

Lecture №6.

OPTOELECTRONIC DIODES.

6-MA'RUZA:

OPTOELEKTRONIKA DIODLARI.

REJA:

6.1. Optoelektronika diodlari.

6.2. Optronlar.

6.3. Bipolyar tranzistorlar.

Tayanch iboralar: yarimo'tkazgichlar; optoelektron diodlar; fotodiod; yorug'lik diodi; foto rezistor, opronlar; tranzistorlar; emmitter; kollektor; baza; kuchaytirgich.

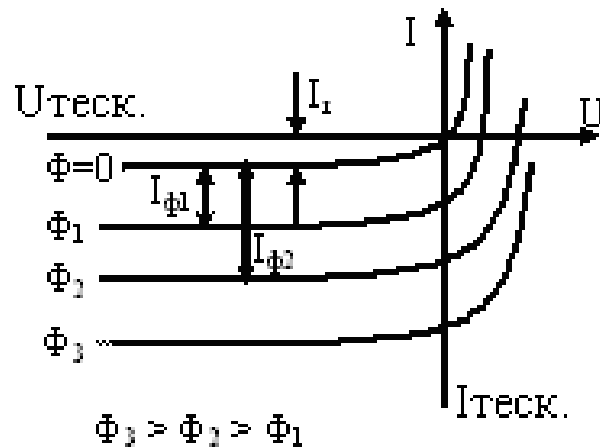
6.1. Optoelektronika diodlari

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

Fotodiod deb bitta p-n o‘tishga ega bo‘lgan foto-elektr asbobga aytiladi. Fotodiod tashqi kuchlanish 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 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.

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



1 – 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 (fotovoltaik) 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.

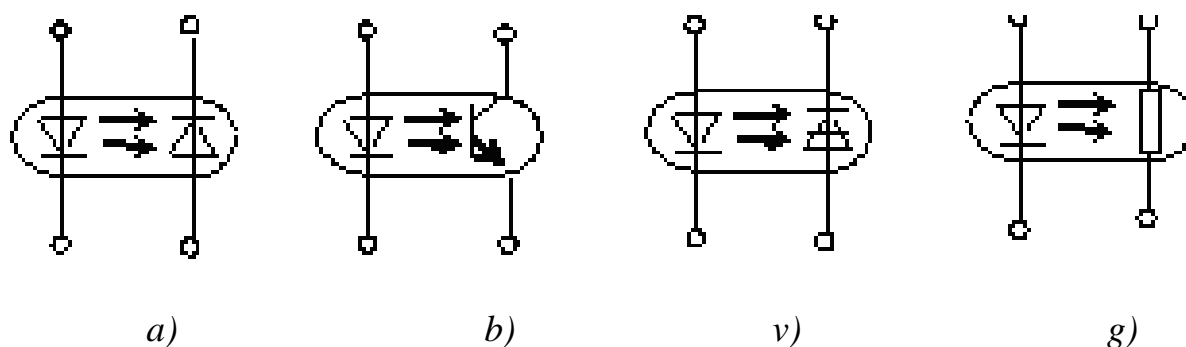
Nurlanayotgan yorug‘lik to‘lqin uzunligi λ kvant energiyasi bilan aniqlanadi. U esa nurlanuvchi rekombinatsiyada yarim o‘tkazgichning ta‘qiqlangan zona kengligiga deyarli teng bo‘ladi. Galliy arsenididan tayyorlangan yorug‘lik diodlari uchun $\lambda = 0,9-1,4$ mkm. Qizil, sariq va yashil rang nurlatuvchi 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.



2-rasm. Fotodiodlar.

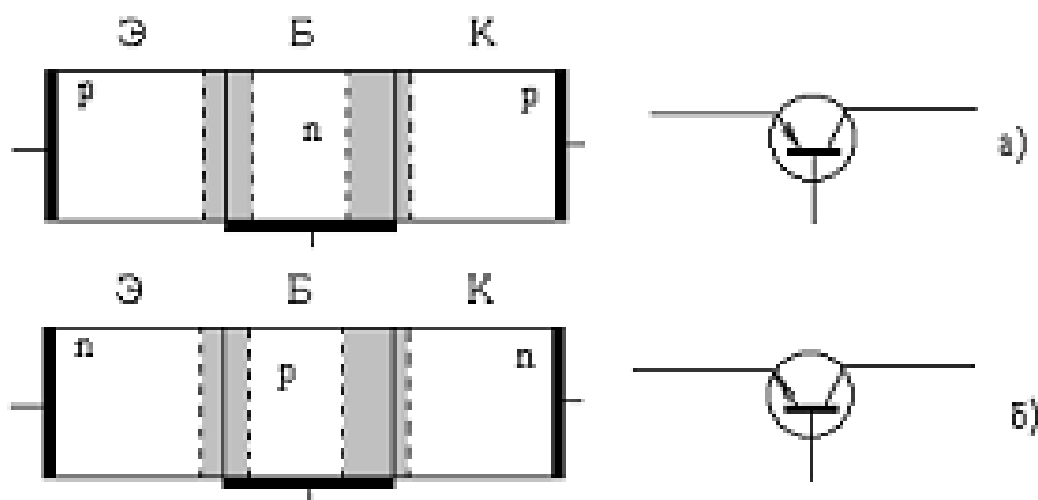
2-rasmda yorug'lik diodi va fotodiod (a), fototranzistor (b), fototiristor (v), fotorezistor (g) dan tashkil topgan optoparalar keltirilgan. Optoparalar raqamli va impuls qurilmalar, analog signallarni uzatish qurilmalari, yuqori voltli manbalarni kontaktsiz boshqarish avtomatik tizimlari va boshqalarda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

6.3. 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.

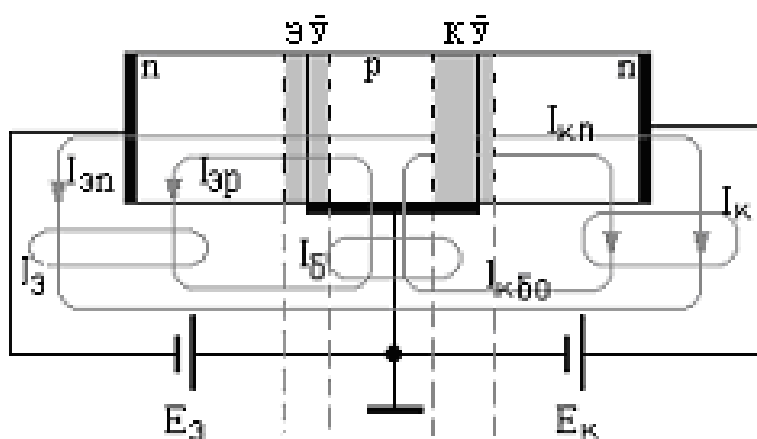
Bipolyar tranzistor p-n-p va n-p-n o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan uchta yarim o‘tkazgichdan tashkil topgan (3 a va b-rasm). Endilikda keng tarqalgan n-p-n tuzilmali bipolyar tranzistorni ko‘rib chiqamiz.

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 ekstraksiyalash uchun xizmat qiladi (4- rasm). Emitter va baza oralig‘idagi o‘tish emitter o‘tish, kollektor va baza oralig‘idagi o‘tish esa -kollektor o‘tish deb ataladi.



3 – 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.

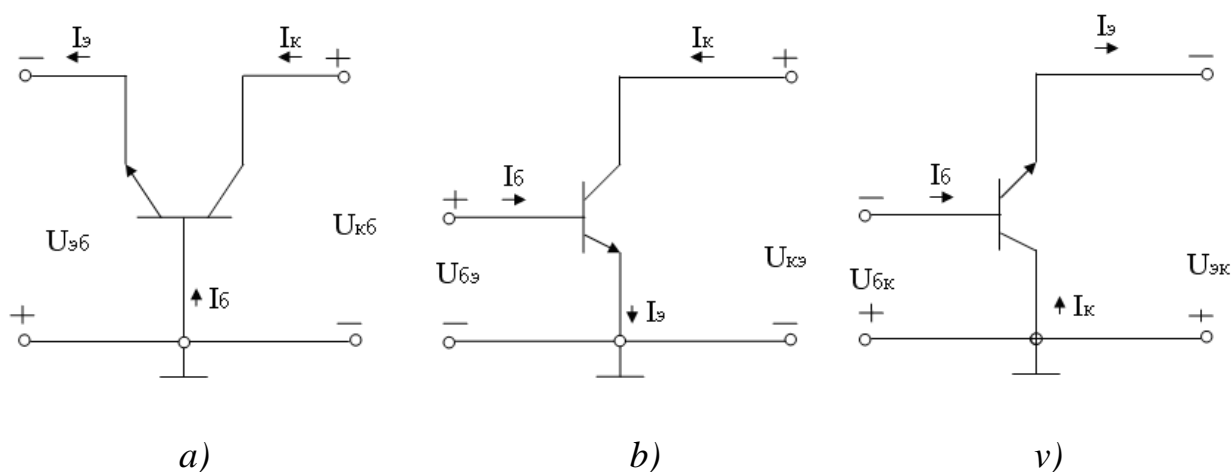


4 – rasm.

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)* (5a-rasm); *umumiy emitter (UE)* (5b-rasm); *umumiy kollektor (UK)* (5 v- rasm). Bu vaqtda umumiy chiqish potentsiali nolga teng deb olinadi. Kuchlanish manbai

qutblari va tranzistor toklarining yoʻnalishi tranzistorning aktiv rejimiga mos keladi. UB ulanish sxemasi qator kamchiliklarga ega boʻlib, juda kam ishlatiladi.



5 – rasm.

Bipolyar tranzistorning aktiv rejimda ishlashi. UB ulanish sxemasida aktiv rejimda ishlayotgan *n-p-n* tuzilmali diffuziyali qotishmali bipolyar tranzistorni oʻzgarmas tokda ishlashini qoʻrib chiqamiz (5 *a*-rasm). Bipolyar tranzistorning normal ishlashining asosiy talabi boʻlib baza sohasining yetarlicha kichik kengligi W hisoblanadi; bu vaqtda

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

Bipolyar tranzistorning ishlashi uchta asosiy hodisaga asoslangan:

- emitterdan bazaga zaryad tashuvchilarning injeksiyasi;
- bazaga injeksiyalangan zaryad tashuvchilarni kollektorga oʻtishi;
- bazaga injeksiyalangan zaryad tashuvchilar va kollektor oʻtishga

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

$$I_{\mathcal{O}} = I_{\mathcal{en}} + I_{\mathcal{ep}} \quad , \quad (6.1)$$

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

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

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

$$\gamma = \frac{I_{\mathcal{en}}}{I_{\mathcal{O}}} \quad , \quad (6.2)$$

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 $W \leq Ln$ (elektronlarning diffuziya uzunligi). Bazadagi rekombinatsiya uchun emitter elektron tokining yo‘qotilishi *elektronlarning uzatish koeffisienti* bilan xarakterlanadi:

$$\alpha_{II} = \frac{I_{Kn}}{I_{\mathcal{O}n}} \quad (6.3).$$

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

$$I_{Kn} = \alpha I_{\mathcal{O}} + I_{K0}, \quad (6.4)$$

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

$$I_{\ominus} = I_B + I_K. \quad (6.5)$$

Bu ifodani (6.4)ga qo'yib, baza tokining emitterning to'liq toki orqali ifodasini olishimiz mumkin:

$$I_B = (1 - \alpha)I_{\ominus} + I_{K0}. \quad (6.6)$$

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 (5 b-rasm). Bu sxemada emitter umumiy elektrod, baza toki - kirish toki, kollektor toki esa – chiqish toki hisoblanadi.

(6.4) va (6.5) 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

$$I_K = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B + \frac{1}{1 - \alpha} I_{K0}. \quad (6.7)$$

Agar $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ belgilash kiritilsa, (6.7) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$I_K = \beta I_B + (\beta + 1) I_{K0}. \quad (6.8)$$

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.

Nazorat savollari.

1. Optoelektronika deb nimaga aytiladi?
2. Optoelektronika diodlar nima?
3. Optronlar nima?
4. Fotodiod deb nimaga aytiladi?
5. fotodiod sezgirligi deb nimaga aytiladi?
6. Yorug'lik diodi haqida tushuncha bering?
7. Bipolyar tranzistorlar nima?
8. Bipolyar tranzistorning ulanish sxemalari?