkazgichda hosil bo‘lgan elektron va kovaklar **xususiy erkin zaryad tashuvchilar** va ularga asoslangan elektr o‘tkazuvchanlik esa – **xususiy elektr o‘tkazuvchanlik** deb ataladi.

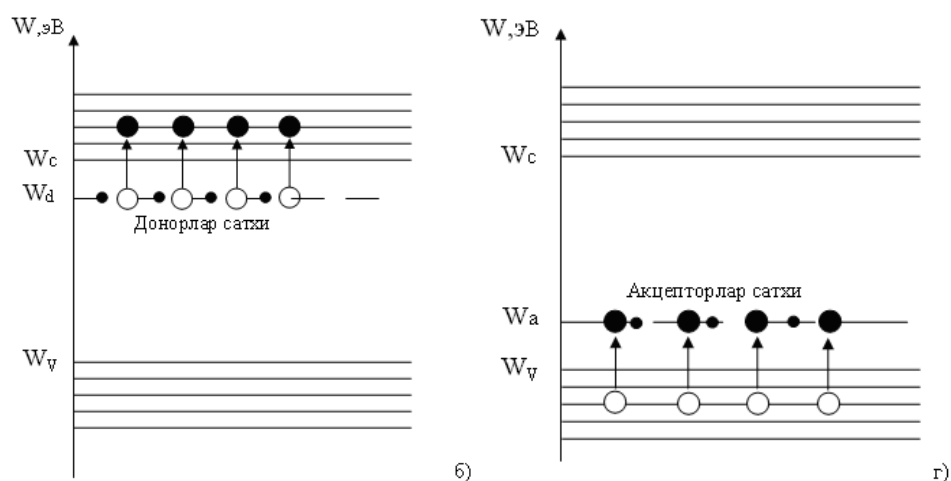
1.5. Yarim o'tkazgichlarda kiritmali elektr o'tkazuvchanlik

Yarim o'tkazgichli asboblarning ko'p qismi kiritmali yarim o'tkazgichlar asosida yaratiladi. Elektr o'tkazuvchanligi kiritma atomlari ionizatsiyasi natijasida hosil bo'ladigan zaryad tashuvchilar bilan asoslangan yarim o'tkazgichlar – **kiritmali yarim o'tkazgichlar** deyiladi.

Kremniy atomiga D.I. Mendeleyev davriy elementlar tizimidagi V guruh elementlari (masalan, margumush As) kiritilsa uning 5ta valent elektronidan to'rttasi qo'shni kremniy atomining to'rtta valent elektronlari bilan bog'lanib - sakkiz elektrondan tashkil topgan mustahkam qobiq hosil qiladilar. Beshinchi elektron ortiqcha bo'lib, o'zining atomi bilan kuchsiz bog'langan bo'ladi. Shuning uchun kichik issiqlik energiyasi ta'sirida u uziladi va erkin elektronga aylanadi (9 a - rasm), bu vaqtda kovak hosil bo'lmaydi. Energetik diagrammada bu jarayon elektronning donor sathi W_d dan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishiga mos keladi (9 b - rasm). Kiritmali atom musbat zaryadlangan qo'zg'almas ionga aylanadi. Bunday kiritma **donor** deb ataladi.

Yarim o'tkazgichli asboblarda yasashda ko'p kiritma atomlari kiritiladi (1 sm^3 hajmga 10^{14} - 10^{18} darajadagi atomlar). Xona temperaturasida kiritmaning har bir atomi bittadan erkin elektron hosil qiladi. Kovaklar esa xususiy yarim o'tkazgichlardagi kabi kremniy atomi elektronlarining o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishidagi termogeneratsiya hisobiga hosil bo'ladi.





9 – rasm. Kiritmali yarim o'tkazgichlar

Yarim o'tkazgich tarkibiga katta darajadagi donor kiritmaning kiritilishi erkin elektronlar konsentratsiyasini oshiradi, kovaklar konsentratsiyasi esa xususiy yarim o'tkazgichdagiga nisbatan sezilarli kamayadi. Erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining ko'paytmasi $n \cdot p$ o'zgarmas temperaturada o'zgarmas qoladi va faqat yarim o'tkazgich ta'qiqlangan zona kengligi bilan aniqlanadi. Shuni yodda tutish kerakki, $T=300\text{ K}$ (xona temperaturasida) kremniyda $np \cong 0,64 \cdot 10^{20}\text{ sm}^{-3}$, germaniyda esa $np \cong 4 \cdot 10^{26}\text{ sm}^{-3}$. Shunday qilib, agar kremniy kristalliga konsentratsiyasi 10^{16} sm^{-3} bo'lgan donor kiritma kiritilsa, $T=300\text{ K}$ da elektronlar o'tkazuvchanligi $n=10^{16}\text{ sm}^{-3}$, kovaklarniki esa – atigi 10^4 sm^{-3} ga teng bo'ladi. Demak bunday kiritmali yarim o'tkazgichda elektr o'tkazuvchanlik asosan elektronlar hisobiga amalga oshiriladi, yarim o'tkazgich esa – **elektron** yoki ***n-turdagi elektr o'tkazuvchanlik*** deb ataladi. n – turdagi yarim o'tkazgichda elektronlar – asosiy zaryad tashuvchilar, kovaklar esa – asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar deb ataladi.

Kremniy atomiga D.I. Mendeleyev davriy elementlar tizimidagi III guruh elementlari (masalan, bor V) kiritilsa uning valent elektronlari qo'shni kremniy atomlari valent elektronlari bilan uchta to'liq bog'liqlik hosil qiladilar. To'rtinchi bog'lanish esa to'lmay qoladi. Uncha katta bo'lmagan issiqlik energiyasi ta'sirida qo'shni kremniy atomining valent elektronlari bu bog'lanishni to'ldiradi. Natijada borning tashqi qobig'ida ortiqcha elektron hosil bo'ladi, ya'ni u manfiy zaryadga ega bo'lgan qo'zg'almas ionga aylanadi. Kremniy atomining to'lmagan bog'lanishi – bu kovakdir (1.3 v - rasm). Energetik diagrammada bu jarayon elektronning valent zonadan akseptor sathi W_a ga o'tishiga va valent zonada kovak hosil bo'lishiga mos keladi (1.3 g - rasm). Bu vaqtda erkin elektron hosil bo'lmaydi. Bunday kiritma – akseptorli deb ataladi, akseptor atomlari kiritilgan yarim o'tkazgich esa – **kovak** yoki ***r-turdagi elektr o'tkazuvchanlik*** deb ataladi. r – turdagi yarim o'tkazgich uchun kovaklar – asosiy zaryad tashuvchilar, elektronlar esa – asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar hisoblanadi.

Fermi sathi. Berilgan temperaturada harakatchan va qo'zg'almas zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi Fermi sathi W_F holati bilan aniqlanadi. Bu sath bir

elektronga mos keluvchi jismning o'rtacha issiqlik energiyasiga mos keladi. Absolyut nol temperaturadan farqli temperaturada bu sathning to'lish ehtimoli 0,5 ga teng.

Elektronlar va kovaklarning o'rtacha issiqlik energiyasi yarim o'tkazgich temperaturasi bilan aniqlanadi va kT ga teng, bu yerda k – Bolsman doimiysi, T – absolyut temperatura. Qattiq jismda zarrachalar harakatini ifodalaydigan Bolsman qonuniga asosan, n – yarim o'tkazgichdagi energiyasi W_i kichik bo'lmagan elektronlar quyidagiga teng:

$$n = n_n \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right), \quad (1.38)$$

bu yerda n_n – erkin elektronlarning to'liq konsentratsiyasi. Xuddi shunday ifodalar kovaklarni energiya bo'ylab taqsimotini ifodalaydi. (1.1) dan ko'rinib turibdiki, zarracha energiyasining ortishi bilan, zarrachalar soni keskin kamayadi.

Ikkala ishoradagi erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi teng bo'lgan xususiy yarim o'tkazgichlar uchun Fermi sathi ta'qiqlangan zonaning o'rtasidan o'tadi. Elektronli yarim o'tkazgichda elektronlarning (butun yarim o'tkazgichning) o'rtacha energiyasi yuqori bo'ladi, demak Fermi sathi o'rtadan o'tkazuvchanlik zonasi tubi tomonga siljiydi va donor kiritma konsentratsiyasi qancha yuqori bo'lsa, shuncha o'tkazuvchanlik zonasi tubi tomonga yaqinlashadi. R- turdari yarim o'tkazgichda Fermi sathi ta'qiqlangan zona o'rtasidan valent zona shipi tomonga siljiydi va akseptor kiritma konsentratsiyasi qancha yuqori bo'lsa, shuncha valent zonasi shipi tomonga yaqinlashadi.

Ba'zi yarim o'tkazgichli asboblarda (tunnel diodlari, tunnel teshilishli stabilitronlar) **ajralmagan yarim o'tkazgichlar** qo'llaniladi. Bunday yarim o'tkazgichlarda Fermi sathi ruxsat etilgan zonalarda: elektronli yarim o'tkazgich uchun – o'tkazuvchanlik zonasida, kovakli yarim o'tkazgich uchun – valent zonada joylashadi. Ajralmagan yarim o'tkazgichlar juda katta kiritma konsentratsiyasi ($10^{19} - 10^{21} \text{ sm}^{-3}$) hisobiga hosil qilinadilar.

Zaryad tashuvchilar harakatchanligi. Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi μ - bu elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E} = 1 \text{ V/sm}$ bo'lgandagi yarim o'tkazgichdagi zaryad tashuvchilarning o'rtacha yo'naltirilgan tezligi. Elektronlar hrakatchanligi μ_n doim kovaklar harakatchaligi μ_p dan yuqori bo'ladi. Bundan tashqari zaryadlar harakatchanligi yarim o'tkazgich turiga ham bog'liq bo'ladi. Shunday qilib, kremniydagi elektronlar harakatchanligi $\mu_n = 1500 \text{ sm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$, germaniyda $\mu_n = \text{sm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$, galliy arsenidida $\mu_n = \text{sm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$.

Agar yarim o'tkazgichda elektr maydoni hosil qilinsa, u holda erkin zaryad tashuvchilar siljishi yuzaga keladi. Bunday siljish **dreyf harakati** deb ataladi. **Dreyf tezligi** $\vec{v}_{\text{DP}}$ elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E}$ ga proporsional bo'ladi

$$\vec{v}_{\text{DP}} = \mu \cdot \vec{E} \quad (1.39)$$

Elektron va kovaklar dreyf tokining natijaviy zichligi

$$\vec{j}_{\text{ДР}} = q(n\mu_n + p\mu_p)E. \quad (1.40)$$

Diffuziya koeffisienti. Yarim o'tkazgichda elektr toki hosil bo'lishiga faqat elektr maydoni emas, balki harakatchan zaryad tashuvchilar gradienti ham sabab bo'ladi. Yarim o'tkazgich hajmida teng taqsimlanmagan erkin zaryad tashuvchilar harakatining yo'nalishi **diffuziya harakati** deb ataladi.

Elektron va kovak diffuziya toklarining zichligi quyidagiga teng

$$\vec{j}_{\text{нДДД}} = qD_n \left(\frac{dn}{dx} \right); \quad \vec{j}_{\text{рДДД}} = -qD_p \left(\frac{dp}{dx} \right). \quad (1.41)$$

bu yerda q – elektron (kovak) zaryadi, D_n i D_p – mos ravishda elektron va kovak diffuziya koeffisientlari, dn/dx i dp/dx – mos ravishda elektron va kovak konsentratsiya gradientlari.

Dreyf va diffuziya harakati parametrlari o'zaro **Eynshteyn nisbati** bilan bog'langan

$$D_n = \left(\frac{kT}{q} \right) \cdot \mu_n = \varphi_T \mu_n; \quad (1.42)$$

$$D_p = \left(\frac{kT}{q} \right) \cdot \mu_p = \varphi_T \mu_p. \quad (1.43)$$

(1.4) ifodadagi proporsionallik koeffisientlari $\varphi_T = kT/q$ potensial o'lcham birligiga teng (volt) va issiqlik potentsiali deb ataladi. Xona temperaturasida ($T=300$ K) $\varphi_T = 0,026$ V = 26mV.

Yashash vaqti τ . Zaryad tashuvchining yashash vaqti deganda uning generatsiyasidan rekombinatsiyasigacha bo'lgan vaqt tushuniladi. Yarim o'tkazgichning bu parametri yarim o'tkazgichli asboblarni (bipolyar tranzistorlardagi baza kengligi, maydoniy tranzistorlarda kanal uzunligi) konstruksiyalashda katta ahamiyatga ega. Yashash vaqtida zaryad tashuvchining diffuziya harakati natijasida diffuziya uzunligi deb ataluvchi, o'rtacha masofasi ma'lum L ga teng bo'lgan masofani bosib o'tadi.

II BOB. YARIM O'TKAZGICHLI DIODLAR

2.1. Elektron-rovak o'tish

Yarim o'tkazgichli asboblarning ko'pchiligi bir jinsli bo'lmagan yarim o'tkazgichlardan tayyorlanadi. Xususiyl xolatda bir jinsli bo'lmagan yarim o'tkazgich bir sohasi p-turdagi, ikkinchisi esa n-turdagi monokristaldan tashkil topadi.

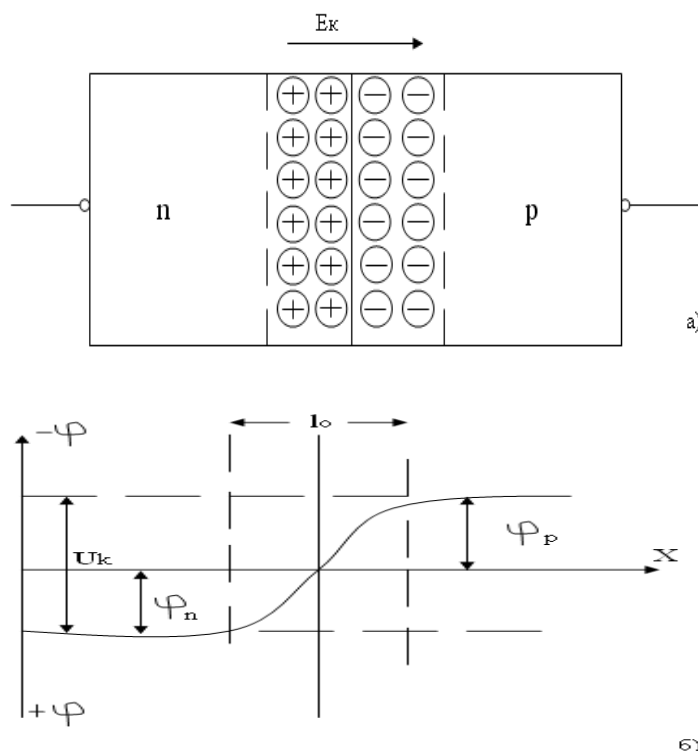
Bunday bir jinsli bo'lmagan yarim o'tkazgichning p va n – sohalarining ajralish chegarasida hajmiy zaryad qatlami hosil bo'ladi, bu sohalar chegarasida ichki elektr maydoni yuzaga keladi va bu qatlam **elektron – kovak o'tish** yoki **r-n o'tish** deb ataladi. Ko'p sonli yarim o'tkazgichli asboblarning va integral mikrosxemalarning ishlash prinsipi p-n o'tish xossalariga asoslangan.

P-n o'tish hosil bo'lish mexanizmini ko'rib chiqamiz. Soddalik uchun, n-sohadagi elektronlar va r-sohadagi kovaklar sonini teng olamiz. Bundan tashqari, har bir sohada uncha katta bo'lmagan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar miqdori mavjud. Xona temperaturasida r-turdagi yarim o'tkazgichda akseptor manfiy ionlarining konsentratsiyasi N_a kovaklar konsentratsiyasi p_p ga, n-turdagi yarim o'tkazgichda donor musbat ionlarining konsentratsiyasi N_d elektronlar konsentratsiyasi n_n ga teng bo'ladi. Demak, p- va n-sohalar o'rtasida elektronlar va kovaklar konsentratsiyasida sezilarli farq mavjudligi tufayli, bu sohalar birlashtirilganda elektronlarning p-sohaga, kovaklarning esa n-sohaga diffuziyasi boshlanadi.

Diffuziya natijasida n-soha chegarasida elektronlar konsentratsiyasi musbat donor ionlari konsentratsiyasidan kam bo'ladi va bu soha musbat zaryadlana boshlaydi. Bir vaqtning o'zida r-soha chegarasidagi kovaklar konsentratsiyasi kamayib boradi va u akseptor kiritmasi bilan kompensatsiyalangan ion zaryadlari hisobiga manfiy zaryadlana boshlaydi (10 –rasm). Musbat va manfiy ishorali aylanalar mos ravishda donor va akseptor ionlarini tasvirlaydi.

Hosil bo'lgan ikki hajmiy zaryad qatlami p-n o'tish deb ataladi. Bu qatlam harakatchan zaryad tashuvchilar bilan kambag'allashtirilgan. Shuning uchun uning solishtirma qarshiligi p- va n-soha qarshiliklariga nisbatan juda katta. Ba'zi adabiyotlarda bu qatlam **kambag'allashgan** yoki **i – soha** deb ataladi.

Hajmiy zaryadlar turli ishoralarga ega bo'ladilar va p-n o'tishda kuchlanganligi $\vec{E}$ ga teng bo'lgan elektr maydon hosil qiladilar. Asosiy zaryad tashuvchilar uchun bu maydon tormozlovchi bo'lib ta'sir ko'rsatadi va ularni p-n o'tish bo'ylab erkin harakat qilishlariga qarshilik ko'rsatadi. 10 b-rasmda o'tish yuzasiga perpendikulyar bo'lgan, X o'qi bo'ylab potensial o'zgarishi ko'rsatilgan. Bu vaqtda nol potensial sifatida chegaraviy soha potentsiali qabul qilingan.



10 – rasm. p-n o'tish.

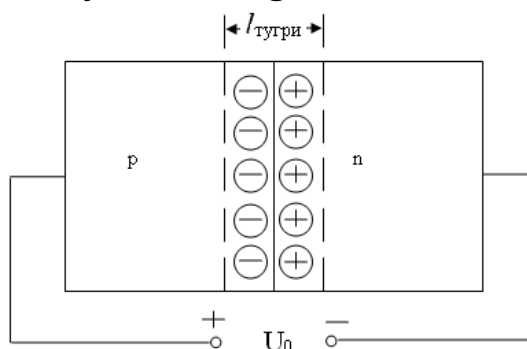
Rasmdan ko'rinib turibdiki, *r-n* o'tishda voltlarda ifodalanadigan **kontakt potentsiallar farqiga** $U_K = \varphi_n - \varphi_p$ teng bo'lgan potensial to'siq yuzaga keladi. U_K kattaligi dastlabki yarim o'tkazgich material ta'qiqlangan zona kengligi va kiritma konsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi. *r-n* o'tish kontakt potentsiallar farqi: germaniy uchun $U_K \approx 0,35$ V, kremniy uchun esa $= 0,7$ V.

R-n o'tish kengligi $l_0 \sqrt{U_K}$ ga proporsional bo'ladi va mkmning o'nlik yoki birlik qismlarini tashkil etadi. Tor *r-n* o'tish hosil qilish uchun katta kiritma konsentarsiyasi kiritiladi, l_0 ni kattalashtirish uchun esa kichik kiritmalar konsentratsiyasi qo'llaniladi.

R-n o'tish toklari. $U_i = \frac{U_R}{q}$ energiyaga ega bo'lgan ko'pgina zaryad tashuvchilar (11- rasmga qarang) p-n o'tish orqali qo'shni sohalarga diffuziya hisobiga p-n o'tish maydoniga qarama-qarshi ravishda siljiydilar. Ular **diffuziya tokini** yuzaga keltiradilar. Asosiy zaryad tashuvchilarning p-n o'tish orqali harakati bilan bir vaqtda, p-n o'tish ular uchun tezlatuvchi bo'lib ta'sir ko'rsatayogan maydon ta'sirida asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar ham harakatlanadilar. Asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar oqimi **dreyf tokini** yuzaga keltiradi. Tashqi maydon ta'sir ettirilmaganda dinamik muvozanat o'rnatiladi, ya'ni diffuziya va dreyf toklarining absolyut qiymatlari teng bo'ladi. Lekin diffuziya va dreyf toklari o'zaro qarama-qarshi yo'nalishda yo'nalganligi uchun, p-n o'tishdagi natijaviy tok nolga teng bo'ladi.

P-n o'tishning to'g'ri ulanishi. Agar p-n o'tishga tashqi kuchlanish manbai U ulansa, u holda muvozanat sharti buziladi va tok oqib o'ta boshlaydi.

Agar kuchlanish manbaini musbat qutbi p-turdagi sohaga, manfiy qutbi esa n-turdagi sohaga ulansa, bunday ulanish **to'g'ri ulanish** deb ataladi (11 - rasm).



11 – rasm. p-n o'tishning to'g'ri ulanishi.

Kuchlanish manbaini elektr maydoni kontakt maydon tomonga yo'nalgan bo'ladi, shu sababli p-n o'tishdagi natijaviy maydon kuchlanganligi kamayadi. Maydon kuchlanganligining kamayishi potensial to'siq balandligini kuchlanish manbai qiymatiga kamayishiga olib keladi: $U_K = U_0$. Bu vaqtda p-n o'tish kengligini ham kamayishini ko'rish mushkul emas.

Potensial to'siq balandligining kamayishi shunga olib keladiki, p-n o'tish orqali harakatlanayotgan asosiy zaryad tashuvchilarni soni ham ortadi, ya'ni diffuziya toki ortadi. Har bir sohada ortiqcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi yuzaga keladi – n-sohada kovaklar, p-sohada elektronlar. Biror yarim o'tkazgich sohasiga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni siqib kiritish jarayoni **injeksiya** deb ataladi.

Kuchlanish o'zgarishi bilan diffuziya tokining o'zgarishi eksponensial qonun asosida ro'y beradi:

$$I_{\text{диф}} = I_0 e^{qU_0/kT} \quad (2.1)$$

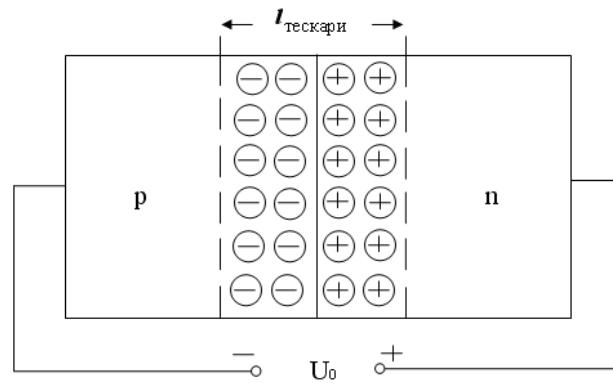
bu yerda I_0 – dreyf toki bo'lib, uni **p-n o'tishning teskari toki** deb ham atashadi.

To'g'ri kuchlanish berilganda potensial to'siq balandligiga teskari tok ta'sir ko'rsatmaydi, chunki bu tok faqat p-n o'tish orqali birlik vaqt ichida tartibsiz issiqlik harakati tufayli olib o'tilayotgan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning soni bilan belgilanadi. Diffuziya va dreyf toklari bir-biriga nisbatan qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi, shu sababli p-n o'tish orqali oqib o'tayotgan natijaviy (to'g'ri) tok (2.1) dan kelib chiqqan holda

$$I_{\text{тҭГ}} = I_{\text{диф}} - I_0 = I_0 (e^{qU_0/kT} - 1) \quad (2.2)$$

I_0 toki germaniyli p-n o'tishlarda o'nlab mkA yoki kremniyli p-n o'tishlarda nanoamperlarni tashkil etadi va temperatura ortishi bilan kuchli ravishda tok ham ortadi. Lekin I_0 qiymatidagi katta farq ta'qiqlangan zona kengligi bilan aniqlanadi.

P-n o'tishning teskari ulanishi. Bu holatda tashqi kuchlanish manbaini musbat qutbi n-sohaga ulanadi (12 - rasm).



12 – rasm. p-n o'tishning teskari ulanishi.

Kuchlanish manbaining elektr maydoni o'tishning kontakt maydoni yo'nalgan tomonga yo'nalgan. Shu sababli potensial to'siq balandligi ortadi va $U_K = U_0$ ga teng bo'ladi. Teskari kuchlanish qiymatining ortishi p-n o'tish kengligining kengayishiga olib keladi ($I_{T\ddot{Y}T} \propto I_{TECK}$). Amaliy hisoblarda quyidagi ifodadan foydalanish qulay:

$$I = I_0 \sqrt{\frac{U_0}{U_K}}, \quad (2.3)$$

bu yerda $I_0 = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0}{q} U_K \left(\frac{1}{Na} + \frac{1}{Nd} \right)}$ - tashqi maydon ta'sir etmagandagi p-n kengligi, ε - yarim o'tkazgich nisbiy dielektrik doimiysi, ε_0 - elektr doimiy.

Potensial to'siqning ortishi diffuziya tokining kamayishiga olib keladi. Diffuziya tokining o'zgarishi eksponensial qonun asosida ro'y beradi

$$I_{\text{diff}} = I_0 e^{-qU_0/kT}. \quad (2.4)$$

Dreyf toki potensial to'siq balandligiga bog'liq emasligi va I_0 ga teng bo'lganligi sababli, p-n o'tishdan o'tayotgan natijaviy tok

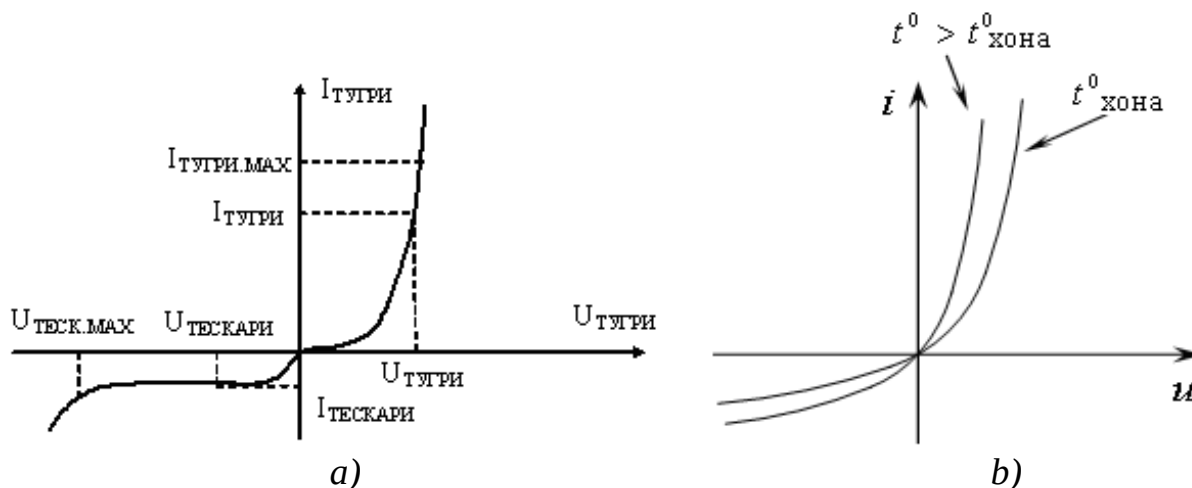
$$I_{TECK} = I_0 e^{-qU_0/kT} - I_0 = I_0 (e^{-qU_0/kT} - 1). \quad (2.5)$$

Teskari ulanishda kontaktlashuvchi yarim o'tkazgichlardan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar chiqarib olinadi (ekstraksiya). Shu sababli teskari tok **ekstraksiya toki** deb ataladi.

p-n o'tishning volt – amper xarakteristikasi (VAX). p-n o'tish tokining unga berilayotgan kuchlanishga bog'liqligi $I=f(U)$ volt–amper xarakteristika (VAX) deyiladi. (2.2) va (2.5) lar asosida umumiy holda eksponensial bog'liqlik yordamida ifodalanadi (13 a - rasm).

$$I = I_0 (e^{\pm qU_0/kT} - 1). \quad (2.6)$$

Agar p-n o'tishga to'g'ri kuchlanish berilgan bo'lsa, U_0 kuchlanish ishorasi – musbat, teskari kuchlanish berilgan bo'lsa esa - manfiy bo'ladi. $U_{TUG} \geq 0,1$ V bo'lsa eksponensial songa nisbatan birni hisobga olmasa ham bo'ladi va kuchlanish ortishi bilan tok ham eksponensial ortib boradi. Teskari kuchlanish berilganda esa -0,2 V kuchlanish qiymatida tok I_0 qiymatiga yetib keladi va keyinchalik kuchlanish qiymati o'zgarmaydi. I_0 kattaligi shu sababli teskari ulangan **r-n o'tishning to'yinish toki** deb ham ataladi.



13 – rasm. Diodning VAX

Teskari tok to'g'ri tokka nisbatan bir necha darajaga kichik, ya'ni p-n o'tish to'g'ri yo'nalishda tokni yaxshi o'tkazadi, teskari yo'nalishda esa yomon. Demak, p-n o'tish to'g'rilovchi harakat bilan xarakterlanadi va uni o'zgaruvchi tokni to'g'rilashda qo'llashga imkon beradi.

Eksponensial tashkil etuvchi $e^{qU_0/kT}$ temperatura ortishi bilan kamayishiga qaramay VAX to'g'ri shaxobchasidagi qiyalik ortadi (13 b-rasm). Bu hodisa I_0 ni temperaturaga kuchli to'g'ri bog'liqligi bilan tushuntiriladi. To'g'ri kuchlanish berilganda temperatura ortishi bilan tok ortishiga olib keladi. Amaliyotda p-n o'tish VAXga temperaturaning bog'liqligi **kuchlanishning temperatura koeffisienti (KTK)** deb ataladigan kattalik bilan baholanadi. KTKni aniqlash uchun temperaturani o'zgartirib borib, o'zgarmas tokdagi p-n o'tish kuchlanishini o'zgarishi o'lchab boriladi. Odatda KTK manfiy ishoraga ega, ya'ni temperatura ortishi bilan o'tishdagi kuchlanish kamayadi. Kremniydan yasalgan p-n o'tish uchun KTK 3 mV/grad darajani tashkil etadi.

(2.6) ifoda ideallashtirilgan p-n o'tish VAX sini ifodalaydi. Bunday o'tishda p va n-sohalarining hajmiy qarshiligi nolga teng va tok o'tish vaqtida p-n o'tishda rekombinatsiya jarayoni sodir bo'lmaydi deb hisoblanadi. Real o'tishda esa baza qarshiligi o'nlab Omga teng bo'ladi. Shu sababli (2.6) ifodaga p-n o'tishdagi va tashqi kuchlanish U_0 orasidagi farqni hisobga oluvchi o'zgartirish kiritiladi

$$I = I_0 \left(e^{q(U_0 - r_B I)/kT} \right) \quad (2.7)$$

p-n o'tish sig'imi. Past chastotalarda p-n o'tish toki faqat elektron – kovak o'tishning aktiv qarshiliklari hamda yarim o'tkazgichning p va n –sohalarining qarshiligi (r_B) bilan aniqlanadi. Yuqori chastotalarda p-n o'tishning inersiyasi

uning sig'imi bilan aniqlanadi. Odatda p-n o'tishning ikkita asosiy sig'imi hisobga olinadi: diffuziya va to'siq (barer).

To'g'ri ulangan p-n o'tishda qo'shni sohalarga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar injeksiyalanadi. Natijada p-n o'tishning yupqa chegaralarida qiymati jihatidan teng lekin qarama-qarshi ishoraga ega bo'lgan qo'shimcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar Q_{DIF} yuzaga keladilar. Kuchlanish o'zgarisa injeksiyalanayotgan zaryad tashuvchilar soni, demak zaryad ham o'zgaradi. Berilayotgan kuchlanish ta'siridagi bunday o'zgarish, kondensator qoplamalaridagi zaryad o'zgarishiga aynan o'xshaydi. Bazaga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar diffuziya hisobiga tushganliklari sababli, bu sig'im **diffuziya sig'imi** deb ataladi va quyidagi ifodadan aniqlanadi

$$C_{\text{dif}} = \frac{qI\tau}{kT}. \quad (2.8)$$

(2.8) ifodadan ko'rinib turibdiki, p-n o'tishdan oqib o'tayotgan tok va bazadagi zaryad tashuvchilarning yashash vaqti τ qancha katta bo'lsa, diffuziya sig'imi ham shuncha katta bo'ladi

Ikki elektr qatlama ega bo'lgan elektron – kovak o'tish zaryadlangan kodensatorga o'xshaydi. O'tish sig'imi o'tish yuzasi S , uning kengligi va dielektrik doimiysi ϵ bilan aniqlanadi. O'tish sig'imi **to'siq sig'imi** deb ataladi va quyidagi ifodadan aniqlanadi

$$C_{T0} = S \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon q N d}{2U_K \left(1 + \frac{Nd}{Na}\right)}}. \quad (2.9)$$

O'tishga kuchlanish berilsa, bu vaqtda o'tish kengligi o'zgarganligi sababli, sig'im ham o'zgaradi. Sig'imning berilayotgan kuchlanish U qiymatiga bog'liqligi quyidagicha

$$C_B = C_{B0} \sqrt{\frac{U_K}{U_K \pm U}}. \quad (2.10)$$

To'g'ri ulangan o'tishda musbat ishorasi, teskari ulanganda esa manfiy ishora olinadi. S_B berilayotgan kuchlanishga bog'liqligi sababli p-n o'tishni o'zgaruvchan sig'imli kondensator sifatida qo'llash mumkin.

To'g'ri kuchlanish berilganda diffuziya sig'imi to'siq sig'imidan ancha katta bo'ladi, teskari kuchlanishda esa teskari. Shuning uchun to'g'ri kuchlanish berilganda p-n o'tish inersiyasi diffuziya sig'imi bilan, teskari ulanganda esa to'siq sig'imi bilan aniqlanadi.

P-n o'tishning teshilish turlari. Yuqorida aytib o'tilganidek, uncha katta bo'lmagan teskari kuchlanishlarda I_0 qiymati katta emas. Teskari kuchlanish ma'lum chegaraviy qiymatga U_{ChEG} yetganda, teskari tok keskin ortib ketadi, o'tishning elektr teshilishi yuz beradi.

O'tishning teshilish turlari ikki guruhga bo'linadi: elektr va issiqlik. Elektr teshilishining ikki mexanizmi mavjud: ko'chkisimon va tunnel teshilish.

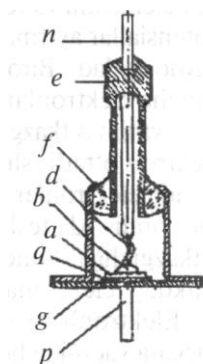
Ko'chkisimon teshilish nisbatan keng p-n o'tishlarda sodir bo'ladi. Bunday o'tishda teskari kuchlanishda elektron va kovaklar zarba ionizatsiyasi uchun yetarli bo'lgan energiya oladilar va natijada qo'shimcha elektron-kovak juftlar hosil bo'ladi. Bu juftliklarning har bir tashkil etuvchisi, o'z navbatida, elektr maydonida tezlashib, yana yangi juftlikni yuzaga keltiradi va x.z. Zaryad tashuvchilarning bunday ko'chkisimon ko'payishi natijasida o'tishdagi tok keskin ortadi.

Tor p-n o'tishga ega bo'lgan yarim o'tkazgichlarda tunnel effektiga asoslangan **tunnel teshilish** sodir bo'ladi. $U_{TES} \geq U_{ChEG}$ yetganda zaryad tashuvchilarning bir sohadan ikkinchisiga energiya sarf qilmasdan o'tishiga imkon yaratiladi (tunnel effekti). U_{ChEG} ning yanada ortishi bilan shuncha ko'p zaryad tashuvchilar tunnel o'tishi sodir etadilar va teskari tok keskin ortib boradi.

p-n o'tishda **issiqlik teshilishi** teskari tok o'tish natijasida o'tishning qizishi hisobiga sodir bo'ladi. Teskari tok, issiqlik toki bo'lib, u ortgan sari qizish ham ortadi. Bu holat tokning ko'chkisimon ortishiga olib keladi, natijada p-n o'tishda issiqlik teshilishi yuz beradi va u ishdan chiqadi.

2.2. To'g'rilovchi diodlar

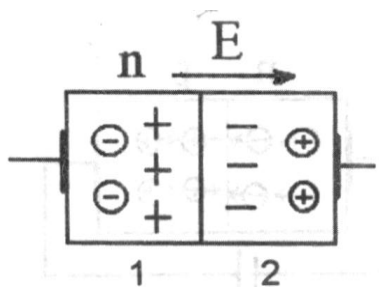
Diod—elektr tokini bir tomonlama o'tkazish xususiyatiga ega bo'lgan elektron asboddir. Diodlar ikki xil: vakuumli (shisha ballonga joylashtirilgan ikki elektrodli elektron lampa) va yarim o'tkazgichli (asosi — germaniy va kremniy kristallari) bo'ladi. Diod quyidagicha tuzilishga ega (14 - rasm): germaniy monokristalidan yasalgan plastinka (a) dan iborat bo'lib, uning bir tomoniga bir tomchi indiy (b) payvandlangan. Bir-biridan chegara bilan ajralib turadigan elektron (n) va teshikli (p) o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan ikkita soha hosil qilingan. Bu soha elektr tokini bir tomonlama o'tkazish xususiyatiga ega. Germaniy plastinkasi metall korpus (g) asosiga qalay (q) bilan kavsharlangan va u manfiy qutb hisoblanadi. Ikkinchi kontakt (d) indiy tomchisiga ulangan va u musbat qutb hisoblanadi. U shisha (f) izolator orqali korpusdan izolatsiyalangan.



14 - rasm. Diod

Diodning uchlari paneldagi «musbat» va «manfiy» ishoralar bilan belgilangan ikkita qisqichga ulangan. Tashqi elektr maydon bo'lmagan hoi uchun elektronli va teshikli yarim o'tkazgichlarning yondosh sohasida elektr maydon hosil bo'lishini qarab chiqamiz. Elektronlarning issiqlik energiyasi eng kichik holatiga mos

keluvchi energiyadagi harakati tufayli elektronlar teshikli yarim o'tkazgich bilan chegaradosh qatlamda to'planadi, teshiklar esa teshikli yarim o'tkazgichga qo'shni elektronli yarim o'tkazgich qatlamida to'planadi. Shuning uchun elektronli yarim o'tkazgich 2 bilan chegaradosh bo'lgan teshikli yarim o'tkazgich 1 qatlam manfiy potensialga ega bo'ladi (15 - rasm).



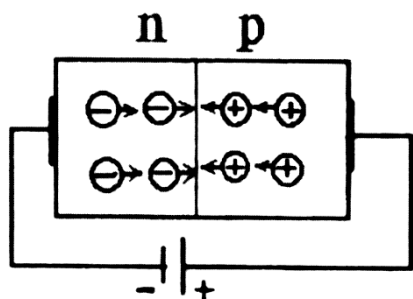
15 - rasm. Yarim o'tkazgichlar elektr maydon ta'sirida.

Teshikli yarim o'tkazgich 1 bilan chegaradosh bo'lgan elektronli yarim o'tkazgich 2 esa musbat potensialga ega bo'ladi. Elektron — teshikli o'tishga bevosita yopishib turgan elektronli va teshikli yarim o'tkazgichlar sohalari orasida potentsiallar ayirmasi hosil bo'ladi. Binobarin, elektr maydon paydo bo'ladi. Biror vaqt oralig'ida teshikli yarim o'tkazgichda qancha elektronlar qayta qo'shilsa, shu vaqt oralig'ida elektronli yarim o'tkazgichdan teshikli yarim o'tkazgichga shuncha elektron o'tadi, shu vaqt oralig'ida elektronli yarim o'tkazgichda elektronlar bilan qancha teshiklar qayta qo'shilsa, shu vaqt oralig'ida teshikli yarim o'tkazgichdan elektronli yarim o'tkazgichga shuncha teshiklar o'tadi. Natijada ma'lum kattalikdagi elektr maydon vujudga keladi.

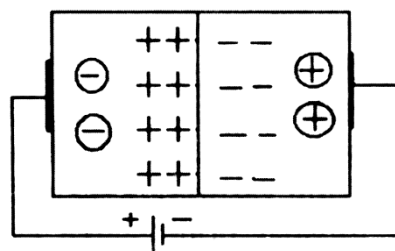
Elektronli va teshikli yarim o'tkazgichlarning yondosh chegara yaqinida hosil bo'lgan qatlam 1 va 2da tok tashuvchilar (elektronlar elektronli yarim o'tkazgichlarda va teshiklar teshikli yarim o'tkazgichlarda) kamayganligini osongina tasavur qilish mumkin. Yupqa qatlamning qarshiligi yarim o'tkazgichning qolgan hajmidagi qarshilikdan ancha katta bo'ladi. Bu qatlam *berkituvchi qatlam* deb ataladi.

Shunday qilib, elektronli va teshikli yarim o'tkazgichlar kontaktida ularning yondosh chegarasida kontakt potentsiallar ayirmasi, shuningdek berkituvchi qatlam hosil bo'ladi.

Bundan so'ng elektron-teshikli o'tishda o'zgaruvchan elektr tokini to'g'rilashning fizik mohiyatini yuqoridagilar asosida tushuntiriladi. Faraz qilaylik, bitta monokristallda hosil qilingan elektronli va teshikli yarim o'tkazgichlarning yondoshgan sistemasiga biror potentsiallar ayirmasi berilgan bo'lsin. Unda teshikli yarim o'tkazgich musbat potensialga, elektronli yarim o'tkazgich esa manfiy potensialga ega bo'ladi (16 - rasm). Bu holda tashqi elektr maydon elektronli va teshikli yarim o'tkazgichning yondosh sohasidagi elektr maydonni kuchsizlantiradi



16 - rasm.



17 - rasm.

va elektronli yarim o'tkazgichdan elektronlarni, teshikli yarim o'tkazgichdan esa teshiklarni bir- biriga qarama-qarshi harakatlantiradi (elektron — teshikli o'tish). Bunda berkituvchi qatlamning qalinligi va uning qarshiligi kamayadi. Elektron — teshikli o'tish orqali tok tashuvchilar ko'p o'tadi, binobarin, katta tok o'tadi. Bu sistemaga qo'yilgan potensialning ishorasi almashtirilsa (17 - rasm), tashqi elektr maydon elektronli va teshikli yarim o'tkazgichning yondosh sohasidagi maydonni kuchaytiradi.

Tok tashuvchilar tashqi maydon ta'sirida yarim o'tkazgichlarning bo'linish chegarasida harakatlanadi. Berkituvchi qatlamning qalinligi ortadi va uning qarshiligi ko'payadi. Buning natijasida elektron — teshikli o'tish orqali ancha kam tok o'tadi.

Quyida yarim o'tkazgichli diodni tavsiflovchi eng muhim parametrlarni (muhit temperaturasi 20°C bo'lgan hoi uchun) keltiramiz:

teskari kuchlanishning eng katta qiymati 400 V; eng katta teskari kuchlanishda teskari tok (o'rtacha qiymati) 0,3 mA;

eng katta to'g'rilangan tok (to'g'ri tokning o'rtacha qiymati) 300 mA;

eng katta to'g'ri tokda diodda kuchlanishning tushishi 0,5 V.

Diod deb odatda bir yoki bir necha elektr o'tishlar va tashqi zanjirga ulanish uchun ikkita chiqishga ega bo'lgan elektr o'zgartirgich asbobga aytiladi. Yarim o'tkazgichli diodlar ma'lumotnomalarda radioelektron apparaturalarda qo'llanilish sohalari yoki vazifasiga ko'ra sinflanadilar.

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 (50 Gs) 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 0,3 A gacha, 0,3 A dan 10 A gacha va 10 A dan

yuqori bo'lgan to'g'rilangan toklarga mo'ljallangan kichik, o'rta va katta quvvatli diodlarga bo'linadi. PCh diodlari katta r - 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 r - n o'tishga ega va shu sababli ularning to'siq sig'imi pikofaradning bir qismini tashkil etadi.

Shottki to'sig'ili diodlar kuchlanish manbai qayta ulagichlarida keng tarqalgan, chunki ular qayta ulanish ishchi chastotasini 100 kGs va undan yuqoriga orttirishga, radioelektron apparatura og'irligi, o'lchamlarini kichraytirishga va kuchlanish manbai FIK oshirishga imkon yaratadilar. Shottki to'sig'i metallni yarim o'tkazgich bilan kontakti natijasida hosil qilinadi. Yarim o'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.

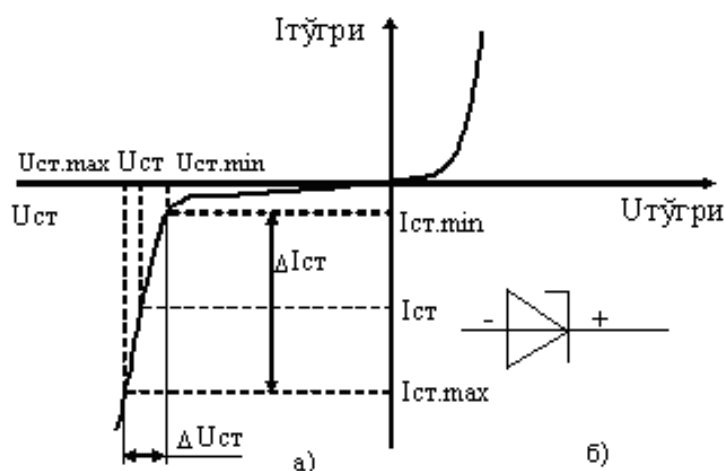
2.3. Stabiltronlar

Stabiltron - yarim o'tkazgichli diod bo'lib, uning ishlash prinsipi r - n o'tishga teskari kuchlanish berilganda elektr teshilish sohasida tokning keskin ortishi kuchlanishning uncha katta bo'lmagan o'zgarishiga olib kelishiga asoslangan. Stabiltronning shartli belgisi 3.1.b –rasmda keltirilgan. Stabiltron sxemalarda kuchlanishni barqarorlash uchun ishlatiladi.

Stabiltronning asosiy parametri bo'lib, tokning $I_{ST.min}$ dan $I_{ST.max}$ gacha keng o'zgarish oralig'ida barqarorlash kuchlanishi U_{ST} hisoblanadi (3.1 a- rasm).

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

Yuqori voltli stabiltronlar keng r - 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 7 V dan ortmaydi. U_{ST} 3 dan 7 V gacha bo'lgan oraliqda teshilishning ikkala mexanizmi ishlaydi. Sanoatda barqarorlash kuchlanishi 3 dan 400 V gacha bo'lgan stabiltronlar ishlab chiqariladi.



18 – rasm. Stabilitronning VAX.

Stabilitronning 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 (18 a- rasm). r_D qiymati qancha kichik bo'lsa, barqarorlash shuncha yaxshi bo'ladi.

$$r_D = \frac{\Delta U_{CT}}{\Delta I_{CT}}$$

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

2.4. Varikaplar. Tunnel diodlar

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

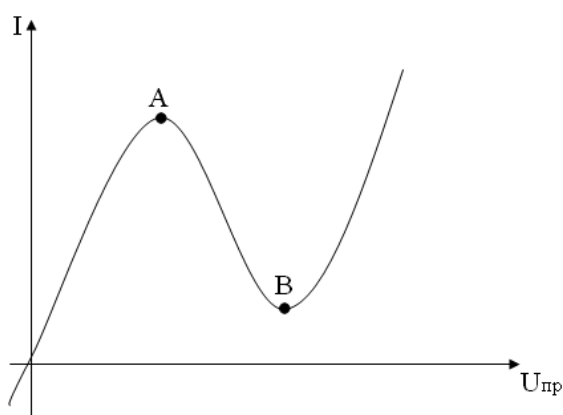
Varikaplar asosan tebranma konturlarni chastotasini elektron qayta sozlashda qo'llaniladi. Varikaplarning bir necha turi mavjud. Masalan, parametrik diodlar o'ta yuqori chastota signallarini kuchaytirish va generatsiyalashda, ko'paytiruvchi diodlar esa keng chastota diapazoniga ega bo'lgan ko'paytirgichlarda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

Tunnel diodi deb qo'zg'otilgan yarim o'tkazgich asosida loyihalangan yarim o'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 yarim o'tkazgichli materiallar qo'llaniladi.

VAX nohiziqli 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 19 – rasmda keltirilgan. AV 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 3-30 GGs diapazonda O'YuCh generatorlar qurishda, hamda maxsus hisob qurilmalari va mantiqiy yuta yuqori tezlikda ishlaydigan sxemalarda qo'llaniladi.



19 – rasm. Tunelli diod VAX.

2.5. Generator diodlar

Generator diodlaridan biri bo'lib **ko'chkili–uchma diodlar (KUD)** hisoblanadi. Uning VAXsida r - n o'tishdagi ko'chkisimon teshilishda yuqori chastotalarda manfiy qarshilikka ega bo'lgan soha yuzaga keladi. Agar KUD rezonatorga joylashtirilsa, unda chastotasi 100 GGsgacha bo'lgan so'nmaydigan tebranishlar yuzaga keladi. Tebranishlarning chiqish quvvati ($f=1$ GGs bo'lganda) 10 Vtgacha yetishi mumkin. KUDning FIK 30-50 %ga yetadi.

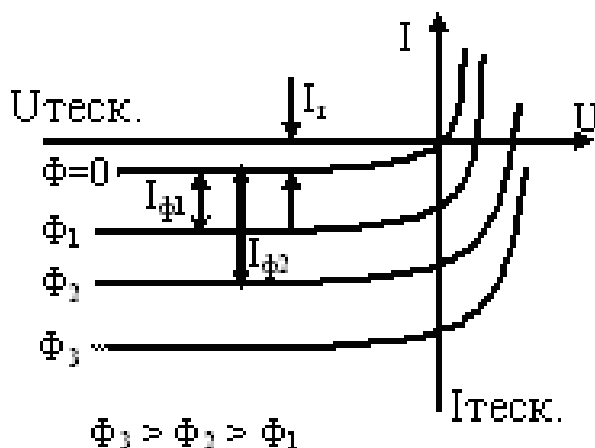
Generator diodining yana bir turi bo'lib **Gann diodi** hisoblanadi, u uzunligi 10^{-2} - 10^{-3} smdan iborat (r - n o'tishsiz) bo'lgan bir jinsli yarim o'tkazgich plastinka ko'rinishida bo'ladi. Plastinkaning yon qismlariga katod va anod deb ataluvchi metall kontaktlar surtiladi. Gann diodlarini yasash 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 60 GGs bo'lgan elektr tebranishlar yuzaga keladi. Tebranishlar quvvati 10 – 15 Vtgacha yetishi mumkin, FIK esa 10-12 % ga yetadi.

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 r - n o‘tishga ega bo‘lgan foto-elektr asbobga aytiladi. Fotodiod tashqi kuchlanish manbaili (fotodiodli rejim), hamda tashqi kuchlanish manbaisiz sxemalarga ulanishi mumkin. Tashqi kuchlanish manbai shunday ulanadiki, r - n o‘tish teskari siljigan bo‘lsin. Yorug‘lik tushurilmaganda diod orqali juda kichik “qorong‘ulik” ekstraksiya 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 tushurilganda, 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 ekstraksiyalanadilar 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.

20 – rasmda turli yorug‘lik oqimi qiymatlaridagi fotodiod VAXsi keltirilgan. Yorug‘likning keng nurlanish chegaralarida fototok yorug‘lik oqimiga deyarli chiziqli bog‘liq bo‘ladi.



20 – rasm. Fotodiodning VAX.

Proporsionallik koeffisienti $K_\Phi = \frac{dI_\Phi}{d\Phi}$ 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 (fotovoltai) 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 REAlarni ta'minlash uchun elektr energiya manbai sifatida qo'llanilishi mumkin.

Yorug'lik diodi – bu elektr energiyasini nokogerent yorug'lik nuriga aylantiradigan, bitta p-n o'tishga ega bo'lgan yarim o'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 yarim o'tkazgichlarda, jumladan galliy arsenidida sodir bo'ladi. Bunday yarim o'tkazgichlar spesifik xona diagrammasiga ega bo'ladilar.

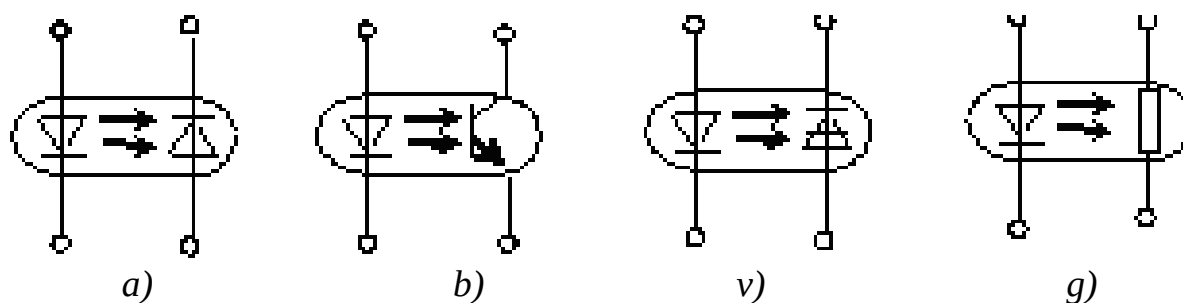
Nurlanayotgan yorug'lik to'lqin uzunligi λ kvant energiyasi bilan aniqlanadi. U esa nurlanuvchi rekombinatsiyada yarim o'tkazgichning ta'qiqlangan zona kengligiga deyarli teng bo'ladi. Galliy arsenididan tayyorlangan yorug'lik diodlari uchun $\lambda = 0,9-1,4$ mkm. Qizil, sariq va yashil rang nurlatuvchi diodlar galliy fosfati, siyoxrang nurlatuvchi diodlar esa– kremniy karbidi asosida yasaladilar va x.z.

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 yarim o'tkazgichli birikmalardan yasalgan geteroo'tishli yorug'lik diodlarida esa ancha katta (0,3 gacha) bo'ladi. Lekin doim birdan kichik bo'ladi. Volt – amper xarakteristikasi oddiy diodniki kabi eksponensial bog'liqlik bilan ifodalanadi. Yorug'lik diodi $10^{-7}-10^{-9}$ s da qayta ulanadi, ya'ni yuqori tezlikda ishlovchi yorug'lik manbai hisoblanadi.

Yorug'lik diodlari optik aloqa liniyalari, indikator qurilmalar, optoparalar va x.z.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.

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



21-rasm. Fotodiodlar.

21-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.

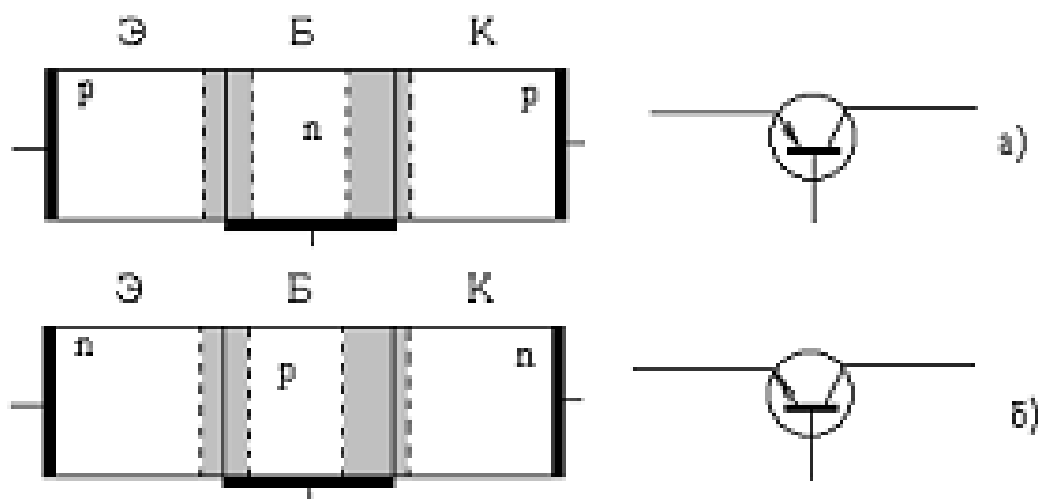
III BOB. TRANZISTORLAR

3.1. Bipolyar tranzistorlar

Bipolyar tranzistor deb o‘zaro ta’sirlashuvchi ikkita p-n o‘tish va uchta elektrod (tashqi chiqishlar)ga ega bo‘lgan yarim o‘tkazgich asbobga aytiladi. Tranzistordan tok oqib o‘tishi ikki turdagi zaryad tashuvchilar - elektron va kovaklarning harakatiga asoslangan.

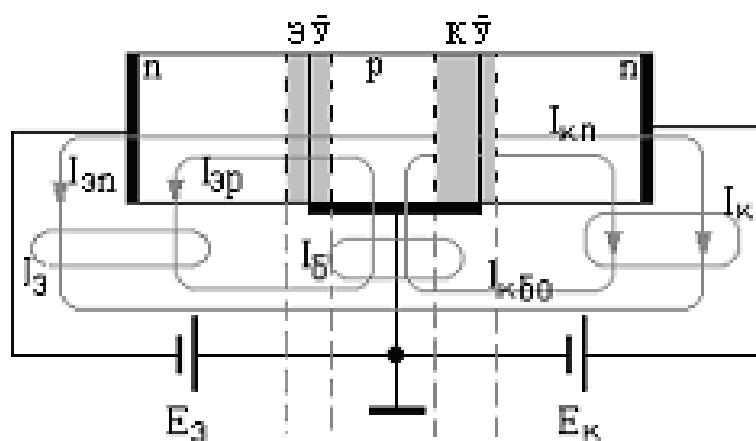
Bipolyar tranzistor p-n-p va n-p-n o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan uchta yarim o‘tkazgichdan tashkil topgan (22 a va b-rasm). Endilikda keng tarqalgan n-p-n tuzilmali bipolyar tranzistorni ko‘rib chiqamiz.

Tranzistorning kuchli legirlangan chekka sohasi (n^+ - soha) **emitter** deb ataladi va u zaryad tashuvchilarni **baza** deb ataluvchi o‘rta sohaga (r - soha) injeksiyalaydi. Keyingi chekka soha (n - soha) **kollektor** deb ataladi. U emitterga nisbatan kuchsizroq legirlangan bo‘lib, zaryad tashuvchilarni baza sohasidan ekstraktsiyalash uchun xizmat qiladi (23- rasm). Emitter va baza oralig‘idagi o‘tish emitter o‘tish, kollektor va baza oralig‘idagi o‘tish esa -kollektor o‘tish deb ataladi.



22 – rasm.

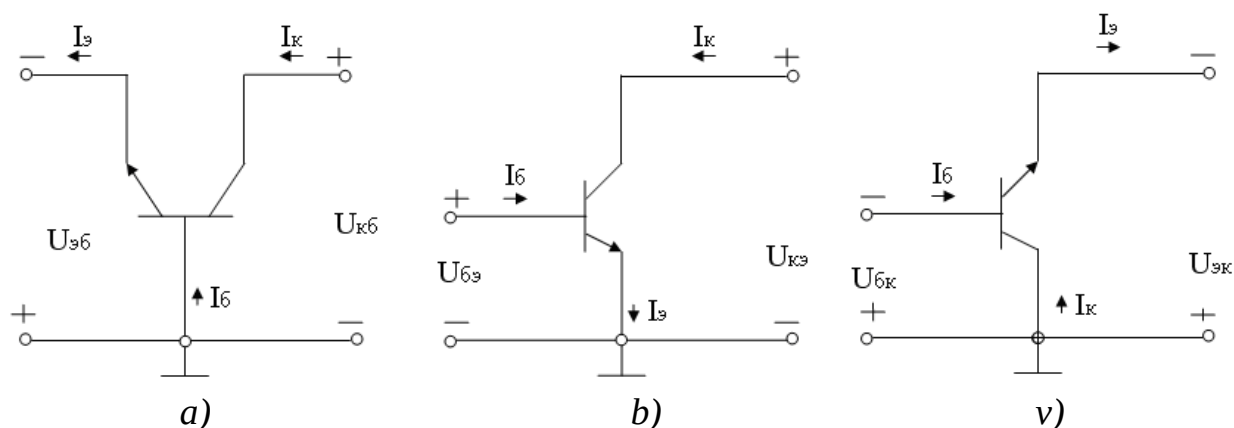
Tashqi kuchlanish manbalari (U_{EB} , U_{KB}) yordamida emitter o‘tish to‘g‘ri yo‘nalishda, kollektor o‘tish esa – teskari yo‘nalishda siljiydi. Bu holda tranzistor **aktiv** yoki normal rejimda ishlaydi va uning kuchaytirish xossalari namoyon bo‘ladi.



23 – rasm.

Agar emitter o'tish teskari yo'nalishda, kollektor o'tish esa to'g'ri yo'nalishda siljigan bo'lsa, u holda bu tranzistor **invers** yoki teskari ulangan deb ataladi. Tranzistor raqamli sxemalarda qo'llanilganda u **to'yinish** rejimida (ikkala o'tish ham to'g'ri yo'nalishda siljigan), yoki **berk** rejimda (ikkala o'tish teskari siljigan) ishlashi mumkin.

Bipolyar tranzistorning ulanish sxemalari. Tranzistor sxemaga ulanayotganda chiqishlaridan biri kirish va chiqish zanjiri uchun umumiy qilib ulanadi, shu sababli quyidagi ulanish sxemalari mavjud: **umumiy baza (UB)** (24 a-rasm); **umumiy emitter (UE)** (24 b-rasm); **umumiy kollektor (UK)** (24 v-rasm). Bu vaqtda umumiy chiqish potentsiali nolga teng deb olinadi. Kuchlanish manbai qutblari va tranzistor toklarining yo'nalishi tranzistorning aktiv rejimiga mos keladi. UB ulanish sxemasi qator kamchiliklarga ega bo'lib, juda kam ishlatiladi.



24 – rasm.

Bipolyar tranzistorning aktiv rejimda ishlashi. UB ulanish sxemasida aktiv rejimda ishlayotgan *n-p-n* tuzilmali diffuziyali qotishmali bipolyar tranzistorni o'zgarmas tokda ishlashini qo'rib chiqamiz (24 a-rasm). Bipolyar tranzistorning normal ishlashining asosiy talabi bo'lib baza sohasining yetarlicha kichik kengligi W hisoblanadi; bu vaqtda

$W < L$ sharti albatta bajarilishi kerak (L -bazadagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi).

Bipolyar tranzistorning ishlashi uchta asosiy hodisaga asoslangan:

- emitterdan bazaga zaryad tashuvchilarning injeksiyasi;
- bazaga injeksiyalangan zaryad tashuvchilarni kollektorga o'tishi;
- bazaga injeksiyalangan zaryad tashuvchilar va kollektor o'tishga

yetib kelgan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni bazadan kollektorga ekstraksiyasi.

Emitter o'tish to'g'ri yo'naliishda siljiganda (U_{EB} kuchlanish manbai bilan ta'minlanadi) uning potensial to'siq balandligi kamayadi va emitterdan bazaga elektronlar injeksiyasi sodir bo'ladi. Elektronlarning bazaga injeksiyasi, hamda kovaklarni bazadan emitterga injeksiyasi tufayli emitter toki I_E shakllanadi. Shunday qilib, emitter toki

$$I_{\Sigma} = I_{en} + I_{ep} \quad , \quad (3.1)$$

bu yerda I_{en} , I_{er} mos ravishda elektron va kovaklarning injeksiya toklari.

Emitter tokining I_{er} tashkil etuvchisi kollektor orqali oqib o'tmaydi va zararli hisoblanadi (tranzistorning qo'shimcha qizishiga olib keladi). I_{er} ni kamaytirish maqsadida bazadagi akseptor kiritma konsentratsiyasi emitterdagi donor kiritma konsentratsiyasiga nisbatan ikki darajaga kamaytiriladi.

Emitter tokidagi I_{en} qismini **injeksiya koeffisienti** aniqlaydi.

$$\gamma = \frac{I_{en}}{I_{\Sigma}} \quad , \quad (3.2)$$

Bu kattalik emitter ishi samaradorligini xarakterlaydi ($\gamma = 0,990-0,995$).

Injeksiyalangan elektronlar kollektor o'tish tomon baza uzunligi bo'ylab elektronlar zichligining kamayishi hisobiga bazaga diffundlanadilar va kollektor o'tishga yetgach, kollektorga ekstraksiyalanadilar (kollektor o'tish elektr maydoni hisobiga tortib olinadilar) va I_{Kn} kollektor toki hosil bo'ladi.

Zichlikning kamayishi **konsentratsiya gradienti** deb ataladi. Gradient qancha katta bo'lsa, tok ham shuncha katta bo'ladi. Bu vaqtda bazadan injeksiyalanyotgan elektronlarning bir qismi kovaklar bilan bazaga ekstraksiyalanishini ham hisobga olish kerak. Rekombinatsiya jarayoni bazaning elektr neytrallik shartini tiklash uchun talab qilinadigan kovaklarning kamchiligini yuzaga keltiradi. Talab qilinayotgan kovaklar baza zanjiri bo'ylab kelib tranzistor baza toki I_{brek} ni yuzaga keltiradi. I_{brek} toki kerak emas hisoblanadi va shu sababli uni kamaytirishga harakat qilinadi. Bu holat baza kengligini kamaytirish hisobiga amalga oshiriladi $W \leq L_n$ (elektronlarning diffuziya uzunligi). Bazadagi rekombinatsiya uchun emitter elektron tokining yo'qotilishi **elektronlarning uzatish koeffisienti** bilan xarakterlanadi:

$$\alpha_{II} = \frac{I_{Kn}}{I_{\Sigma n}} \quad (3.3).$$

Real tranzistorlarda $\alpha_{II} = 0,980-0,995$.

Aktiv rejimda tranzistorning kollektor o'tishi teskari yo'naliishda ulanadi (U_{kb} kuchlanish manbai hisobiga amalga oshiriladi) va kollektor zanjirida, asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilardan tashkil topgan ikkita dreyf toklaridan iborat bo'lgan kollektorning xususiy toki I_{k0} oqib o'tadi.

Shunday qilib, kollektor toki ikkita tashkil etuvchidan iborat bo'ladi

$$I_K = I_{Kn} + I_{K0}$$

Agar I_{Kn} ni emitterning to'liq toki bilan aloqasini hisobga olsak, u holda

$$I_{Kn} = \alpha I_{\ominus} + I_{K0}, \quad (3.4)$$

bu yerda $\alpha = \gamma \alpha_{II}$ - **emitter tokining uzatish koeffisienti**. Bu kattalik UB ulanish sxemasidagi tranzistorni kuchaytirish xossalarini namoyon etadi.

Kirxgofning birinchi qonuniga mos ravishda baza toki tranzistorning boshqa toklari bilan quyidagi nisbatda bog'liq

$$I_{\ominus} = I_B + I_K. \quad (3.5)$$

Bu ifodani (3.4)ga qo'yib, baza tokining emitterning to'liq toki orqali ifodasini olishimiz mumkin:

$$I_B = (1 - \alpha)I_{\ominus} + I_{K0}. \quad (3.6)$$

Koeffisient $\alpha < 1$ ligini hisobga olgan holda, shunday hulosa qilish mumkin: UB ulanish sxemasi tok bo'yicha kuchayish bermaydi ($I_K \approx I_{\ominus}$).

Tok bo'yicha yaxshi kuchaytirish natijalarini umumiy emitter sxemasida ulangan tranzistorda olish mumkin (24 b-rasm). Bu sxemada emitter umumiy elektrod, baza toki - kirish toki, kollektor toki esa - chiqish toki hisoblanadi.

(3.4) va (3.5) ifodalardan kelib chiqqan holda UE sxemadagi tranzistorning kollektor toki quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$I_K = \alpha(I_K + I_B) + I_{K0}.$$

Bundan

$$I_K = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B + \frac{1}{1 - \alpha} I_{K0}. \quad (3.7)$$

Agar $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ belgilash kiritilsa, (4.7) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$I_K = \beta I_B + (\beta + 1)I_{K0}. \quad (3.8)$$

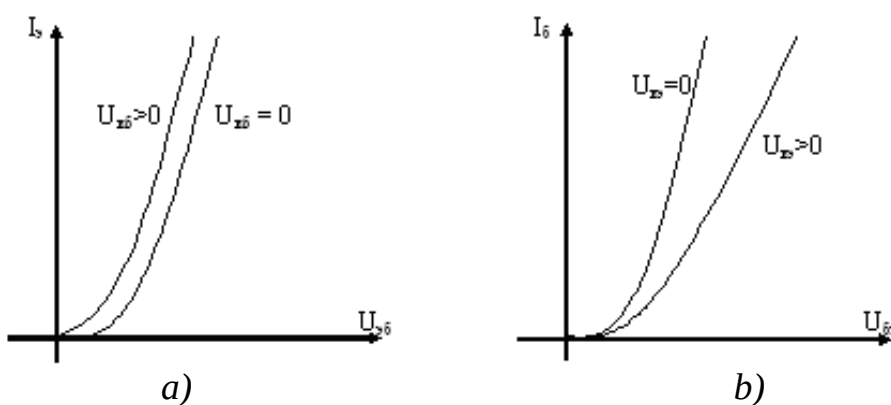
Koeffisient β - **baza tokining uzatish koeffisienti** deb ataladi. β ning qiymati o'ndan yuzgacha, ba'zi tranzistor turlarida esa bir necha minglargacha oralig'ida bo'lishi mumkin. Demak, UE sxemasida ulangan tranzistor tok bo'yicha yaxshi kuchaytirish xossalariga ega hisoblanadi.

3.2. Bipolyar tranzistorlarni statik xarakteristikalar va fizik parametrlari

Tranzistor statik xarakteristikalar kollektor zanjiriga yuklama qo'yilmagan holda o'rnatilgan kirish va chiqish toklari va kuchlanishlar orasidagi o'zaro bog'liqlikni ifodalaydi. Har bir ulanish uchun statik xarakteristikalar oilasi ma'lumotnomalarda keltiriladi. Eng asosiylari bo'lib tranzistorning **kirish** va **chiqish** xarakteristikalar hisoblanadi. Qolgan xarakteristikalar kirish va chiqish xarakteristikalaridan hosil qilinishi mumkin.

UB sxemasi uchun kirish statik xarakteristikasi bo'lib $U_{KB} = const$ bo'lgandagi $I_E = f(U_{EB})$ bog'liqlik, UE sxemasi uchun esa $U_{KE} = const$ bo'lgandagi $I_B = f(U_{BE})$ bog'liqlik hisoblanadi. Kirish xarakteristikalarining umumiy xarakteri odatda to'g'ri yo'nalishda ulangan $p-n$ bilan aniqlanadi. Shu sababli tashqi ko'rinishiga ko'ra kirish xarakteristiklari eksponensial xarakterga ega (25- rasm).

Rasmlardan ko'rinib turibdiki, chiqish kuchlanishining o'zgarishi kirish xarakteristikalarini siljishiga olib keladi. Xarakteristikaning siljishi Erli effekti (baza kengligining modulyatsiyasi) bilan aniqlanadi. Buning ma'nosi shundaki, kollektor o'tishdagi teskari kuchlanishning ortishi uning kengayishiga olib keladi, bu vaqtda baza sohasidagi kengayish uning kengligining kichrayishi hisobiga sodir bo'ladi. Baza kengligining kichrayishi ikkita effektga olib keladi: zaryad tashuvchilar rekombinatsiyasining kamayishi hisobiga baza tokining kamayishi va bazadagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiya gradientining ortishi hisobiga emitter tokining ortishi.

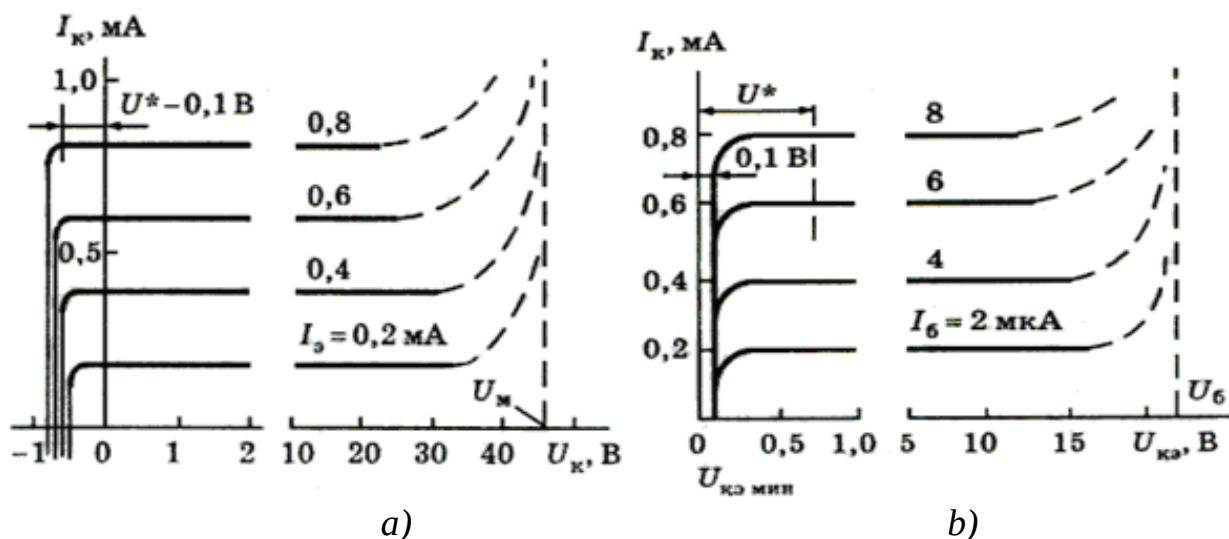


25 – rasm.

Shu sababli kollektor o'tishdagi teskari kulanishning ortishi bilan UB sxemadagi kirish xarakteristika chapga, UE sxemada esa o'ngga siljiydi.

UB sxemadagi tranzistorning chiqish xarakteristikalar oilasi bo'lib $I_E = const$ bo'lgandagi $I_K = f(U_{KB})$ bog'liqlik, UE sxemada esa $I_B = const$ bo'lgandagi $I_K = f(U_{KE})$ bog'liqlik hisoblanadi.

Chiqish xarakteristikalar ko'rinishiga ko'ra teskari ulangan diod VAX siga o'xshaydi, chunki kollektor o'tish teskari ulangan. Xarakteristikalarni qurishda kollektor o'tishning teskari kuchlanishini o'ngda o'rnatish qabul qilingan (26 – rasm).



26 – rasm.

26 a - rasmdan ko‘rinib turibdiki, UB sxemadagi chiqish xarakteris-tikalari ikki kvadrantlarda joylashgan: birinchi kvadrantdagi VAX aktiv ish rejimiga, ikkinchi kvadrantdagisi esa – to‘yinish ish rejimiga mos keladi. Aktiv rejimda chiqish toki (3.4) nisbat bilan aniqlanadi. Aktiv rejimga mos keluvchi xarakteristika sohalari abssissa o‘qiga uncha katta bo‘lmagan qiyalikda, deyarli parallel o‘tadilar. Qiyalik yuqorida aytib o‘tilgan Erli effekti bilan tushuntiriladi. $I_E=0$ bo‘lganda (emitter zanjiri uzilganda) chiqish xarakteristikasi teskari siljigan kollektor o‘tish xarakteristikasi ko‘rinishida bo‘ladi. Emitter o‘tish to‘g‘ri yo‘nalishda ulanganda injeksiya toki hosil bo‘ladi va chiqish xarakteristiklari $\alpha(I_{\text{Э2}} - I_{\text{Э1}})$ kattalikka chapga siljiydi va x.z.

UE sxemasida ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikasi UB sxemada ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikasiga nisbatan katta qiyalikka ega. Chunki uning ko‘rinishiga Erli effekti katta ta’sir ko‘rsatadi. Bog‘liqliklarning umumiy xakteri (26 b-rasm) kollektor va baza toklari orasidagi quyidagi bog‘liqlik bilan aniqlanadi:

$$I_K = \beta I_E + I_{K\text{Э0}}, \quad (3.9)$$

bu yerda $I_{KE0} - I_B=0$ (uzilgan baza) bo‘lgandagi kollektorning to‘g‘ri toki. I_{KE0} toki I_{K0} tokidan $\beta + 1$ martaga katta bo‘ladi, chunki $U_{BE}=0$ bo‘lganda U_{KE} kuchlanishining bir qismi emitter o‘tishga qo‘yilgan bo‘ladi va uni to‘g‘ri yo‘nalishda siljitadi. Shunday qilib, $I_{KE0}=(\beta + 1)I_{K0}$ – ancha katta tok bo‘lib, tranzistor ishining buzilishini oldini olish maqsadida baza zanjirini uzish kerak.

Baza toki ortishi bilan kollektor toki $\beta(I_{E2} - I_{E1})$ kattalikka ortadi va x.z., va xarakteristika yuqoriga siljiydi. UE sxemadagi chiqish VAXlarining asosiy xossasi shundaki, ham aktiv va ham to‘yinish rejimlarida bir kvadrantda joylashadi. Ya’ni, elektrodلarning berilgan kuchlanish ishoralarida ham aktiv rejim, ham to‘yinish rejimida bo‘lishi mumkin. Rejimlar almashinishi kollektor

o'tishdagi kuchlanishlar nolga teng bo'lganda sodir bo'ladi. Kollektor soha qarshiligini hisobga olmagan holda $U_{KE} = U_{KB} + U_{BE}$ bo'lgani uchun, talab qilinayotgan bo'sag'aviy kuchlanish qiymati $U_{KE}^* = U_{BE}$ bo'ladi. U_{BE} qiymati berilgan baza tokida kirish xarakteristikasidan aniqlanadi.

Bipolyar tranzistor fizik parametrlari. Tok bo'yicha α va β koeffisientlar statik parametrlar hisoblanadi, chunki ular o'zgarish toklar nisbatini ifodalaydilar. Ulardan tashqari tok o'zgarishlari nisbati bilan ifodalanidigan differensial kuchaytirish koeffisientlari ham keng qo'llaniladi. Ctatik va differensial α kuchaytirish koeffisientlari bir biridan farq qiladilar, shu sababli talab qilingan hollarda ular ajratiladi. Tok bo'yicha kuchaytirish koeffisientining kollektordagi kuchlanishga bog'liqligi Erli effekti bilan tushuntiriladi.

UE sxemasi uchun tok bo'yicha differensial kuchaytirish koeffisienti

$$\beta = \frac{dI_K}{dI_E} \text{ temperaturaga bog'liq bo'lib baza sohasidagi asosiy bo'lmagan zaryad}$$

tashuvchilarning yashash vaqtiga bog'liqligi bilan tushuntiriladi. Temperatura ortishi bilan rekombinatsiya jarayonlari sekinlashishi sababli, odatda tranzistorning tok bo'yicha kuchaytirish koeffisientining ortishi kuzatiladi.

Tranzistor xarakteristikalarining temperaturaviy barqaror emasligi asosiy kamchilik hisoblanadi.

Yuqorida ko'rib o'tilgan tok bo'yicha uzatish koeffisientidan tashqari, fizik parametrlarga o'tishlarning differensial qarshiliklari, sohalarning hajmiy qarshiliklari, kuchlanish bo'yicha teskari aloqa koeffisientlari va o'tish hajmlari kiradi.

Tranzistorning emitter va kollektor o'tishlari o'zining differensial qarshiliklari bilan ifodalanadilar. Emitter o'tish to'g'ri yo'nalishda siljiganligi sababli, uning differensial qarshiligi r_E ni (2.6) ifodani qo'llab aniqlash mumkin:

$$r_E = \frac{dU_{\text{эб}}}{dI_E} = \frac{\varphi_T}{I_E}, \quad (3.10).$$

bu yerda I_E – tokning doimiy tashkil etuvchisi. U kichik qiymatga ega (tok 1 mA bo'lganda $r_E=20-30$ Om ni tashkil etadi) bo'lib, tok ortishi bilan kamayadi va temperatura ortishi bilan ortadi.

Tranzistorning kollektor o'tishi teskari yo'nalishda siljiganligi sababli, I_K toki U_{KB} kuchlanishiga kuchsiz bog'liq bo'ladi. Shu sababli kollektor o'tishning differensial qarshiligi $r_K = \frac{dU_{KB}}{dI_K} = 1\text{Mom}$ bo'ladi. r_K qarshiligi asosan Erli effekti

bilan tushuntiriladi va odatda u ishchi toklarning ortishi bilan kamayadi.

Baza qarshiligi r_B bir necha yuz Omni tashkil etadi. Yetarlicha katta baza tokida baza qarshiligidagi kuchlanish pasayishi baza va emittter tashqi chiqishlari kuchlanishiga nisbatan emitter o'tishdagi kuchlanishni kamaytiradi.

Kichik quvvatli tranzistorlar uchun kollektor qarshiligi o'nlab Om, katta quvvatliklariniki esa birlik Omlarni tashkil etadi.

Emittter soha qarshiligi yuqori kiritmalar konsentratsiyasi sababli baza qarshiligiga nisbatan juda kichik.

UB sxemadagi kuchlanish bo'yicha teskari aloqa koeffisienti ($I_E = \text{const}$ bo'lganida) $\mu_{vB} = \frac{d|U_{\text{ЭБ}}|}{dU_{KB}}$ kabi aniqlanadi, UE sxemasida esa ($I_B = \text{const}$ bo'lganida) $\mu_{v\text{Э}} = \frac{d|U_{\text{ЭЭ}}|}{dU_{K\text{Э}}}$ orqali aniqlanadi. Koeffisientlar absolyut qiymatlariga ko'ra deyarli bir – xil bo'ladilar va konsentratsiya va tranzistorlarning tayyorlanish texnologiyasiga ko'ra $\mu_{v\text{Э}} = 10^{-2} - 10^{-4}$ ni tashkil etadilar.

Bipolyar tranzistorlarning xususiy xossalari asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning baza orqali uchib o'tish vaqti va o'tishlarning to'siq sig'implarining qayta zaryadlanish vaqti bilan aniqlanadilar. Bu ta'sirlarning nisbiy ahamiyati tranzistor konstruksiyasi va ish rejimiga, hamda tashqi zanjir qarshiliklariga bog'liq bo'ladi.

Juda kichik kirish signallari va aktiv ish rejimi uchun bipolyar tranzistorni chiziqli to'rtqutblik ko'rinishida ifodalash mumkin va bu to'rtqutblikni biror parametrlar tizimi bilan belgilash mumkin. Bu parametrlarni ***h-parametrlar*** deb atash qabul qilingan. Ularga quyidagilar kiradi: h_{11} – chiqishda qisqa tutashuv bo'lgan vaqtdagi tranzistorning kirish qarshiligi; h_{12} – uzilgan kirish holatidagi kuchlanish bo'yicha teskari aloqa koeffisienti; h_{21} – chiqishda qisqa tutashuv bo'lgan vaqtdagi tok bo'yicha kuchaytirish (uzatish) koeffisienti; h_{22} – uzilgan kirish holatidagi tranzistorning chiqish o'tkazuvchanligi. Barcha h – parametrlar oson va bevosita o'lchanadi.

Elektronika bo'yicha avvalgi adabiyotlarda kichik signalli parametrlarning chastotaviy bog'liqliklariga juda katta e'tibor qaratilgan. Hozirgi vaqtda 10 GGs gacha bo'lgan chastotalarda normal ishni ta'minlaydigan tranzistorlar ishlab chiqarilmoqda. Bunday xollarda talab qilinayotgan chastota xarakteristikalarini olish uchun ma'lumotnomadan kerakli tranzistor turini tanlash kerak.

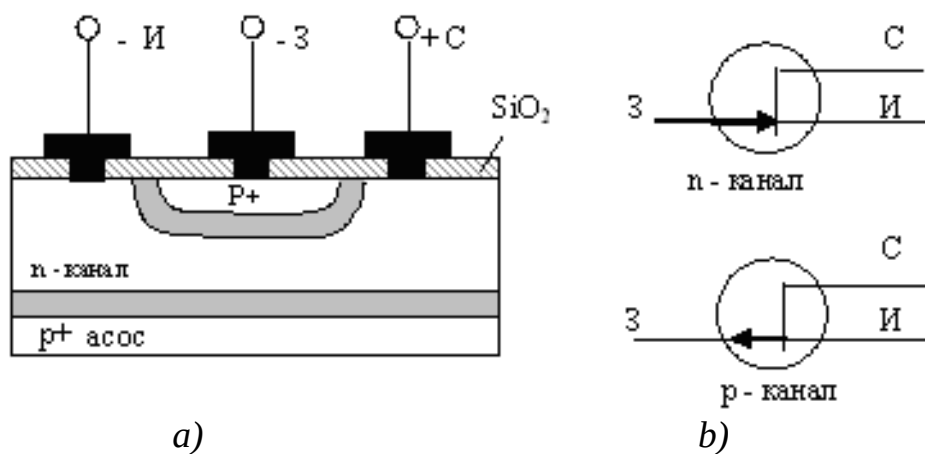
3.3. Maydoniy transistor

Maydoniy transistor. *Maydoniy tranzistor* (MT) deb, tok kuchi qiymatini boshqarish uchun o'tkazuvchi kanaldagi elektr o'tkazuvchanligikni o'zgartirish hisobiga elektr maydon o'zgarishi bilan boshqariladigan yarim o'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 – yarim o'tkazgichli (MDYa) tuzilishga ega bo'lgan zatvori izolyatsiyalangan maydoniy tranzistorlar. Ular MDYa- tranzistorlar deb ham ataladilar.

p-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistor. 27 – rasmda n-kanalli p-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorning tuzilishining qirgimi (a) va uning shartli belgisi (b) keltirilgan.

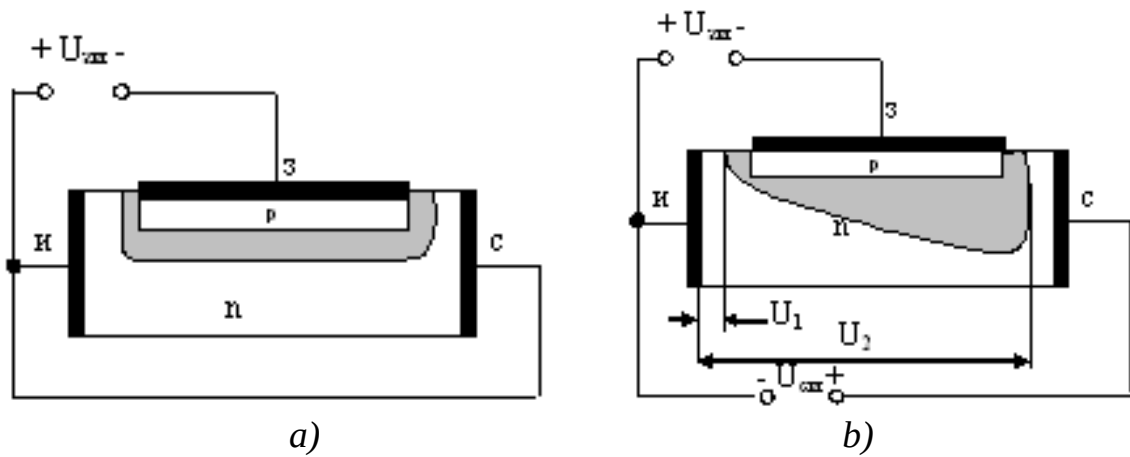


27 – rasm.

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 p – 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 $U_{SI} = 0$ (28 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 p-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 $|U_{3I}|$ ga, stok yaqinida esa $|U_{3I}| + U_{CH}$ teng bo'ladi. Natijada o'tish kengligi stok tomonda kattaroq bo'lib, kanal kesimi stok tomoga kamayib boradi (28. b -rasm).



28 –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 ponaligi (klinovidnost) 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.

$|U_{3H}| + U_{CH.T\ddot{Y}H.}$ kuchlanish berkilish kuchlanishiga $U_{ZI.BERK.}$ ga teng bo'ladigan vaqtdagi stok kuchlanishi **to'yinish kuchlanishi** $U_{SI.TO'Y.}$ deb ataladi.

Bu yerdan

$$U_{CH.T\ddot{Y}H.} = |U_{3H.BERK.}| - |U_{3H}| \quad (3.11)$$

$U_{CH} \leq U_{CH.T\ddot{Y}H.}$ vaqtidagi tranzistorning ishchi rejimi **tekis o'zgarish** rejimi, $U_{CH} \geq U_{CH.T\ddot{Y}H.}$ 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_C tokini kamayishiga olib keladi. Natijada I_C 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.

3.4. Maydoniy tranzistorni statik xarakteristikallari va asosiy parametrlari

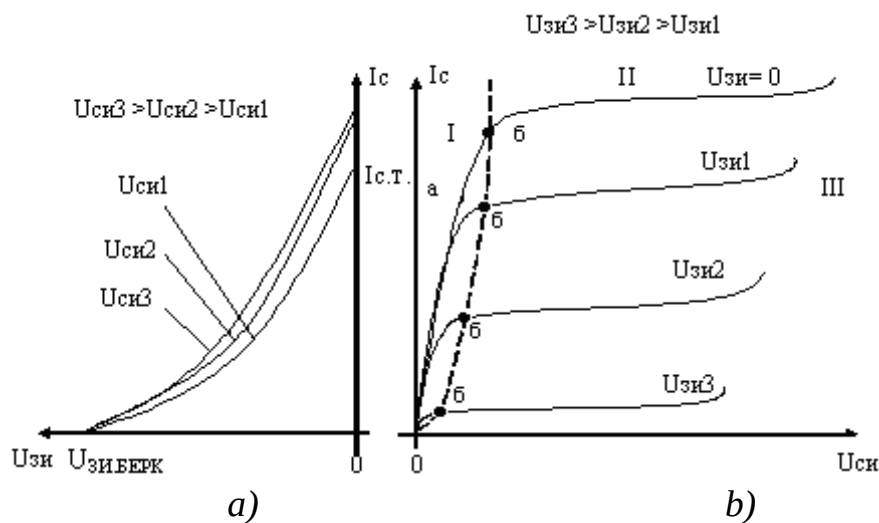
Zatvordagi kuchlanish U_{ZI} yordamida stok toki I_C ni boshqarish **stok – zatvor** xarakteristikasidan aniqlanadi. Bu xarakteristika tranzistorning **uzatish** xarakteristikasi deb ham ataladi. 29 a-rasmda $U_{SI} = const$ bo'lgandagi stok zatvor xarakteristikalar oilasi $I_S = f(U_{ZI})$ keltirilgan.

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 qo‘rinishga ega bo‘ladi:

$$I_C = I_{C.T\ddot{y}\ddot{y}} \left(1 - \frac{U_{3H}}{U_{3H.BEPK}}\right)^2. \quad (3.12)$$

29 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 $U_{SI} = U_{SI.TO'Y}$ qiymatiga yetganda (b nuqta) I_S ortishi to‘xtaydi.



29 – rasm.

MT asosiy parametrlari. Maydoniy tranzistorlarning asosiy parametrlaridan biri bo‘lib **xarakteristika tikligi** hisoblanadi

$$S = \frac{dI_C}{dU_{3H}} \quad (\text{mA/V}),$$

va uni quyidagi ifodadan aniqlash mumkin

$$S = S_{\max} \left(1 - \frac{U_{3H}}{U_{3H.BEPK}}\right), \quad (3.13)$$

bu yerda $S_{\max}$ – $U_{ZI}=0$ bo‘lgandagi maksimal tiklik. (3.12) (3.13) 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 qarshiligini ifodalaydi

$$R_i = \frac{dU_{CH}}{dI_C} \quad U_{ZI} = const \text{ bo‘lganda} \quad (3.14)$$

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 koeffisienti tranzistorning kuchaytirish xususiyatini ifodalaydi:

$$\mu = -\frac{dU_{CH}}{dU_{ZH}} \quad I_S = \text{const} \quad \text{bo'lganda} \quad (3.15)$$

Bu koeffisient 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 koeffisientni xarakteristikadan aniqlab bo'lmaganligi sababli, bu kattalikni quyidagicha hisoblash mumkin:

3.5. Kanali induksiyalangan MDYa – tranzistor

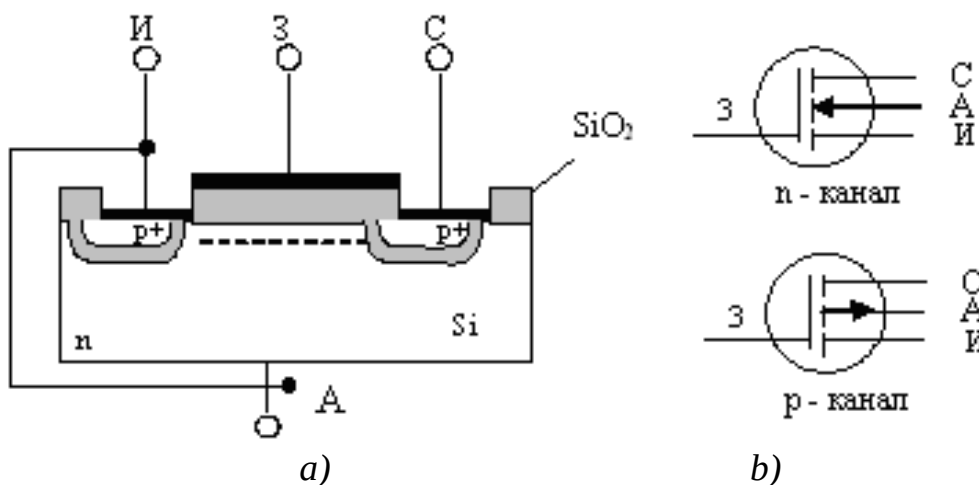
$P - n$ o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlardan farqli ravishda MDYa–tranzistorlarda metall zatvor kanal hosil qiluvchi o'tkazgichli sohadan doim dielektrik qatlami yordamida izolyatsiyalangan. Shu sababli MDYa–tranzistorlar zatvori izolyatsiyalangan maydoniy tranzistorlar turiga kiradi. Dielektrik qatlami SiO_2 dielektrik oksidi bo'lganligi sababli, bu tranzistorlar MOYa – tranzistorlar (metall – oksid- yarim o'tkazgichli tuzilma) deb ham ataladilar.

MDYa–tranzistorlarning ishlash prinsipi ko'ndalang elektr maydoni ta'sirida dielektrik bilan chegaralangan yarim o'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 30 a –rasmda va uning shartli belgisi 30 b- rasmda keltirilgan.

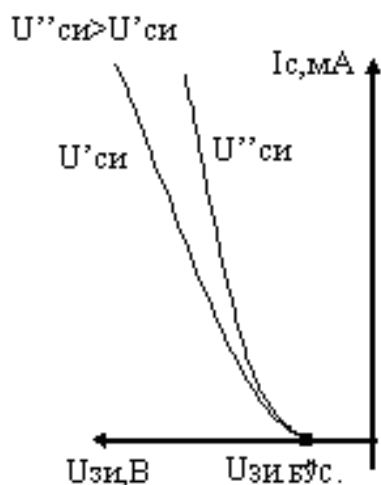
Tranzistor quyidagi chiqishlarga ega: istokdan – I, stokdan – S, zatvordan – Z va asos deb ataluvchi – A kristalldan.

Stok va istoklarning p^+ - sohaları $n -$ turdagi yarim o'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.

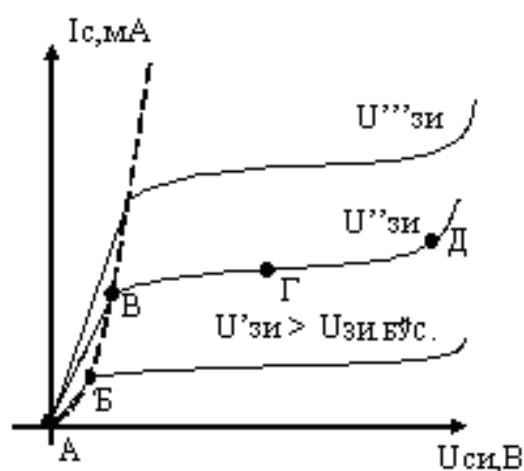


30 – rasm.

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. 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. $U_{3H} > U_0$ bo'lganda yuqori qatlam kovaklar bilan boyib boradi, bu esa kanal qarshiligini kamayishiga olib keladi. Bu vaqtda stok toki I_S ortadi. 31 – rasmda p – kanali induksiyalangan MDYa - tranzistorning stok – zatvor VAXsi keltirilgan.



31 – rasm.



32 – rasm.

32 – rasmda n - kanali induksiyalangan MDYa - tranzistorning chiqish (stok) xarakteristiklar oilasi keltirilgan. Zatvorga ma'lum kuchlanish berilganda $|U_{CH}|$ 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 $|U_{CH}|$ qiymatlarida tok o'zgarmas qiymatga intiladi. Tok ortishining to'xtashi stok yaqinidagi kanalning berkilishi bilan bog'liq.

3.6. Kanali qurilgan MDYa – tranzistor

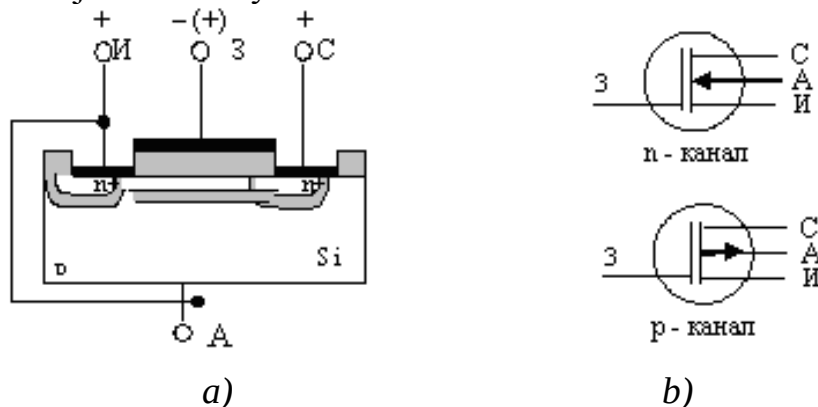
33 – rasmda n – turdagi kanali qurilgan MDYa tranzistor tuzilmasi (a) va uning shartli belgisi (b) keltirilgan.

Agar $U_{ZH} = 0$ 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 kuchlanish qancha katta bo'lsa, bu tok shuncha kichik bo'ladi. Tranzistorning bunday rejimi **kabag'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.

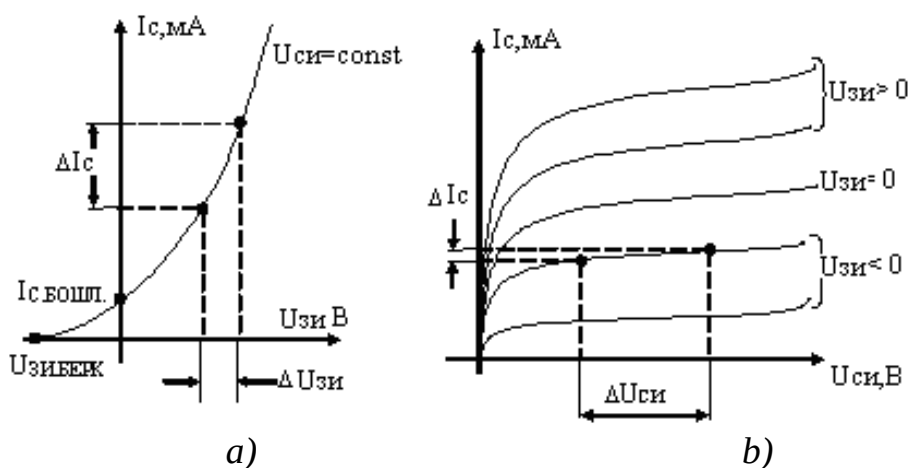
Ko'rib o'tilgan jarayonlar 34 a – rasmda keltirilgan statik stok – zatvor xarakteristikada: $U_{SI} = \text{const}$ bo'lgandagi $I_S = f(U_{ZI})$ bilan ifodalangan.

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



33 – rasm.

Boyish rejimida stok xarakteristikalari $U_{ZI} = 0$ da olingan boshlang'ich xarakteristikadan - yuqorida, kambag'allashish rejimida esa – pastda joylashadi (34 b- rasm).



34 – rasm.

S , R_i va μ statik differensial parametrlar xuddi p-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlardagi (3.14), (3.15) va (3.16) ifodalardan mos ravishda aniqlanadi.

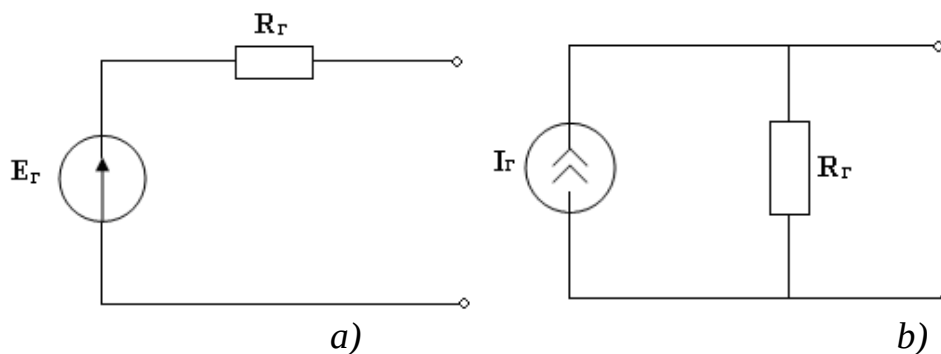
Xarakteristika tikligi va ichki qarshilik barcha turdagi maydoniy tranzistorlardagi kabi qiymatlarga ega bo'ladi. Kirish qarshiligi va elektrodlararo sig'imga kelsak, MDYa – tranzistorlar p-n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlardagiga nisbatan yaxshi ko'rsatkichlarga ega. R_{ZI} kirish qarshiligi bir necha darajaga yuqori bo'lib 10^{12} - 10^{15} Om ni tashkil etadi.

Elektrodlararo sig‘imlar qiymati S_{ZI} , S_{SI} lar uchun -10 pF dan, S_{ZS} uchun -2 pF dan ortmaydi. Bu ko‘rsatkichlar tranzistor inersiyasini belgilaydilar.

3.7. Keng polosali kuchaytirgichlar

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

Bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich 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 (35 *a*-rasm), yoki qarshilik R_G bilan parallel ulangan ideal tok manbai I_G ko‘rinishida (35 *b*-rasm) ifodalanishi mumkin.

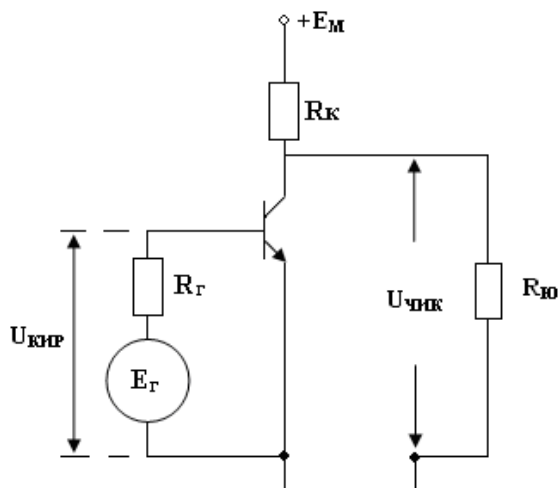


35 – rasm.

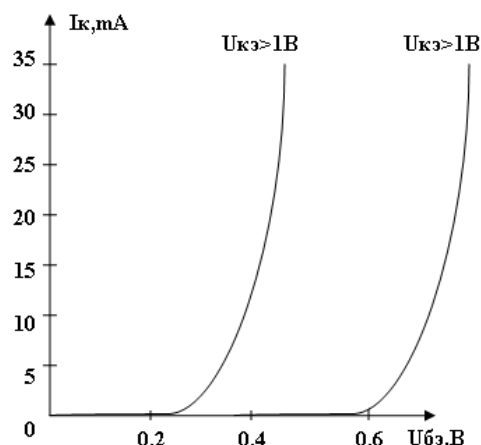
Agar R_G va kuchaytirgich bosqichining kirish qarshiligi qiymatlari bir – biriga yaqin bo‘lsa, signal manbaining turi hisoblash aniqligiga ta’sir ko‘rsatmaydi. Agar R_G kuchaytirgich bosqichining kirish qarshiligidan ancha katta bo‘lsa, 6.1 *b*-rasmda keltirgan signal manбайдan, aks holda esa 35 *a*-rasmda keltirgan signal manбайдan foydalanish tavsiya etiladi.

Umumiy emitter sxemada ulangan bipolyar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi sxemasi 36 – rasmda keltirilgan.

Sxemani tahlil qilganda, tranzistor holati kirish kuchlanishi bilan boshqarilganda uzatish xarakteristikasi (37-rasm), chiqish xarakteristikalar oilasi hamda kirish xarakteristikalar oilasidan foydalanish qulay.



36 – rasm.



37 – rasm.

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

$$I_K = I_{KS} \exp\left(\frac{U_{BE}}{\varphi_T}\right). \quad (3.16)$$

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

Kirish signali mavjud bo‘lmaganda kuchaytirgich bosqichi sokinlik rejimida bo‘ladi. Sokinlik rejimida kollektor – emittter kuchlanishining doimiy tashkil etuvchisi $U_{KЭ} = E_{II} - I_K R_K$.

Kirishga o‘zgaruvchan kirish signalining musbat yarim davri berilsa, baza toki ortadi va u kollektor toki o‘zgarishiga olib keladi. Bu holat uzatish xarakteristikasi (37-rasm) dan ko‘rinib turibdi. Kollektor toki I_K ning U_{BE} kuchlanishiga bog‘liq ravishda o‘zgarishi **xarakteristika tikligi** S bilan ifodalanadi:

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

Bu kattalikni (6.1) ifodadan foydalanib ham topish mumkin:

$$S = \frac{dI_K}{\varphi_T} \quad (3.17).$$

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

Kirish signali ta’siri natijasida R_K dagi kuchlanish ortadi, U_{KE} kuchlanish esa kamayadi, ya’ni manfiy yarim davrli chiqish signali shakllanadi. Demak, bunday kuchaytirgich bosqichi chiqish va kirish kuchlanish signallari orasida 180° ga faza siljishini amalga oshiradi. Kollektor toki I_k

$$\Delta I_K = S \Delta U_{BE} = S \Delta U_{KIP}.$$

kattalikka ortadi.

Chiqish kuchlanishi U_{ChIQ} esa

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

kattalikka kamayadi.

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

$$K_U = \frac{\Delta U_{qHK}}{\Delta U_{KHP}} = -S R_K \quad (3.18)$$

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

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

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

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

$$K_U = -S(R_K // r_{K\varnothing}) \quad (3.19).$$

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

$$r_{KHP} = r_{B\varnothing} = \frac{dU_{B\varnothing}}{dI_E} \quad U_{KE} = \text{const bo'lganda.}$$

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

$$r_{B\varnothing} = \frac{\beta}{S},$$

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

$$r_{B\varnothing} = \frac{\beta \varphi_T}{I_K} \quad (3.20).$$

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 koefitsientini hisoblayotganda hisobga olish kerak bo'ladi.

Yuklama qarshiligi R_{Yu} va chiqish qarshiligi r_{ChIQ} kuchaytirgich kuchaytirish koefitsientini $R_{YO} / (r_{qHK} + R_{YO})$ martaga kamaytiruvchi kuchlanish bo'luvchisini hosil qiladilar. Chiqish ichki qarshiligi $r_{qHK} = R_K // r_{K\varnothing}$. Natijada yuklamadagi kuchaytirish koefitsienti

$$K_{U_{IO}} = -S(R_K // r_{KЭ} // R_{IO}) \quad (3.21)$$

Kuchaytirish ko'effisienti temperatura o'zgarishiga bog'liq, chunki $S = \frac{dI_K}{\varphi_T}$.

Nihoyat, tok bo'yicha differensial kuchaytirish ko'effisienti quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi

$$\beta = \frac{dI_K}{dI_E} \quad U_{KE} = \text{const bo'lganda.}$$

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

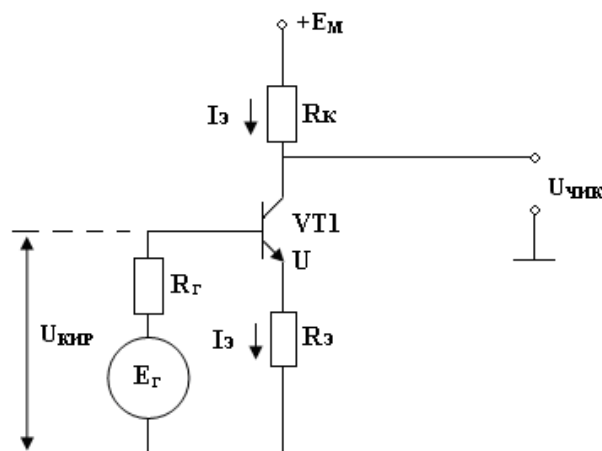
Nochiziqli buzilishlarni kamaytirish va kuchaytirish ko'effisientini temperaturaviy barqarorligini oshirish maqsadida kuchaytirgich bosqichiga manfiy teskari aloqa kiritiladi.

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

Teskari aloqaning mavjudligi qurilma chiqishdagi signalning, demak kuchaytirish ko'effisientining ham ortishi yoki kamayishiga olib kelishi mumkin. Birinchi holatda kirish signali fazasi bilan teskari aloqa signali fazalari bir – biriga mos keladi va ularning amplitudalari ko'shiladi – bunday teskari aloqa **musbat teskari aloqa** deb ataladi. Ikkinchi holatda esa fazalar teskari bo'lib, amplitudalar bir - biridan ayiriladi – bunday teskari aloqa **manfiy teskari aloqa** deb ataladi.

Kuchaytirgichlarda faqat manfiy teskari aloqa (MTA) qo'llaniladi. MTA ning kiritilishi signal kuchayishini kamaytiradi, lekin parametrlarning barqarorligi ortadi va nochiziqli buzilishlar kamayadi.

38 – rasmda manfiy teskari aloqali bir bosqichli kuchaytirgich sxemasi keltirilgan.



38 – 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: $U_{\varnothing} = I_{\varnothing} R_{\varnothing}$, chunki baza-emitter o'tishida kuchlanish kirish kuchlanishiga nisbatan kichik bo'ladi $U_{E\varnothing} = U_{KHP} - U_{\varnothing}$.

Kirish va R_E rezistordagi kuchlanishlarning o'zgarishi bir - biriga teng deb hisoblash mumkin, ya'ni baza-emitter kuchlanishi o'zarishi $\Delta U_{E\varnothing}$ ni hisobga olmasa ham bo'ladi.

R_E orqali oqib o'tayotgan tok R_K dan ham oqib o'tadi, demak, bu tokning o'zgarishi kolektordagi rezistorda emitterdagi rezistordagiga nisbatan $R_K / R_{\varnothing}$ marta katta kuchlanish ortishiga olib keladi

Agar $\Delta U_{\varnothing} = \Delta U_{KHP}$ ni inobatga olsak

$$K_U = \frac{\Delta U_{KHP}}{\Delta U_{KHP}} = -\frac{R_K}{R_{\varnothing}}.$$

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 koefitsienti kam miqdorda bo'lsa ham tok qiymatiga bog'liq bo'ladi

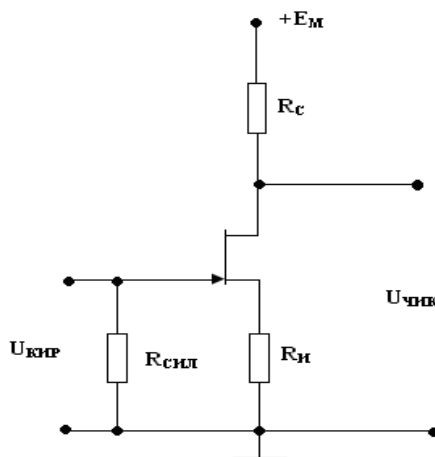
$$K_U = -\frac{SR_K}{1 + SR_{\varnothing}}.$$

Kuchaytirgich kirish qarshiligi qiymati $r_{KHP} = r_{E\varnothing} + \beta R_{\varnothing}$ MTA hisobiga ortadi. Chiqish qarshiligi esa manfiy teskari aloqa hisobiga sekin ortadi va R_K qiymatiga intiladi.

Maydoniy tranzistorlarda yasalgan kuchaytirgichlar. Maydoniy tranzistorlardan kuchaytirgich yasashda umumiy istok (UI) sxemada ulangan maydoniy tranzistorlar keng qo'llaniladi. 39 -rasmda $n - kanalli$ $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi keltirilgan. $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorda stok va zatvorga berilayotgan kuchlanish ishoralari (qutblari) bir - biriga teskari bo'lishi kerak. Shu sababli o'zgarimas tok bo'yicha rejim hosil qilish uchun R_I rezistor kiritiladi va u ketma-ket MTAni hosil qiladi. Bundan tashqari, kuchaytirgich parallel kirishlariga R_{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 VAXsidan aniqlanadi. VAXdan U_{ZIO} ni aniqlab R_I ni quyidagi ifodadan qiynalmas aniqlash mumkin:

$$U_{ZIO} = -I_{C0} R_I$$



39 – rasm.

Kirishga oʻzgaruvchan signalning musbat yarim davri U_{KIR} berilganda chiqishda teskari fazadagi signal U_{CHI} hosil boʻladi, yaʼni UI sxemadagi kuchaytirgich bosqichi kirish signalini inverslaydi. Kuchlanish boʻyicha kuchaytirish koeffisienti quyidagiga teng

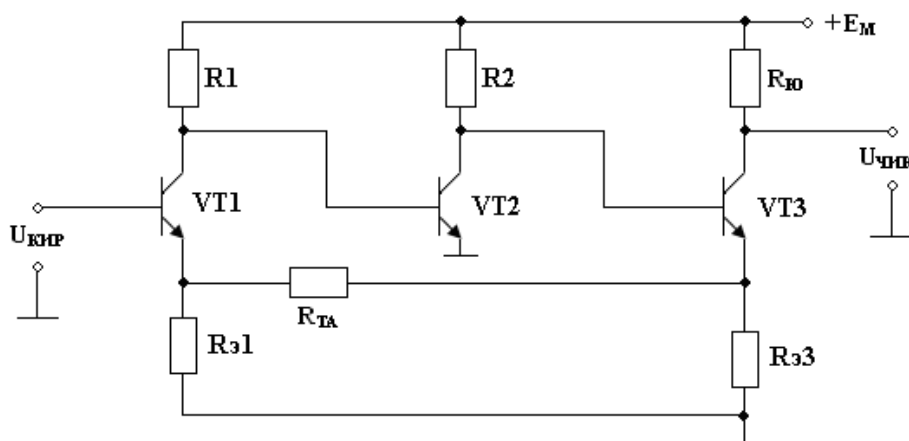
$$K_U = \frac{\Delta U_{CHI}}{\Delta U_{KIR}} = \frac{\Delta U_{CH}}{\Delta U_{KH}} = -\frac{S r_C \cdot R_C}{r_C + R_C} = -\frac{\mu_n \cdot R_C}{r_C + R_C}$$

“Manfiy” ishora UIli sxema signalni inverslashini bildiradi. Amaliyotda $r_C \geq R_C$, shu sababli kuchaytirish koeffisientini quyidagi koʻrinishda ifodalash mumkin

$$K_U = -S \cdot R_C$$

UI sxemadagi real kuchaytirgich bosqichlarida $K_U = 3 \div 50$, $R_{KIR} \cong R_{SIL}$, $R_{CHI} \cong R_S$.

Koʻp bosqichli kuchaytirgichlar. Kuchaytirgich parametrlarining yaxshi barqarorligini taʼminlab beruvchi manfiy teskari aloqa kuchaytirish koeffisientini keskin kamaytiradi. Katta K_U qiymatini olish uchun keng polosali koʻp bosqichli kuchaytirgichlar qoʻllaniladi. 6.6 – rasmda ketma - ket – parallel teskari aloqali uch bosqichli kuchaytirgich prinsipial sxemasi keltirilgan. Birinchi UE bosqich VT1 tranzistorda bajarilgan, unda tok boʻyicha mahalliy ketma –ket MTA mavjud boʻlib, u R_{E1} da bajarilgan. Ikkinchi bosqich VT2 tranzistorda bajarilgan. Uchinchi bosqich VT3 tranzistorda bajarilgan boʻlib, R_{E3} rezistor mahalliy MTAni amalga oshiradi.



40 – rasm.

Mahalliy MTAdan tashqari kuchaytirgichda umumiy teskari aloqa qoʻllanilgan. U kuchaytirgich bosqich chiqishini VT1 tranzistor emitteri bilan bogʻlovchi R_{TA} rezistor zanjirida bajarilgan. Mahalliy (bosqichlar ichidagi) teskari aloqalarga nisbatan butun kuchaytirgichni qamrab oladigan teskari aloqa, yanada yuqori barqarorlikni hamda alohida bosqichlarni kuchaytirish koeffitsienti ogʻishiga sezgirlikni kamayishini taʼminlaydi. 40 – sxema integral kuchaytirgich yasashda asos hisoblanadi.

Lekin teskari aloqali asosiy uch bosqichli kuchaytirgichdan tashqari, integral kuchaytirgich sxemasi kichik chiqish qarshiligini taʼminlash uchun va kuchaytirgichda qoʻshimcha keng polosalik, chidamlilik, temperaturaviy barqarorlik va oʻzidan oldingi chiqish bosqichi kuchlanishi oʻzgarmas tashkil etuvchisini keyingi bosqich kirish kuchlanishi oʻzgarmas tashkil etuvchisi bilan muvofiqlashni taʼminlash uchun chiqish bosqichi sifatida emitter qaytargichga ega boʻladi. Gap shundaki, turli katta sigʻimlarga ega boʻlgan kondensatorlarning mavjud emasligi tufayli barcha bosqichlar oʻzgarmas tok boʻyicha oʻzaro bogʻlangan.

Analog integral sxemalarning chiqish bosqichlari(quvvat kuchaytirgichlari). Chiqish bosqichlarining vazifasi – signalning berilgan (yetarlicha katta) quvvatini buzilishlarsiz past omli yuklamaga uzatishni taʼminlash. Odatda koʻp bosqichli kuchaytirgichlarda ular chiqish bosqichlari hisoblanadilar. Kuchlanish boʻyicha kuchaytirish koeffitsienti chiqish bosqichlari uchun ikkinchi darajali parametr hisoblanadi. Shu sababli asosiy parametrlar boʻlib quyidagilar hisoblanadi: foydali ish koeffitsienti η va noxiziqli buzilishlar koeffitsienti K_G .

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

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} U_{\text{ЧНК}m} I_{\text{ЧНК}m}}{E_M I_{\text{ЭПТ}}}, \quad (3.22)$$

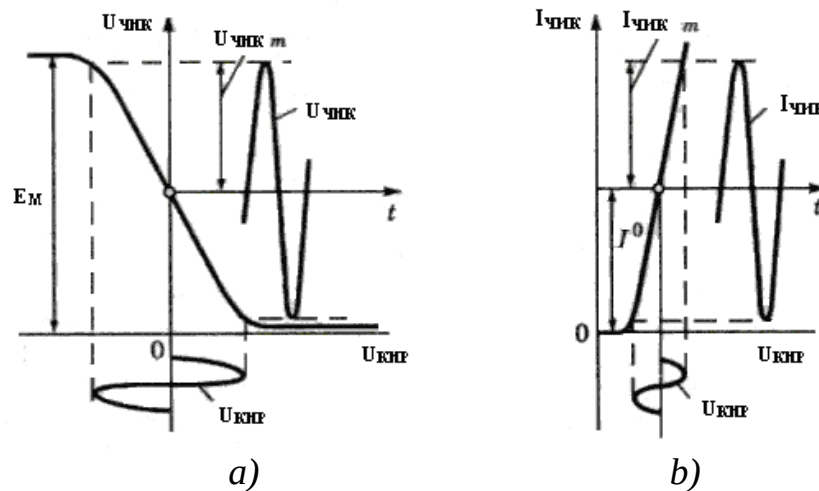
bu yerda $I_{chiq.m}$, $U_{chiq.m}$ – chiqish kattaliklar amplitudasi, Y_{eM} – kuchlanish manbai, $I_{O'RT}$ – o'rtacha tok.

Nochiziqli buzilishlar koeffitsienti chiqish signali shaklining kirish signali shaklidan farqini ifodalaydi. Bu farq bosqichning uzatish xarakteristikasining nochiziqligi sababli yuzaga keladi. Kuchaytirgich bosqichi uzatish xarakteristikalarini 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, V, AV va boshqa kuchaytirish sinflari** mavjud.

A rejimda sokinlik rejimida ishchi nuqta uzatish xarakteristikasi kvazichiziqli soha o'rtasida joylashadi (41 - rasm).



41 - 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

$U_{chiQ.m} = \frac{1}{2} E_M$; $I_{chiQ.m} = I_{\check{y}PT}$ bo'lsa, u holda (3.22)ni o'rniga qo'yib, quyidagini olamiz

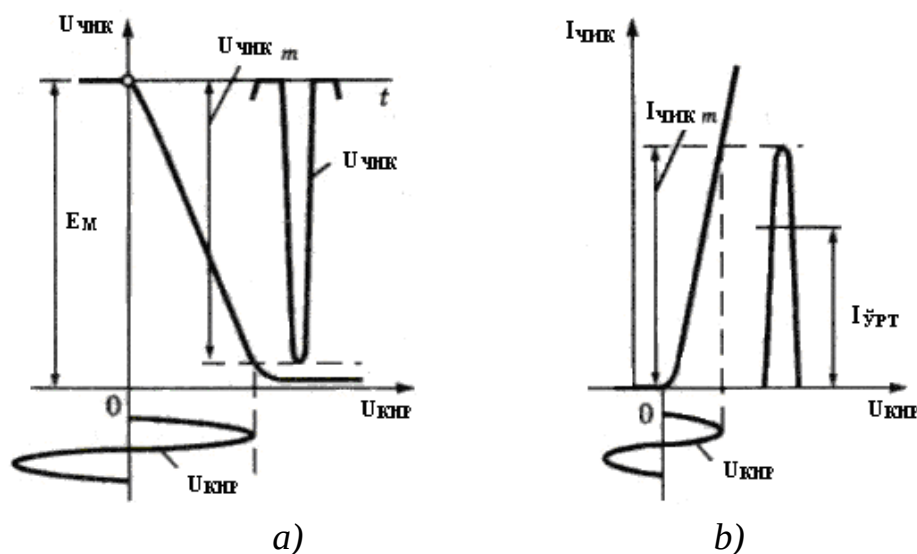
$$\eta = \frac{1}{4}, \text{ (ya'ni 25 \%)}.$$

V rejimda sokinlik rejimidagi ishchi nuqta tranzistorning berk holatiga mos keluvchi kvazichiziqli soha chegarasida joylashadi. Tranzistor faqat musbat yarim davr mobaynida ochiq holatda bo'ladi (42 – rasm).

V rejimda K_G 70 % atrofida bo'ladi. (3.22) ifodaga Y_{eM} va $I_{\check{y}PT} = \frac{2}{\pi} I_{chiQ.m}$ larni qo'yib, quyidagini hosil qilamiz

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

V rejimda nohiziqli buzilishlarni kamaytirish maqsadida musbat yarim davrni, ikkinchisi – manfiy yarim davrni kuchaytiradigan, ikkita kuchaytirgichdan tashkil topgan **ikki taktli sxema** qo‘llaniladi.



42 – rasm.

AV sinfi A va V 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 koefficient A sinfiga nisbatan yuqori, $K_G \leq 3\%$ bo‘ladi.

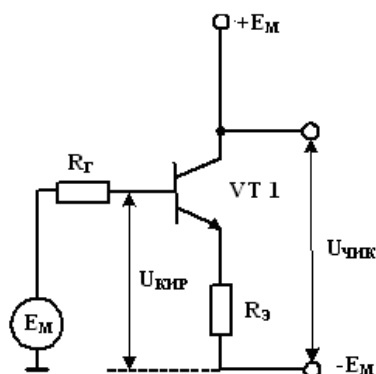
Emitter qaytargich. Kuchlanish bo‘yicha kuchaytirish koeffisienti birga yaqin bo‘lgan, kirish signal qutbini o‘zgartirmaydigan va katta kirish va kichik chiqish differensial qarshilikka ega bo‘lgan kuchaytirgichlar – **qaytargich** deb ataladi.

Emitter qaytargich klassik sxemasi 43 – rasmda keltirilgan. Tranzistorga o‘zgarmas kirish kuchlanishi berilganda (A rejim), emitter zanjirida R_E rezistorda kuchlanish pasayishini yuzaga keltiruvchi o‘zgarmas tok oqib o‘tadi. Chiqish kuchlanish Uchiq shunday o‘rnatiladiki, baza – emitter kuchlanishi

$$U_{E\varnothing} = \varphi_T \ln \frac{I_{\varnothing}}{I_{KS}} \text{ ga teng bo‘lsin.}$$

Ukir kirish signali ΔU_{KHP} kattalikka ortadi (kamayadi) va emitter tokini ortishiga (kamayishiga) olib keladi. Natijada U_{ChIQ} chiqish kuchlanishi $\Delta U_{\text{ЧHK}} = \Delta I_{\varnothing} R_{\varnothing}$ qiymatga ortadi (kamayadi). Bu vaqtda chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishi kabi ortadi, kuchlanish bo‘yicha kuchaytirish koeffisienti esa quyidagiga teng bo‘ladi

$$K_U = \frac{\Delta U_{\text{ЧHK}}}{\Delta U_{KHP}} \approx 1.$$



43 – rasm.

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

$$r_{кир} = (\beta + 1)R_э.$$

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

$$r_{чик} = \frac{R_T}{\beta + 1} // R_э.$$

Emitter – baza soha qarshiligini ham hisobga olsak, u holda

$$r_{чик} = \left(\frac{1}{S} + \frac{R_T}{\beta + 1} \right) // R_э.$$

Mikroelektronikada FIK juda kichik bo'lganligi sababli A sinfi qo'llanilmaydi. V va AV sinfiga mansub ikki taktli kuchaytirigichlar ancha ommabop hisoblanadi. Va biz ularni o'rganishga o'tamiz.

IV BOB. INTEGRAL MIKROXEMALAR

4.1. Umumiy ma'lumotlar

Integral mikrosxemalar elektr asboblarning sifat darajasidagi yangi turi bo'lib elektron qurilmalarning asosiy negiz elementi hisoblanadilar.

Integral mikrosxema (IMS) elektr jihatdan o'zaro bog'langan elektr radiomateriallar (tranzistorlar, diodlar, rezistorlar, kondensatorlar va boshqalar) majmui bo'lib, yagona texnologik siklda bajariladi, ya'ni bir vatqning o'zida yagona konstruktsiya (asos)da ma'lum axborotni qayta ishlash funksiyasini bajaradi.

IMSlarning asosiy xossasi shundaki, u murakkab funksiyalarni bajarish bilan birga kuchaytirgich, trigger, hisoblagich, xotira qurilmasi va boshqa funksiyalarni ham bajaradi. Xuddi shu funksiyalarni bajarish uchun diskret elementlarda mos keluvchi sxemani yig'ish talab qilinardi.

IMSlar uchun ikki asosiy belgi mavjud: **konstruktiv** va **texnologik**. Konstruktiv belgisi shundaki, IMSning barcha elementlari asosiy asos ichida yoki sirtida joylashadi, elektr jihatdan birlashtirilgan va yagona qobiqqa joylashtirilgan bo'lib, yagona hisoblanadi. IMS elementlarining hammasi yoki bir qismi va elementlararo bog'lanishlar yagona texnologik siklda bajariladi. Shu sababli integral mikrosxemalar yuqori ishonchlilikka va kichik tannarxga ega.

Hozirgi kunda yasash turi va hosil bo'ladigan tuzilmaga ko'ra IMSlarning uchta prinsipial turi mavjud: **yarim o'tkazgichli**, **pardali** va **gibrid**. Har bir IMS turi konstruktsiyasi, mikrosxema tarkibiga kiradigan element va komponentlar sonini ifodalovchi integratsiya darajasi bilan xarakterlanadi.

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

IMS komponentasi deb uning diskret element funksiyasini bajaradigan, lekin avvaliga mustaqil mahsulot kabi montaj qilinadigan qismiga aytiladi.

Asosiy IMS konstruktiv belgilaridan biri bo'lib **asos turi** hisoblanadi. Bu belgiga ko'ra IMSlar ikki turga bo'linadi: **yarim o'tkazgichli** va **dielektrik**.

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

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

4.2. Pardali va gibril mikrosxemalar

Pardali IS – bu dielektrik asos sirtiga surtilgan elementlari parda ko‘rinishida bajarilgan mikrosxema. Pardalar past bosimda turli materiallardan yupqa paradalar ko‘rinishida cho‘kmalar hosil qilish yo‘li bilan olinadi.

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

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

Gibril IS (yoki GIS) – bu pardali passiv elementlar bilan diskret aktiv elementlar kombinatsiyasidan tashkil topgan, yagona dielektrik asosda joylashgan mikrosxema. Diskret komponentlarni osma elementlar deb atashadi. Qobiqsiz yoki mikrominiatyur metall qobiqli mikrosxemalar gibril IMSlar uchun aktiv elementlar bo‘lib hisoblanadilar.

Gibril integral mikrosxemalarning asosiy afzalligi: nisbatan qisqa ishlab chiqish vaqtida analog va raqamli mikrosxemalarning keng turlarini yaratish imkoniyati; keng nomentkaluturaga ega bo‘lgan passiv elementlar hosil qilish imkoniyati; MDYa – asboblari, diodli va tranzistorli matrisalar va yuqori yaroqli mikrosxemalar chiqishi.

4.3. Yarim o‘tkazgichli IMSlar

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

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

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

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

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

Diodlar. Diodlar bitta $p-n$ o'tishga ega. Lekin bipolyar tranzistorli IMSlarda asosiy tuzilma sifatida tranzistor tanlangan, shuning uchun diodlar tranzistorning diod ulanishi yordamida hosil qilinadi. Bunday ulanishlarning beshta varianti mavjud. Agar diod yasash uchun emitter – baza o'tishdagi $p-n$ o'tish qo'llanilsa, u holda kollektor – baza o'tishdagi $p-n$ o'tish uziq bo'lishi kerak.

Rezistorlar. Bipolyar tranzistorli IMSlarda rezistor hosil qilish uchun bipolyar tranzistor tuzilmasining biror sohasi: emitter, kollektor yoki baza qo'llaniladi. Emitter sohalari asosida kichik qarshilikka ega bo'lgan rezistorlar hosil qilinadi. Baza qatlami asosida bajarilgan rezistorlarda ancha katta qarshiliklar olinadi.

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

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

Bipolyar va MDYa IMSlar **planar** yoki **planar – epitaksial** texnologiyada yasaladi.

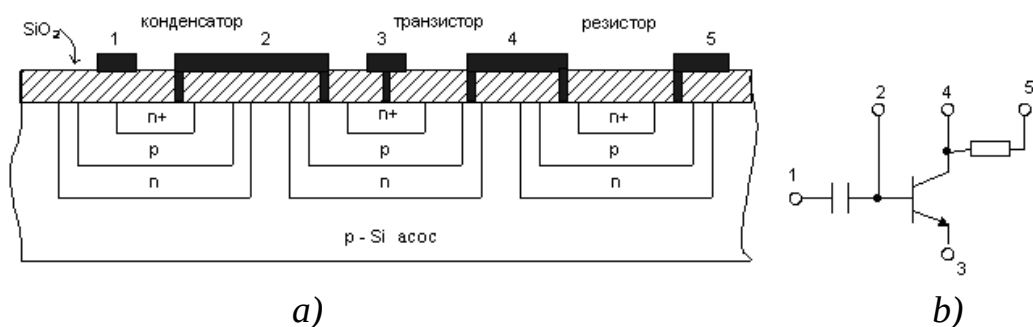
Planar texnologiyada $n-p-n$ tranzistor tuzilmasini yasashda p -turdagi yarim o'tkazgichli plastinaning alohida sohaslariga teshiklari mavjud bo'lgan maxsus maskalar orqali mahalliy legirlash amalga oshiriladi. Maska rolini plastina sirtini egallovchi kremniy ikki oksidi SiO_2 o'ynaydi. Bu pardada maxsus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

Planar texnologiyada yasalgan yarim o'tkazgichli bipolyar tuzilmali IMS namunasi va uning ekvivalent elektr sxemasi 44 *a, b* - rasmda keltirilgan.

Diametri 76 mmli yagona asosda bir varakayiga usulda bir vaqtning o'zida har biri 10 tadan 2000 ta element (tranzistorlar, rezistorlar, kondensatorlar)dan

tashkil topgan 5000 mikrosxema yaratish mumkin. Diametri 120 mm bo'lgan plastinada o'nlab milliontagacha element joylashtirish mumkin.

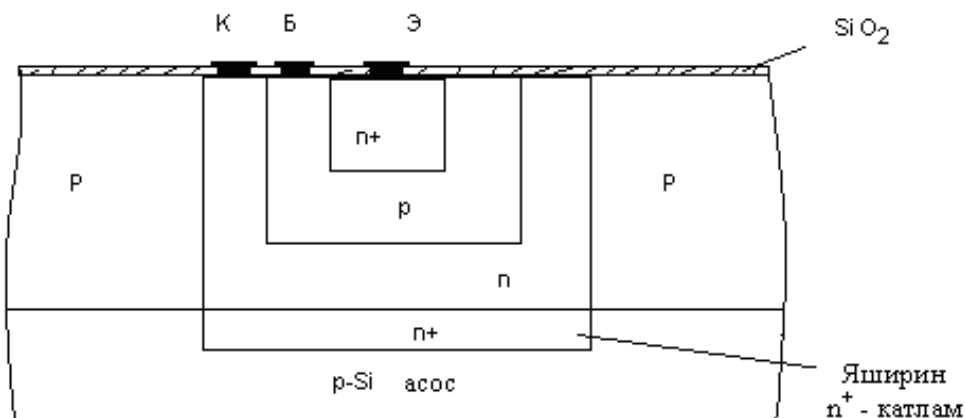
Zamonaviy IMSlar qotishmali planar – epitaksial texnologiyada yasaladi. Bu texnologiya planar texnologiyadan shunisi bilan farq qiladiki, barcha elementlar p–turdagi asosda o'stirilgan n –turdagi kremniy qatlamida hosil qilinadi. Epitaksiya deb kristall tuzilmasi asosnikidan bo'lgan qatlam o'stirishga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



44 – rasm.

Planar – epitaksial texnologiyada yasalgan tranzistorlar ancha tejamli, hamda planarliga nisbatan yaxshilangan parametr va xarakteristikalariga ega.

Buning uchun asosga epitaksiyadan avval n^+ - qatlam kiritiladi (45 - rasm). Bu holda tranzistor orqali tok kollektordagi yuqoriomli rezitordan emas, balki kichikomli n^+ - qatlam orqali oqib o'tadi.



45 – rasm.

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

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

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

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

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

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

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

V BOB. KUCHAYTIRGICH QURILMALARI SXEMOTEXNIKASI

5.1. Kuchaytirgich parametrlari va xarakteristikallari

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

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

Kuchaytirgich xossalari ifodalash maqsadida kuchlanish bo'yicha $K_U = \frac{U_{qHK}}{U_{KHP}}$, tok bo'yicha $K_I = \frac{I_{qHK}}{I_{KHP}}$ yoki quvvat bo'yicha $K_P = \frac{P_{qHK}}{P_{KHP}}$ kuchaytirish koefitsientlari qo'llaniladi. Kuchaytirgichlar turli kuchaytirish koefitsienti qiymatlariga ega bo'lishi mumkin, lekin doim $K_P > 1$ bo'ladi.

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefitsienti desibellarda (dB) $K_U = 20 \lg \frac{U_{qHK}}{U_{KHP}} = 20 \lg K_U$ ga teng. Agar ko'p bosqichli kuchaytirgichning kuchaytirish koefitsienti desibellarda ifodalansa, u holda ko'p bosqichli kuchaytirgichning umumiy kuchaytirish bosqich kuchaytirish koefitsientlari yig'indisiga teng bo'ladi.

3-jadval

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

Kuchaytirgich o'zining kirish R_{KHP} va chiqish R_{qHK} qarshiliklari bilan, kirish signali manbai – EYuK Yeg esa ichki qarshilik R_r bilan xarakterlanadi.

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

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

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

R_{qHK} va kuchaytirgich yuklama qarshiligi R_{YO} qiymatlari nisbatlarini kuchlanish kuchaytirgichi ($R_{qHK} \ll R_{YO}$), tok kuchaytirgichi ($R_{qHK} \gg R_{YO}$) va quvvat kuchaytirgichi ($R_{qHK} \approx R_{YO}$) ga ajratish mumkin.

Bundan tashqari, o'zgarmas tok kuchaytirgichi parametri bo'lib nol dreyfi hisoblanadi. Nol dreyfi bu barqarorlikni buzuvchi ta'sirlar (kuchlanish manbai qiymatining tebranishi, temperatura va boshqalar) natijasida kuchaytirgich elementlari ish rejimlarining o'zgarishi bo'lib, natijada kuchaytirgich chiqishida soxta signal yuzaga keladi.

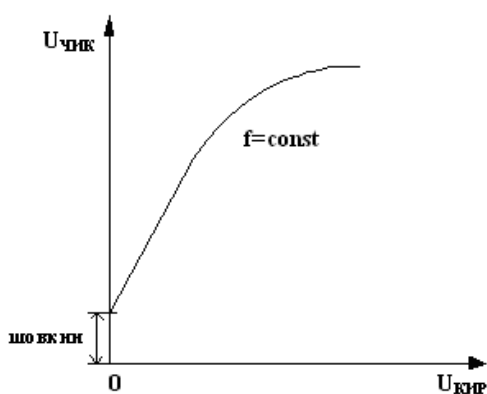
Kuchaytirgich odatda signalni kuchaytirishdan tashqari uning shaklini ham o'zgartiradi. Kirish va chiqish signallari shaklining normadan og'ishi – **buzilishlar** deb ataladi. Ular ikki turda bo'lishi mumkin: nochiqli va chiziqli.

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

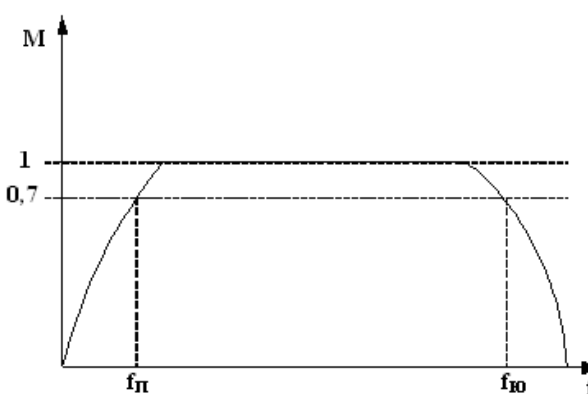
Agar kuchaytirgich uzatish xarakteristikasi matematik funksiya ko'rinishida ifodalangan bo'lsa, nochiqli buzilishlarni analitik usulda hisoblash mumkin. Uzatish xarakteristikasi (46 - rasm) deganda o'zgaras chastotadagi chiqish signali amplitudasi U_{CHK} ning kirish signali amplitudasi U_{KHP} ga bog'liqligi tushuniladi. Nochiqli buzilishlar koeffisienti 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 koeffisientining chastotaga bog'liqligi tushuniladi. Ideal AChX gorizontaal chiziq hisoblanadi. Real AChX esa kamayuvchi sohalarga ega bo'ladi. 47 – rasmda normallashtirilgan AChX $M(f) = \frac{K(f)}{K_0}$ keltirilgan. Bu yerda K_0 – nominal

kuchaytirish koeffisienti, ya'ni kuchaytirish koeffisienti o'zgaras bo'lgan chastota sohalari. Odatda chastota buzilishlarining ruxsat etilgan koeffisient kattaligi 3 dB dan oshmaydi. $\Delta f = f_{10} - f_{11}$ kattaligi **kuchaytirgichning o'tkazish polosasi** deyiladi.



46 – rasm.



47 – rasm.

O'zgaras tok kuchaytirgichlari deb tok va kuchlanishning nafaqat o'zgaruvchan, balki o'zgaras tashkil etuvchilarini ham kuchaytirishga mo'ljallangan qurilmalarga aytiladi. Bunday kuchaytirgichlarning past chastotasi nolga teng ($f_{11}=0$), yuqori chastotasi esa juda katta (f_{10} - bir necha o'n MGs)

bo‘ladi. O‘zgaras tok kuchaytirgichlarining turlari ko‘p (differensial, operasion kuchaytirgichlar, signal o‘zgartiruvchi kuchaytirgichlar va boshqalar).

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

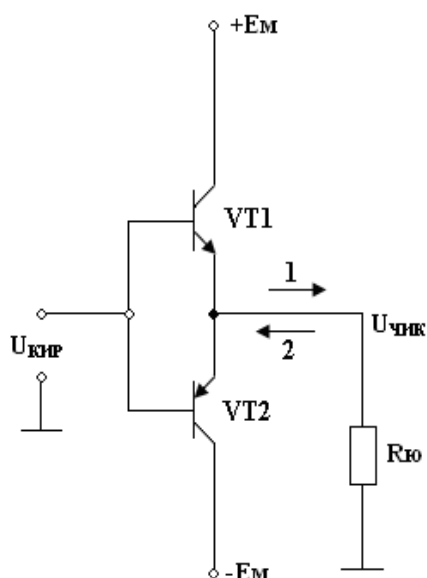
Tanlov kuchaytirgichlari (filtrlar) deb berilayotgan signallar majmuidan ma‘lum chastota spektridagi sinusoidal shaklga ega bo‘lganlarini tanlab, ularni kuchaytiradigan kuchaytirgichlarga aytiladi. Tanlov kuchaytirgichlari maxsus shakldagi AChX ga egadirlar.

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

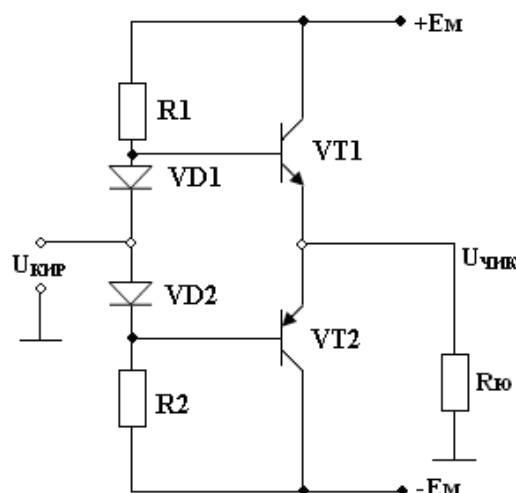
5.2. Komplementar emitter qaytargich

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

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



48 – rasm.



49 – rasm.

Lekin, V turli kuchaytirgich bo'la turib, sxema katta noxiziqli buzilishlar ko'efficientiga ega ($K_G > 10\%$). Bu kamchilikni bartaraf etish maqsadida kuchaytirgich murakkablashtiriladi. $R1$ va $R2$ rezistorlar, hamda $VD1$ va $VD2$ diodlar yordamida tranzistor bazalariga individual siljish kiritiladi (49 - rasm). Natijada dastlabki ishchi nuqta ikkala tranzistor ozgina ochiq holatdagi (AV rejim) sohada joylashadi, lekin ulardan A turli kuchaytirgichlardagiga nisbatan ancha kichik tok oqib o'tadi.

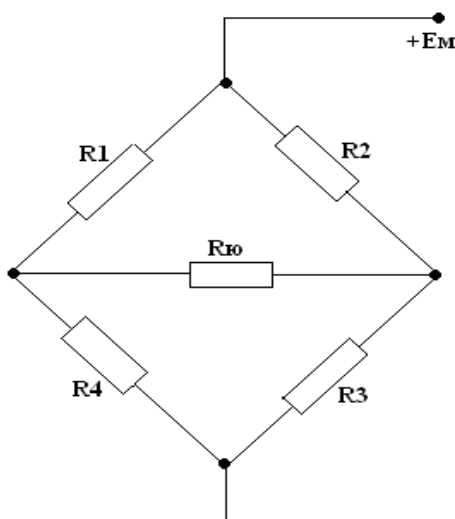
5.3. Balans sxemalari asosidagi kuchaytirgichlar

Yakka kuchaytirgich bosqichlarini manfiy teskari zanjiri orqali bosqichlash yo'li bilan keng polosali kuchaytirgichlarni integral usulda yasashda yaxshilash mumkin.

Bir vaqtning o'zida balans sxemalar asosida qurilgan kuchaytirgichlarda xarakteristikalar sezilarli yaxshilanishi kuzatiladi.

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

Balans sxema ishlash prinsipini to'rt yelkali ko'priks sxema misolida tushuntirish mumkin (50 - rasm).



50 - rasm

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

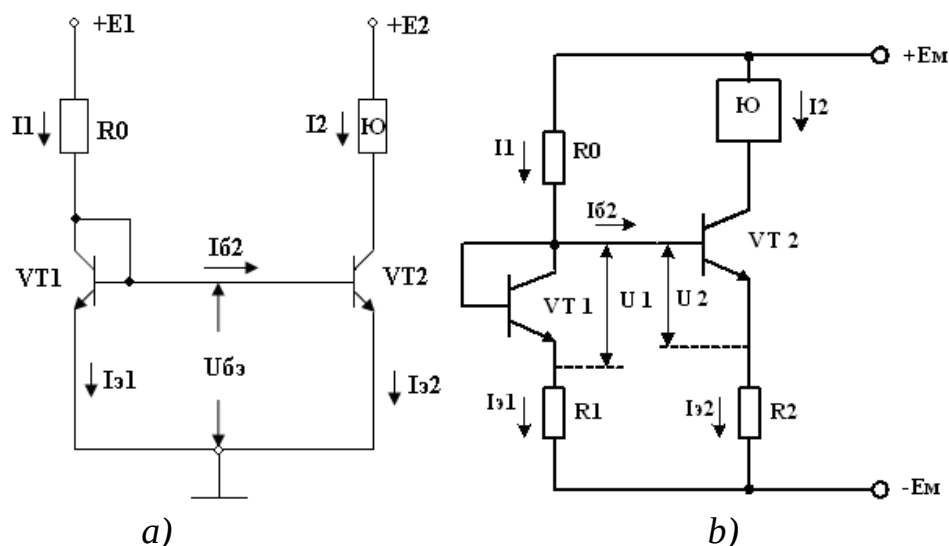
Bitta tranzistorda bajarilgan kuchaytirgich bosqichlarida kollektor (emitter) yuklamalarida signalga bog‘liq bo‘lmagan kuchlanish ajraladi. Bu kuchlanish manba qiymati o‘zgarsa, qizish natijasida tranzistor toklari qiymatlari o‘zgarsa va boshqa ta’sirlar natijasida o‘zgaradi va bu bilan kuchaytirish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

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

5.4. 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.

51 a - rasmda BTG prinsipial sxemasi keltirilgan.



51 – rasm.

Bu yerda Y_u elementi noxhiziqli yuklama, Y_{e1} – barqarorlangan kuchlanish manbaini bildiradi. Rezistor R_0 , hamda diod ulanish sxemasidagi VT1 tranzistor VT2 tranzistor sokinlik rejimini ta'minlash va barqarorlash uchun hizmat qiladi.

VT2 uchun ishchi nuqta uning chiqish xarakteristikasining **pologoy** 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, Y_{e2} kuchlanish yoki yuklamadagi qarshilik qiymatlari o'zgarsa ham bu tok qiymati deyarli o'zgarmas qoladi.

Kirish toki I_1 ni o'zgartirib, chiqish toki I_2 ni boshqarish mumkin. Buning uchun tranzistorlarning emitter zanjirlariga R_1 va R_2 rezistorlar ulanadi. Bunday qurilma **aktiv tok transformatori** deb ataladi (51 b - rasm). 51 b – rasmdan quyidagi tengsizlik kelib chiqadi:

$$U_1 + I_{\Theta 1} R_1 = U_2 + I_{\Theta 2} R_2$$

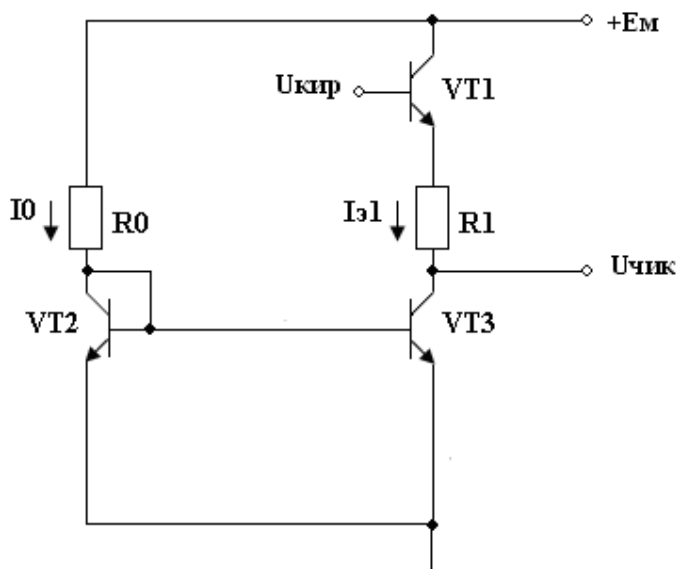
Agar R_1 va R_2 qarshiliklar nominallari bilan farq qilsalar, u holda I_2 tok I_1 tokni yoki “kattalashgan” yoki “kichraygan” masshtabda “aks ettirishi” mumkin.

5.5. O'zgaras 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'zgaras kuchlanish sathini siljitish qurilmalari qo'llaniladi. Ular sath transformatorlari deb ham ataladilar. Bu vaqtda sath siljitish qurilmasi signal

o'zgaras tashkil etuvchisini keyingi bosqichga o'zgarishsiz uzatishi kerak, ya'ni kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffisienti $K_U \approx 1$ bo'lishi kerak.

Operation kuchaytirgichlarda U_{chik} sathini siljitish VT1 tranzistorda bajarilgan emitter qaytargich asosida amalga oshiriladi. Uning emitter zanjiriga $R1$ rezistor va VT2 hamda VT3 tranzistorlarda bajarilgan barqaror tok generatorlari ulanadi (52 - rasm). Signal mavjud bo'maganda U_{KHP} kirish potentsiali oldingi bosqich chiqish kuchlanishining o'zgaras tashkil etuvchisi qiymatiga teng bo'ladi. U_{chik} chiqish potentsiali siljitish sxemasi hisobiga $\Delta U = U_{\text{E31}} + I_{\text{31}} R1$ kattalikka kamayadi. I_{E1} tok barqaror bo'lganligi sababli ΔU siljish kuchlanishi ham o'zgaras bo'ladi. Ixtiyoriy U_{KHP} qiymatida U_{chik} chiqish potentsiali $\frac{R1}{R0}$ nisbatlarni to'g'ri tanlash natijasida nolga teng qilinishi mumkin. BTG dinamik chiqish qarshiligi $R1$ dan ancha katta bo'lganligi sababli, siljish sxemasida signal deyarli so'nmaydi.

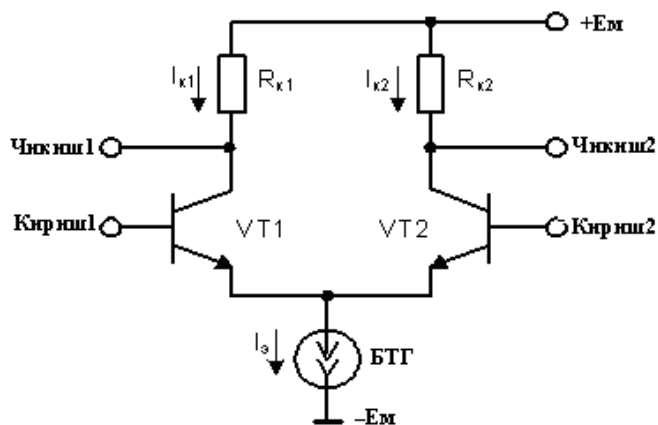


52 – rasm.

5.6. Differensial kuchaytirgichlar

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

53 – 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.



53 – rasm.

Mazkur sxema 50 – rasmdagi sxemaga aynan oʻxshashligini 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 boʻlsa va VT1 tranzistor parametrlari VT2 niki bilan bir xil boʻlsa, u holda bu sxema simmetrik boʻladi.

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

Shuni taʼkidlash kerakki, DK kuchlanishlari qiymati (moduli boʻyicha) bir – biriga teng boʻlgan ikkita manbadan taʼminlanadi. Ikki qutbli manbadan taʼminlanish sokinlik rejimida umumiy shinagacha tranzistor baza potentsiallarini kamaytirishga imkon beradi. Bu holat DK kirishlariga signallarni qoʻshimcha sath siljitish qurilmalarini kiritmasdan uzatishga imkon yaratadi.

Ikkala yelka ideal simmetrikligida kirish signallari mavjud boʻlmaganda ($U_{KHP1} = 0$, $U_{KHP2} = 0$) kollektor toklari va tranzistorlarning kollektor potentsiallari bir xil boʻladilar, chiqish kuchlanishi esa $U_{CHK1,2} = 0$. Sxema simmetrik boʻlganligi sababli, tranzistor xarakteristikasining sabablarga bogʻliq boʻlmagan ravishda ixtiyoriy oʻzgarishi, ikkala yelka toklarinig bir xil oʻzgarishiga olib keladi. Shu sababli sxema balans buzilmaydi va **chiqish kuchlanishi dreyfi** deyarli nolga teng boʻladi.

DK ikkala kirishiga fazasi va amplitudalari bir xil boʻlgan signal (sinfaz signal) berilsa $U_{KHP1} = U_{KHP2}$, yelkalarining simmetrikligi va BTGning mavjudligi tufayli kollektor toklari oʻzgarmaydi va ular oʻzgarishsiz va bir - biriga tengligicha qoladi.

$$I_{K1} = I_{K2} = 0,5\alpha I_3$$

bu yerda α - emitter tokining uzatish koeffisienti.

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

Agar kirish signallari amplitudasi bo'yicha bir xil, lekin fazalari qarama – qarshi bo'lsa, u holda ular **differensial** deb ataladi. Differensial signal ta'siri natijasida bir yelkadagi tok ikkinchi yelkadagi tok kamayishi hisobiga ortadi $\Delta I_{\text{Э1}} = -\Delta I_{\text{Э2}}$, chunki toklar yig'indisi doim $I_{\text{Э}} (I_{\text{Э1}} + I_{\text{Э2}} = I_{\text{Э}})$. Bir tranzistor kollektori potentsiali kamayadi, ikkinchisidiki esa xuddi shu qiymatga kamayadi. DK chiqishida potentsillar farqi hosil bo'ladi, demak, chiqish kuchlanishi $U_{\text{ЧИК1,2}} = U_{\text{ЧИК1}} - U_{\text{ЧИК2}}$.

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

$$K_U = -S(R_K // r_{\text{КЭ}})$$

Ideal DKlarda sinfaz signallarni so'ndirish natijasida nol dreyfi mavjud bo'lmaydi. Turli temperatura o'zgarishlari, shovqinlar va **navodkalar** sinfaz signal bo'lishi mumkin. Real DKlarda yelkalarining absolyut simmetriyasiga erishish 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 $R_{\text{КНП1}} + R_{\text{КНП2}}$ teng bo'ladi, chunki bu qarshiliklar signal manbaiga nisbatan ketma – ket ulanadi. Shunday qilib, $R_{\text{КНП12}} = R_{\text{КНП1}} + R_{\text{КНП2}} = 2r_{\text{КНП}}$, bu yerda $r_{\text{КНП}}$ - UE sxemasida ulangan tranzistorning kirish qarshiligi. $r_{\text{КНП}}$ 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 koeffisienti kirish signallar generatorining ulanish va chiqish signalining o'lchanish usuliga bog'liq.

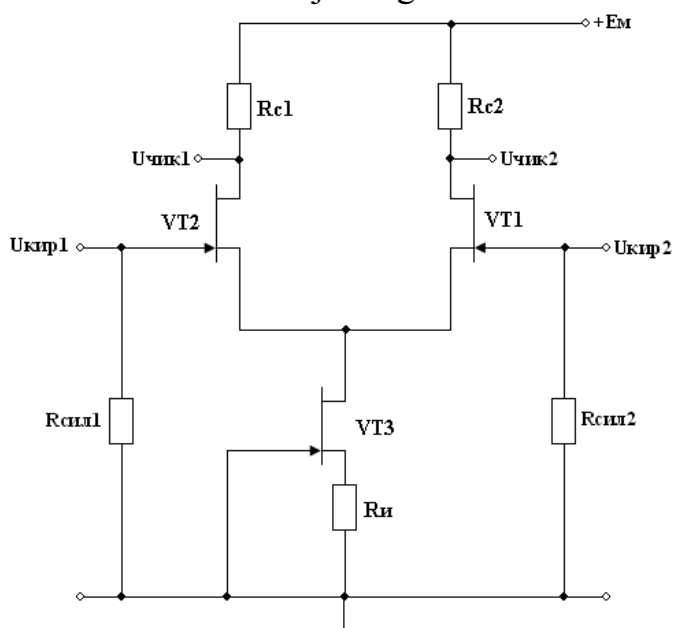
DK kuchaytirish koeffisienti simmetrik kirishda ham, nosimmetrik kirishda ham bir xil bo'ladi.

Nosimmetrik chiqishda yuklama qarshiligi bir uchi bilan bir tranzistor kollektoriga, ikkinchi uchi bilan esa – umumiy shingaga 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 $r-n$ bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlarga katta e'tibor qaratiladi. $r-n$ bilan boshqariladigan, kanali n -turli maydoniy tranzistorlarda bajarilgan DK sxemasi 54 – rasmda keltirilgan. Barqaror tok generatori VT3 va R_f

da bajarilgan. R_{SIL1} i R_{SIL2} rezistorlari VT1 va VT2 tranzistor zatvorlariga boshlang'ich siljishni berish uchun mo'ljallangan.

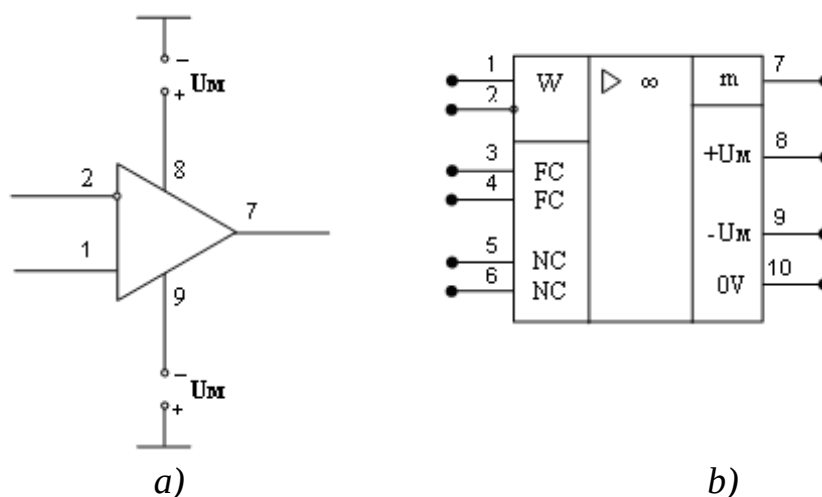


54 – rasm.

5.7. Operasion kuchaytirgichlar

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

OKning shartli belgisi 55 *a, b* - rasmda keltirilgan. Manba qiymatlari bir – biriga teng, lekin umumiy shinaga nisbatan ishoralari teskari bo'lgan ikkita manbadan ta'minlanadi. Bu bilan kirish signali mavjud bo'lmaganda chiqishda nol potensial ta'minlanadi va chiqishda ham musbat, ham manfiy signal olish imkoniyati yuzaga keladi. Real OKlarda kuchlanish manbai qiymati $\pm 3 \text{ V} \div \pm 18 \text{ V}$ oralig'ida yotadi. Signal umumiy shinaga ulangan simmetrik signal manbaidan 1 va 2 kirishlarga, yoki ikkita alohida manbalardan uzatilishi mumkin. Bu kirishlardan biri inverslaydigan kirish va umumiy shinaga, ikkinchisi esa – inverslamaydigan kirish va umumiy shinaga ulanadi.



55 – rasm.

OK doim teskari aloqa zanjirlari bilan qamrab olinagan 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 – **operasion** deb ataladi.

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

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

56 – rasmda uch bosqichli OK tuzilmasi keltirilgan.



56 – rasm.

OKlarda 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 (muvofiglashtiruvchi) 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 OKning kichik

chiqish qarshiligi va katta chiqish quvatini ta'minlashi kerak. Chiqish bosqichlari sifatida odatda AV rejimda ishlaydigan komplementar emitter qaytargich qo'llaniladi (55 - rasmga qarang).

Birinchi avlod operasion 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 operasion kuchaytirgichlarning kamchiligi bo'lib uncha katta bo'lmagan kuchaytirish koeffisienti ($K_{U0}=300\div 4000$) va kichik kirish qarshiligi ($R_{KIR}\approx 4\text{ kOm}$) hisoblanadi.

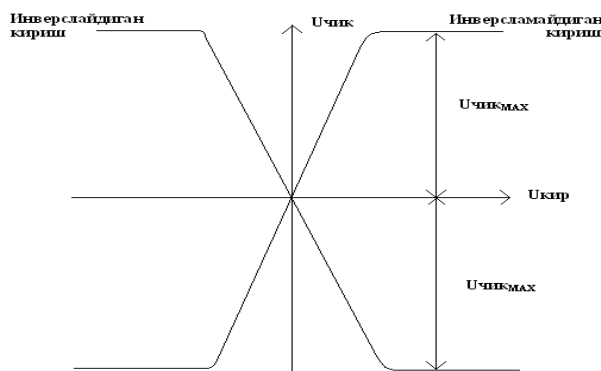
Aytib o'tilgan kamchiliklar **ikki bosqichli** sxemada yasalgan ikkinchi avlod OKlarda bartaraf etilgan. Xarakteristikalarini yaxshilash **tarkibiy tranzistorlar**, yuqori omli rezistorlar qo'llash va differensial bosqich yuklama rezistorlarini dinamik yuklamalarga almashtirish hisobiga amalga oshirilgan.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

140UD7 turdagi kuchaytirgich keng tarqalgan ikki bosqichli OK hisoblanadi. Bu OK kuchaytirish koeffisienti $K_{U0}=45000$, kirish qarshiligi esa $R_{KIR}=400\text{ kOm}$.

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

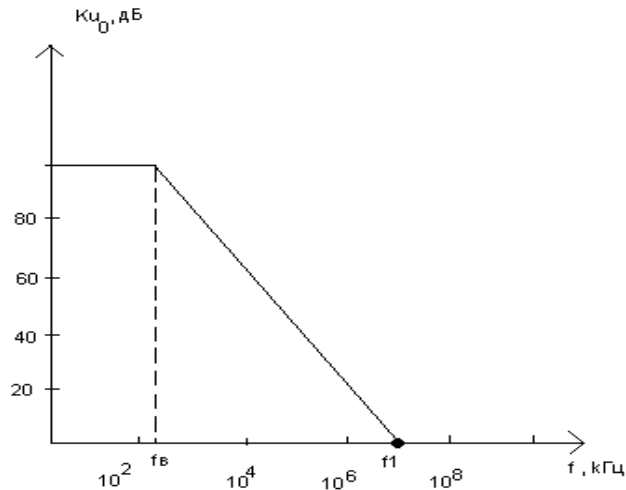
OKning asosiy xarakteristikalarini bo'lib uning amplituda (uzatish) xarakteristikalarini hisoblanadi. Ular 57 – rasmda keltirilgan. Xarakteristikaning qiya (chiziqli) sohasi ishchi soha hisoblanadi, uning og'ish burchagi K_{U0} qiymati bilan aniqlanadi. $U_{ChIQ,max}$ - maksimal chiqish kuchlanishi bo'lib, manba kuchlanishi U_e qiymatidan ozgina kichik bo'ladi.

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



57 – rasm.

OKning bunday AChXsi logarifmik amplituda – chastota xarakteristikasi (LACHX) deb ataladi. 58 – rasmda tez ishlaydigan K140UD10 turdagi OKning LACHXsi keltirilgan. f_{yu} – chastotadan kichik qiymatlarda kuchaytirish koeffisienti $20 \lg K_{U0}$ ga teng bo‘ladi, ya’ni LACHX chastota o‘qiga parallel to‘g‘ri chiziqni beradi. Kirish signalining ortishi bilan K_{U0} kamaya boshlaydi va f_1 chastotada kuchaytirish koeffisienti birga teng bo‘ladi.



58 – rasm.

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

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

a) kuchlanish bo‘yicha cheksiz katta differensial kuchaytirish koeffisienti K_{U0} ;

b) 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;

v) kirish toklari nolga teng;

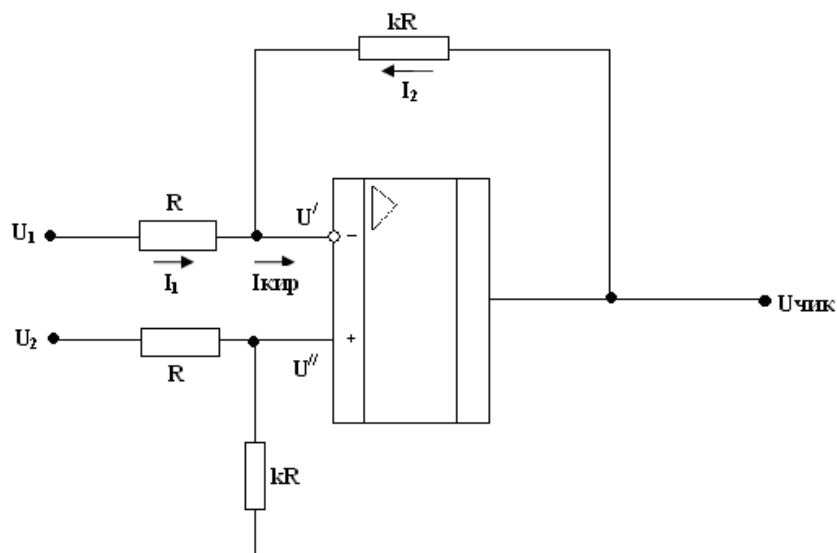
g) chiqish qarshiligi nolga teng;

d) sinfaz signallarni kuchaytirish koeffisienti nolga teng.

OKning differensial ulanishi. 59–rasmda OKning differensial ulanish sxemasi keltirilgan. Kirxgof qonuniga binoan $I_1 + I_2 - I_{KHP} = 0$. Bundan v) xossa $I_{KHP} = 0$ bo‘lsa, u holda $I_1 + I_2 = 0$.

$$I_1 = \frac{U_1 - U'}{R} \quad ; \quad I_2 = \frac{U_{qHK} - U''}{\kappa R} ;$$

$$\frac{U_1 - U'}{R} = \frac{U_{qHK} - U''}{\kappa R} ; \quad \kappa U_1 - U''(\kappa + 1) = -U_{qHK}$$



59 – rasm.

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

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

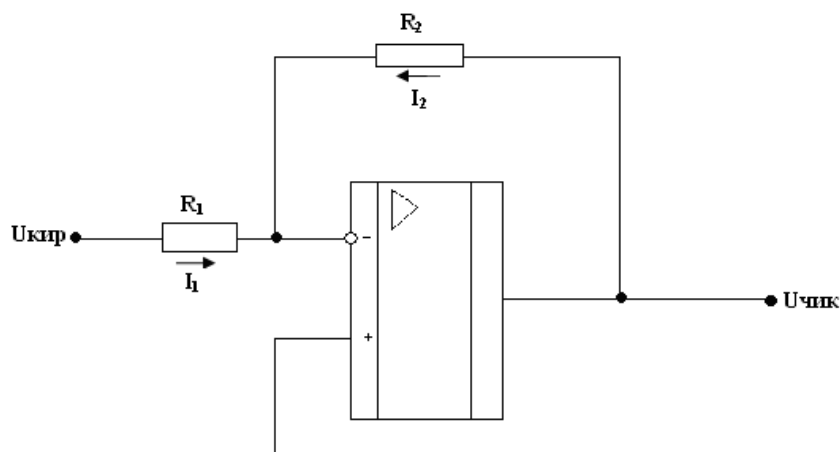
OKning invers ulanishi. Invers ulanishda OKning inverslamaydigan kirishi umumiy shina bilan ulanadi (60 - rasm). v) xossa natijasida $I_1 + I_2 = 0$. Kirish potentsiallari nolga teng, demak

$$I_1 = \frac{U_{\text{КНП}}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U_{\text{ЧИК}}}{R_2};$$

$$\kappa = \frac{U_{\text{ЧИК}}}{U_{\text{КНП}}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

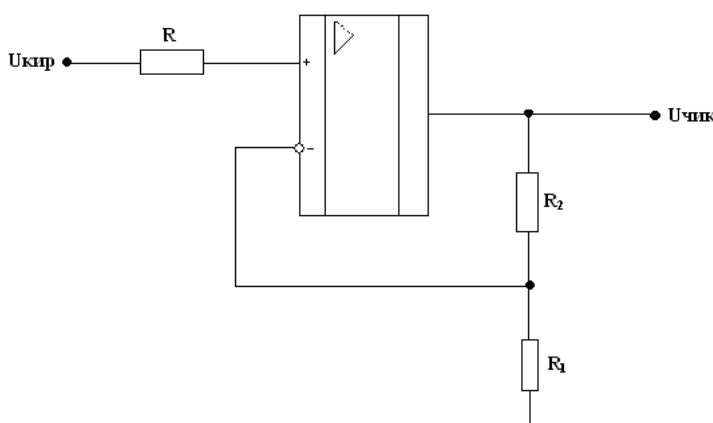
Real OK uchun bu formulaning qo‘llanilishi kuchaytirish ko‘effisientini hisoblashda xatoliklarga olib keladi. OKning K_{U0} va R_{KIRO} qancha katta bo‘lsa, bu formuladan foydalanish shuncha kichik xatolik beradi. Shunday qilib, $K_{U0}=10^3$, $R_1=1 \text{ kOm}$, $R_2=100 \text{ kOm}$ va $R_{KIRO}=10 \text{ kOm}$ bo‘lsa, kuchaytirish ko‘effisientini 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 ko‘effisienti rezistor qarshiliklarining nisbatlariga bog‘liq ravishda birdan katta ham, kichik ham bo‘lishi mumkin va deyarli barqaror bo‘ladi.



60 – rasm.

OKning inverslamaydigan ulanishi. Inverslaydigan ulanishda kirish signali OKning inverslamaydigan kirishiga uzatiladi, inverslaydigan kirishga esa R_1 va R_2 bo'luvchi rezistorlar orqali kuchaytirgich chiqishidan teskari aloqa signali uzatiladi (61 - rasm).



61 – rasm.

$$\frac{U_{KHP} - U'}{R} = 0, \quad U' = U'' = U_{\text{ЧИК}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

$$\text{Bu yerdan } U_{\text{ЧИК}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{KHP}, \quad \text{ya'ni } \kappa = \frac{U_{\text{ЧИК}}}{U_{KHP}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

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

Agar OK invers kirish bilan qisqa tutashgan bo'lsa, bu koeffisient 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.

VI BOB. YARIM O'TKAZGICHLI STATIK RAQAMLI INTEGRAL MIKROXEMALAR SXEMOTEXNIKASI

6.1. Raqamli texnika asoslari

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

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

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

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

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

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

Mantiqiy qo'shuv. Bu amal YoKI amali yoki diz'yunksiya deb ataladi. Ikki o'zgaruvchini mantiqiy qo'shish postulatlari 9.1 – jadvalda keltirilgan.

Bunday jadvallar **haqiqiylik jadvallari** deb ataladi. Shuni ta'kidlash kerakki, bu amal ixtiyoriy o'zgaruvchilar soniga mo'ljallangan. Amal bajarilayotgan o'zgaruvchilar soni, uning belgisidan oldin turgan raqam bilan ko'rsatiladi. Demak, 9.1 – jadvalda 2YoKI amali bajarilgan. Mantiqiy qo'shuv YoKI amalini bajaruvchi element (elektron sxema) shartli belgisi 62 a – rasmda keltirilgan.

4 - jadval

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

Mantiqiy qo‘paytiruv. Bu amal HAM amali yoki kon’yunksiya deb ataladi. Mantiiy ko‘paytiruv postulatlarlari 5 – jadvalda keltirilgan. Mantiiy HAM amalini bajaruvchi element shartli belgisi 62 *b* – rasmda ifodalangan.

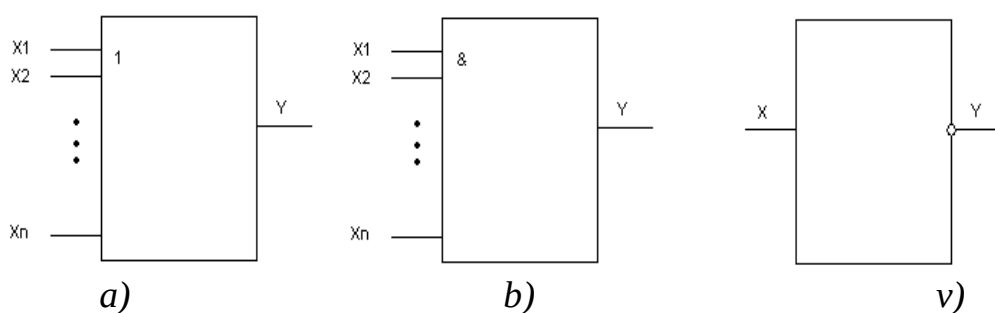
5 - jadval

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

Mantiqiy inkor. Inkor amali inversiya yoki to‘ldirish deb ataladi. Inkor postulatlarlari 9.3 – jadvalda keltirilgan. Inversiya amalini bajaruvchi mantiqiy element shartli belgisi 9.1 *v* – rasmda keltirilgan.

6– jadval

X	Y
0	1
1	0



62 – rasm.

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

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

6.2. Mantiiy IMS parametrlari

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

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

IMS potensial mantiqiy elementlari quyidagi parametrlar bilan xarakterlanadi:

- mantiqiy «**0**» va «**1**» kuchlanishlari - U^0 va U^1 ;
- mikrosxema holati teskari holatga o'zgaradigan kirishdagi ma'lum kuchlanish – bo'sag'aviy kuchlanish $U_{BO'S}$;
- kirish bo'yicha birlashish koeffisienti m (kirishlar soni);
- chiqish bo'yicha tarmoqlanish koeffisienti n (yuklama qobiliyati yoki mazkur IMS chiqishiga ulash mumkin bo'lgan xuddi shunday mirosxemalar soni);
- $U_{KIR} = U^0$ va $U_{KIR} = U^1$ larga mos keluvchi kirish toklari I_{KIR}^0 va I_{KIR}^1 ;
- xalaqitlarga bardoshligi – yuqori U_{XAL}^1 va past U_{XAL}^0 kirish kuchlanish darajasi bo'yicha mumkin bo'lgan maksimal xalaqit kuchlanish qiymati;
- manbadan iste'mol qilinayotgan quvvat R ;
- Y_{eM} kuchlanish va I_M tok manbalari;
- «**0**» holatdan «**1**» holatga, yoki aksincha o'tishdagi qayta ulanish kechikish vaqti;
- qayta ulanishlarning (tezkorlik) o'rtacha kechikish vaqti - $0,5 \cdot (t_K^0 + t_K^1)$.

Zamonaviy statik tizimlarning asosiy negiz elementi bo'lib Shottki diodlari qo'llanilgan TTM, I^2M , EBM, MDYa – tranzistorlarda (yoki r – kanalli MDYa, yoki n – kanalli MDYa) yasalgan mantiq, komplementar MDYa – tranzistorlarda (KMDYa) yasalgan mantiq elementlari hisoblanadi.

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

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

IMS negiz mantiqiy elementi asosi bo'lib, qayta ulagichlar sifatida qo'llaniladigan biror elektron kalit hizmat qilishi mumkin. Qayta ulagichlar sifatida qo'llaniladigan yarim o'tkazgichli asboblarga quyidagi umumiy talablar qo'yiladi: birdan katta bo'lgan kuchaytirish koeffisienti; axborot uzatish tizimining bir tomonlamaligi; kirish va chiqish bo'yicha katta tarmoqlanish koeffisientlari; qayta ulanishlarning katta tezligi; kichik iste'mol quvvati. Elektron kalitlar sifatida kremniyli bipolyar va maydoniy tranzistorlar qo'llaniladi. Maydoniy tranzistorlarda bajarilgan kalitlar kichik sochilish quvvatiga ega bo'lsalar, bir vaqtning o'zida bipolyar tranzistorlarda bajarilgan elektron kalitlarning qo'llanilishi ularning tezkorligini oshirishga imkon yaratadi.

6.3. Bipolyar tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalar

BT da yasalgan sodda kalit sxemasi 63 – rasmda keltirilgan. Yuklama qarshiligi R_K emitteri umumiy shinaga ulangan tranzistorning kollektor zanjiriga ulangan. Kalit ikkita turg'un holatga ega bo'lishi kerak: ochiq va berk.

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

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

$$I_{\mathcal{O}} \cong 0, I_K = I_{K0}, I_B = -I_{K0} \quad (6.1) \quad .$$

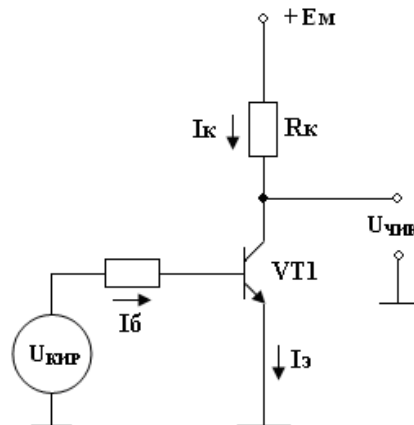
Natijada tranzistor kollektoridagi kuchlanish

$$U_K = U_{\text{CHK}} = E_M - I_{K0} \cdot R_K \approx E_M, \text{ (mantiqiy bir } U^1) \quad (6.2),$$

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

Baza zanjirida R_B rezistor mavjud bo'lganda tranzistor baza kuchlanishi

$$U_B = U_{B\mathcal{O}} = -U_{KIB} + I_{K0} \cdot R_B \quad (6.3)$$



63 – rasm.

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

$$-U_{KIB} + I_{K0} \cdot R_B \leq U_{B\check{V}C} \quad (6.4) \quad ,$$

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

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

Agar $U_{KIR}=0$, u holda (6.4) shart quyidagicha qayta yoziladi.

$$I_{K0} \cdot R_B \leq U_{E\check{Y}C} \quad (6.5) \quad .$$

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

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

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

$$I_{IO} = I_K = \frac{E_M - U_{K\check{O}}}{R_K} \quad (6.6) \quad ,$$

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

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

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

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

$$t_K = 0,5 \cdot (t_K^1 + t_K^0) .$$

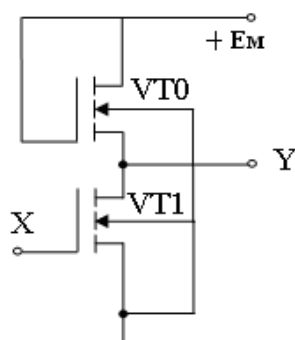
Sxema iste'mol qilayongan tok ortsa, sig'imlarning katta qayta zaryadlanish tezligi hisobiga qayta ulanish vaqti ortadi. Lekin bu vaqtda sxemaning iste'mol quvvati ortadi. Shu sababli o'rtacha kechikish vaqti qayta ulanish ishi $A_Q=Rt_K$ deb ataluvchi kattalik bilan aniqlanadi. Zamonaviy IMSlar uchun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

6.4. Maydoniy tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar

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

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

Bir turdagi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar. 64 – rasmda n – kanali induksiyalanuvchi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemasi keltirilgan.



64 – rasm.

VT0 tranzistor nohiziqli yuklama vazifasini bajaradi. Ketma – ket ulangan tranzistorlar asosi qobiqda qisqa tutashuv bajariladi, zatvor va yuklamadagi tranzistor stoki manba bilan tutashtirilgan. $U_{E_M} = 3U_{BO'S}$ tanlanadi, bu yerda $U_{BO'S}$ – tranzistor ochiladigan kuchlanish. Demak, yuqoridagi tranzistor doim ochiq holatda bo‘lib to‘yinish rejimida bo‘ladi va invertor tokini cheklash uchun xizmat qiladi (dinamik yuklama). VT0 stok toki kattaligi quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$I_{C0} = \frac{1}{2} B_0 (U_{CH0} - U_{EVC0})^2 \quad (6.7) \quad .$$

Agar kalit kirishi X ga $U_{KIR}^0 < U_{BO'S}$ kuchlanish berilsa (mantiqiy nol), VT1 tranzistor berk bo‘ladi, kalit orqali 10^{-9} - 10^{-10} A tok oqib o‘tadi, chiqishdagi kuchlanish esa $y = \bar{x}$ bo‘lib kuchlanish manbai qiymatiga yaqin bo‘ladi: $U_{CHI0} \approx E_M$ (mantiqiy bir).

Agar kalit kirishi X ga $U_{KIR}^0 \geq U_{BO'S}$ kuchlanish berilsa, u holda VT1 tranzistor ochiladi va to'yinish rejimiga o'tadi, bu vaqtda stok toki I_{S1} (6.7) ifoda orqali aniqlanadi, faqat $U_{S10} = E_M$ deb olinadi.

$$I_{C1} = \frac{1}{2} B_1 (E_M - U_{B\check{Y}C1})^2 \quad (6.8) .$$

VT1 tranzistorning to'yinish rejimidagi kanal qarshiligi

$$R = \frac{1}{B_1 (U_{3M} - U_{B\check{Y}C1})} = \frac{1}{B_1 (U_{KHP}^1 - U_{B\check{Y}C1})} .$$

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

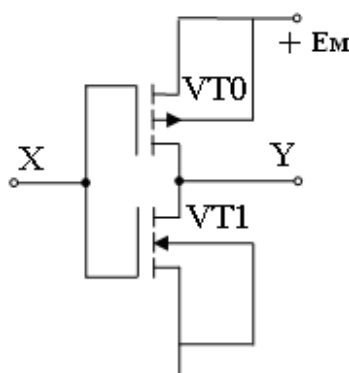
$$U_{CHIK} = \frac{B_0}{2B_1} \frac{(E_M - U_{B\check{Y}C0})^2}{U_{KHP}^1 - U_{B\check{Y}C1}} = \frac{B_0}{2B_1} \frac{(E_M - U_{B\check{Y}C0})^2}{E_M - U_{B\check{Y}C1}} \quad (6.9) .$$

Amaliyotda $U_{KIR}^1 \cong E_M$ (6.9) dan ko'rinib turibdiki, kichik chiqish kuchlanishi qiymatini U_{CHIQ} ta'minlash uchun $V_0 \ll V_1$ nisbat bajarilishi kerak. V kattaligi kanal kengligini uning uzunligiga nisbati bilan aniqlanadi (Z/L).

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

MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalar. Bir turdagi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan kalit sxemalarning kamchiligi bo'lib shu hisoblanadiki, boshqaruvchi tranzistorning ulangan holatida kalit orqali tok oqib o'tadi. Bu tok juda zarur hisoblanmaydi, chunki maydoniy tranzistorning o'rnatilgan toki amalda nolga teng bo'ladi. Komplementar MDYa (kanal o'tkazuvchanligi qarama – qarshi bo'lgan tranzistorlarda) bajarilgan kalit sxemalar bu kamchiliklardan holi (65 - rasm). Bu kalitda ikkala tranzistor zatvorlari o'zaro bog'lanib yagona kirish hosil qiladilar. Stoklar birlashib yagona chiqish hosil qiladilar, istoklar esa asos bilan birgalikda mos ravishda kuchlanish manbai va umumiy shinaga ulanadilar.

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



65 – rasm.

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

$$U_{A0} = U_3 - U_A = U_{KHP}^1 - E_M \approx 0.$$

Shunday qilib, ixtiyoriy stasionar holatda sxema tranzistorlaridan biri berk holatda bo‘ladi, shu sababli sxema manbadan deyarli quvvat iste‘mol qilmaydi. Ammo sxema qayta ulanish jarayonida, biror juda kichik vaqt mobaynida ikkala tranzistor ochiq holatda bo‘ladi, chunki ikkinchisi berkilib ulgurmagan bo‘ladi. Komplementar MDYa – tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalar bir turdagi MDYa – tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalarga nisbatan o‘n marta kam quvvat iste‘mol qiladi. Lekin, sxemalarning tezkorligi bir xil bo‘lib kalit chiqish sig‘imining qayta zaryadlanish vaqti bilan belgilanadi.

6.5. Mantiqiy integral sxemalar negiz elementlari

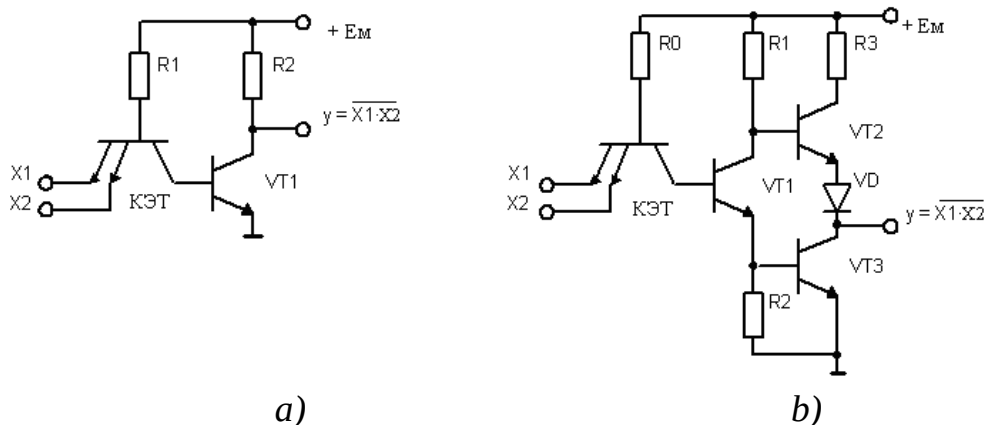
Mantiqiy IMS negiz elementlari tuzilishiga ko‘ra quyidagi guruhlariga bo‘linadi: diodli – tranzistorli mantiqiy elementlar (DTM); tranzistor – tranzistorli mantiq elementlari (TTM); tok qayta ulagichlari asosidagi emitterlari bog‘langan mantiq elementlari (EBM); MDYa – tranzistorlarda yasalgan elementlar;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

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

Tranzistor – tranzistorli mantiq elementlari (TTM). Bu mantiq turida elektron kalitlar bilan boshqariladigan ko‘p emitterli tranzistor (KET)da bajarilgan

inverter qo'llaniladi. Chiqishida oddiy inverter bo'lgan TTM sxemasi 66 a – rasmda keltirilgan.

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



66 – rasm.

Endi esa, ikkala kirishga kichik kuchlanish potentsiali (mantiqiy nol potentsiali) berilgan deb faraz qilaylik. Bu holatda KET emitter o'tishlari kollektor o'tish kabi to'g'ri yo'nalishda siljigan bo'ladi. KET baza toki ortadi, shu tranzistor kollektor toki, demak, VT1 baza toki esa sezilarli kamayadi. KET tok asosan quyidagi yo'nalishda oqib o'tadi: kuchlanish manbai Y_{eM} – rezistor $R1$ – KET baza – emitteri – kirishdagi signal manbai – umumiy shina. VT1 tranzistor baza toki deyarli nolga teng bo'lganligi sababli, bu tranzistor berkiladi va sxemaning chiqishida yuqori kuchlanish darajasi (2,4 V – mantiqiy bir) yuzaga keladi.

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

Murakkab inverterli TTM sxemasi ko'rib o'tilgan sxemaga nisbatan yaxshilangan parametrlarga ega (66 b-rasm). Bu element uch bosqichdan tashkil topgan:

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

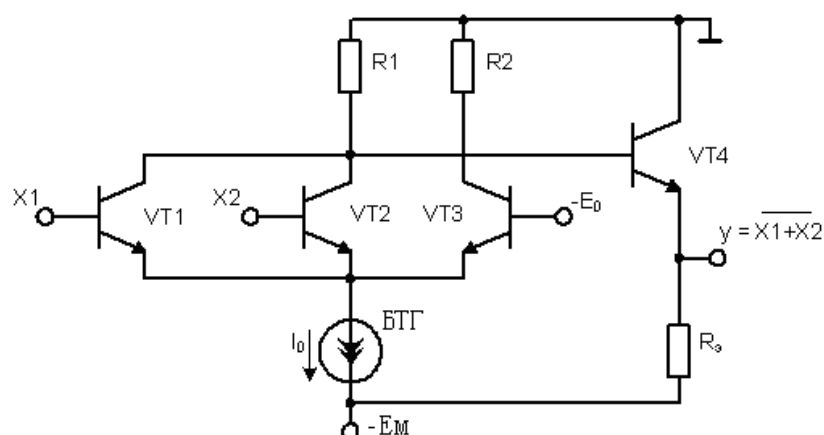
Bu sxema nisbatan kichik chiqish qarshilikka ega bo'lib, yuklama sig'imidagi qayta zaryadlanishni tezlashtiradi.

Sodda sxemadagi kabi, bu sxemada ham chiqishda U^1 daraja olish uchun, KET biror kirishiga mantiqiy nol daraja berilishi kerak. Bu vaqtda VT1 va VT3 tranzistorlar berkiladi, VT1 kollektoridagi kuchlanish katta bo'lganligi sababli VT2 ochiladi. S_{yu} yuklama sig'imi VT2 va diod VD orqali zaryadlanadi. R3 rezistor katta yuklanishdan saqlagan holda VT2 tranzistor orqali tokni cheklaydi

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

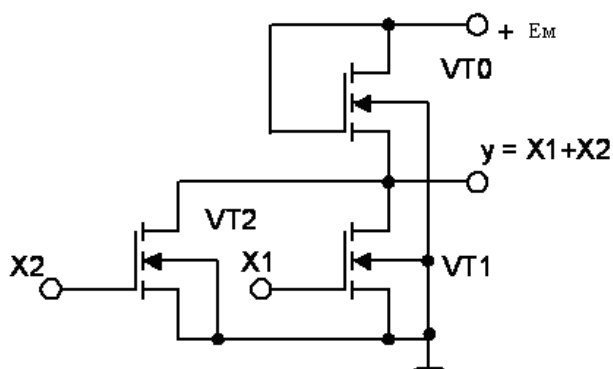
Emitterlari bog'langan mantiq elementi (EBM). EBM elementi (67 - rasm) DK kabi tok qayta ulagichi asosida bajariladi. Ikki mantiqiy kirishga ega bo'lgan bir yelka ikki tranzistordan iborat bo'ladi (VT1 va VT2), keyingi yelka esa - VT3 dan tashkil topadi.

Yuklama qobiliyatini oshirish va signal tarqalishi kechikishini kamaytirish maqsadida qayta ulagich VT4 tranzistorda bajarilgan emitter qaytargich bilan to'ldirilgan. VT3 bazasiga Y_{e0} – tayanch kuchlanishi beriladi va bu bilan uning ochiq holati ta'minlanadi. Ixtiyoriy biror kirishga (yoki ikkala kirishga) mantiqiy birga mos keluvchi signal berilsa unga mos keluvchi tranzistor ochiladi, natijada I_0 tok sxemaning o'ng yelkasidan chap yelkasiga o'tadi. VT4 tranzistor baza toki kamayadi va u berkiladi va chiqishda mantiqiy nolga mos potensial o'rnatiladi. Agar ikkala kirishga mantiqiy nolga mos signal berilsa, u holda VT1 va VT2 tranzistorlar berkiladi, VT3 esa ochiladi. R1 orqali oqib o'tayotgan tok VT4 tranzistorni ochadi va sxemaning chiqishida mantiqiy birga mos kuchlanish hosil bo'ladi. Bu sxema 2YoKI-EMAS amalini bajaradi. Iste'mol quvvati $20 \div 50$ mVt, tezkorligi esa $0,7 \div 3$ ns ni tashkil etadi.



67 – rasm.

Bir turdagi MDYa – tranzistorlarda yasalgan elementlar (n – MDYa). 68 – rasmda n – kanali induksiyalanuvchi MDYa – tranzistorlarda bajarilgan sxema keltirilgan.



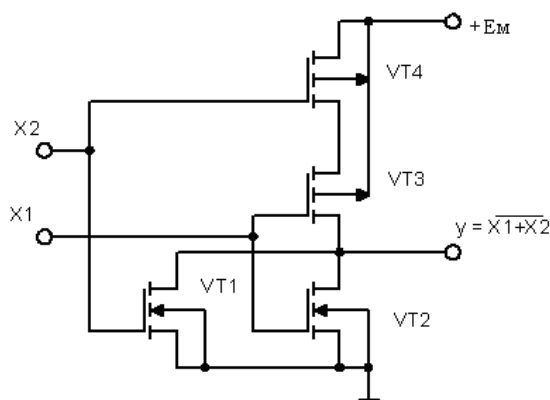
68 – rasm.

Yuklama tranzistori VT0 doim ochiq. Chiqishda juda kichik kuchlanish darajasi U_{ChIQ}^0 ni ta'minlash maqsadida ochiq VT1 va VT2 tranzistorlarning kanal qarshiliklari VT0 tranzistor kanal qarshiligidan kichik bo'lishi kerak. Shu sababli VT1 va VT2 tranzistorlar kanali qisqa va keng qilib, yuklamadagi tranzistor kanali esa - uzun va tor qilib yasaladi. Biror kirishga yoki ikkala kirishga mantiqiy bir darajasiga mos keluvchi musbat potensial berilsa, ($U_{KIR}^1 > U_{BO'S}$), bir yoki ikkala tranzistor ochiladi va chiqishda mantiqiy nol o'rnatiladi ($U_{ChIQ}^0 < U_{BO'S}$). Agar ikkala kirishga ham mantiqiy nol berilsa, u holda VT1 va VT2 tranzistorlar berkiladi. Chiqishdagi potensial mantiqiy birga mos keladi. Element 2Y0KI – EMAS amalini bajaradi. Iste'mol quvvati $0,1 \div 1,5$ mVt, tezkorligi esa - $10 \div 100$ ns ni tashkil etadi.

O'KIS va KISlarda KMDYa va I²M mantiqiy elementlari qo'llaniladi. Ular tarkibida rezistorlar bo'lmaydi va mikrotoklar rejimida ishlaydilar. Shu sababli kristallda kichik yuzani egallaydilar va kam quvvat iste'mol qiladilar. KISlarda elementlar soni 10^5 ta bo'lganda bir element iste'mol qilayotgan quvvat 0,025 mVT dan oshmasligi kerak.

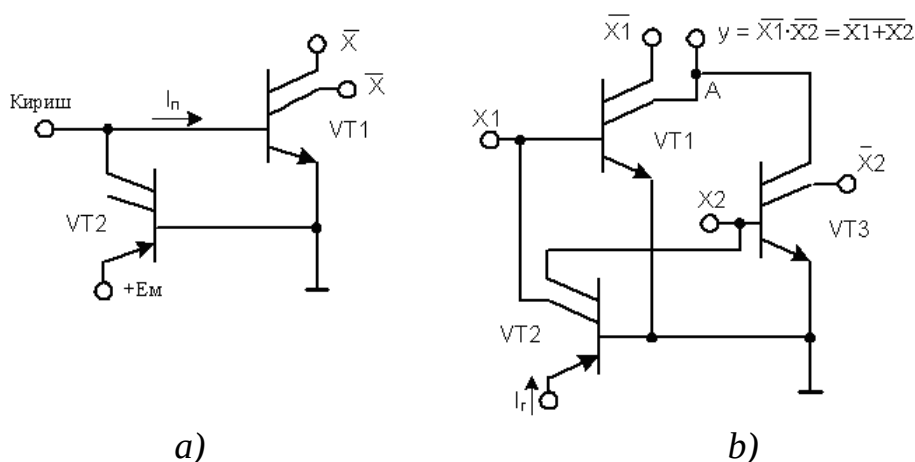
Komplementar MDYa – tranzistorlarda yasalgan mantiqiy elementlar (KMDYaM). Ikki kirishli element sxemasi 69 – rasmda keltirilgan. Ikkaola kirishga mantiqiy nolga mos signal berilsa n – kanalli VT1 va VT2 tranzistorlar berkiladi, r – kanalli VT3 va VT4 tranzistorlar ochiladi.

Berk tranzistorlarning kanalidagi tok juda kichik ($< 10^{-10}$ A). Demak, manbadan tok deyarli iste'mol qilinmaydi va sxemaning chiqishida Yem ga yaqin potensial o'rnatiladi (mantiqiy bir darajasi). Agar biror kirish yoki ikkala kirishga mantiqiy bir darajasi berilsa, VT1 va VT2 tranzistorlar ochiladi va element chiqishida potensial nolga yaqin bo'ladi. Element 2Y0KI-EMAS amalini bajaradi. Iste'mol quvvati $0,01 \div 0,05$ mVtni, tezkorligi esa $10 \div 20$ ns ni tashkil etadi.



69 – rasm.

Integral – injeksion mantiq elementi (I^2M). Kalit komplementar bipolyar tranzistorlar juftligidan tashkil topgan bo‘lib, n-p-n turli VT1 tranzistor ko‘pkollektorli bo‘lib, uning baza zanjiriga p-n-p turli VT2 ko‘pkollektorli tranzistor ulangan. Bu tranzistor injektor nomini olgan bo‘lib, barqaror tok generatori vazifasini bajaradi (70 a – rasm.)



70 – rasm.

VT1 tranzistor emitter – kollektor oralig‘i kalit vazifasini bajaradi. Signal manbai va yuklama sifatida xuddi shunday sxemalar ishlatiladi. Agar kirishga mantiqiy birga mos keluvchi yuqori potensial berilsa, VT1 tranzistor ochiladi va to‘yinish rejimida bo‘ladi. Uning chiqishidagi potensial nol potensialiga mos keladi. Kirishga mantiqiy nolga mos keluvchi potensial berilsa, VT1 tranzistorning emitter o‘tishi berkiladi. Kovaklar toki I_Q (qayta ulanish toki) VT1 tranzistorning kollektor o‘tishini teskari yo‘nalishda ulaydi. Buning natijasida VT1 chiqish qarshiligi keskin ortadi va uning chiqishida mantiqiy bir potentsiali hosil bo‘ladi. Ya’ni mazkur sxema yuqorida ko‘rilgan sxemalar kabi invertor vazifasini bajaradi. Mantiqiy amallarni bajarish invertor chiqishlarini metall simlar bilan birlashtirish natijasida amalga oshiriladi. 70 b – rasmda HAM amalini bajarish usuli ko‘rsatilgan. Haqiqatdan ham, agar X1 yoki X2 kirishlardan biriga yuqori potensial berilsa U_{KIR}^1 , natijada birlashgan chiqishlarda (A nuqta) past potentsial hosil bo‘ladi

U^0 . Natijada $\bar{X}_1$ va $\bar{X}_2$ invers o'zgaruvchilarning kon'yuksiyasi bajariladi. Ular VT1 va VT3 invertor chiqishlarida hosil bo'ladi: $Y = \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_2$. I²M elementining tezkorligi 10÷100 ns va iste'mol quvvati 0,01÷0,1 mVt. Kristallda bitta I²M elementi KMDYa –elementga nisbatan 3÷4 marta kichik, TTM – elementiga nisbatan esa 5÷10 marta kichik yuzani egallaydi.

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

7- jadval

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

8- jadval

Parametr	Negiz element turi		
	KMDYa	EBM	I ² M
Kuchlanish manbai, V	3-15	-5,2	1
Signal mantiqiy o'tishi ($U_{CHI}^1 - U_{CHI}^0$), V	Yep-0	(-1,6)-(-0,7)	0,5
Ruxsat etilgan shovqinlar darajasi, V	0,4Ep	0,15	0,1

Tezkorligi, $t_{K.O'RT}$, ns	1-100	0,7-3	10-20
Iste'mol quvvati, mVt	0,01-0,1	20-50	0,05
Yuklama qobiliyati	50	20	5-10

Asosiy raqamli IMS seriyalarining mantiq turlari

9 - jadval

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

VII BOB. NANOELEKTRONIKA

7.1. Nanoelektronikani rivojlanish bosqichlari

Nanotehnologiya – bu moddalar bilan ishlashdan alohida atomlarni boshqarishga o'tishi: nanoo'lchamda moddani ko'plab mehanik, termodinamik, magnit va elektrik harakteriskalari holati o'zgarib ketadi. Masalan, oltin nanozarralari hajmiy oltin zarralaridan katalitik, feromagnitik, to'g'rilovchi optik hossalari, o'ziyig'ilishga qodirligi bilan farq qiladi.

Ular yorug'likni yahshi yutadi va sochadi, zaharsiz, kimyoviy stabil, biyomoskeluchi. Ularning intensiv bo'yashda(tovlanish) hozirda dedektirlash uchun, vizualiyashgan va biyotibbiyot obektlar miqdorni aniqlashda foydalanilmoqda [1-7]. Oltin nanozarralari butun boshli asboblarda diyagnostika vositalardan tortib har hil turdagi sensorlar, optik tolali va kamyuter nanosxemalarini[8-9] yaratishda itiqbollidir. Ko'rsatilgan hususiyatlar tufayli oltin nanozarralari asosiy metodlari va tushunchalari bilan osson tushunarli universal obekt modili nanofanni tanishtirish uchun qulay rol o'ynashi mumkin,

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

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

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

Bu usullar bilan olingan plyonkalarining qalinligi asosan bir necha mikrondan o'nlab mikrongacha bo'lib, ular qattiq jisimli elektron asbobsozlikda hozirgi kunda ham muvaffaqiyatli qo'llanilib kelmoqda. Hozirgi vaqtga kelib yupqa ($d \approx 10^2 \div 10^3$ nm) va o'ta yupqa ($d < 100$ nm) plyonkalar olishning zamonaviy molekulyar nurli epitaksiya(MNE), qattiq fazali epitaksiya(QFE), ionlar implastatsiyasi va eng zamonaviy (nanoassembler) usullari orqali hosil qilish mumkin. Zamonaviy usullar yordamida asosan plyonka hosil qilish o'ta yuqori vakuum sharoitda olib borilishi, o'ta yaxshi tozalangan asos(taglik)lardan va atom(molekula) manbalaridan foydalanilishi, plyonkalarining mukammalligi(yuqori darajada tekisligi, bir jinsliligi, silliqiligi, monokristalligi) bilan eski (tradition) usullaridan tubdan farq qiladi.

Hozirgi paytda **nanoelektronika** rivojlanmoqda, ya'ni elektron asbobsozlikda qalinliklari o'nlab nanometr ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) bo'lgan plyonkalarni ishlatish ustida ishlar olib borilmoqda. Bunday plyonkalar ustma-ust, qatlama-qatlam qilib joylashtirilib aktiv va passiv elementlar hosil qilishda ishlatilishi

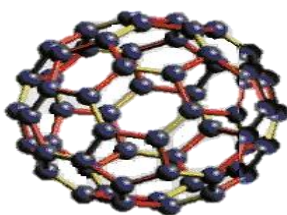
mumkin. Fan va texnika rivojlanib uch o'lchamli tizimlar hosil qilinmoqda. Bunday tizimlarda 1 sm^3 hajmda yuz minglab-millionlab yupqa plyonkali elementlarni joylashtirish mumkin. Ular asosida hosil qilingan integral sxemalar **katta** va ***o'ta kattaintegral mikrosxemalar*** debataladi.

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

7.2. Nanozarralar

Sistemada atom yoki molekulyar tartibda o'zgarishlar ro'y berganda materialning xususiyatlari aniq ko'rinadi. Uglerod qattiq fazada bir qancha turli modifikasiyalarni paydo qilishi mumkin (olmosdan boshlab grafitgacha). Ikki materialning fizik xususiyatlari o'rtasida farqlar turli ko'rinishdagi atomlarni kristall ko'rinish holatidan tartibga keltirilishi bilan izohlanadi. Toza uglevod fullerene deb nomlanuvchi yana bir ko'rinishga, shaklga ega bo'lishi mumkin ekan.

C_{60} fulleren molekulaning tarkibi 60 dan ziyod atomlardan tashkil topgan, beshburchak, oltiburchak shaklidagi ko'rinishlar futbol to'pini (12 ta beshburchaklar va 20 ta oltiburchaklar) eslatadi.



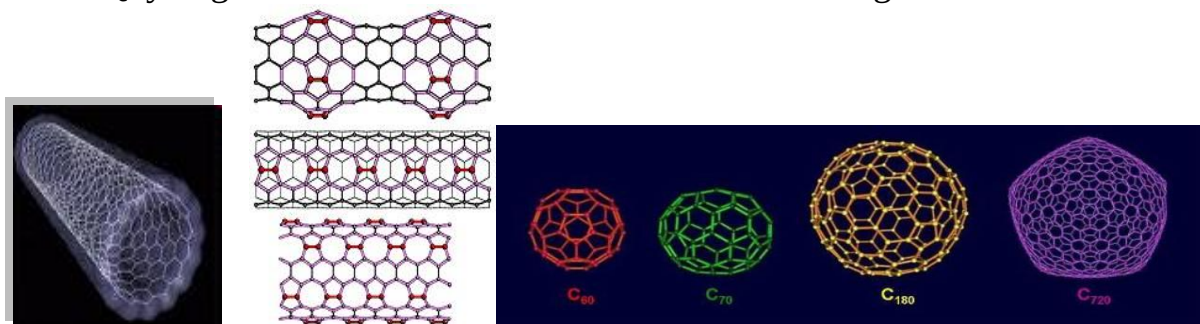
71- rasm. C_{60} molekulasining tuzilishi



72- rasm. C_{60} molekulasidan tashkil topgan kristallning tuzilishi

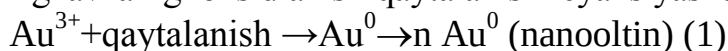
Bu nomning kelib chiqishi, qachonlardir mashhur arxitektor Richard Bukministr Fuller shunday shakldagi molekulalarning borligi haqida bilmagan holda binolar gumbazlarini yaratish uchun tegishli poliedrik qurilmalardan foydalanganligi bilan bog'liq. Juda ko'plab boshqa, ancha yirik bo'lgan fullerenlar mavjud (C_{70} , C_{82} , C_{84} , ..., C_{240} ...), ancha murakkab ko'rinishdagi fullerenlar esa nanotrubbkalar degan nomni olgan. Bugun ular haqida ma'lumotlar banki fullerenlarning 10 000 oshiq ko'rinishlari bo'lganligini ko'rsatadi.

Quyidagi rasmlarda nanotrubralarni tuzilishi keltirilgan.

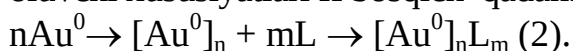


73- rasm.

Oltin nanozarralarini sintezi. Oltin nanozarralarini kimyoviy sintez qilish uchun “namlash usulli”ning avzalligi oksidlanish-qaytalanish reaksiyasi qo’llaniladi

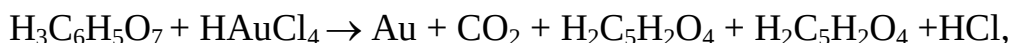


I bosqichda bu reaksiya oksidlanish qaytalanishga mos keladi. Odatda kirishma modda sifatida tetraxloraur kisllatasi – $\text{HAuCl}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ qo’llaniladi. (tiklovchi) Qaytalanuvchi har hil reagentlar: vodorod va vodorodli bog’lar (masalan, tetragidrobortlar), fosfor xloristoe olova,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



IIa IIb

IIa qadam nanozarraning kattaligi bo’yicha. Bu metodning farqli tarafi shundaki, bunda sitrat-onion bir vaqitning o’zida muvozanatlovchi va tiklovchi vosita sifatida o’zini namoyon qiladi, shuning uchun bu ionning konsentratsiyasi kritik ro’l o’ynaydi: uning o’zgarishi bir vaqitning o’zida ham muvozanat tezligi va zarraning o’sish prosesiga ta’sir qiladi. Bundan tashqari reaksiya natijasida aralashma sitrat-onion oksidleniyasi – 1.3 otsetonkarbon va itokon kislotalari paydo bo’ladi.



$\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 - (\text{HOOC})-\text{CH}_2-\text{C}(\text{OH})(\text{COOH})-\text{CH}_2-(\text{SOOH})$ – limon kislotasi

$\text{H}_2\text{C}_5\text{H}_2\text{O}_4 - \text{H}_2\text{C} = \text{C}(\text{SOON}) - \text{CH}_2\text{COOH}$ – itokon kislotasi

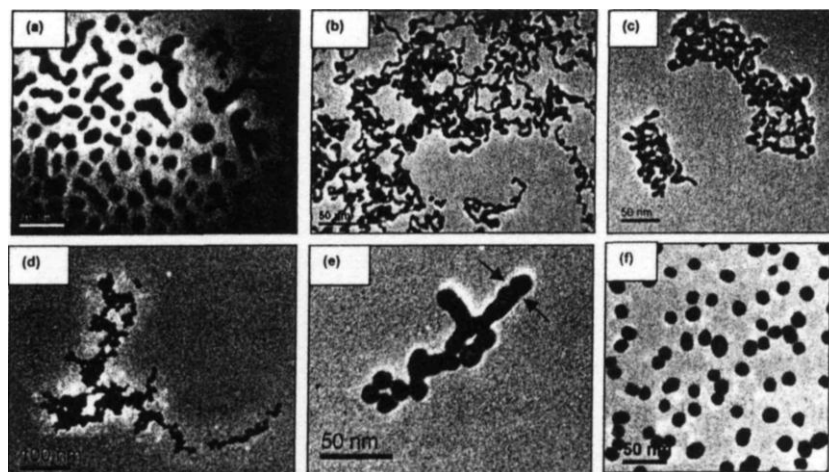
$\text{H}_2\text{C}_5\text{H}_2\text{O}_4 - \text{H}_2\text{C} = \text{C}(\text{SOON}) - \text{CH}_2\text{COOH} - 1.3$ – otsetonkarbon kislotasi

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

Aralashma rangining o’zgarishi sistemaning strukturaviy o’zgarishi oqibatidir. Electron mikrasko’piya metodidan shuni ko’rish mumkinki sitrat qo’shilgandan so’ng tusga kirgan aralashma o’zida 3-5 nm duymetrda oltin nanoklasterlarini tashkil etadi. (74a-rasm)[10]. Toq ko’k aralashmada 5 nm duymetrli nanosimlarni murakkab strukturasi paydo bo’ladi(74b-rasm). Yo’q binafsha ranga kirgan jarayonda nanosimlarning asosiy nuqtasi yoyilishi natijasida uncha katta

bo'lmagan segmentlar paydo bo'ladi(74c-rasm). Qachon aralashma (ribino) qizgish ranga kirganda oltin nanosferalari paydo bo'ladi(74f-rasm).

Birlamchi nanoklasterlar singari o'zi yig'iluvchi chiziqli nanozanjir tashkil qiladimi?Eksperimentlar hulosasiga ko'ra birlamchi nanoklasterlar geyometriyasi kesishgan oktoedrik ko'rinishida bo'lib aniq yupqa chegaralariga egadir [11].Shunday gepoteza mavjudki, chiziqli ko'rinishga ushbu nanozarralarning chegaralari qo'shilishi natijasida vujudga keladi oktoedrlarning burchakli tashqi ko'rinishi chegaralarning tomomila qo'shilishini oldini oladi.Ushbu cheklanish chiziqli strukturaning vujudga kelishining asosidir.

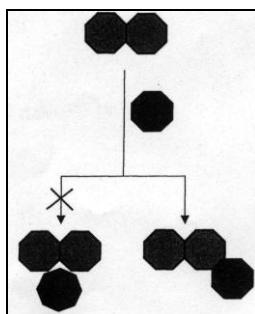


d

e

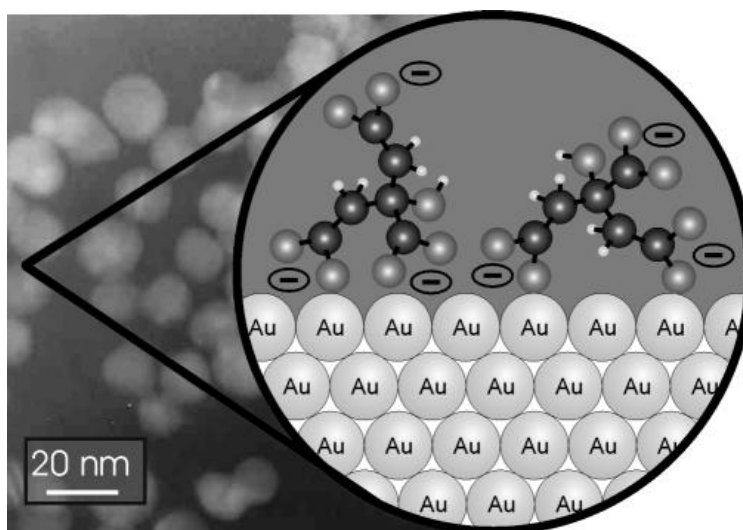
f

74-rasm.Elektronmikraskop yordamida olingan oltin nanozarralarning har hil bosqichlarda olinishi.



75-rasm.Ikkita yonma-yon chegaralarning qo'shilishi sterik tuzilishligi bilan bartaraf etiladi.

Jarayon borishi mobaynida nanozanjir qalinlashib va diyametri 8 nmga yaqinlashganda sistema barqarorligini yoqotib fregmentlarga ajrala boshlaydi. Bunga AuCl_4 ioni kansentratsiyasi kamayib, sitrat-ioni o'z dominantligini o'rnatadi.Ular nanozarralarni qoplab manfiyligini oshiradi bu o'z navbatida kuchli itaruvchanlik effektini uyg'otib chiziqli struktura yemirilib orniga sferik shakilga olib keladi, lekin bu holat tamomila oxiriga yetishi uchun hona haroratida 10-15 daqiqa ushlab turish kerak.5-rasmda olindagi zolning tuzilish shemasi ko'rsatilgan.



76-rasm chap tarafda: 13 nm diametrli oltin nanozarrasining mikrosirati ko'rsatilgan. O'ngda: oltin nanozarrasining tashqi ilyustratsiyasi ko'rsatilgan. Har bitta nanozarra 500000 Au atomlaridan tashkil topgan. Sitrat-onionlari nanozarra ustini qoplaydi.

Adsorbsiya spektroskopiya. Ushbu metodning asosida elektromagnit nurlanishning har hil uchastkadagi spektrlarining yutilishi yotadi, bular: atomi, ioni yoki analiz ostidagi buyumning molekulasi bo'lishi mumkin. Yorug'lik kvantini yutgan atom, ion yoki malekulaning energetik xolati oshadi. Odatda bunda tinch turgan holtdan energetik xolati yuqoriroq bo'lgan xolatga o'tkaziladi. Bunday elektromagnit o'zgarishlar spektrda o'z yutish polasasiga ega bo'lgan zarralarni spektrda paydo bo'lishiga olib keladi. Nurlanishni yutish jarayonida, qatlamlarida o'tish jarayonida buyumning nurlanish intensivligi kamayib boradi.

Yutilish absorbsiyasi har hil to'lqin uzunlikdagi yorug'lik intensivligini o'zgarishini o'lchovchi asbob spektrofotometr yordamida o'lchanadi. Yorug'lik intensivlidi va absorbsiya orasidagi bog'liqlik quydagi tenglama keltirilgan

$$A = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (7.1)$$

A-yorug'lik absorbsiyasi

I_0 -lirish yorug'ligining intensivligi

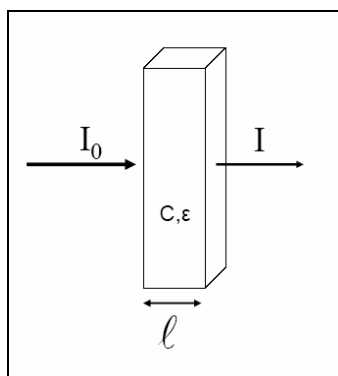
I-chiqish ishi.aralashgan aralashma absorbsiyasi Buger-lamberta-Bera qoidasiga bo'ysunadi.

$$A = \varepsilon(\lambda)Cl \quad (7.2)$$

l -optik qatlamaning qalinligi

C-eritmaning aralashmadagi konsentratsiyasi.

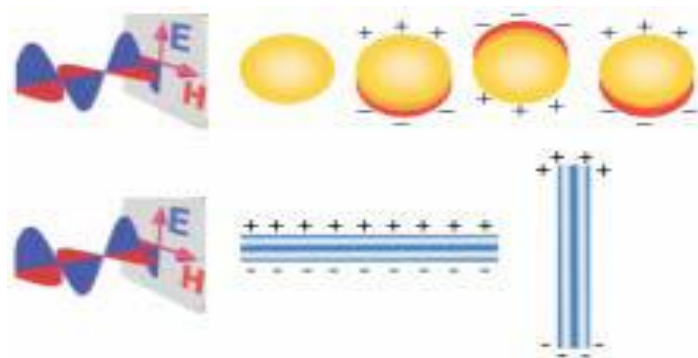
$\varepsilon(\lambda)$ -to'lqin uzunligiga bog'liq bo'lgan yutish koyfitsenti.



77-rasm. Yorug'lik absorbsiyasining shematik ko'rinishi.

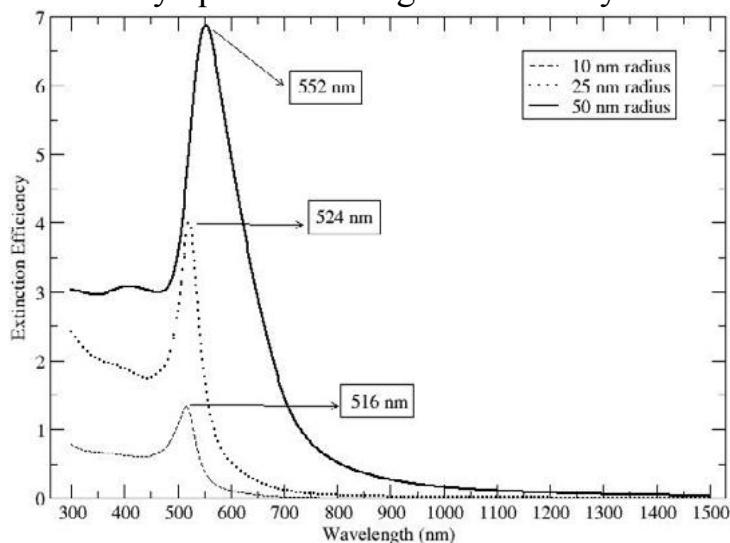
Absorbsiyaviy qo'shilish spektri. $A-(\lambda)$ kordinatali grafikda ko'rish mumkin. Molekulalar turli to'lqin uzunliklari (λ) bilan turlicha tasirlashadi, ya'ni to'lqin uzunligidagi nurlarni ko'proq bazilarini kamroq yutadi, shuning uchun spektrlarda maksimumlar paydo bo'ladi. Bo'yalgan bog'lanish ko'rinadigan joylarda (400-700 nm), bir yoki bir nechta maksimumlar bo'lishi mumkin ($\lambda_{\max}$). Aralashmaning rangsiz ultrabinafsha (200-400 nm) spektr joylarida ultrabinafsha nurlari yutiladi.

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

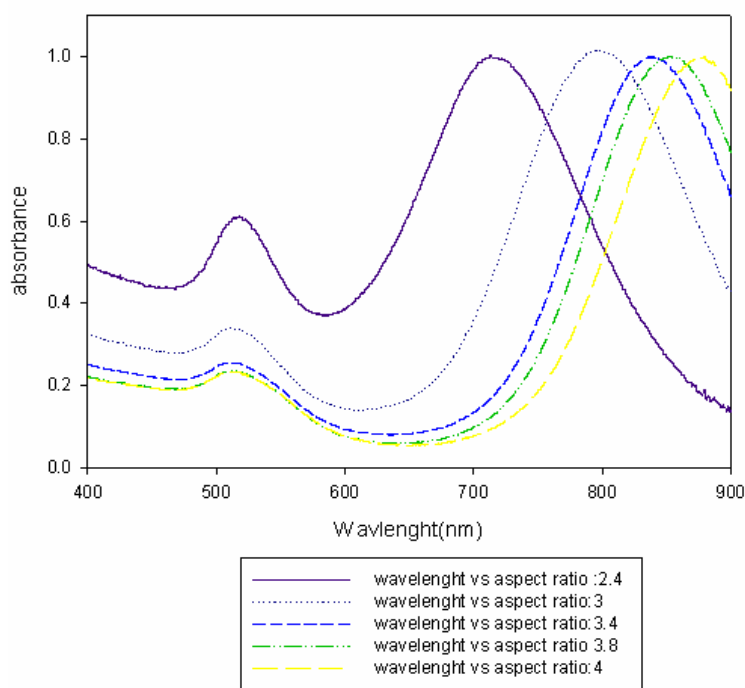


78-rasm. Sfera va sterjen shaklidagi nanozarra uchun tashqi plazmali rezonans shemasi.

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



79-rasm. Sferik oltin nanozarraning yutish spektri [14]
Gold nanorods



80-rasm. O'lchamlariga ko'ra (uzunligini kenngligiga) oltin nanosterjining nur yutish spektri.

Sferik izotrop nanozarra spektrida TPR anizotrop zarra shaklidan farqli ravishda zarra o'lchamlariga uncha bog'liq emas masalan: oltin nanosterjenlari (gold nanorod) anizotrop simmetriyasiga egadir, shuning uchun yutish spetirida ikkita maksimumlar (ko'ndalang va plazmalar) (80-rasm).

Foydalanilgan adabiyotlar

1. X.K. Aripov, A.M. Abdullaev, N.B. Alimova. **Elektronika**. O'quv qo'llanma–Toshkent: TATU, 2008, 137 b.
2. Ugryumov Ye.P. «Tsifrovaya sxemotexnika». Sankt-Peterburg «BXV - Peterburg» 2007g.
3. Bezugmov D.A., Kalenko I.V. «Tsifroviye ustroystva i mikroprotsessoriy». Rostov na Donu 2006 g.
4. Babich N.P., Jukov I.A., «Osnoviy tsifrovoy sxemotexniki» Moskva, DMK, Press-2007 g.
5. Yu.F. Opadchiy, O.P. Gludkin, A.I. Gurov. Analogovaya i sifrovaya elektronika. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2003.
6. Stepanenko I.P. Osnovi mikroelektroniki: Uchebnoe posobie dlya vuzov. – 2-e izd., pererab. i dop.- M.: Laboratoriya Bazovix Znaniy, 2001.
7. Yu.L. Bobrovskiy, S.A. Kornilov, I.A. Kratirov i dr.; Pod red. prof. N.F. Fedorova. Elektronnie, kvantovie pribori i mikroelektronika: Uchebnoe posobie dlya vuzov.- M.: Radio i svyaz, 2002.
8. Dikman L.A., Bogatirev V.A., SHegolev S.Yu., Xlebstov N.G. Zolotie nanochastisti: Sintez, svoystva i biomedistinskie primeneniya. M.: Nauka, 2008. – 318 s.
9. Evdokimov Yu.M., Sichov V.V.//*Uspexi ximii* 2008, 2, 194-206.
10. Krutyakov Yu.A., Kudrinskiy A.V., Olenin A.Yu., Lisichkin G.V. // *Uspexi ximii* 2008, 77(3), 242-265.
11. Gubin S.P., Yurkov G.Yu., Kataeva N.A. Nanochastisti blagorodnix metallov i materiali na ix osnove. M.: *OOO «Azbuka-2000»*, 2006, 156 s.
12. Xlebstov N.G., Bogatirev V.A., Dikman L.A., SHegolev S.Yu. // *Rossiyskie nanotexnologii* 2007 2, № 3-4, 69-86.
13. Murphy C. J., Sau T. K., Gole A. M., Orendorff C. J., Gao J., Gou L., Hunyadi S. E., Li T. // *J. Phys. Chem. B* 2005, 109, 13857-13870.
14. Quan-Yu Cai, Sun Hee Kim, Kyu Sil Choi, Soo Yeon Kim, Seung Jae Byun, Kyoung Woo Kim, Seong Hoon Park, Seon Kwan Juhng, Kwon-Ha Yoon // *Invest. Radiol.* 2007, 42, 797–806.
15. Grieshaber D., MacKenzie R., Voros J., Reimhult E. // *Sensors* 2008, 8, 1400-1458.
16. Daniel Huang, Frank Liao, Steven Molesa, David Redinger, Vivek Subramanianb // *Journal of The Electrochemical Society*, 150 (7) G412-G417 (2003).
17. Pong B.K., Elim H. I., Jian-Xiong Chong, Wei Ji, Bernhardt L. Trout, Jim-Yang Lee // *J. Phys. Chem. C*, 2007, 111 (17), 6281 -628.
18. Whetten R. L., Khoury J. T, Alvarez M. M., Srihari Mu&y, Vezmar I., Wang Z. L., Stephens P. W., Cleveland C. L., Luedtke W. D., LandmanU. // *Adv. Mater.* 1996, 8, 5, 428-433.
19. McFarland A.D., Haynes C.L., Mirkin C. A., Van Duyne R.P., Godwin H. A. // *J. Chem. Ed.* 2004, 544A, 81, 4, www.JCE.DivCHED.org.
20. Liz-Marzan L. M. // *materialstoday* 2004, February, 26-31.
21. Rayford II C. E., Schatz G., Shuford K. // *Nanoscape* 27, Spring 2005, Volume 2, Issue 1.

MUNDARIJA	
Kirish.....	3
I BOB. Elektrvakuum va yarim o'tkazgichli asboblarda kechadigan fizik jarayonlar.....	5
1.1. Gazlarlada elektr toki.....	5
1.2. Yarim o'tkazgichlarni fizik xossalari.....	12
1.3. Energetik zonalar.....	21
1.4. Yarim o'tkazgichlarda xususiy elektr o'tkazuvchanlik.....	22
1.5. Yarim o'tkazgichlarda kiritmali elektr o'tkazuvchanlik.....	24
II BOB. Yarim o'tkazgichli diodlar	28
2.1. Elektron-rovak o'tish.....	28
2.2. To'g'rilovchi diodlar.....	34
2.3. Stabilitronlar.....	37
2.4. Varikaplar. Tunnel diodlar	38
2.5. Generator diodlari	39
2.6. Optoelektronika diodlari.....	40
III BOB. Tranzistorlar.....	43
3.1. Bipolyar tranzistorlar.....	43
3.2. Bipolyar tranzistorlarni statik xarakteristikallari va fizik parametrlari....	47
3.3. Maydoniy tranzistor.....	50
3.4. Maydoniy tranzistorni statik xarakteristikallari va asosiy parametrlari...	52
3.5. Kanali induksiyalangan MDYa – tranzistor	54
3.6. Kanali qurilgan MDYa – tranzistor.....	55
3.7. Keng polosali kuchaytirgichlar.....	57
IV BOB. Integral mikrosxemalar.....	67
4.1. IMS haqida umumiy ma'lumotlar.....	67
4.2. Pardali va gibril IMSlar	68
4.3. Yarim o'tkazgichli IMSlar.....	68
V BOB. Kuchaytirgich qurilmalari sxemotexnikasi.....	72
5.1. Kuchaytirgichlarning asosiy parametrlari va xarakteristikallari.....	72
5.2. Komplementar emitter qaytargich.....	74
5.3. Balans sxemalar asosidagi kuchaytirgich.....	75
5.4. Barqaror tok generatori.....	76
5.5. O'zgaras kuchlanish sathini siljitish qurilmasi.....	77
5.6. Differensial kuchaytirgichlar.....	78
5.7. Operasion kuchaytirgichlar.....	79
VI BOB. Yarim o'tkazgichli statik raqamli integral mikrosxemalar sxemotexnikasi.....	87
6.1. Raqamli texnika asoslari.....	87
6.2. Mantiqiy IMS parametrlari.....	88
6.3. Bipolyar tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalar	90

6.4. Maydoniy tranzistorlarda yasalgan kalit sxemalar	92
6.5. Mantiqiy integral mikrosxemalarning negiz elementlari.....	94
VII BOB. Nanoelektronika.....	101
7.1. Nanoelektronikani rivojlanish bosqichlari.....	101
7.2. Nanozarralar.....	102
Foydalanilgan adabiyotlar	108
Mundarija.....	109