

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT TEXNOLOGIYALARI VA
KOMMUNIKATSIYARINI RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI**

**TOSHKENTAXBOROTTEXNOLOGIYALARIUNIVERSITETI
NUKUSFILIALI**

ELEKTRONIKA

FANIDAN MA'RUZALAR MATNI

**Bakalavriaturaning 5350100 «Telekommunikaciya texnologiyalari» yo'nalishining
2-kurs talabalari uchun**

Nukus- 2015

MUNDARIJA

1. Ma'ruza 1. Elektronika fani haqida tushuncha
 2. Ma'ruza 2. Yarimo'tkazgichlarni elektr xususiyatlari.
 3. Ma'ruza 3. p-n o'tish.
 4. Ma'ruza 4. Yarimo'tkazgich diodlar.
 5. Ma'ruza 5. p-n o'tish teshilish turlari. Diod turlari.
 6. Ma'ruza 6. Bipolyar tranzistorlar (BT) .
 7. Ma'ruza 7. BT ulanish sxemalari va fizik parametrlari.
 8. Ma'ruza 8. BT elektrod toklarining parametrik tenglamasi.
 9. Ma'ruza 9. BTni chastotaxususiyatlari.
 10. Ma'ruza 10. BTni impuls xususiyatlari.
 11. Ma'ruza 11. Maydoniy (unipolyar) tranzistorlar.
 12. Ma'ruza 12. Zatvori izolyasiyalangan MTlar. Kanali induksiyaalangan MDYA tranzistorlar.
 13. Ma'ruza 13. Kanali qurilgan MDYA tranzistorlar.
 14. Ma'ruza 14. Dinistorlar va tiristorlar.
 15. Ma'ruza 15. Fotoelektr asboblari.
 16. Ma'ruza 16. Funktsional elektronika rivojlanishining asosiy yo'nalishlari.
 17. Ma'ruza 17. Nanoelektronika.
- Foydalanilgan adabiyotlar.

ELEKTRONIKA FANI HAQIDA TUSHUNCHA

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 nesha bosqishlardan iborat: xarakat 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 jarayonida to'rt bosqishni 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 ulagishlar, 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 radioorqali tovush, musiqa, keyinshalik esa televidenieorqali tasvirlarni ham uzatishga o'tishna imkon yaratdi. Ikkinchi bosqish elektronika apparaturalari elementlariga – elektron lampalar, rezistorlar, kondensatorlar, transformatorlar kiradi.

Uchinchi bosqich 1948 yili Dj. Bardin, V. Bratteyn va V. SHoklilar tomonidan qattiq jismli (yarim o'tkazgishli) 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 ulagish vazifasini bajaraolish xossasi, kichik o'lshamlari va yuqori ishonshligiga ko'ra bir nesha ming elektradioelementlardan (ERE) tashkil topgan murakkab elektron qurilma va tizimlarni yaratish imkoniyati tug'ildi. Bunday qurilmalarni loyixalash juda oson, lekin xatosiz yig'ish va ishlachini 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 mingtasha tranzistorlardan iborat edi.

Diskret elementlar quyidagi xossalarga ega: o'rtasha quvvati 15 mVt,

o'lshamlari (bog'lanishlari bilan) 1 sm^3 , o'rtasha og'irligi 1 g va buzilish ehtimolligi 10^{-5} s^{-1} . Natijada diskret elementlardan tuzilgan EHMning sochilish quvvati 3 kVt , o'lshamlari $0,2 \text{ m}^3$, 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'lshamlari va og'irligi, tannarxi va boshqalar bir nesha 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 gibril integral mikrosxemalar (GIS) va yarim o'tkazgichli integral mikrosxemalar.

2-ma'ruza.

Zamonaviy elektronika

Elektronikada ko

aniladiggan



2.1-rasm.

ta'qiqlangan zona kengliklari ΔW_t (eV) quyidagiga teng: germaniy uchun – 0,67, kremniy uchun – 1,12 va galliy arsenidi uchun -1,38.

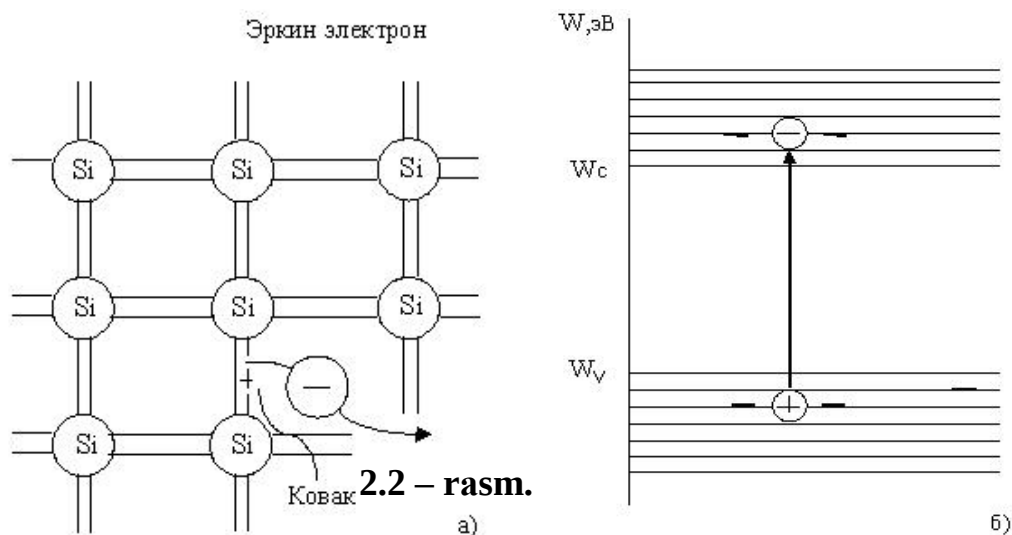
Dielektriklarda ta'qiqlangan zona kengligi $\Delta W_t \geq 2$ eV, metallarda esa ruxsat etilgan zonalar bir – biriga kirib ketgan bo'ladi, ya'ni mavjud emas.

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.

Xususiy elektr o'tkazuvchanlik

Yarim o'tkazgichli elektronika maxsulotlarining deyarli 97 % kremniy asosida yasaladi. 2.2– 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.



2.2 – 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 o'tishi bilan yoki yorug'lik nuri tushirilganda kovalent bog'lanishlarning bir qismi uziladi va valent elektronlar o'tkazuvchanlik zonasiga o'tish uchun etarlicha energiya oladilar (2.2. 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.

Temperaturaortgan 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 kovakli deb ataladi va u elektron zaryadining absolyut qiymatiga teng bo'lgan erkin musbat zaryad tashuvchi hisoblanadi. Kovakning harakatlanishi valent elektroni harakatiga qarama – qarchi 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 2.2 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'tkazgich 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. Xususiylar yarim o'tkazgichlarda elektronlar konsentratsiyasi kovaklar konsentratsiyasiga teng bo'ladi ($n_i = p_i$). n (negative so'zidan) va p harflari (positive so'zidan) mos ravishda elektron va kovakka mos keladi. Kiritmasiz yarim o'tkazgichda hosil bo'lgan elektron va kovaklar ***xususiylar erkin zaryad tashuvchilar*** va ularga asoslangan elektr o'tkazuvchanlik esa ***xususiylar elektr o'tkazuvchanlik*** deb ataladi.

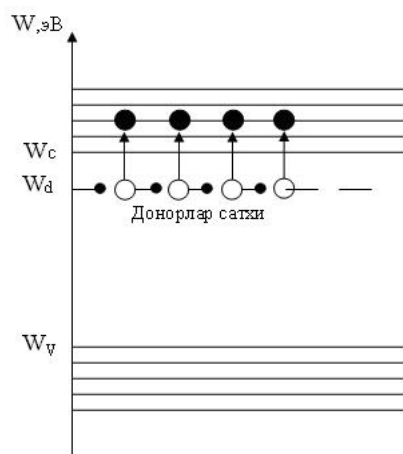
Kiritmali elektr o'tkazuvchanlik

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

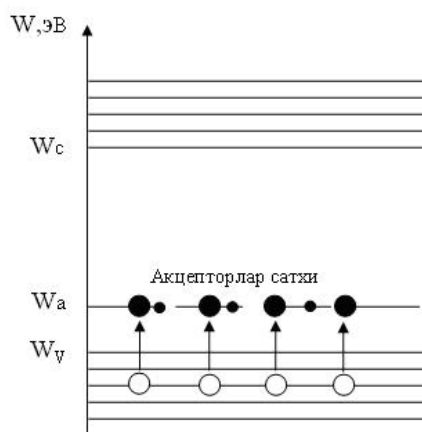
Kremniy atomiga D.I. Mendeleev davriy elementlar tizimidagi V guruh elementlari (masalan, margumush As) kiritilsa **uning 5ta valent elektronidan to'rttasi qo'shni kremniy atomining** to'rtta valent elektronlari bilan bog'lanib-sakkiz elektrondan tashkil topgan mustahkam qobiq hosil qiladilar. Beshinchi elektron ortiqsha bo'lib, o'zining atomi bilan kuchsiz bog'langan bo'ladi. Shuning uchun kichik issiqlik energiyasi ta'sirida u uziladi va erkin elektronga aylanadi (2.3 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 (2.3 b -rasm). Kiritmali atom musbat zaryadlangan qo'zg'almas ionga aylanadi. Bunday kiritma **donor** deb ataladi.

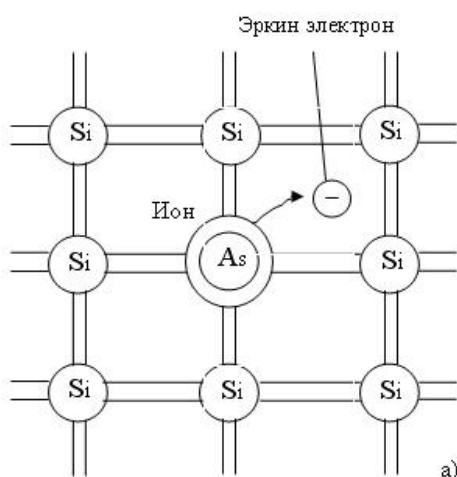
Yarim o'tkazgichli asboblarda yasashda ko'p kiritma atomlari kiritiladi (1 sm^3 hajmga 10^{14} - 10^{18} darajadagi atomlar). Xona temperaturasida kiritmaning har bir atomi bittadan erkin elektron hosil qiladi. Kovaklar esaxususiy yarim o'tkazgichlardagi kabi kremniy atomi elektronlarining o'tkazuvchanlik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



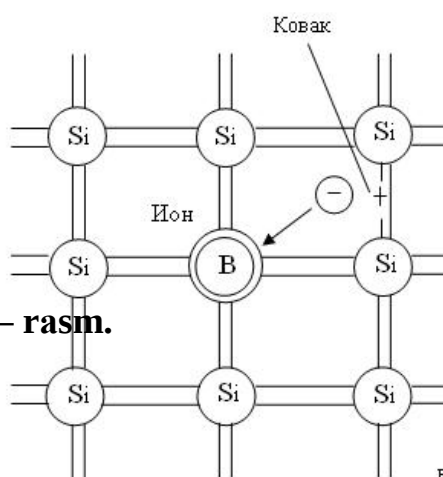
б)



г)



а)



б)

2.3 – rasm.

Yarim o'tkazgich tarkibiga katta darajadagi donor kiritmaning kiritilishi erkin elektronlar konsentratsiyasini oshiradi, kovaklar konsentratsiyasi esaxususiy 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 $np \approx 0,64 \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$, germaniyda esa $np \approx 4 \cdot 10^{26} \text{ smg}^{-3}$. Shunday

qilib, agar kremniy kristalliga konsentrasiyasi 10^{16} sm^{-3} bo'lgan donor kiritma kiritilsa, $T=300 \text{ K}$ da elektronlar ztkazuvshanligi $n=10^{16} \text{ sm}^{-3}$, 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'tkazgish 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. Mendeleev 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. Unsha kattabo'lmagan issiqlik energiyasi ta'sirida ham qo'shni kremniy atomining valent elektronlari bu bog'lanishni to'ldiradi. Natijada borning tashqi qobig'ida ortiqsha 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 (2.3 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 (2.3 g - rasm). Bu vaqtda erkin elektron hosil bo'lmaydi. Bunday kiritma – akseptorli deb ataladi, akseptor atomlari kiritilgan yarim o'tkazgish esa – ***kovak*** yoki ***p – turdagi elektr o'tkazuvchanlik*** deb ataladi. *p*-turdagi yarim o'tkazgich uchun kovaklar – asosiy zaryad tashuvchilar, - elektronlar esa - asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar hisoblanadi.

Fermi sathi. Berilgan temperaturada harakatshan va qo'zg'almas zaryad tashuvchilar konsentrasiyasi Fermi sathi W_F holati bilan aniqlanadi. Bu sath bir elektronga mos keluvchi jismning o'rtasha issiqlik energiyasiga mos keladi. Absolyut nol temperaturadan farqli temperaturada bu sathning to'lish ehtimoli 0,5 ga teng.

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

$$n = n_n \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right), \quad (2.1)$$

bu erda n_n – erkin elektronlarning to'liq konsentrasiyasi. Xuddi shunday ifodalar kovaklarni energiya bo'ylab taqsimotini ifodalaydi. (2.1) dan ko'rinib turibdiki, zarracha energiyasining ortishi bilan, zarrashalar soni keskin kamayadi.

Ikkala ishoradagi erkin zaryad tashuvchilar konsentrasiyasi teng bo'lgan xususiy yarim o'tkazgishlar uchun Fermi sathi ta'qiqlangan zonaning o'rtasidan o'tadi. Elektron yarim o'tkazgichda elektronlarning (butun yarim o'tkazgichning) o'rtasha energiyasi yuqori bo'ladi, demak Fermi sathi o'rtadan o'tkazuvchanlik zonasi tubi tomonga siljiydi va donor kiritma konsentrasiyasi qancha yuqori bo'lsa shuncha o'tkazuvchanlik zonasi tubi tomonga

yaqinlashadi. p- turdari yarim o'tkazgichda Fermi sathi ta'qiqlangan zona o'rtasidan valent zona chipi tomonga siljiydi va akseptor kiritma konsentrasiyasi qancha yuqori bo'lsa shuncha valent zonasi chipi tomonga yaqinlashadi.

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

Zaryad tashuvchilar harakatchanligi. Zaryad tashuvchilarning harakatshanligi μ - bu elektr maydon kuchlanganligi $E = 1 \text{ V/sm}$ bo'lgandagi yarim o'tkazgichdagi zaryad tashuvchilarning o'rtacha yo'naltirilgan tezligi. Elektronlar harakatchanligi μ_n doim kovaklar harakatshali μ_p dan yuqori bo'ladi. Bundan tashqari zaryadlar harakatshanligi 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** v_{dr} elektr maydon kuchlanganligi E ga proporsional bo'ladi

$$v_{dr} = \mu \cdot E \quad (2.2)$$

Elektron va kovaklar dreyf tokining natijaviy zichligi

$$j_{dr} = q(n\mu_n + p\mu_p) \cdot E. \quad (2.3)$$

Diffuziya koefficienti. 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 zishligi quyidagiga teng

$$\begin{aligned} j_{D\Phi} &= -qD_p \left(\frac{dp}{dx} \right); \\ j_{DQ} &= qD_n \left(\frac{dn}{dx} \right); \end{aligned} \quad (2.4)$$

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

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

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

$$Dp = \left(\frac{kT}{q} \right) \cdot \mu_p = \varphi_T \mu_p. \quad (2.5)$$

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

Yashash vaqti τ . Zaryad tashuvchining yashash vaqti deganda uning generasiyasidan rekombinasiyasigacha bo'lgan vaqti tuchuniladi. Yarim o'tkazgichning bu parametri yarim o'tkazgichli asboblarni (bipolyar tranzistorlardagi bazakengligi, maydoniy tranzistorlarda kanaluzunligi) konstruksiyalashda kattaahamiyatga ega. Yashash vaqtida zaryad tashuvchining diffuziya harakati natijasida diffuziya uzunligi deb ataluvchi, o'rtasha masofasi ma'lum Lga teng bo'lgan masofani bosib o'tadi.

3 – ma’ruza.

P-N 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 – sohalarning ajralish shogarasida hajmiy zaryad qatlami hosil bo'ladi va bu sohalar shogarasidagi ichki elektr maydoni yuzaga keladi va bu qatlam **elektron – kovak o'tishyoki p-n o'tish** deb ataladi. Ko'p sonli yarim o'tkazgichli asbobl va integral mikrosxemalar ishlash prinsipining p-n o'tish xossalriga asoslangan.

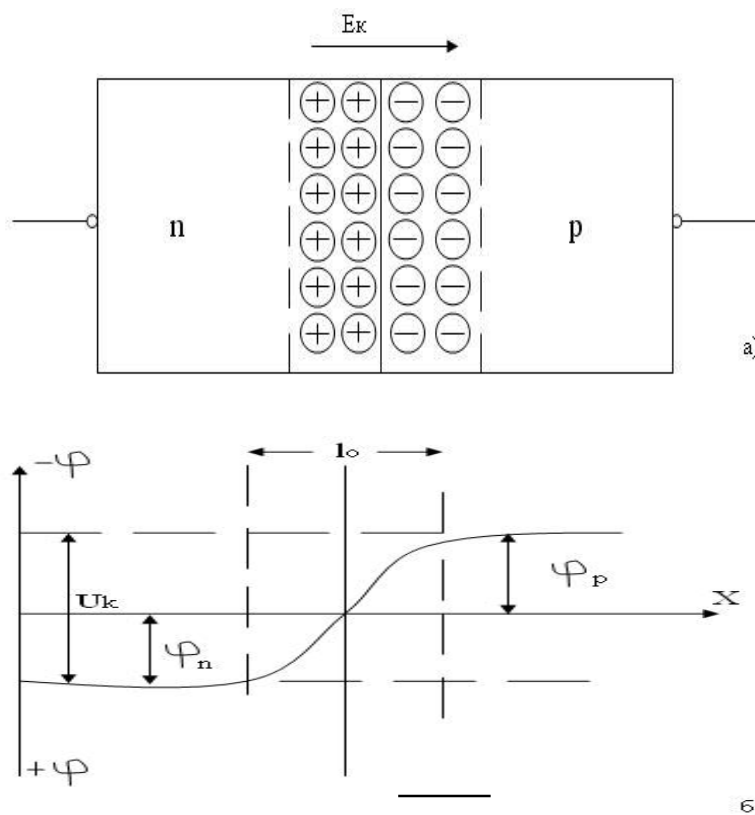
P-n o'tish hosil bo'lish mexanizmini ko'rib chiqamiz. Soddalik uchun, n – sohadagi elektronlar va p – sohadagi kovaklar sonini teng olamiz. Bundan tashqari, har bir sohada uncha katta bo'lmagan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar miqdori mavjud. Xona temperaturasida r – turdagi yarim o'tkazgichda akseptor manfiy ionlarining konsentrasiyasi Na kovaklar konsentrasiyasi p_p ga, n – turdagi yarim o'tkazgichda donor musbat ionlarining

konsentrasiyasi N_d elektronlar konsentrasiyasi n_n ga teng bo'ladi. Demak, p- va n – sohalar o'rtasida elektronlar va kovaklar konsentrasiyasida sezilarli farq mavjudligi tufayli, bu sohalar birlashtirilganda elektronlarning p – sohaga, kovaklarning esa n – sohaga diffuziyasi boshlanadi.

Diffuziya natijasida n– soha shogarasida elektronlar konsentrasiyasi musbat donor ionlari konsentrasiyasidan kam bo'ladi va bu soha musbat zaryadlana boshlaydi. Bir vaqtning o'zida p- soha shogarasidagi kovaklar konsentrasiyasi kamayib boradi va u akseptor kiritmasi bilan kompensasiyalangan ion zaryadlari hisobiga manfiy zaryadlana boshlaydilar (3.1 – rasm). Plyus va minusli 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 r- va n – soha qarshiliklariga nisbatan juda katta. Ba'zi hollarda adabiyotlarda bu qatlam **kambag'allashgan** yoki **i – soha deb ataladi**.

Hajmiy zaryadlar turli ishoralarga ega bo'ladilar va p-n o'tishda kuchlanganligi 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. 3.1 b-rasmda o'tish yuzasiga perpendikulyar bo'lgan, X o'qi bo'ylab potensialo'zgarishi ko'rsatilgan. Bu vaqtda nol potensial sifatida chegaraviy soha potensiali qabul qilingan.



3.1 – rasm.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, p-n o'tishda voltlarda ifodalanadigan **kontakt potentsiallar farqiga** $U_K = \varphi_n - \varphi_p$ teng bo'lgan potentsial to'siq yuzaga keladi. U_K kattaligi dastlabki yarim o'tkazgich material ta'qiqlangan zona kengligi va kiritma konsentrasiyasiga bog'liq bo'ladi.

Ko'pgina p-n o'tishlar kontakt potentsiallar farqi: germaniy uchun $U_K \approx 0,35$ V, kremniy uchun esa $= 0,7$ V.

P-n o'tish kengligi $l_0 \sqrt{U_K}$ ga bo'ladi va mkmning o'nlik yoki birlik qismlarini tashkil etadi. Tor p-n o'tish hosil qilish uchun katta kiritma konsentarsiyasi kiritiladi, l_0 ni kattalashtirish uchun esakichik kiritmalar konsentrasiyasi qo'llaniladi.

P-n o'tish toklari.

$$U_i = \frac{U_R}{q} \quad \text{energiyaga ega bo'lgan ko'pgina zaryad}$$

tashuvchilar (3.1- rasmga qarang) p-n o'tish orqali qo'shni sohalarga diffuziya hisobiga p-n o'tish maydoniga qarama – qarchi 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 tezlatuvchibo'lib ta'sir ko'rsatayotgan 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'zaroqarama – qarshi yo'nalishda yo'nalganligi uchun, p-n o'tishdagi natijaviy tok nolga teng bo'ladi.

P-no'tish sig'imi. Past shastotalarda p-n o'tish toki faqat elektron – kovak

o'tishning aktiv qarshiliklari hamda yarim o'tkazgichning r 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.

To'g'ri ulangan p-n o'tishda qo'shni sohalarga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar injeksiyalanadi. Natijada p-n o'tishning yupqachegaralarida qiymati jihatidan teng lekin qarama-qarshi ishoraga ega bo'lgan qo'shimcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar Q_{DIF} yuzaga keladilar. Kuchlanish o'zgarsa 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 tushganliklar sababli, bu sig'im **diffuziya sig'imi** deb ataladi va quyidagi ifodadan aniqlanadi

$$C_{D\Phi} = \frac{qI\tau}{kT} . \quad (2.8)$$

(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

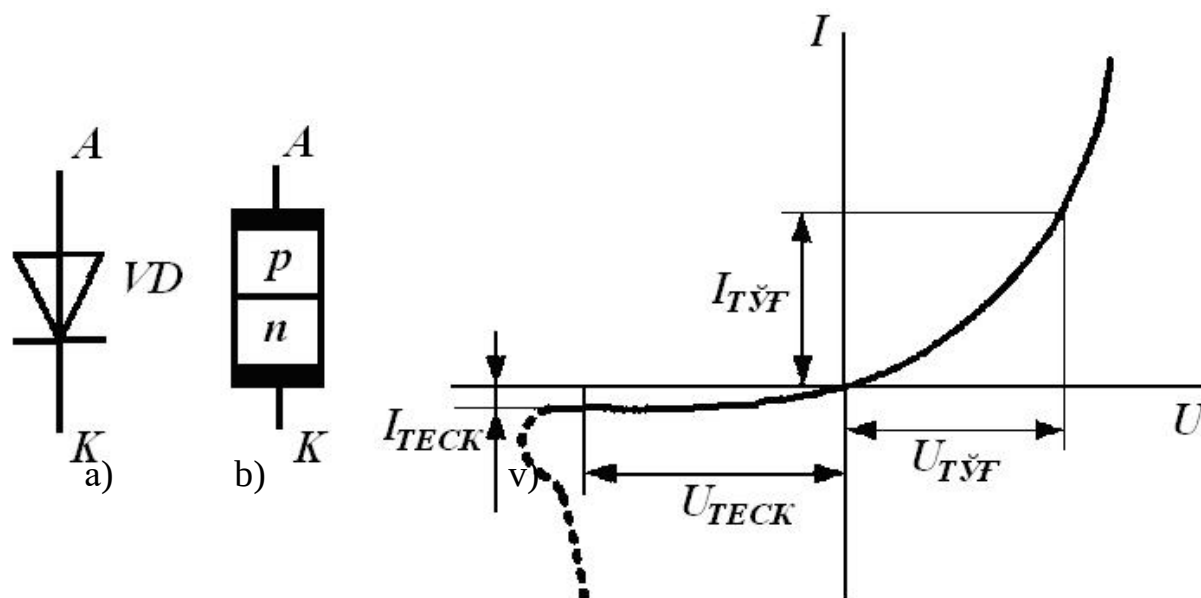
Ikki elektr qatlamga ega bo'lgan elektron – kovak o'tish zaryadlangan kodensatorga o'xshaydi. O'tish sig'imi o'tish yuzasi S , uning kengligi va dielektrik doimiysi ϵ bilan aniqlanadi. O'tish sig'imi **to'siq sig'imi** deb ataladi va quyidagi ifodadan aniqlanadi

$$C_{E0} = S \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon q N d}{2U_K \left(1 + \frac{Nd}{Na}\right)}} . \quad (2.9)$$

Yarimo’tkazgich diod deb bir (yoki bir necha) elektr o’tishlarga ega ikki elektrodli elektron asbobga aytiladi. Diodlar radioelektronqurilmalarda ishlatilishi va bajaradigan vazifasiga muvofiqtasniflanadilar.

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

Yarimo’tkazgichlar diodlarning elektr sxemalarda shartli belgilanishi 4, a - rasmda, uning tuzilmasi ko’rinishi b - rasmda keltirilgan. Rasmlarda diodning chiqishlari A va K ko’rsatilgan bo’lib, ular diodning elektrodleri deb ataladi. Diodning p - tomoniga ulangan elektrod anod deb, n - tomoniga ulangani esa – katod deb ataladi. Diodning statik VAXi v - rasmda keltirilgan.



4 – rasm. Yarimo’tkazgich diodning shartli belgilanishi (a), tuzilmasi ko’rinishi (b) va statik VAXi (v).

Yarimo’tkazgich diodning to’g’ri va teskariyo’nalishlaridagi qarshiliklari bir – biridan keskin farq qiladi: to’g’ri yo’nalishda siljirilgan diodning qarshiligi qiymati kichik, teskari siljirilgan diodniki esa – katta bo’ladi. Shu sababdan diod bir tomonga elektr tokini yaxshi o’tkazadi, ikkinchi tomonga esa – yomon o’tkazadi.

Diodni asosiy parametrlari:

1. Statik qarshilik

$$R_{st} = \frac{U_D}{i_D} [\text{Om}] ;$$

2. Differensial qarshilik $r_{dif} = \frac{\Delta U}{\Delta i}$
[Om] ;

3. Xarakteristika tikligi

$$S = \frac{\Delta i}{\Delta U} [\text{A/V}]$$

P-N O'TISH TESHILISH TURLARI. DIOD TURLARI

Yuqorida aytib o'tilganidek, uncha katta bo'lmaganteskari kuchlanishlarda I_0 qiymati katta emas. Teskari kuchlanish ma'lum chegaraviy qiymatga U_{CHEG} etganda, 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'shkisimon va tunnel teshilish.

Ko'shkisimon teshilish nisbatan keng p-n o'tishlarda sodir bo'ladi. Bunday o'tishda teskari kuchlanishda elektron va kovaklar zarba ionizasiyasi uchun etarli bo'lgan energiyaoladilar va natijada qo'chimsha elektron-kovak juftlar hosil bo'ladi. Bu juftliklarning har bir tashkil etuvchisi, o'z navbatida, elektr maydonida tezlachib, yana yangi juftlikni yuzaga keltiradi va x.z. Zaryad tashuvchilarning bunday ko'shkisimon 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. $U_{\text{TESH}} \geq U_{\text{CHEG}}$ etganda zaryad tashuvchilarning bir sohadan ikkinchisiga energiya sarf qilmasdan o'tishga 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'shkisimon ortishiga olib keladi, natijada p-n o'tishda issiqlik teshilishi yuz beradi va u ishdan chiqadi.

Stabilitron

Stabilitron - yarim o'tkazgichli diod bo'lib, uning ishlash prinsipi p-n o'tishga teskari kuchlanish berilganda elektr teshilish sohasida tokning keskin ortishi kuchlanishning uncha katta bo'lmagan o'zgarishiga olib kelishiga asoslangan. Stabilitronning shartli belgisi 5.1.b –rasmdakeltirilgan. Stabilitron sxemalarda kuchlanishni barqarorlash uchun ishlatiladi.

Stabilitronning asosiy parametri bo'lib, tokning $I_{\text{ST.min}}$ dan $I_{\text{ST.max}}$ gacha keng o'zgarish oralig'ida barqarorlash kuchlanishi U_{ST} hisoblanadi (5.1. a- rasm).

Stabilitron VAX sidagi ishchi soha elektr teshilish sohasida joylashadi.

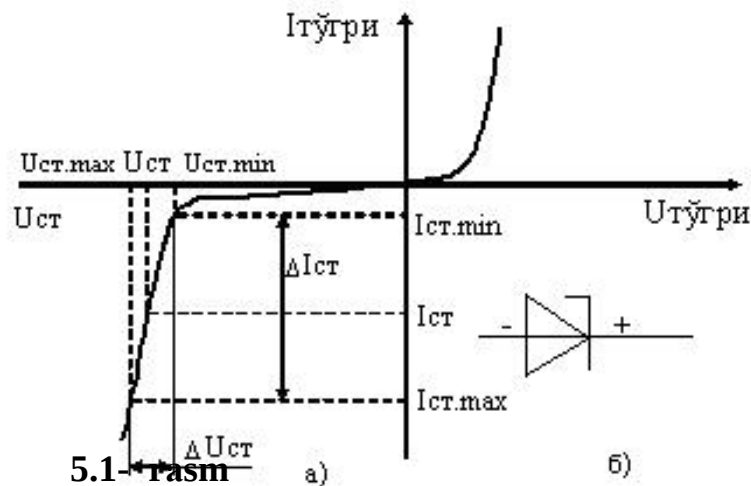
Barqarorlash kuchlanishi diod bazasidagi kiritma konsentrasiyasi bilan aniqlanadigan p-n o'tishga bog'liq. Agar yuqori konsentrasiyaga ega bo'lgan yarim o'tkazgich qo'llanilsa, u holda p-n o'tish tor bo'ladi va tunnel teshilish kuzatiladi. U_{ST} ishchi kuchlanishi 3-4 V dan oshmaydi.

Yuqori voltli stabilitronlar keng p-n o'tishga ega bo'lishi kerak, shuning uchun ular kuchsiz legirlangan kremniy asosida yasaladilar. Ularda ko'shkisimon 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 stabilitronlar ishlab chiqariladi.

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

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



Stabilitronning kuchlanishining temperatura koefficienti (KTK) hisoblanadi. KTK – bu temperatura bir gradusga o'zgarganda barqarorlash kuchlanishining nisbiyo'zgarishi.

Ko'shkisimon teshilish kuzatiladigan kichik voltli stabilitronlar odatda musbat KTKga ega. KTK qiymati odatda 0,2 -0,4 % /grad dan oshmaydi.

To'g'rilovchi diodlar

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

To'g'rilovchi diodlarning ishlatilish chastota diapazoni juda keng. Shu sababli ular ishchi shastota 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. PSH diodlari katta — p-no'tish bilan xarakterlanadilar.

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

Shottki to'sig'li (barerli) diodlar kuchlanish manbai qayta ulagichlarida keng tarqalgan, chunki ular qayta ulanish ishchi chastotasini 100 kGs va undan yuqoriga orttirishga, radioelektron apparatura o'g'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 kattabo'lishi talab qilinadi. Bunday diodlarda diffuziya sig'imi nolga teng, to'siq sig'imi esa 1 pF dan oshmaydi.

Varikaplar

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

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

Tunnel diodlari

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 xarakteristika manfiy differensial qarshilikka ega bo'lgan soha mavjud bo'ladi.

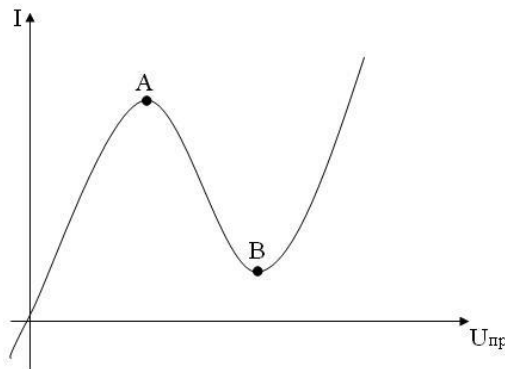
Tunnel diodlar boshqa turdagi diodlardan sezilarli farq qilmaydi, lekin ularni yasash uchun 10^{20} sm^{-3} kiritmaga ega bo'lgan yarim o'tkazgichli materiallar qo'llaniladi.

VAX nochiziqli bo'lsa, uning har bir kichik sohasi to'g'ri chiziq deb qaraladi va xarakteristikaning bu nuqtasida sial

diff
eren

qarshilik kiritiladi. Agar xarakteristika kamayuvchi bo'lsa, bu sohada qarshilik R_i manfiy qiymatga ega bo'ladi.

Tunnel diodi VAX 5.2 – rasmda keltirilgan. AB soha manfiy differensial qarshilik bilan xarakterlanadi. Agar tunnel diodi tebranma kontur elektr zanjiriga ulansa, u holda kontur va shu zanjirdagi manfiy qarshilik kattaligi o'rtasidagi ma'lum nisbatlarda tebranishlar kuchayishi yoki generasialanishi mumkin. Tunnel diodlari asosan 3-30 GHz diapazonda O'YUCH generatorlar qurishda, hamda maxsus hisob qurilmalari va mantiqiy yuta yuqori tezlikda ishlaydigan sxemalarda qo'llaniladi.



5.2 - rasm

Generator diodlar

Generator diodlarining biri bo'lib **ko'chkili – uchma diodlar (KUD)** hisoblanadi. Uning VAXsida p-n o'tishdagi ko'chkisimon teshilishda yuqori chastotalarda manfiy qarshilikka ega bo'lgan soha yuzaga keladi. Agar KUD rezonatorga joylashtirilsa, unda shastotasi 100 GHz gachabo'lgan so'nmaydigan tebranishlar yuzaga keladi. Tebranishlarning chiqish quvvati ($f=1$ GHz bo'lganda) 10 W gachaetishi mumkin. KUDning FIK 30-50 %ga etadi.

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

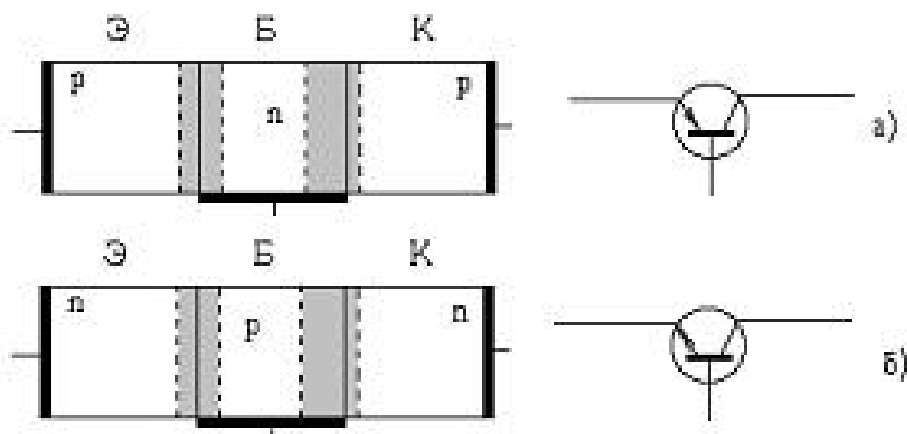
6 – ma’ruza.

BIPOLYAR TRANZISTORLAR (BT)

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 - kovaklarning harakatiga asoslangan.

Bipolyar tranzistor p-n-p va n-p-n o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan uchta yarim o'tkazgichdan tashkil topgan (6.1 a va b - rasm). Endilikda keng tarqalgan p-n-p tuzilmali bipolyar tranzistorni ko'rib chiqamiz.

Tranzistorning kuchli legirlangan shekka sohasi (n_K - soha) **emitter** deb ataladi va u zaryad tashuvchilarni **baza** deb ataluvchi o'rta sohaga (p - soha) injeksiyalaydi. Keyingi chekka soha (n - soha) **kollektor** deb ataladi. U emitterga nisbatan kuchsizroq legirlangan bo'lib, zaryad tashuvchilarni baza sohasidan ekstraksiyalash uchun xizmat qiladi (6.2- rasm). Emitter va baza oralig'idagi o'tish emitter o'tish, kollektor va bazaoralig'idagi o'tish esa kollektor o'tish deb ataladi.



6.1 – 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.

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.

6.1 – rasm.

BTni asosiy parametrlari:

Kirish qarshiligi:

$$R_{KIP} = \frac{\Delta u_{KIP}}{\Delta i_{KIP}}$$

Chiqish qarshiligi:

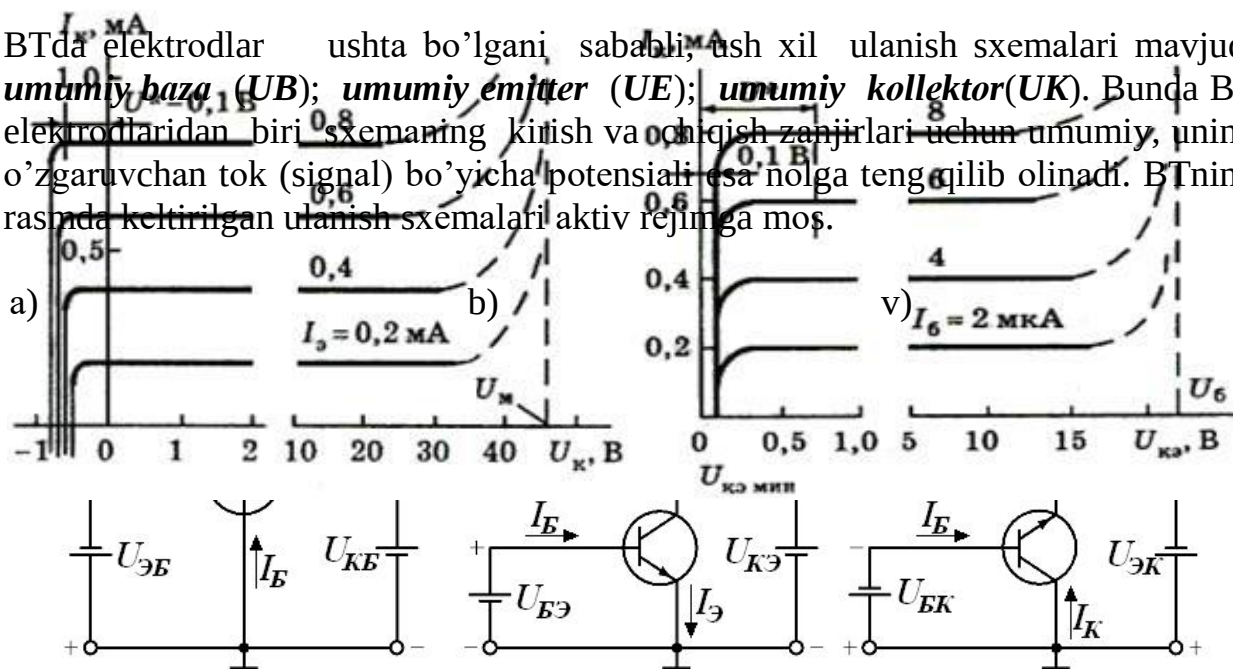
Tok bo'yicha kuchaytirish koefficienti:

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefficienti:

Quvvat bo'yicha kuchaytirish koefficienti:

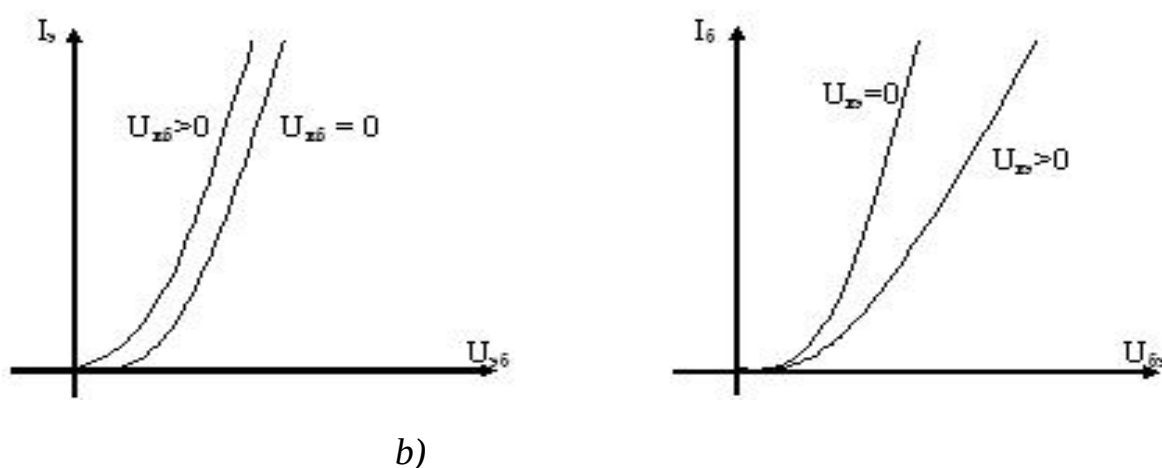
BT ULANISH SXEMALARI VA FIZIK PARAMETRLARI

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



7.1 – rasm. BTning statik rejimda UB (a), UE (b) va UK (v) ulanish sxemalari

UB sxemasi uchun kirish statik xarakteristikasi bo’lib $U_{KB} = const$ bo’lgandagi $I_E = f(U_{ЭБ})$ bog’liqlik, UE sxemasi uchun esa $U_{KE} = const$ bo’lgandagi $I_B = f(U_{БЭ})$ bog’liqlik hisoblanadi. Kirish xarakteristikalarining umumiy xakteri odatda to’g’ri yo’nalishda ulangan $p-n$ bilan aniqlanadi. Shu sababli tashqi ko’rinishiga ko’ra kirish xarakteristiklari eksponencial xakterga ega (7.2- rasm).



7.2– rasm.

Kollektor o’tishdagi teskari kulanishning ortishi bilan UB sxemadagi kirish xarakteristika shapga, UE sxemada esa o’ngga siljiydi. UB sxemadagi tranzistorning chiqish xarakteristiklari oilasi bo’lib $I_E = const$ bo’lgandagi $I_K = f(U_{КБ})$ bog’liqlik, UE sxemada esa $I_B = const$ bo’lgandagi $I_K = f(U_{КЭ})$ bog’liqlik hisoblanadi.

a)

b)

7.3 – rasm.

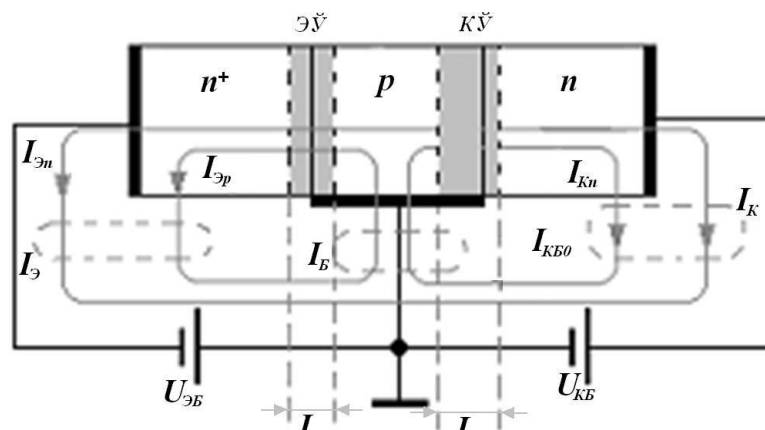
Chiqish xarakteristiklari ko'rinishiga ko'ra teskari ulangan diod VAX sigao'xshaydi, shunki kollektor o'tish teskari ulangan. Xarakteristikalarni qurishda kollektor o'tishning teskari kuchlanishini o'ngda o'rnatish qabul qilingan (4 – rasm).

UE sxemasida ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikasi UB sxemada ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikasiga nisbatan katta qiyalikka ega.

UB sxemada ulangan, eritib tayyorlangan $p-n-p$ BTning aktiv rejimda ishlachini ko'rib chiqamiz (7.4 - rasm).

BTning ishlachi uch hodisa hisobiga amalga oshadi:

- emitterdan asosiy zaryad tashuvchilarning bazaga injeksiyalanishi;
- bazaga injeksiyalangan EZTlarning diffuziya va dreyf hisobiga KO'gachaetib kelishi;
- bazaga injeksiyalangan va KO'gachaetib kelgan noasosiy zaryad tashuvchilarning ekstraksiyalanishi.



7.4 - rasm. Aktiv rejim uchun kuchlanish manbalari qutblari va elektrodlar toklari yo'nalishlari.

EO' to'g'ri siljirilganda (U_{EB} ta'minot manbasi hisobiga amalga oshiriladi) uning potensial bareri pasayadi va elektronlar emitterdan bazaga injeksiyalanadi.

Elektronlarning emitterdan bazagahamda kovaklarning bazadan emitterga injeksiyalanishi hisobiga emitter toki I_E hosil bo'ladi:

$$I_E = I_{En} + I_{Ep} \quad (7.1)$$

bu erda I_{En} , I_{Ep} — mos ravishda elektronlar va kovaklar injeksiya toklari.

Emitter tokining I_{Ep} tashkil etuvchisi kollektor orqali oqmaydi va shuning uchun foydasiz tok hisoblanadi. I_{Ep} qiymatini kamaytirish uchun bazadagi akseptor kiritmalar konsentrasiyasi qiymati emitterdagi donor kiritmalar konsentrasiyasiga nisbatan ikki tartib kichik qilib olinadi.

Emitter tokida elektronlarning injeksiya toki I_{En} ulushini **injeksiya koeffisient** deb ataluvchi kattalik ifodalaydi. U emitter ishlash samaradorligini belgilab, emitter tokidagi foydali tok uluchini ko'rsatadi

$$\gamma = \frac{I_{En}}{I_E} \quad (7.2)$$

Odatda $\gamma=0,990-0,995$ ni tashkil etadi. Bazaga injeksiyalangan elektronlar, bazada kollektor tomonga diffuziyalanib KO'gachaetib boradi. So'ngra kollektorga ekstraksiyalanadi (KO'ning elektr maydoni ta'sirida kollektorga tortib olinadi) va kollektor toki I_{Kn} ni hosil qiladi.

Kollektorga o'tish davomida injeksiyalangan elektronlarning bir qismi baza sohadagi kovaklar bilan ushrachib rekombinasiyalanadi va ularning konsentrasiyasi kamayadi. Etishmovchi kovaklar tashqi zanjir orqali kirib (elektr neytrallik sharti bajarilishi uchun), baza tokining rekombinasion takchil etuvchisi I_{BREK} ni hosil qiladi. I_{BREK} qiymati katta bo'lgani uchun uni kamaytirishga harakat qilinadi. Bunga baza kengligini kamaytirish bilan erishiladi.

Emitterdan injeksiyalangan elektronlar tokining baza sohasida rekombinatsiya hisobiga kamayishi **elektronlarni tashish koeffisient** deb ataluvchi kattalik bilan ifodalanadi

$$\alpha_T = \frac{I_{Kn}}{I_{En}} \quad (7.3).$$

Real tranzistorlarda $\alpha_T=0,980 - 0,995$.

Aktiv rejimda tranzistorning KO' teskari yo'nalishda siljirilgan (U_{KB} bilan amalga oshiriladi) ligi sababli, kollektor zanjirida **xususiy tok** I_{K0} oqadi. U ikki xil noasosiy zaryad tashuvchilarning dreyf toklaridan tashkil topgan. Natijada $p-n$

o'tishning teskari toki $I_{K0} = I_{pn} + I_{np}$ amalda teskari kuchlanishga bog'liq bo'lmaydi va xona temperaturasida kremniyli o'tishlarda $I_{K0}=10^{-15}A$ ni tashkil etadi. Shunday qilib, emitter toki **boshqaruvchi**, kollektor toki **esaboshqariluvchidir**. Shuning uchun BT **tok bilan borshqariluvchi asbob** deyiladi.

8 – ma’ruza.

BIPOLYAR TRANZISTOR ELEKTROD TOKLARINING PARAMETRIK TENGLAMASI

Kollektor toki ikki tashkil etuvchidan iborat

Agar I_{Kn} emitterning to’liq toki bilan bog’liqligi e’tiborga olinsa, uholda

$$I_{Kn} = \alpha I_{\mathfrak{E}} + I_{K0} \quad (8.1)$$

bu erda $\alpha = \gamma\alpha_T$ - *emitter tokini uzatish koefficienti*. $\alpha < 1$

bo’lgani uchun UB ulangan BT tok ni kuchaytirmaydi ($I_K \approx I_{\mathfrak{E}}$).

Baza elektrodidagi tok rekombinasiya tashkil etuvchi I_{BREK} dan tashqari, EO’ing injeksiyalangan kovaklar toki I_{Ep} va KO’ning xususiy toki I_{K0} dan tashkil topadi. Ko’rinib turibdiki,

$$I_{BPEK} = (1 - \alpha_T) I_{\mathfrak{E}n} \quad (8.2)$$

Baza tokining rekombinasiya I_{BREK} va injeksiya I_{Ep} tashkil etuvchilari yo’nalishlari bir xil. Agar KO’ga qo’yilgan kuchlanish teskari yo’nalishda bo’lsa, uning xususiy toki I_{K0} teskari yo’nalgan bo’ladi. Shuning uchun

$$I_K = (1 - \alpha_T) I_{\mathfrak{E}n} + I_{\mathfrak{E}p} - I_{K0} = (1 - \alpha) I_{\mathfrak{E}} - I_{K0} \quad (8.3)$$

Tok bo’yicha katta kuchaytirish koeffisientini ta’minlovchi sxema BT UE sxemada ulangan. Ushbu sxemada umumiy elektrod bo’lib emitter, kirish toki bo’lib – baza toki, chiqish toki bo’lib esa – kollektor toki xizmat qiladi.

Kirxgofning birinchi qonuniga muvofiq emitter toki tranzistorning boshqa elektrodlari toklari bilan qo’yidagi munosabat orqali bog’langan

$$I_{\mathfrak{E}} = I_B + I_K \quad . \quad (8.1')$$

(8.1') va (8.2) munosabatlarni e’tiborga olgan holda UE ulangan sxemada kollektor toki uchun tenglama qo’yidagi ko’rinishga ega bo’ladi:

Bundan

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

$$I_K = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_E + \frac{1}{1-\alpha} I_{K0}. \quad (8.4)$$

Agar β o'zish mumkin deb belgilansa, (4.7) ifodani quyidagi ko'rinishda

$$I_K = \beta I_E + (\beta + 1) I_{K0} \quad (8.5)$$

β koefficient **baza tokini uzatish koefficienti** deb ataladi. β ning qiymati 10 - 1000 bo'lib, UE sxemada ulangan BT yaxshi tok kuchaytirgich hisoblanadi.

Analog sxemalarda kuchaytiruvchi element sifatida ishlovchi BTningasosiy parametrlari bo'lib EO'ning r_E va KO'ning r_K differensial qarshiliklari va mos ravishda UB hamda UE ulangan sxemalarda esa h_{21B} va h_{21E} differensial tok uzatish koefficientlari xizmat qiladi.

Tranzistor chastotaxususiyatlari parametrlarining chastotaga bog'liqligi bilan ifodalanadi. Tok uzatish differensial koefficientining chegaraviy chastotasi f_{CHEG} tranzistor sifatini belgilovchi eng muhim ko'rsatkich hisoblanadi. U UE ulangan sxemada, tok uzatish differensial koeffisienti h_{21E} qiymati birga teng bo'ladigan chastota sifatida aniqlanadi. UE va UB ulangan sxemalar tok uzatishkoefficientlarining chastotaga bog'liqligi 9.1 – rasmda logarifmik masshtabda keltirilgan, shu erda chegaraviy chastotalar ham belgilangan bo'lib, $f = f_{CHEG}$ bo'lganda birga ekstropolyasiyalanuvchi to'g'richiziqlikesma

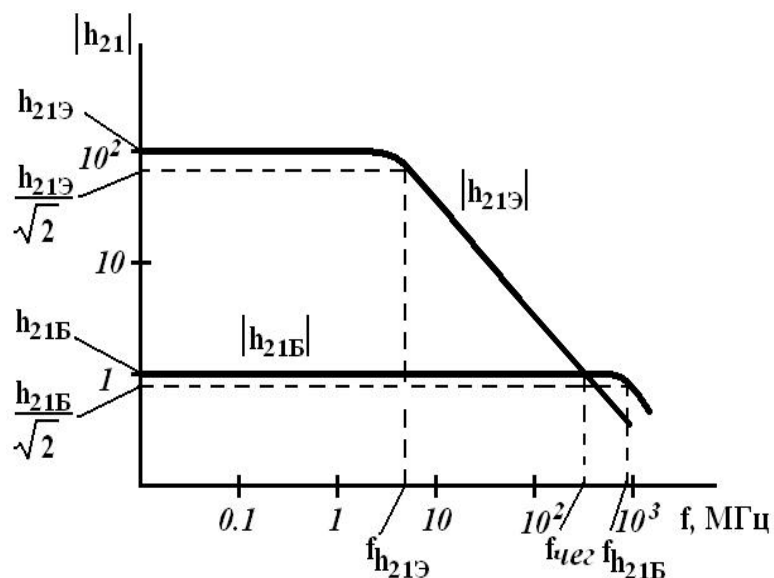
mos keladi. Bundan $f_{qEG} = f_{h21E} h_{21E}$ ekanligi kelib chiqadi.

To'g'ri chiziqli kesmada $f_{h21E} h_{21E}$ ko'paytma o'zgarmas qolgani uchun, chegaraviy chastotani $|h_{21E}|$ ni to'g'ri chiziqli kesmaga mos ixtiyoriy chastotada o'lchab topish mumkin.

h_{21E} va h_{21B} parametrlar orasidagi bog'liqlik asosida f_{h21B} chegaraviy chastota f_{h21E} chastotaga nisbatan $(\beta + 1)$ marta katta. Bu UE

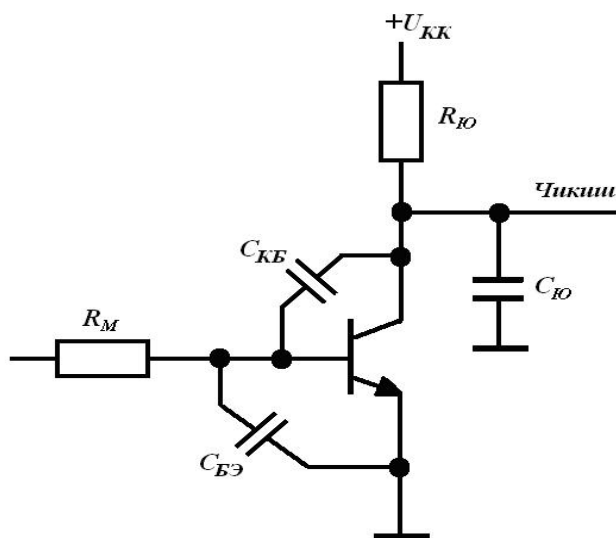
ulangan sxemaning chastotaxususiyatlari UB ulangan sxemachastotaxususiyatlariga nisbatan yomon ekanligini bildiradi.

Dinamik rejimda h_{21B} va h_{21E} kattaliklar chastotaga bog'liq bo'ladi. Shu sababdan ushbu uzatish koefficientlari kompleks qiymatlari bilan almashtiriladi.



9.1 – rasm. UE va UB ulangan sxemalarda tok uzatish koefficientlarining chastotaga bog'liqligi.

Tranzistor o'tishlari sig'implarining chastotaxususiyatlariga ta'siri 9.2 – rasmda ko'rsatilgan. Sxemada chiqish sig'imi chiqish qarshiligi R_{YU} bilan RC – zanjirni tashkil etadi (R_{YU} kollektor bilan yuklama qarshiligini, C_{YU} esa o'tish bilan yuklama sig'imini o'z ichiga oladi). Shu sababli $f = 1 / 2\pi R_{YU} C_{YU}$ chastotada signal pasaya boshlaydi. Manba qarshiligi R_M va kirish sig'imi C_{BE} haqida ham yuqoridagilarni aytish mumkin.



9.2 – rasm. Tranzistor o'tishlari sig'implarining ta'sirini ko'rsatuvchi sxema.

C_{KB} sig'im boshqaxususiyatga ega. Kuchaytirgich kuchlanish bo'yicha ma'lum kuchaytirish koeffisienti K_U ga ega. Kirishdagi kichik signal

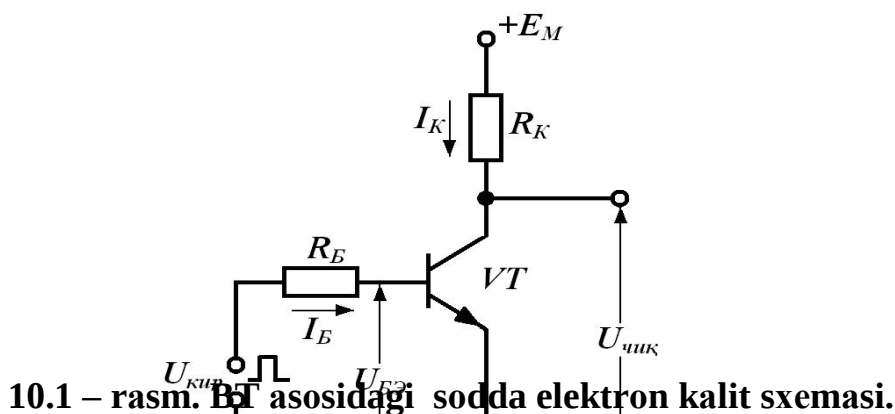
kuchlanishi kollektorda kirishdagiga nisbatan K_U marta kuchayadi. Bundan signal manbai uchun C_{KB} uni baza va umumiy nuqtaga ulangandagiga qaraganda (K_U+1) marta kattaligi kelib chiqadi, ya'ni kirish signali kesilish chastotasini hisoblashda teskari aloqa sig'imi o'zini kirish va umumiy nuqtaorasiga ulangan $C_{KB}(K_U+1)$ sig'imli kondensatordek tutadi. C_{KB} sig'imning effektiv ortishi **Miller effekti** deb ataladi. Bu effekt kuchaytirish pasayishida asosiy sabab hisoblanadi, chunki teskari aloqani hosil qiluvchi sig'im $C_{KB} \approx 4$ pF ni tashkil etadi va umumiy nuqtaga ulangan bir necha yuz pikofaradalik effektiv sig'imga mos keladi.

10-ma'ruza. BIPOLYAR TRANZISTORNI IMPULSXUSUSIYATLARI

Impulsli va raqamli (mantiqiy) qurilmalarda elektron kalit asosiy element hisoblanadi. Elektron kalit yuklama zanjiriga ulanib tashqi boshqaruv signali ta'sirida davriy ravishda ulash va uzishni amalga oshiradi. Bu vaqtda kalitning chiqishidagi signal bir – biridan etarlisha farqlanadigan ikkita diskret qiymatga ega bo'ladi. Bu xossa uni Bul algebrasi funksiyalarini amalga ochiruvchi asosiy ME sifatida qo'llashga imkonini beradi.

Kalit ikki elementdan tashkil topgan: qayta ulanuvchi (QUE) va yuklama (YUE) elementlari. QUE ikki turg'un holatga ega: ulangan va uzilgan. Bu shartlarga bipolyar va maydoniy tranzistorlarning ba'zi turlari mos keladi. YUE manbadan iste'mol qilinayotgan tokni cheklash uchun xizmat qiladi.

BTli sodda kalit sxemasi 10.1 – rasmda keltirilgan. U UE sxemada ulangan BTda yasalgan kuchaytirgich kaskaddan iborat. Kuchlanish manbai E_M va R_K ko'rinishdagi yuklama qarchiligidan tashkil topgan zanjir boshqariluvchi zanjir hisoblanadi. Boshqaruvchi (baza) zanjir boshqaruv signali manbai U_{KIR} va unga ketma – ket ulangan qarchilik R_B dan tarkib topgan.

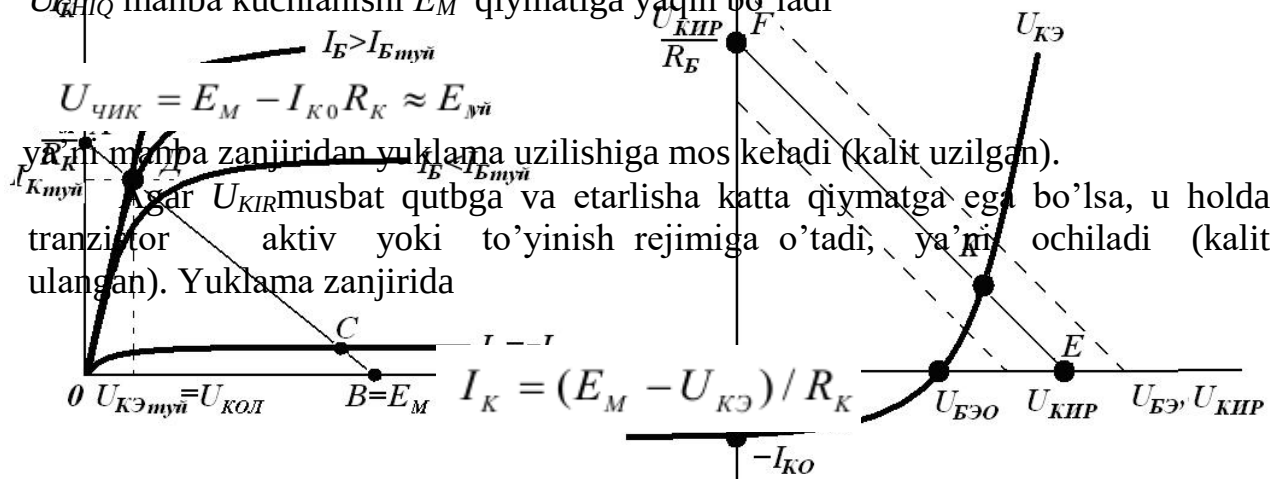


BT elektron kalit shartiga ko'rayotki berk rejimda, yoki to'yinish rejimida ishlashi kerak.

Kirishga manfiy qutbli signal berilsagina tranzistor berk rejimga o'tadi. Ma'lumki, berk rejimda tranzistor toklari

$$I_C \approx 0, \quad I_K = I_{K0}, \quad I_B = -I_{K0}$$

ga teng bo'ladi. Bu erda "-" belgisi, baza toki aktiv rejimdagi baza toki yo'nalishiga teskari yo'nalishda oqib o'tishini bildiradi. Kalit rejimida I_{K0} toki **qoldiq tok** deb ataladi. U juda kichik bo'lganligi sababli chiqish kuchlanishi U_{KHIQ} manba kuchlanishi E_M qiymatiga yaqin bo'ladi



tok oqib o'tadi, kalit chiqishidagi kuchlanish esa $U_{ЧИК} = U_{КЭ} = U_{КОЛ}$ ga teng bo'lib, **qoldiq kuchlanish** deb ataladi. To'yinish rejimidagi qoldiq kuchlanish U_{EB} va U_{KB} lar ayirmasiga teng va doim aktiv rejimdagi qoldiq kuchlanish qiymatdan kichik bo'ladi. Shu sababli kalit sifatida tranzistorning aktiv rejimda ishlashi ma'qul emas, chunki unda qo'shimcha $P_K = I_K U_{КЭ}$ quvvat sochiladi va sxema FIK pasayadi. Kremniyli tranzistorlar uchun to'yinish rejimida $U_{QOL} \approx 0,25V$ teng, ya'ni nolga yaqin.

Ko'rilayotgan kalit invertor ekanligi yaqqol ko'rinib turibdi, ya'ni kirish signalining manfiy qiymatlardan musbat qiymatlarga ortishi, chiqish kuchlanishi U_{KE} ni E_M dan qoldiq kuchlanishgacha kamayishiga olib keladi.

Umuman aytganda, bu kalit – invertor to'g'ri mantiqdagi musbat signallar bilan ishlashga mo'ljallangan. Shuning uchun bu erda $U_{KIR} < 0$ shart bajarilmaydi. Lekin, kremniyli $p - n$ o'tish musbat kuchlanishda ham, agar $U_{KIR} < 0,6 V$ bo'lsa deyarli berk qoladi. Bu vaqtda tranzistorning uchshala elektrod toklari odatda mikroamper ulushlaridan ortmaydi.

Kalitning asosiy statik parametrlari bo'lib – qoldiq tok va qoldiq kuchlanish hisoblanadi. BTning kalit rejimi katta diapazondagi tok vakuchlanish impulslerini o'zgarishi bilan ta'minlanadi (katta signal rejimi). Shu sababli kalitning statik parametrlari grafo – analitikusulni qo'llash yordamida aniqlanadi. Buning uchun kalitda qo'llanilayotgan tranzistorning chiqish (10.2, a – rasm) va kirish (10.2, b – rasm) xarakteristikallari kerak bo'ladi.

a)

b)

a)

b)

10.2 – rasm. Tranzistorning statik xarakteristikalarida kalit ishchi nuqtalarining joylashishi.

Chiqish xarakteristikalar oilasida B nuqta (bu erda $U_{KЭ} = E_M$) va A nuqtalarni tutashtirib AB yuklama chizig'ini o'tkazamiz. Unda D nuqta to'yinish chegarasini beradi, C nuqta esa $U_{KB} = 0$ bo'lganda boshlanadigan berk rejim chegarasini beradi.

Aytilganlardan kelib chiqqan holda, kalit rejimda ishlash uchun tranzistorli kaskad ishchi nuqtasi yoki D nuqtadan chaproqda, yoki C nuqtadan o'ngroqda joylashishi kerak. Bu nuqtalar oralig'ida kaskad tranzistorning to'yinish rejimidan berk rejimga o'tish holatida, yoki aksincha bo'ladi. Tranzistor bu holatda qanchalik kam vaqt tursa, kalitning tezkorligi shunchayuqori bo'ladi. O'tish holatlari noasosiy zaryad tashuvchilar bazadan chiqarib yuborish vaqti va barer sig'imning qayta zaryadlanish jarayonlari bilan aniqlanadi.

Statik rejimda R_B qarshilikning berilgan qiymatlarida baza tokining U_{KIR} kuchlanishiga bog'liqligini kirish xarakteristikasi (4.9, b–rasm) yordamida aniqlash mumkin. Buning uchun EF yuklama chizig'ini o'tkazish kerak. E nuqta $U_{BE} = U_{KIR}$, F nuqta esa U_{KIR}/R_B qiymati bilan aniqlanadi. Kirish xarakteristikasi bilan yuklama chizig'i kesishgan K nuqta baza toki va U_{BE} kuchlanishining ishchi qiymatlarini aniqlaydi. U_{KIR} ning vaqt bo'yicha o'zgarish EF to'g'ri chiziqni parallel siljishiga va mos ravishda K nuqtaning siljishiga olib keladi (shtrix chiziqlar).

D nuqta bilan aniqlanadigan to'yinish rejimiga o'tish uchun, kirish toki I_B ni **bazaning to'yinish toki** deb ataluvchi $I_{B.TO'Y}$ qiymatgashaoshirish kerak. Bu vaqtda unga mos keluvchi kollektor toki **kollektorning to'yinish toki** $I_{K.TO'Y}$, kuchlanish esa – **to'yinish kuchlanishi** $U_{KE.TO'Y}$ yoki **qoldiq kuchlanish** $U_{KЭ.TУЙ} = U_{КОЛ} = E_M - I_{K.TУЙ} R_K$ deb ataladi. Malumki,

□ □

□ I ,
BTO
'Y

KTO'Y

bu erda $\beta = h_{21Э}$ - baza tokining integral uzatish koeffisienti . Taxminan $I_{B.TO'Y} \approx I_{K.TO'Y} / \beta$ deb olish mumkin. U holda

$$I_{B.TO'Y} \approx \frac{E_M}{\beta R_K} \quad \text{KTO'Y}$$

Baza toki $I_{B.TO'Y}$ qiymatidan ortishi mumkin. Baza tokining bunday ortishini **to'yinish koeffitsienti** deb atash qabul qilingan.

$$S_{T\ddot{Y}\ddot{H}} = I_B / I_{B.T\ddot{Y}\ddot{H}}$$

$S_{TO'Y}$ ning ortishi U_{CHIQ} ni kamayishiga olib keladi, ya'ni BT chiqish zanjirida sochilayotgan quvvat kamayadi. Ammo $S_{TO'Y}$ ning keragidan ortiqortishi BT kirish zanjirida sochilayotgan quvvatni sezilarli ortishiga olib keladi. Hisoblar $S_{TO'Y} = 1,5 \dots 2,0$ qiymatlar optimal bo'lishini ko'rsatdi.

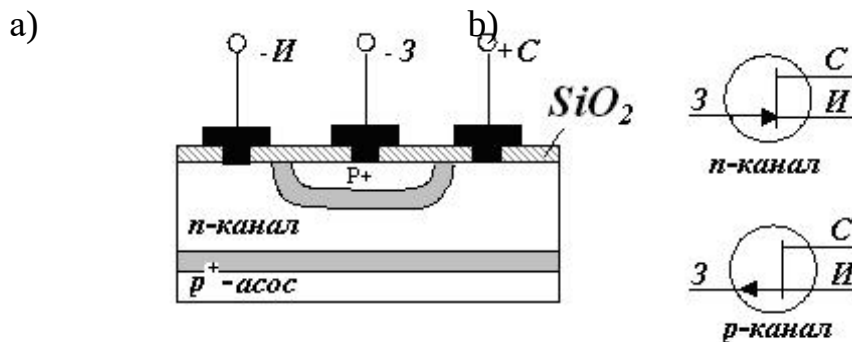
Ko'rib o'tilgan sodda kalit sxemasida BT ish rejimi bilan bog'liq bo'lgan katta inersiyalikka ega. Tranzistor to'yinish rejimiga o'tayotgandabazada ko'p sonli noasosiy zaryad tashuvchilarning to'planishi uchun vaqt talab qilinadi. Tranzistor to'yinish rejimidan berk rejimga o'tayotganda esa bu zaryad tashuvchilarning to'planishi va, ayniqsa, ularning bazadan chiqarib yuborilishi tabiatan juda sekin keshadigan jarayon.

MAYDONIY TRANZISTORLAR

Elektrod toklari asosiy zaryad tashuvchilarning kristall hajmidagi elektr maydon ta’sirida dreyf harakatlanishiga asoslangan ush elektrodli, kuchlanish bilan boshqariladigan yarimo’tkazgich asbob **maydoniy tranzistor** (MT) deyiladi. MTlarda tok hosil bo’lishida faqat bir turli-asosiy zaryad tashuvchilar (elektronlar yoki kovaklar) qatnashgani sababli ular ba’zan **unipolyar tranzistorlar** deb ataladi. MTlarda, BTlardagi kabi tezkorlikka ta’sir etuvchi injeksiya va ekstraksiya natijasida noasosiy zaryad tashuvchilarning to’planish jarayonlari mavjud emas.

$p-n$ o’tish bilan boshqariluvchin – kanalli MT tuzilmasining ko’ndalang kesimi va uning shartli belgilanishi 11.1 - rasmda keltirilgan.

n -turdagi soha **kanal** deb ataladi. Kanalgacha 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 kanalgacha nisbatan o’tkazuvchanligi teskari turdagi soha qo’llaniladi. Ishchi rejimda u teskari ulangan bo’lib kanal bilan $p-n$ o’tish hosil qiladi.



11.1 – rasm. n – kanalli MT tuzilmasining ko’ndalang kesimi (a) va uning shartli belgilanishi (b).

Kanalning ko’ndalang kesimi nolga teng bo’ladigan vaqtdagi zatvor kuchlanishi **berkilish kuchlanishi** $U_{ZL.BERK.}$ deb ataladi va bu vaqtda tranzistor istoki stokdan uzilib qoladi, ya’ni **berk rejimda** ishlaydi.

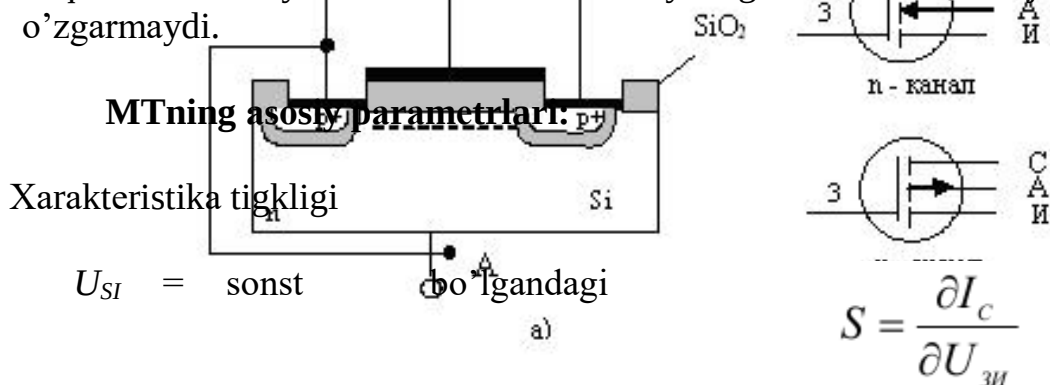
$|U_{ЗИ}| + U_{СИ.ТЎЙ.}$ kuchlanish berkilish kuchlanishiga $U_{ZL.BERK.}$ ga teng bo’ladigan vaqtdagi stok kuchlanishi **to’yinish kuchlanishi** $U_{SI.TO’Y.}$ deb ataladi.

Bu erdan

$$U_{СИ.ТЎЙ.} = |U_{ЗИ.BERK.}| - |U_{ЗИ}|$$

$U_{СИ} \leq U_{СИ.ТЎЙ.}$ vaqtdagi tranzistorning ishchi rejimi **tekis o’zgarish** rejimi
 $U_{СИ} \geq U_{СИ.ТЎЙ.}$ vaqtdagi tranzistorning ishchi rejimi
 esa

to'yinish rejimi deb ataladi. To'yinish rejimida U_{SI} kuchlanish qiymatining ortishiga qaramay I_S tokining ortishi deyarli to'xtaydi. Bu holat bir vaqtning o'zida zatvordagi n UZI kuchlanishining ham ortishi bilan tushuntiriladi. Bu vaqtda kanal torayadi va I_S tokini kamayishiga olib keladi. Natijada I_S dreyftri o'zgarmaydi.



Ichki (differencial) qarshilik

$U_{ZI} = \text{sonst}$ bo'lgandagi

$$R_i = \frac{\partial U_{CH}}{\partial I_c}$$

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefficienti

$I_S = \text{sonst}$ bo'lgandagi

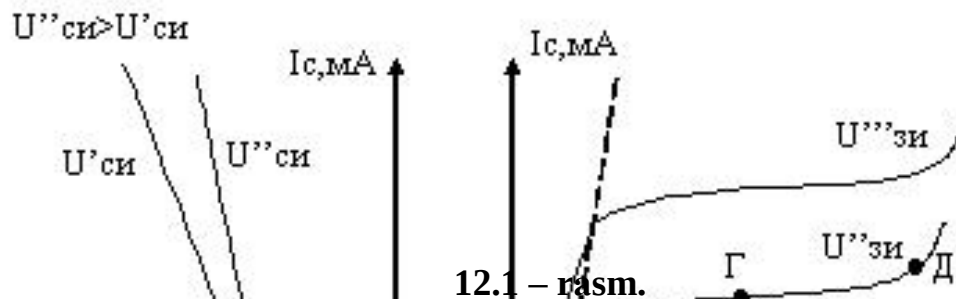
12 – ma'ruza.

ZATVORI IZOLYACIYALANGAN MAYDONIY TRANZISTORLAR

p – n o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlardan farqli ravishda MDYA – tranzistorlarda metall zatvor kanal hosil qiluvchi doim o'tkazgichli sohadan dielektrik qatlami yordamida izolyasiyalangan. Shu sababli MDYA – tranzistorlar zatvori izolyasiyalangan 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 shegaralangan 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 indukciyalangan MDYA - tranzistor tuzulmasi 12.1. a – rasmda va uning shartli belgisi 12.1. b- rasmda keltirilgan.



12.1 – rasm.

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

Stok va istoklarning p- sohalar n- turdagi yarim o'tkazgich bilan ikkitap – U_{зи, В} o'tish hosil qilganligi sababli, U_{си} kuchlanishining biror qutblanishida bu o'tishlardan biri teskari yo'nalishda ulanadi va stok toki I_s deyarli nolga teng bo'ladi.

Tranzistorda tok o'tkazuvchi kanal hosil qilish uchun zatvorga teskariqutblikdagi kuchlanish beriladi. Zatvor elektr maydoni SiO₂ 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 U₀ga etganda, yuqori qatlamda elektr o'tkazuvchanlik kovak o'tkazuvchanlik bilan almashadi va istok va stokni bir – biri bilan bog'lovchi p- turdagi kanal shakllanadi. U_{зи} > U₀ bo'lganda yuqori qatlam kovaklar bilan boyib boradi, bu esakanal qarshiligini kamayishiga olib keladi. Bu vaqtda stok toki I_S ortadi. 11.2 – rasmda r – kanali induksiyalangan MDYA - tranzistorning stok – zatvor VAX keltirilgan.

11.3 – rasmda n - kanali induksiyalangan MDYA - tranzistorning chiqish (stok) xarakteristiklar oilasi keltirilgan. Zatvorga ma'lum kuchlanish berilganda U_{си} ning ortib borishiga ko'ra stok toki nol qiymatdan avvaliga chiziqli ko'rinishda ortib boradi (VAX ning tikka qismi), keyinshalik esaortish tezligi kamayadi va etarlisha katta U_{си} qiymatlarida tok o'zgarmas qiymatga intiladi. Tok ortishining to'xtashi stok yaqinidagi kanalning berkilishi bilan bog'liq.

12.2 – rasm.

12.3 – rasm.

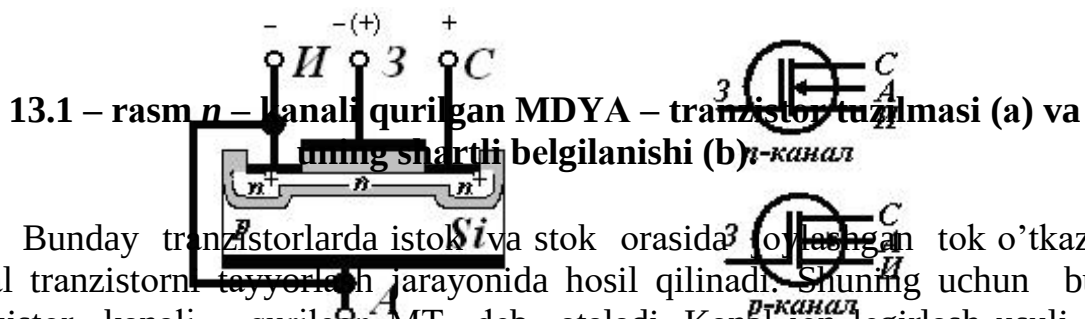
13-ma'ruza.

KANALI QURILGAN METALL-DIELEKTRIK- YARIMO'TKAZGICH TRANZISTORLAR

n – kanali qurilgan MDYA – tranzistor tuzilmasi 13.1, a – rasmda va shartli grafik tasvirlanishi 13.1, b – rasmda keltirilgan.

a)

b)

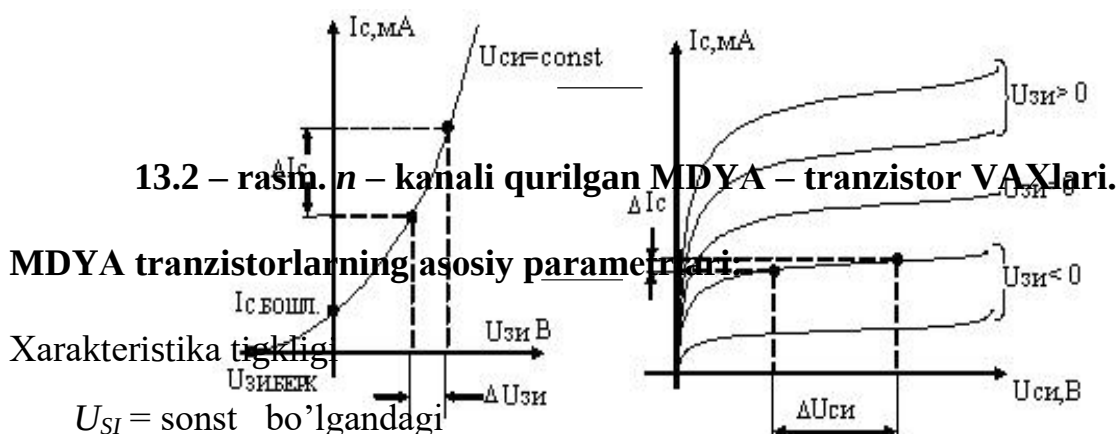


Bunday tranzistorlarda istok va stok orasida o'tkazuvchi kanal tranzistorni tayyorlash jarayonida hosil qilinadi. Shuning uchun bunday tranzistor kanali —qurilgan MT deb ataladi. Kanal ion legirlash usuli bilan yarimo'tkazgich sirtiga yaqin sohalarda yupqa qatlam hosil qilish bilan amalga oshiriladi. Kanali qurilgan MDYA – tranzistorlar istokka nisbatan zatvorga ikki xil ishorali kuchlanishlar berilganda ham ishlay oladi.

Agar $U_{ZI} = 0$ bo'lganda tranzistorga U_{SI} kuchlanish berilsa, kanal orqali elektronlar toki oqadi. Bu tok stokning boshlang'ish toki $I_{S.BOSHL}$ deb ataladi. Zatvorga istokka nisbatan manfiy kuchlanish berilganda kanalda tok yo'nalishiga ko'ndalang elektr maydon hosil bo'ladi. Bu maydon ta'sirida elektronlar kanaldan surib chiqariladi. Kanalda elektronlar soni kamayadi (kanal kambag'allashadi), uning qarchiligi ortadi va stok toki qiymati kamayadi. Zatvordagi manfiy kuchlanish qiymati ortgan sari, tok qiymati kamayaveradi. Tranzistorning bu rejimi **kambag'allashgan rejim** deb ataladi. Zatvorga berilgan manfiy kuchlanishning ma'lum qiymatida stok toki nolgasha kamayadi (berk rejim), ushbu kuchlanish **berkitish kuchlanishi** $U_{ZI.BERK}$ deb ataladi.

Agar zatvorga musbat kuchlanish berilsa, ushbu kuchlanish hosil qilgan

maydon ta'sirida istok, stok hamda kristall asosdan elektronlar kanalga kela boshlaydi, kanal o'tkazuvshanligi va stok toki qiymati ortadi. Ushbu rejim kanali **boyitilgan rejim** deb ataladi.



Ichki (differencial) qarshilik

$$U_{ZI} = \text{sonst bo'lgandagi } R_i;$$

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffisienti

$$K = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{ZI}} \quad \text{bo'lgandagi}$$

14 – ma'ruza.

DINISTORLAR VA TIRISTORLAR

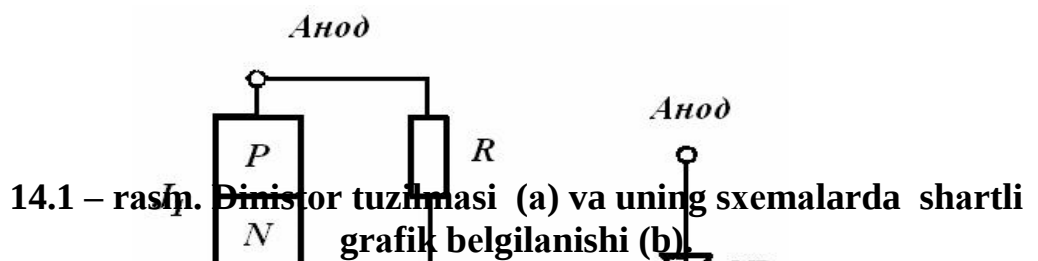
VAXida manfiy differencial qarshilik mavjud bo'lgan, uch va undan ortiq p - n o'tishlarga ega ko'p qatlamli yarimo'tkazgich asbob **tiristor** deb ataladi.

Tiristor ishlaganda ikkita muvozanat holatda bo'lishi mumkin. Berk holatda tiristor katta qarshilikka ega va undan kichik tok oqadi. Ochiq holatda tiristor qarshiligi kichik va undan katta tok oqadi. Shundan yarimo'tkazgichlar asbobning nomi (tira - echik) qo'yilgan. Tiristorlar radiolokasiyada,

radioaloqaqurilmalarida, avtomatikada manfiyo'tkazuvchanlikka ega yarimo'tkazgichasbob sifatida hamda tok boshqaruvchikalitlar, energiya o'zgartgishlarning bo'sag'aviy elementlari sifatida yoki boshlang'ich holatda energiya iste'mol qilmaydigan asbob - triggerlar sifatida keng ishlatiladi.

Tiristorlar chiqishlari soniga qarab diodli (**dinistor**), triodli (**trinistor**) va **tetrodli tiristorlarga** bo'linadi va to'rt qatlamli $p-n-p-n$ tuzilmadan mos ravishda chiqarilgan ikki, uch va to'rt chiqishga ega bo'ladi. Tuzilma shekkasidagi p – qatlam **anod** (A), n – qatlam **esakatod** (K) deb nomlanadi. Anod va katod orasidagi n – vap – sohalari **baza** deb ataladi, ularga o'rnatilgan elektrodlar **esaboshqaruvchi elektrodlar** deb ataladi. Diodli va triodli tiristorlar tokni faqat bir tomonlama o'tkazadi. Bu o'znavbatida, tiristorlarning o'zgaruvshan tokni boshqarish imkoniyatini cheklaydi. O'zgaruvshan tok zanjirlarida ikki tomonlama kalit sifatida **simistor** (simmetrik tiristor) ishlatiladi. Simistor **triak** deb ham ataladi. Simistor $p-p-n-p-n$ tuzilmaga va bir yoki ikki boshqaruvchi elektrodga ega.

Uchta $p-n$ o'tishga ega diodga o'xshash ikki elektrodli asbob **dinistor** deb ataladi. Uning tuzilmasi 14.1, a – rasmda, shartli belgilanishi esa 14.1, b – rasmda keltirilgan. Dinistorning uchta $p-n$ o'tishi J_1 , J_2 va J_3 deb belgilangan.



Dinistor sxemalarda o'zaro ulangan ikkita triodli tuzilma bilan almashtirilgan xolda ko'rsatilishi mumkin. Dinistorni tashkil etuvchi tranzistorlarga ajratilishi va o'zaro ulangan tranzistorlar bilan almashtirilishi 5.3 – rasmda ko'rsatilgan. Bu tuzilishda T1 tranzistorning kollektor toki T2 tranzistorning baza tokini, T2 tranzistorning kollektor toki esa T1 tranzistorning baza tokini tashkil etadi. Tranzistorlarning bunday ulanishi hisobiga asbob ichida musbat TA hosil bo'ladi.

Tiristor dinistorga o'xshash tuzilmaga ega bo'lib, baza sohalaridan biri boshqaruvchi bo'ladi. Agar bazalardan biriga boshqaruvchi tok berilsa, mos tranzistorning uzatish koeffitsienti ortadi va tiristor ulanadi.

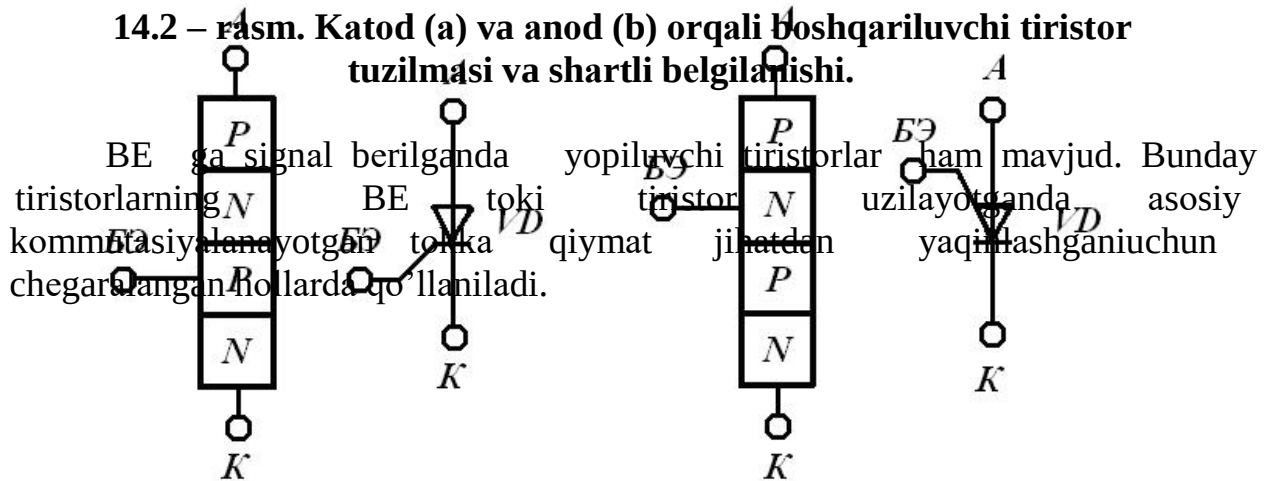
Boshqaruvchi elektrod (BE) joylashgan sohasiga mos ravishda tiristorlar katod bilan va anod bilan boshqaruvchilarga ajratiladi. BE larning joylashishi va

tiristorlarning shartli belgilanishi 14.2 – rasmda keltirilgan.

a)

b)

14.2 – rasm. Katod (a) va anod (b) orqali boshqariluvchi tiristor tuzilmasi va shartli belgilanishi.

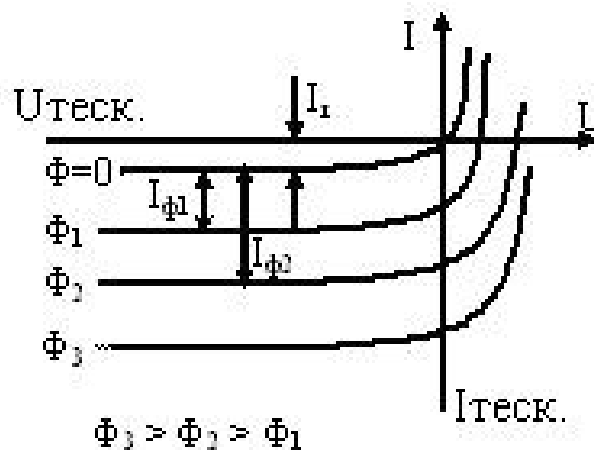


FOTOELEKTR ASBOBLAR

Optoelektronika— elektronikaning bir bo'limi bo'lib, qabul qilish, uzatish va axborotni qayta ishlash jarayonlari yorug'lik signallarini elektr signallarga aylantirish va aksinchaga asoslangan qurilmalarni nazariyasi va amaliyotini o'rganadi. Optoelektronika elementlari bo'lib fotodiod va yorug'lik diodi hisoblanadilar.

Fotodiod deb bitta p-n o'tishga ega bo'lgan foto-elektr asbobga aytiladi. Fotodiod tashqi kuchlanish manbaili (fotodiodli rejim), hamda tashqi kuchlanish manbaisiz sxemalarga ulanishi mumkin. Tashqi kuchlanish manbai shunday ulanadiki, p-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 kuchlanishgaboqliq bo'lmaydi. N-baza sohasiga ta'qiqlangan zona kengligidan ansha katta bo'lgan $h\nu$ energiyali fotonlardan tashkil topgan yorug'lik tushurilganda, elektron – kovak juftliklar generaciyalanadi. Agar juftliklar o'tishdan diffuziya uzunligidan oshmaydigan oraliqda hosil bo'lsalar, yorug'lik ta'sirida generaciyalangan kovaklar o'tishningelekt maydoni ta'sirida ekstraksiyalanadilar va teskari tok uning qorong'ulik qiymatiga nisbatan ortadi. Yorug'lik oqimi Φ qancha intensiv bo'lsa, diod teskari toki I_Φ qiymati shuncha katta bo'ladi.

15.1–rasmda turli yorug'lik oqimi qiymatlaridagi fotodiod VAXsi keltirilgan. Yorug'likning keng nurlanish chegaralarida fototok yorug'likoqimiga deyarli chiziqli bog'liq bo'ladi.



15. 1– rasm.

roporsionallik
Koeffisienti

dF

$K_{\phi} =$

b
i
r
n
e
c
h
a

mA/mm ni tashkil etadi va **fotodiod sezgirligi** deb ataladi. Fotodiod turli o'lchashqurilmalarida yorug'lik oqimini qabul qilgish, hamda optik – tolali aloqa liniyalarida qo'llaniladi.

Fotodiod rejimidan tashqari fotodiodning ventil (fotovoltaik) rejimi keng qo'llaniladi. Bu rejimda fotodiod tashqi kuchlanish manbaiga ulanmasdanishlaydi va quyosh energiyasini bevosita elektr signalga aylantirishga xizmat qiladi. Diod ventil rejimida nurlatilganda uningchiqishlarida ventil kuchlanish yuzaga keladi. Fotodiod bu holatda **quyoshli aylantirgish** deb ataladi. Bir biri bilan elektr jihatdan bog'langan aylantirgich va batareyalar kosmik apparatlar va er 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. Rekombinatsiyadoim hamnurlatuvchi bo'lavermaydi va to'g'ri zonali yarim o'tkazgichlarda, jumladan galliy arsenidida sodir bo'ladi. Bunday yarim o'tkazgichlar spetsifik xona diagrammasiga ega bo'ladilar.

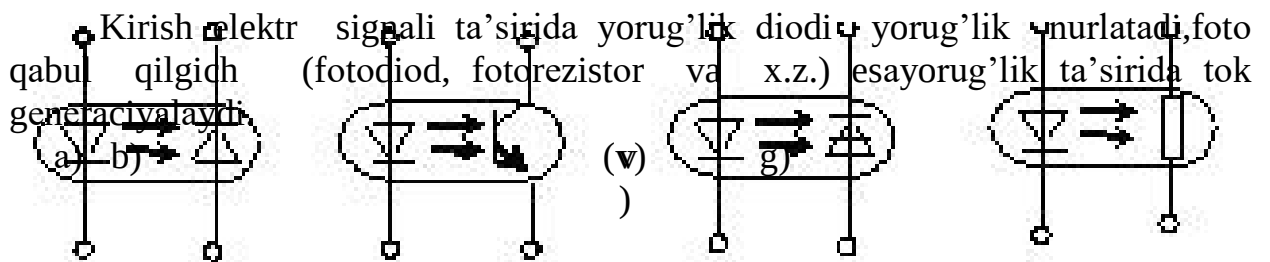
Nurlanayotgan yorug'lik to'lqin uzunligi kvant energiyasi bilan aniqlanadi. U esa nurlanuvchi rekombinatsiyada yarim o'tkazgichning ta'qiqlangan zona kengligiga deyarli teng bo'ladi. Galliy arsenididan tayyorlangan yorug'lik diodlari uchun $\lambda_{\square} = 0,9-1,4$ mkm. Qizil, sariq va yashil rang 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 qilgish orasidagi to'g'ri optik aloqa barcha turdagi elektr aloqalarni bartaraf etadi.

Optronlar



3.4-rasm.

3.4-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.

16-ma'ruza.

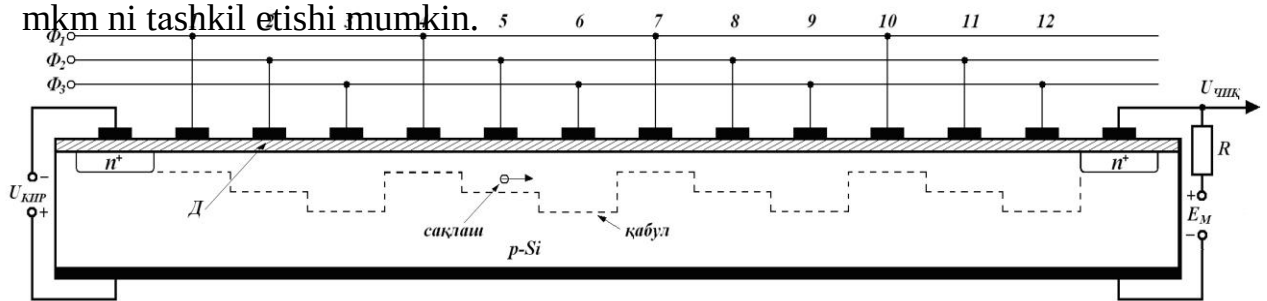
FUNKSIONAL ELEKTRONIKA RIVOJLANISHINING ASOSIY YO'NALISHLARI

IMSlarda komponentli tuzilishdan shetlarchilik va dinamik bir jinslik masalalaridan foydalanishga asoslangan yo'nalish — **funksional elektronika** nomini oldi. Funksional elektronika (FE) rivojlanishining boshlang'ich bosqichida turibdi. FEning ko'p qurilmalari mikroelektronikaning raqamli qurilmalari bilan ishlashga moslashgan. Ular birinchi navbatda yuqori tezkorlik va 10^5 – 10^7 bit sig'imga ega xotira qurilmalaridir.

Funksional elektronikaning eng istiqbolli ba'zi asboblari ishlash prinsiplarini ko'rib chiqamiz.

Zaryad aloqali asbob (ZAA) (17.1 – rasm) yupqa dielektrik qatlam D bilan qoplangan va yuzasiga 12 ta boshqaruvchi metal elektrodlar tizimi joylashtirilgan yarimo'tkazgich kristaldan (masalan p–turli) iborat. Shunday qilib 12 ta MDYA – tizim hosil qilinadi. Tizimlar soni Nelementlar orasidagi masofaga, yozuvchi impuls davomiyligiga bog'liq bo'ladi va $N = 200$ ga etishi

mumkin. Har bir elektrod kengligi 10 - 12 mkm ni, ular orasidagi masofa esa 2 - 4 mkm ni tashkil etishi mumkin.



17.1 – rasm. ZAA turkumidagi ush fazali siljituvchi registr tizimida zaryad ko'chishi.

Barcha elektrodلarga bo'sag'aviy kuchlanish U_0 berilganda dielektrik bilan yarimo'tkazgich orasida kambag'allashgan soha hosil bo'ladi, bu soha potensial chuqur deb ataladi. Alohida elektroddagi kuchlanish qiymati axborotni saqlash kuchlanishi $U_{SAQ} > U_0$ gacha o'zgartirilganda, ushbu elektrod ostidagi kambag'allashgan soha yarimo'tkazgichning boshqa yuzalariga qaraganda chuqurroq bo'ladi. Potensial chuqurda elektronlarni (paketini) to'plash mumkin. Demak, MDYA – tuzilma ma'lum vaqtgacha potencial chuqurdagi zaryadga mos axborotni eslab qoluvchi element sifatida xizmat qilishi mumkin. Elektron paket dinamik bir jinslikmaslikni tashkil etadi. Elektron paketni saqlash jarayonida ma'lum elektrod (zatvor) ostida termogeneraciya hisobiga qo'shimcha elektronlar hosil bo'lishi mumkin. Agar zaryad o'zgarishining ruxsat etilgan qiymati 1 % ni tashkil etsa, axborotni saqlash vaqti esa bir necha sekunddan oshmaydi. Shuning uchun ZAA **dinamik turdagi asbob**dir. Birlamchi to'plangan va ma'lum aniq potensial chuqur bilan bog'liq zaryadlar, yarimo'tkazgich sirti bo'ylab potensial shuqur siljirilgan holda ko'chirilishi mumkin. Buning uchun zatvorlardagi kuchlanishlar aniq ketma – ketlikda o'zgartirilishi mumkin.

Zaryadni ma'lum yo'nalishda ko'chirish uchun har bir elektrod uch fazali boshqarish tizimining F_1, F_2, F_3 takt chinalaridan biriga ulanadi. Demak, ZAAning bir elementi uchta MDYA – tuzilmali yasheykadan iborat bo'ladi. Agar ZAA qo'shni elektrodلarga berilgan kuchlanishlar qiymat jihatdan bir-biridan farq qilsa, qo'shni potencial chuqurlar orasida elektr maydon hosil bo'ladi. Ushbu maydon yo'nalishi shunday-ki, elektronlar kattaroq potencialga ega sohaga dreyf harakat qiladi, ya'ni sayozroq potencial chuqurdan nisbatan chuqurroqqa ko'chadi.

Agar zaryad birinchi elektrod ostida to'plangan bo'lsa-yu, uni ikkinchi elektrod ostiga siljitish zarur bo'lsa, unga kattaroq kuchlanish beriladi, bunda zaryad yuqoriroq kuchlanishli elektrod ostiga ko'shadi. Keyingi taktida yuqoriroq kuchlanish navbatdagi elektroddagi beriladi va zaryad unga ko'chadi. Zaryad ko'chirishning ush taktli tizimida 1,4,7,10 va shunga o'xshash elektrodلar F_1 chinaga, 2,5,8,11 elektrodلar F_2 chinaga, 3,6,9,12 va shunga o'xshash elektrodلar esa F_3 chinaga ulanadi.

Zaryadلarning elektrodلارocirkulyaciasibarcha ZAAlar qo'llanishلarning asosi hisoblanadi. Zaryadلarni ko'chirish imkoniyati ZAAlar asosida siljituvchi registrلar va xotira qurilmalar yaratish imkonini beradi. Registr deb ikkilik kod asosida berilgan ko'p razryadli axborotni yozish,

saqlash yoki siljitish uchun qo'llaniladigan qurilmaga aytiladi.

Signalning zaryad paketlarini bir necha usullar bilan, masalan, p – no'tishdan zaryad tashuvchilarni metal elektrodlar ostiga injeksiyalash, MDYA – turdagi tuzilmada yuza bo'ylab ko'shkisimon teshilish yoki metalelektrodlar orasidagi aniq joylar orqali yorug'lik kiritib elektron – kovak juftliklarni generatsiyalash bilan hosil qilish mumkin.

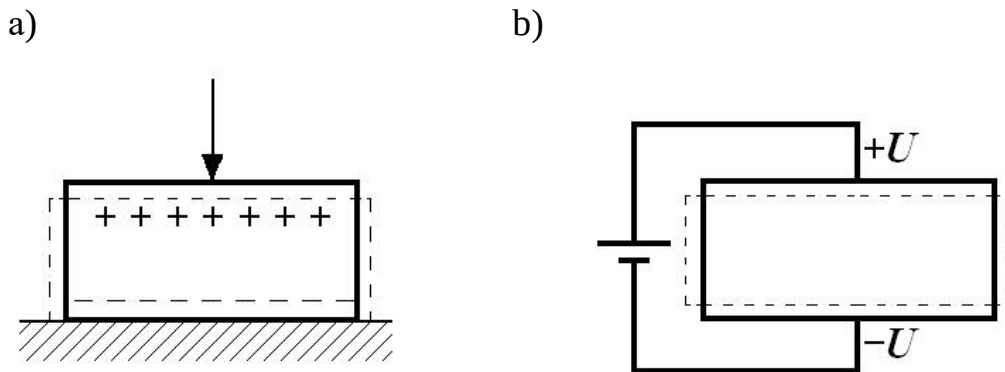
Akustoelektronika asboblari. Akustoelektron asboblarning ishlashi elektr signalni ultratovush to'lqinlarga, uni tovush o'tkazuvchiorqali tarqalishiga va keyinchalik chiqish elektr signalga o'zgartirilishiga asoslanadi.

Shunday qilib, bunday asboblarda kirish bilan chiqish orasida axborot tashuvchi bo'lib ultratovush (akustik) signal deb ataluvchi dinamik bir jinslimaslik xizmat qiladi. U 10^{13} Gs shastotali tebranishlardan iborat bo'lib, qattiq jismda 1,5 - 5,5 km/s tovush tezligida tarqaladi. Akustik to'lqin tezligi elektromagnit tebranishlar tarqalish tezligiga nisbatan 5 tartibga kichikligi ko'rinib turibdi. Shuning uchun ushbu xususiyatdan birinchi navbatda kichik o'lchamli kechiktirish liniyalarini ishlab chiqishda foydalanildi.

Akustoelektron asboblarmikroelektronikada qo'llaniladigan usullar bilan hosil qilinishi va IMSlarga o'xshashligi bilan e'tiborga loyiq.

Ultratovush to'lqinlar p'ezoaktiv materiallarda (p'ezoelektrlarda) hosil qilinishi mumkin. Shuning uchun ushbu sinf asboblari uchun ishchi muhit sifatida p'ezoeffekt juda yaqqol namoyon bo'ladigan dielektrik va yarimo'tkazgich kristallar xizmat qiladi. **To'g'ri p'ezoeffekt** deb mexanik kuchlanish natijasida p'ezoelektrikning qutblanish hodisasiga aytiladi (17.2, a – rasm). Qutblanish natijasida p'ezoelektrikning qarama – qarshi tomonlarida p'ezo – EYUK deb ataluvchi potentsiallar farqi hosil bo'ladi.

Teskari p'ezoeffekt deb berilgan tashqi kuchlanish ta'sirida jismning geometrik o'lshamlari o'zgarishiga aytiladi (17.2, b – rasm). Rasmda jismning deformasiyadan keyingi o'lchamlari punktir chiziq bilan ko'rsatilgan.



17.2 – rasm. To'g'ri (a) va teskari (b) p'ezoeffekt.

Kuchlanish berilgan joyda elektr maydon kuchlanganligi yo'nalishigabog'liq xolda p'ezoelektrik siqiladi yoki kengayadi. Natijada, tovusho'tkazuvchi deb ataladigan, kristal plastinada ko'ndalang yoki bo'ylama akustik ultratovush chastotasi berilgan kuchlanish chastotasiga teng bo'ladi. P'ezoelektrik ma'lum xususiy mexanik tebranishlar chastotasiga ega bo'lgani sababli, tashqi EYUK chastotasi bilan plastinaxususiy tebranishlar chastotasi bir – biriga teng bo'lganda (rezonans hodisasi) plastinaning tebranishlari amplitudasi eng katta qiymatga ega bo'ladi.

Akustoelektronika asboblari chastotasi 1 - 10 GHz bo'lgan, kvarts, litiy niobit va tantalat hamda SdS, ZnS, ZnO, GaAs, InSb va boshqa yupqa yarimo'tkazgich qatlamlarda generatsiyalanadigan ultratovush to'lqinlari ishlatiladi. Ushbu diapazondagi hajmiy va sirt akustik to'lqinlari (SAT) ishlatiladi. SATlarda ishlaydigan akustoelektron asboblari keng tarqalgan. Ularga kechiktirish liniyalari, polosali filtrlar, rezonatorlar, turli datchiklar va shunga o'xshashlar kiradi. Bu asboblarda elektr signallarni akustik signalga va aksincha o'zgartirish maxsus o'zgartirgichlar yordamida amalga oshadi. SATlar o'zgartirgichlarining etti turi mavjud bo'lib, amaldaikki metal elektrodli sinfaz va qoziqsimon joylashgan turlari keng tarqalgan.

SATli filtrlar ko'p kanalli elektr aloqa va kosmik aloqa tizimlari filtrlari sifatida keng ishlatiladi. Ular televizion qabulqilgichlarning tasvir orqali chastota kuchaytirgish bloklarida *LS* – filtrlarni almashtirmoqda. Hozirgi vaqtda tasvirni tashish chastotasi 38 va 38,9 MHz ni tashkil etuvchi SATli televizion filtrlar seriyali ravishda ishlab chiqarilmoqda.

Zamonaviy SATli filtrlar $\Delta f = 0,05-50 \%$ o'tkazish polosasiga ega, o'tkazish polosasidagi so'nish 2 - 6 dB, selektivligi 100 dB gacha. Bunday filtrlar 900 MHz gachachastotalarda ishlaydi.

Magnitoelektronika asboblari. Magnitoelektron asboblarda ferromagnit materiallar ishlatiladi. Ular domen tuzilishga ega, ya'ni butun hajmi ko'p sonli lokal sohalar–domenlardantashkil topadi. Domenlar to'yingunsha spontan magnitlangan. Ular ***polosali, labirintsimon*** va ***silindrik*** shaklga ega bo'lishi mumkin. Domenning chiziqli o'lshamlari millimetrning minglarsha uluchidan o'nlarsha uluchiga teng. Domenlar o'zaro ***chegaradosh devorlar*** (Blox devorlari) bilan ajralib turadi. Bu devorlarda bitta domen magnitlanganlik vektoriga nisbatan asta o'zgarishlari sodir bo'ladi.

Magnitoelektronika asboblarida axborot signalini tashuvchi sifatida quyidagi dinamik birjinslimasliklarning biridan foydalaniladi:

- 1) silindrik shakldagi domenlar;
- 2) chiziqli domenlarda vertikal Blox chiziqlar (VBSH). Qo'shni VBSHlar orasidagi masofa etarli kichik, o'lchami 0,5 mkm bo'lgan chiziqli domen devorida 100 bitgacha axborot saqlash mumkin;
- 3) ferromagnit materialni chastotasi kvant o'tishlar chastotasiga teng yorug'lik bilan yoritilganda hosil bo'luvchi rezonanslar va to'lqinlar;
- 4) spin to'lqinlari va boshqalarning kvant tebranishlarini aksettiruvchi kvazizarrachalar–magnonlar.

NANOELEKTRONIKA

Nanoelektronika nanotexnologiyalarning ilmiy va texnologik usullaridan foydalanishga asoslanadi.

Nanotexnologiya – alohida atom va molekulalarni boshqarishni (manipulyatsiya), shuningdek buning uchun zarur nazariy va amaliy tekshirishlarni qo'llash asosida nanoob'ektlarni ishlab chiqish va ishlab chiqarish bilan shug'ullanuvchi fan va texnika sohasidir.

ISO/TK 229 texnik komitetda nanotexnologiya deganda:

- bir yoki undan ortiq koordinatalarda 100 nm dan kichik o'lshamlarda o'lchamli hodisalarni e'tiborga olish odatda yangi qo'llanishlarga olib keluvchi nanometrlilik diapazonda materiallarni tushunish va materialdagi jarayon va xususiyatlarni boshqarish;

- alohida atom va molekula, shuningdek hajmiy materiallar xususiyatlaridan farq qiluvchi nmli materiallardan yangi xususiyatlarni namoyon qiluvchi mukammallashgan materiallar, asboblari va tizimlar hosil qilish uchun foydalanish nazarda tutiladi.

Nanotexnologiyalar ob'ekti – avvalam bor o'lchamlari 12 -100 nm bo'lgan —nanozarrachadeb ataluvchi zarralardan iborat. Nanozarrachalar katalizator va adsorbsiyalovchi moddalar sifatida qiziq. Oqsillar, nuklin kislotalar bilan ta'sirlashuvda nanozarrachalar qiziq xususiyatlarga ega. Nanozarrachalar o'z – o'zidan yangi xususiyatlarni namoyon etuvchi ma'lum tizimni hosil qilishi mumkin.

Nanozarrachalarning quyidagi turlari ma'lum:

- o'tkazgichlarni portlatish, plazma sintezi, yupqa pardalarni tiklash va boshqa yo'llar bilan olinuvchi ush o'lshamli ob'ektlar;

- molekulyar va atom nurli epitaksiya, gaz fazali epitaksiya, ion o'stirish va boshqa usullar bilan hosil qilinuvchi nanoqatlamlar – ikki o'lchamli ob'ektlar;

- bir o'lchamli ob'ektlar – viskerlar;

- nol – o'lshamli ob'ektlar – kvant nuqtalar.

Nanotexnologiyalar oldidagi eng muhim masalalardan biri tabiatda mavjud biopolimerlarning o'z– o'zini tashkil etishiga o'xshashnanozarralarni o'z – o'zidan tashkillanishidan iborat.

Qo'llanilishi nuqtai – nazaridan, jumladan, nanoelektronikada eng qiziq va istiqbolli nanoob'ektlar:

- Uglerodli nanotrubkalar – odatda yarimsferik boshsha bilan tugallanuvchi va diametri bir nm dan bir nisha nm gacha uzunligi bir necha smni tashkil etuvchi, bir yoki bir necha (ko'p qatlamli nanotrubka) trubka shaklida o'ralgan geksagonal grafit tekisliklar (grafen).

- Fullerenlar – juft sonli ush koordinatali uglerod atomlaridan tuzilgan qavariq tutash ko'pyoqliklar.

- Grafen – uglerod atomlarining monoqatlami. Grafen xona temperaturasida elektronlarning yuqori harakatshanligiga, tuzilishi

bo'yicha noyob taqiqlangan zonaga ega va shuning uchun nisbatan arzon kremniyani almashtirish istiqboli mavjud.

– Nanokristallar – turli kristal nanozarrashalar – nanosterjenlar, nanosimlar, nanotrubkalar, nanolentalar, nanoxalqalar, nanoprujinalar va boshqalar, mikro – va optoelektronikada, mikrosensordlarda, fotokatalizda, p'ezoo'zgartgishlarda va shunga o'xshashlarda istiqbolli. Barcha nanozarrashalar kristal tuzilishga ega bo'lgani sababli nanokristal va nanozarra sinonimlardir. Nanokristall atamasi bilan nanoob'ektning kristalligiga qo'shimcha urg'u beriladi. Shu bilan birgalikda, oxirgi vaqtda nanokristall deb kristalga o'xshash ikki o'lchamli va uch o'lchamli nanozarrachalardan iborat tuzilmalar atala boshlandi, ya'ni ushbu atamayangi ma'noga ega bo'ldi.

– Nanoqurilma, xususan, nanoelektronikada asosiy ob'ekt – elektron nanoqurilma.

Nano o'lchamlarga o'tganda modda xususiyati (nanoob'ekt xususiyati) o'zgaradi. Birinchidan, moddalar hajmidagi atomlarga nisbatan nanozarrashalar sirtidagi kimyoviy bog'lanishlari to'yinmagan atomlar boshqachaxususiyatga ega bo'ladi. Mikrozarrahalarda sirtqi atomlarning nisbiy zichligi uluchi e'tiborga olmasa bo'ladigan darajada kichik, nanozarrachalarda esa – sezilarli va xatto ko'p bo'ladi. Ikkinchidan, 12 mkm dan kichik o'lchamlarda, elektr o'tkazishning klassik nazariyasi noto'g'ri bo'ladi va nanozarralar o'lshami elektronning erkin yurish yo'li uzunligidan kichik bo'lgani uchun Om qonuni buziladi. Elektronlar xarakati ballistik bo'lib qoladi. Uchinchidan, nanotuzilmalarda elektronlar xarakatining kvant tabiati va nanotuzilmalarning de – Broyl to'lqin uzunligiga yaqin $\lambda = h/(mv)$ kichik o'lchamlari hamda elektronlar harakatining kvant tabiati bilan bog'liq turli kvant – o'lchamli effektlar kuzatiladi.

Mikroelektronika o'zining yarim asrlik tarixi davomida IMSlar elementlari o'lchamlarini kamaytirish yo'lida Mur qonuniga muvofiq rivojlanmoqda. 1999 yilda mikroelektronika texnologik ajratishning 100 nmli dovonini engib nanoelektronikaga aylandi. Hozirgi vaqtda 45 nmli texnologik jarayon keng tarqalgan. Bu jarayon optik litografiyaga asoslanishini aytib o'tamiz.

Mikroelektron qurilmalar (IMSlar) yaratishning ananaviy, planar jarayon kabi, usullari yaqin 10 yillik ichida iqtisodiy, texnologik vaintellektual chegaraga kelib qolishi mumkin, bunda qurilmalar o'lchamlarini kamaytirish va ularni tuzilish murakkabligining oshishi bilan harajatlarning eksponensial oshishi kuzatiladi. Muammoni nanotexnologiyalar usullarini qo'llagan holda yangi sifat darajasida echishga to'g'ri keladi.

MDYA tranzistorlarda zatvorosti dielektrigi ananaviy ravishda SiO₂ ishlatiladi, 45 nm o'lchamli texnologiyaga o'tilganda dielektrik qalinligi 1 nmdan kichik bo'ladi. Bunda zatvor osti orqali sizilish toki ortadi. Kristalning 1 sm² yuzasida energiya ajralish 1 kVtga etadi. Yupqa dielektrik orqali tok oqish muammosi SiO₂ ni dielektrik singdiruvchanlik

koefficienti ϵ katta boshqa dielektriklarga, masalan $\epsilon \sim 20-25$ bo'lgan gafniy yoki sirkoniy oksidlariga almashtirish yo'li bilan xal etiladi.

Kelgusida, tranzistor kanali uzunligi 5 nm gacha kamaytirilganda, tranzistordagi kvant hodisalar uning xarakteristikalariga katta ta'sir ko'rsata boshlaydi va xususan, stok – istok orasidagi tunnellashuv toki 1 sm^2 yuzada ajraladigan energiyani 1 kW ga etkazadi.

ADABIYOTLAR

1. И.С. Андреев, Х.К. Арипов, Ж.Т. Махсудов, Ш.Б. Рахматов. Полупроводниковые приборы многослойной структуры. Транзисторы и тиристоры. Част 1: Учебное пособие. Т.: ТЭИС, 1994. 164 с.
2. И.С. Андреев, Х.К. Арипов, Ж.Т. Махсудов, Ш.Б. Рахматов. Полупроводниковые приборы многослойной структуры. Транзисторы и тиристоры. Част 2: Учебное пособие. Т.: ТЭИС, 1994. 98 с.
3. Х.К. Арипов, Н.Б. Алимова, З.Е. Агабекова, Ж.Т. Махсудов. Аналоговая и интегральная схемотехника. Т.: ТЭИС, 2000. 90 с.
4. Н. Юнусов, И.С. Андреев, А.М. Абдуллаев, Х.К. Арипов, Ю.О. Иноғомова. Электроника бўйича асосий тушунча ва атамаларнинг ўзбекча-русча-инглизча изоҳли луғати. Т.: ТЭАИ, 1998. 160 б.
5. И.П. Степаненко. Основы микроэлектроники: Учебное пособие. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. 488 с.
6. Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров. Аналоговая и цифровая электроника: Учебник для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2003. 768 с.
7. А.Н. Игнатов, С.В. Калинин, В.Л. Савиных. Основы электроники. Н.: СибГУТИ, 2005. 323 с.
8. А.Н. Игнатов, С.В. Калинин, Н.Е. Фадеева. Микросхемотехника и наноэлектроника: Учебное пособие. Н.: СибГУТИ, 2007. 244 с.
9. Х.К. Арипов, А.М. Абдуллаев, Н.Б. Алимова. Основы электроники: Учебное пособие для учащихся профессионально-технических колледжей. Т.: ИПТД им. Чулпана, 2007. 136 с.
10. Электрон техника ва радиоэлектроникага оид атамаларнинг ўзбекча-русча изоҳли луғати. проф. М. Мухитдинов умумий тахрири остида. Т.: БИЛИМ, 2007. 432 б.
11. Х.К. Арипов, А.М. Абдуллаев, Н.Б. Алимова. Электроника: Ўқув қўлланма. Т.: ТАТУ, 2009. 136 б.