

"O'zbekiston temir yo'llari" DATK
Toshkent temir yo'l muhandislari instituti

A.M. Safarov, D.Sh.Rustamov

ELEKTRONIKA ASOSLARI

5310200 – “Elektrenergetika” ta'lim yo'nalishi
III bosqich bakalavriat talabalari uchun amaliy va mustaqil
ishlarni bajarishga doir uslubiy qo'llanma

Toshkent – 2014

UDK 628.15

Elektronika asoslari, Uslubiy qo'llanma **A.M. Safarov, D.Sh.Rustamov**. ToshTYMI, T.: 2013, 44 bet.

Ushbu uslubiy qo'llanma «Elektrenergetika» yo'nalishlaridagi bakalavriat talabalarining o'quv rejada ko'zda tutilgan «Elektronika asoslari» fanidan amaliy mashg'ulotlar va mustaqil ishlarni bajarish uchun mo'ljallangan.

Uslubiy qo'llanma institutning Ilmiy-uslubiy komissiyasi tomonidan nashrga tavsiya etildi.

Taqrizchilar: A.Holov – t.f.n. dots (TKTI);
A.A. Buzrukhanov - t.f.n. kat. o'qit

Kirish

Elektronika - fan va texnikaning tinimsiz va jadal rivojlanayotgan sohalaridan biridir. Temir yo‘l transportini texnik jihatdan qayta qurish bilan bog‘liq yuqori darajali masalalarni yechishda elektronikaning ahamiyati beqiyosdir. Elektronika yordamida yangi texnologiyalar yaratiladi, mehnat sharoiti yengillashtiriladi, poyezdlar tezligi oshadi va harakat xavfsizligi ta‘minlanadi, boshqarish imkoniyatlari kengayadi.

Mazkur uslubiy qo‘llanma elektronikaning asosiy qismlari bo‘yicha qator masalalarni va ularni formulalarini o‘z ichiga olgan.

Uslubiy qo‘llanma tarkibiga, shuningdek, elektronikaning eng muhim bo‘limlariga oid bir nechta topshiriqlar kiritilgan bo‘lib, ular talabalarga mustaqil ish sifatida beriladi. Bu ishlarni bajarish talabalardan mustaqil ravishda qo‘yilgan savollarga mos nazariy qismni o‘rganishni, konspekt tuzishni, topshiriqni va unda yoritilishi so‘ralayotgan savollarni chuqur anglab olishni taqozo etadi. Buning uchun uslubiy qo‘llanmaning oxirida lozim bo‘ladigan adabiyotlar ro‘yxati keltirilgan.

Uni qanday rasmiylashtirish uslubiy qo‘llanmaning «Umumiy qismi»da keltirilgan.

1. P – n o'tishning asosiy xususiyatlari

P – n o'tish turli tipdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan bir xil yarim o'tkazgichlar tutashuvi (kontakti). p – n o'tishning n – sohasi donorlar konsentratsiyasi N_D bo'lgan donorli aralashma bilan, p- sohasi esa akseptorlari konsentratsiyasi N_A bo'lgan akseptorli aralashma bilan legirlangan. Konsentratsiya soni barqarorlashgan (muvozanatlashgan) holda p- va n – sohalar orasidagi potensial to'siq balandligi quyidagi formula bilan aniqlanadi [1]:

$$\varphi_k = \frac{kT}{e} \ln \frac{P_p r_r}{n_i^2} . \quad (1.1)$$

Bunda N_p va P_p – n va p sohalaridagi mos holda asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi; mazkur materiallardagi xususan zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi;

$$n_i = \sqrt{N_c N_v} \exp\left(-\frac{\Delta W}{2kT}\right), \quad (1.2)$$

K – Boltsman doimiysi; T – temperatura; e – elektron zaryadi.

Xona temperaturasida kremniy, germaniy va galliy arsenidagi barcha aralashma ionlashgan, xususiyl zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi juda kam bo'lganligi uchun, asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi aralashmalar konsentratsiyasiga teng;

$n_n = N_D$; $P_p = N_A$. Barqarorlashgan, yani tashqi kuchlanish bo'lmagan holda p – n o'tish kengligi quyidagiga teng;

$$d = d_n + d_p = \sqrt{\frac{2\epsilon\epsilon_0}{e} \varphi_k \left(\frac{1}{N_D} + \frac{1}{N_A}\right)}, \quad (1.3)$$

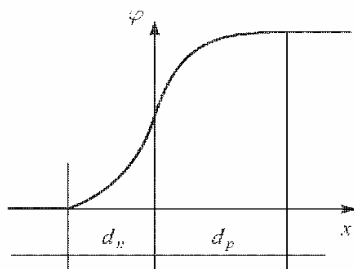
bunda d_n va d_p – p – n o'tishining mos holda n– va p - sohalar tomonidan metall chegaradan hisoblangan kengligi (1.1 – rasm). p–n o'tish ichida ionlashgan akseptorlarning umumiy manfiy zaryadi ionlashgan donorlarning umumiy musbat zaryadiga teng bo'lganligidan quyidagini yozish mumkin:

$$d_n N_D S = d_p N_A S, \quad (1.4)$$

bunda S – p – n o'tishining ko'ndalang kesim yuzasi.

(1.4)dan quyidagi munosabatni yozish mumkin;

$$\frac{d_n}{d_p} = \frac{N_A}{N_D} = \frac{P_p}{n_n} \quad (1.5)$$



1.1-rasm. P-n o'tish yaqinida potensial taqsimlanishi

P – n o'tishdagi elektr maydon kuchlanganligi metall chegarada maksimal qiymatga ega:

$$E_{\max} = \frac{2\varphi_k}{d} \quad (1.6)$$

Agar p – n o'tishga tashqi kuchlanish U berilsa, potensial to'siq balandligi shu kuchlanish qadar o'zgaradi:

$$\varphi(u) = \varphi_k - U$$

To'siq kattaligi kuchlanish musbat (to'g'ri) bo'lganida, yani manba-ning “+” qutbi r – sohaga ulansa kamayadi, va manfiy (teskari) holda ulansa to'siq kattaligi ortadi. Bunga mos holda p – n o'tish kengligi ham o'zgaradi. To'g'ri kuchlanish berilganda p – n o'tish torayadi.

$$d(U_{\text{myz}} > 0) = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{e}(\varphi_k - U)\left(\frac{1}{N_D} + \frac{1}{N_A}\right)}, \quad (1.7 a)$$

Teskari kuchlanish berilganda p – n o'tish kengayadi:

$$d(U_{\text{myz}} < 0) = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{e}(\varphi_k - U)\left(\frac{1}{N_D} + \frac{1}{N_A}\right)}. \quad (1.7 b)$$

P – n o'tishning volt – amper xarakteristikasi, undan o'tuvchi tok I (yoki tok zichligi j) va unga berilgan kuchlanish orasidagi bog'lanishi ifodalaydi:

$$j = \left(\frac{eD_n n_p}{L_n} + \frac{eD_p P_n}{L_p}\right) \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1\right) = j_s \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1\right), \quad (1.8)$$

bunda j_s – teskari to'yinish toki zichligi; D_n va D_p – mos holda elektron va kavaklarning diffuziya koeffitsiyentlari; L_p va L_n – mos holda diffuziya uzunliklari; p_r va p_r – asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar koeffitsiyentlari. Asl yarim o'tkazgichlar uchun p – sohadagi elektronlarning konsentratsiyasi:

$$n_p = \frac{n_i^2}{N_A}, \quad (1.9 a)$$

p - sohadagi kavaklar konsentratsiyasi:

$$P_n = \frac{n_i^2}{N_D}. \quad (1.9 \text{ b})$$

Yuqoridagi (1.8) formulaning keltirib chiqarilishida tashqi kuchlanish U faqat p – n o'tish sohasiga berilgan deb faraz qilinadi. Kvazineytral p – sohaning o'tkazuvchanligi:

$$\sigma_p = e_p \mu_p, \quad (1.10)$$

kvazineytral p- sohaning o'tkazuvchanligi:

$$\sigma_n = e n_n \mu_n. \quad (1.11)$$

Kambag'allashgan p – n o'tish sohasi o'tkazuvchanligi kvazineytral sohalarda o'tkazuvchanligidan biroz kattaroq.

Shuning uchun ham kvazineytral sohalarda kuchlanish pasayishi juda kichik bo'lib, uni hisobga olmasa ham bo'ladi. (1.10) va (1.11) formulalarda μ_p va μ_n - mos holda kavak va elektronlarning ildamligi.

P – n o'tish yarim o'tkazgich (tokni bir tomonlama o'tkazish xususiyatiga ega bo'lgan) asboblari asosini tashkil etadi.

Masalalar.

1.1 - masala. Quyidagilarni aniqlang.

- 1) kontakt potentsiallar farqi φ_k ni;
- 2) p – va r – sohalarda tomonidan hisoblangan r – p o'tish kengligi d_n va d_p , shuningdek o'tish to'la kengligi $d = d_n + d_p$;
- 3) kontakt maydon kuchlanganligi E ning maksimal qiymati.

Quyidagilar berilgan:

n – va p – sohalardagi o'tkazuvchanliklar $\sigma_n = 8 \text{ Om}^{-1} \text{ sm}^{-1}$ va $\sigma_p = 2.4 \text{ Om}^{-1} \text{ sm}^{-1}$, shuningdek elektron va kavaklarning ildamliliklari $\mu_n = 500 \text{ sm}^2 / \text{V} \cdot \text{S}$ $\mu_p = 300 \text{ sm}^2 / \text{V} \cdot \text{S}$; p – no'tishga tashqi kuchlanish: a) $U_1 = +0.5 \text{ V}$ b) $U_2 = -5 \text{ V}$ berilganda potensial to'siq φ balandligining qanday o'zgarishini hisoblang;

Kremniydagi aralashmalar xususiy konsentratsiyasi $n_i = 1.4 \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-3}$, $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-14} \text{ f/sm}$; $\varepsilon = 12$; elektron zaryadi $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ kl}$; Boltsman doimiysi $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ j/grad}$; temperatura $T = 300 \text{ K}$.

Yechish. Elektron va kavak o'tkazuvchanliklari uchun ifodalardan foydalanib n – va r – sohalardagi asosiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyalarini aniqlaymiz:

$$\sigma_n = e \cdot n_n \mu_n \quad \text{va} \quad \sigma_p = e \cdot p_p \mu_p$$

undan
$$n_n = \frac{\sigma_n}{e\mu_n} = \frac{8}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 500} = 10^{17} \text{ sm}^{-3}$$

$$p_p = \frac{\sigma_p}{e\mu_p} = \frac{2.4}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 300} = 5 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$$

Potensial barerning balandligi φ_k tashqi kuchlanish yo'qligida (1.1) formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\varphi_k = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_n p_p}{n_i^2} = 0.026 \ln \frac{10^{17} \cdot 5 \cdot 10^{16}}{(1.4 \cdot 10^{10})^2} = 0.803 \text{ V}$$

P – n o'tish kengligini (1.3) ifodadan foydalanib topish mumkin:

$$d = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{e} \varphi_k \left(\frac{1}{N_D} + \frac{1}{N_A} \right)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12 \cdot 8.85 \cdot 10^{-14}}{1.6 \cdot 10^{-19}} \cdot 0.803 \cdot \frac{1.5 \cdot 10^{17}}{5 \cdot 10^{33}}} = 0.179 \text{ mkm}$$

(1.4) formuladan quyidagini hisoblaymiz:

$$\frac{d_n}{d_p} = \frac{N_A}{N_D} = \frac{p_p}{n_n} = \frac{5 \cdot 10^{16}}{10^{17}} = 0.5$$

$d = d_n + d_p$ tenglikdan foydalangan holda d_p ni topamiz:

$$d_p = \frac{d}{1 + \frac{d_n}{d_p}} = \frac{0.179 \text{ mkm}}{1 + 0.5} = 0.119 \text{ mkm}$$

U holda $d = d_n - d_p = 0,179 - 0,119 = 0,06 \text{ mkm}$

Elektron maydonning maksimal energiyasi (1.6):

$$E_M = \frac{2\varphi_k}{d} = \frac{2 \cdot 0.803 \text{ V}}{0.179 \cdot 10^{-4} \text{ sm}} = 89720 \text{ V / sm}$$

Agar p – n o'tishga $U_1 = 0,5 \text{ V}$ to'g'ri kuchlanish berilgan bo'lsa, potensial to'siq 5 V ga ortadi:

$$\varphi_2 = \varphi_k - U_2 = 0.803 - (-5) = 5.803 \text{ V}$$

Javob: $\varphi_k = 0.803 \text{ V}$ $d = 0.179 \text{ mkm}$, $d_p = 0.119 \text{ mkm}$, $d_n = 0.06 \text{ mkm}$,
 $E_M = 89720 \text{ V / sm}$, $\varphi_1 = 0,303 \text{ V}$, $\varphi_2 = 5,803 \text{ V}$

1.3 - masala. Agar $n_i = 1.4 \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-3}$; $D_n = 40 \text{ sm}^2 / \text{c}$; $D_p = 15 \text{ sm}^2 / \text{c}$; $L_n = 100 \text{ mkm}$; $L_p = 60 \text{ mkm}$; $N_D = 10^{15} \text{ sm}^{-3}$; $N_A = 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ bo'lsa, kremniydagi ideal p – n o'tishda to'yinish toki zichligini aniqlang. Elektron zaryadi $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ kl}$

Yechish. Avval n va r sohalardagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini aniqlaymiz:

$$p_n = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{1.4^2 \cdot 10^{20}}{10^{15}} = 1.96 \cdot 10^5 \text{ sm}^{-3}$$

$$n_p = \frac{n_i^2}{N_A} = \frac{1.4^2 \cdot 10^{20}}{10^{17}} = 1.96 \cdot 10^3 \text{ sm}^{-3}$$

Tok zichligi j_s (1.8) formulaga binoan aniqlanadi:

$$j_s = 1.6 \cdot 10^{-19} \left(\frac{15 \cdot 1.96 \cdot 10^5}{6 \cdot 10^{-3}} + \frac{40 \cdot 1.96 \cdot 10^3}{10^{-2}} \right) \frac{A}{\text{sm}^2} = 7,96 \cdot 10^{-11} \frac{A}{\text{sm}^2}$$

Javob: $j_s = 7.96 \cdot 10^{-11} \text{ A/sm}^2$

1.4 - masala. Ideal p – n o'tishli ikki diod bir xil o'lchamlarga ega va bir xil materialdan tayyorlangan. Ammo birinchi diodda N_A va N_D aralashmalar konsentratsiyalari ikkinchi dioddagiga qaraganda 10 marta kam. Tashqi kuchlanish U bir xil bo'lganda tok zichliklari nisbati $\frac{j_1}{j_2}$ ni aniqlang. Zaryad tashuvchilarning diffuziya koeffitsiyentlari D_n va D_p , hamda diffuziya uzunliklari L_n va L_p har ikkala diod uchun bir xil deb hisoblansin.

Yechish. (1.8) formulaga (1.9 a) va (1.9 b) formulalardan n_p va p_n larni qo'yib, qayta yozamiz:

$$j = en_i^2 \left(\frac{D_n}{L_n N_A} + \frac{D_p}{L_p N_D} \right) \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right) \quad (1.12)$$

bundan

$$j_1 = en_i^2 \left(\frac{D_n}{L_n N_{A1}} + \frac{D_p}{L_p N_{D1}} \right) \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right) \quad (1.13)$$

$$j_2 = en_i^2 \left(\frac{D_n}{L_n N_{A2}} + \frac{D_p}{L_p N_{D2}} \right) \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right) \quad (1.14)$$

(1.13) va (1.14) formulalardan quyidagilarni yozamiz:

$$\frac{j_1}{j_2} = \frac{\left(\frac{D_n}{L_n N_{A1}} + \frac{D_p}{L_p N_{D1}} \right)}{\left(\frac{D_n}{L_n \cdot 10 \cdot N_{A1}} + \frac{D_p}{L_p \cdot 10 \cdot N_{D1}} \right)} = 10$$

Javob: $j_1 / j_2 = 10$

1.5 - masala. Ideal p- n o'tishli diodning p – sohasidagi donorlar konsentratsiyasi uning p – sohasidagi akseptorlar konsentratsiyasiga teng. Agar donorlar konsentratsiyasi 5 marta orttirilsa p – n o'tishdagi tok zichligi qanday o'zgaradi?

Legirlash darajasi o'zgarganda ham $\frac{D_n}{D_p} = 3, \frac{L_n}{L_p} = 1.5$

1.6 - masala. Tashqi kuchlanish U bo'lganda ideal p – n o'tish orqali tok zichligi $j_1 = 0.2 \text{ A/sm}^2$. p – sohadagi akseptorlar konsentratsiyasi n – sohadagi donorlar konsentratsiyasidan 10 marta ko'p. Tashqi kuchlanish U qiymati o'zgarmas qolib, akseptorlar konsentratsiyasi 2 marta kam bo'lgan p – n o'tishdagi tok zichligi j_2 ni toping. Legirlash darajasi o'zgarganda ham $\frac{D_n}{D_p} = 2, L_n/L_p = 1.2$ nisbatlar o'zgarmay qolgan deb hisoblaymiz.

1.7 - masala. Yarim o'tkazgichli ideal diodda $D_n \approx D_p, L_n \approx L_p, N_A = 20N_D$. p – n o'tish orqali o'tuvchi kavak va elektron tok komponentlari nisbati j_p/j_n ni toping.

Yechish. (1.12) formuladan foydalanamiz. Umumiy tok zichligi elektron va kavak tok zichliklar yig'indisiga teng: $j = j_n + j_p$.

O'z navbatida

$$j_n = en_i^2 \frac{D_n}{L_n N_A} \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right) \quad (1.15)$$

$$j_p = en_i^2 \frac{D_p}{L_p N_D} \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right) \quad (1.16)$$

Diffuziya koeffitsiyentlari va diffuzion uzunliklar o'zaro tengligini hisobga olsak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{j_p}{j_n} = \frac{N_A}{N_D} = 20$$

Javob: $j_p/j_n = 20$

1.8-masala. Yarim o'tkazgichli diodda elektronlarning diffuziya koeffitsiyenti kavaklar diffuziya koeffitsiyentidan ikki barobar ko'p. Elektronlar yashash vaqti kavaklar yashash vaqtidan ikki marta kam. P – sohadagi donorlar konsentratsiyasi p – sohadagi akseptorlar konsentratsiyasidan 10 marta kam p – no'tish orqali o'tuvchi tok zichligining kavakli va elektronli tashkil etuvchilarni nisbatlarini aniqlang.

Yechish. Kavakli va elektronli tok zichliklari nisbati (1.15) va (1.16) formulalarga ko'ra aniqlanadi.

Zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi diffuziya koeffitsiyenti bilan yashash vaqtiga quyidagi formula orqali bog'langan.

$$L = \sqrt{D\tau} \quad (1.17)$$

(1.17) formulaga binoan $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$, masalaning shartiga ko'ra L_n ni L_p orqali ifodalash imkonini beradi:

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} = \sqrt{2D_p \cdot \frac{\tau_p}{2}} = L_p$$

Diffuziya uzunliklari tengligi ($L_n = L_p$)ni hisobga olib, (1.15) va (1.16) formulalarga asosan quyidagi tok zichliklarini yozamiz:

$$j_n = en_i^2 \frac{2D_p}{L_p N_A} \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right),$$

$$j_p = en_i^2 \frac{10D_p}{L_p N_A} \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right).$$

Talab etilgan nisbat $\frac{j_p}{j_n} = \frac{10}{2} = 5$ **Javob:** $\frac{j_p}{j_n} = 5$

1.9 - masala. Yarim o'tkazgichli diodda elektronlarning diffuziya koeffitsiyenti kavaklar diffuziya koeffitsiyentidan 4 marta ko'p. Elektronlar va kavaklar yashash vaqti teng. p- soha akseptorlari konsentratsiyasi p – soha donorlari konsentratsiyasidan 5 marta katta. j_p/j_n nisbatni aniqlang.

1.10 - masala. Yarim o'tkazgichli diodda elektronlarning diffuziya koeffitsiyenti, kavaklar diffuziya koeffitsiyentidan 2 marta ko'p. Elektronlar yashash vaqti kavaklar yashash vaqtidan 8 marta ortiq. P – sohadagi donorlar konsentratsiyasi p – soha akseptor konsentratsiyasidan 10 marta ko'p j_p/j_n nisbatni aniqlang.

1.11 - masala. Ideal p-n o'tishga ega bo'lgan ikki diod bir xil o'lchamga ega va bir xil materialdan yasalgan. Har bir dioddagi elektron va kavaklarning yashash vaqti teng: $\tau_{n1} = \tau_{p1} = \tau_1$, $\tau_{n2} = \tau_{p2} = \tau_2$. Birinchi dioddan yashash vaqti (τ_1) ikkinchidagi (τ_2)dan 4 marta kam. Aralashmalar N_A va N_D konsentratsiyalari birinchi diodda ikkinchi dioddagidan 10 marta ko'p. Kuchlanish bir xil bo'lganda tok zichliklari nisbati j_p/j_n aniqlang.

Yechish. (1.12) formuladan foydalanamiz. Diodlar bir xil materialdan yasalganini inobatga olsak, zaryad tashuvchilarning diffuziya koeffitsiyentlari ularda bir xil. Ammo, yashash vaqtlari turlicha bo'lganligi uchun zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi $L = \sqrt{D\tau}$ birinchi diodda ikkinchi dioddagiga qaraganda 2 marta kam. Bundan, konsentratsiyalardagi farqni hisobga olgan holda tok zichliklarini yozamiz:

$$j_1 = en_i^2 \left(\frac{D_n}{L_{n1} N_{A1}} + \frac{D_p}{L_{p1} D_1} \right) \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right),$$

$$j_2 = en_i^2 \left(\frac{D_n}{L_{n2} N_{A2}} + \frac{D_p}{L_{p2} D_2} \right) \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right) = en_i^2 \left(\frac{D_n}{20L_{n1} N_{A1}} + \frac{D_p}{20L_{p1} N_{D1}} \right) \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right).$$

Kerakli almashtirishlarni bajarib, quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\frac{j_1}{j_2} = \frac{1}{20} = 0.05 \quad \text{Javob: } \frac{j_1}{j_2} = 0.05$$

1.12 - masala. Ideal r – p o'tishga ega bo'lgan ikkita diod bir xil o'lchamga ega va bir xil materialdan yasalgan. Zaryad tashuvchilarning diffuziya uzunligi birinchi diodda ikkinchi dioddagiga qaraganda 2 marta katta; diffuziya koeffitsiyentlari har ikkala diodda bir xil. Agar aralashmalar konsentratsiyalari birinchi diodda ikkinchi dioddagidan 4 marta kam bo'lsa, teskari tok zichliklari nisbati j_{s1}/j_{s2} ni aniqlang.

1.13 - masala. Ideal kremniyli r – p o'tish orqali o'tuvchi teskari tok zichligi j_s ning temperatura $T_1 = 300 K$ dan $T_2 = 250 K$ gacha pasayganda qanday o'zgarishini aniqlang. Kremniyning 300 K dagi taqiqlangan zonasi kengligi $\Delta W = 1.12 eV$. Temperatura o'zgarishi bilan taqiqlangan zona kengligining o'zgarishi $\Delta W(T) = \Delta W(300 K) - \alpha(T - 300 K)$ qonuniyat ko'rinishida bo'lib, $\alpha = 2.84 \cdot 10^{-4} eV/K$ ga teng.

Yechish. (1.12) formulaga xususiy konsentratsiya n_i uchun (1.2) ifodani qo'yamiz. Quyidagiga ega bo'lamiz:

$$j = eN_c N_v \left(\frac{D_n}{L_n N_A} + \frac{D_p}{L_p N_D} \right) \exp\left(-\frac{\Delta W}{kT}\right) \left(\exp\frac{eU}{kT} - 1 \right) \quad (1.18)$$

Teskari tok zichligi j_s ifodasi:

$$j_s = eN_c N_v \left(\frac{D_n}{L_n N_A} + \frac{D_p}{L_p N_D} \right) \exp\left(-\frac{\Delta W}{kT}\right)$$

Parametrlari $N_c, N_v, D_n, D_p, L_n, L_p$ temperaturaga bog'lanishi juda zaif bo'lganligi uchun, teskari tok zichligi j_s ning temperaturaga bog'lanishi asosan ko'paytuvchi $\exp\left(-\frac{\Delta W}{kT}\right)$ bilan aniqlanadi. Temperatura $T_1 = 300 K$

bo'lganda bu eksponenta qiymati $\exp\left(-\frac{\Delta W}{kT}\right) = \exp\left(-\frac{1.12 eV}{0.026 eV}\right) = 1.96 \cdot 10^{-19}$.

Temperatura $T_2 = 250 K$ bo'lganda taqiqlangan zona kengligi:

$$\Delta W(T_2) = \Delta W(T_1) + \alpha \cdot 50 K = 1.1342 eV$$

Issqlik energiya $kT = 0.0216 eV$; Bundan $\exp\left(-\frac{\Delta W(T_2)}{kT_2}\right) = 1.84 \cdot 10^{-23}$ teskari tok zichliklari nisbati shu ikki eksponentalar nisbati bilan aniqlanadi. Yani:

$$\frac{j_1}{j_2} \approx 1.96 \cdot 10^{19} / 1.84 \cdot 10^{-23} \approx 10^4 \quad \text{Javob: } \frac{j_1}{j_2} \approx 10^4$$

1.14 - masala. Galliy arsenididan yasalgan ideal r-n o'tish orqali o'tuvchi teskari tok zichligi j_s temperatura $T_1 = 300 K$ dan $T_2 = 250 K$ gacha

kamayganda qanday o'zgarishini aniqlang. *GaAs* taqiqlangan zo'nasi kengligi $\Delta W(T) = \Delta W(300K) - \alpha(T - 300K)$ qonuniyati bo'yicha o'zgaradi.

Bunda $\alpha = 5 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$ $\Delta W(300K) = 1.42 \text{ eV}$

1.15 - masala. Yarim o'tkazgich material *PbSe* ning 300 K temperaturada taqiqlangan zonasi kengligi 0.26 eV va temperaturaga bog'liq $\Delta W(T) = \Delta W(300K) + 4 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K} (T - 300K)$ qonuniyati bilan o'zgaradi. Temperatura 300 K dan 350 K gacha ortganda ushbu materialdan yasalgan p – n o'tishining tok zichligi qanday o'zgarishini aniqlang. p – n o'tishdagi kuchlanish 0.1 V ga teng, boshqa parametrlar temperaturaga bog'liq emas deb hisoblang.

Yechish. Masalani yechish uchun (1.18) formuladan foydalanamiz. Masalaning shartiga ko'ra yarim o'tkazgich parametrlari temperaturaga bog'liq bo'lmaganligidan, tok zichligining temperaturaga bog'liqligi to'g'ri kuchlanish uchun quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$j\alpha \exp\left(-\frac{\Delta W - eU}{kT}\right) \quad (1.19)$$

U holda $T_1 = 300 \text{ K}$ uchun:

$$j_1\alpha \exp\left(-\frac{0.26 - 0.1}{0.026}\right) = 2.1 \cdot 10^{-3};$$

$T_2 = 250 \text{ K}$ uchun

$$j_2\alpha \exp\left(-\frac{0.28 - 0.1}{0.03}\right) = 2.48 \cdot 10^{-3}$$

bundan $\frac{j_1}{j_2} = 1.18$

Javob: tok zichligi 1.18 marta ortadi.

1.16 - masala. Yarim o'tkazgichning taqiqlangan zonasi kengligi 0.62 eV va temperaturaga bog'liq o'zgarmaydi. Agar temperatura $T_1 = 300 \text{ K}$ dan $T_2 = 250 \text{ K}$ gacha o'zgarsa, ushbu materialdan yasalgan p – n o'tish tok zichligi qanday o'zgarishini toping. p – n o'tishdagi kuchlanish 0.36 V ga teng yarim o'tkazgich parametrlari temperaturaga bog'liq o'zgarmaydi deb hisoblang.

1.17 - masala. Agar p – n o'tishdagi kuchlanish 0.4 V ga teng bo'lsa, temperatura $T_1 = 300 \text{ K}$ dan $T_2 = 250 \text{ K}$ gacha o'zgarganda germaniydan yasalgan ideal p – n o'tish orqali o'tuvchi tok zichligi qanday o'zgaradi?

Temperatura 300 K bo'lganda germaniy taqiqlangan zonasi kengligi 0.665 eV ga teng va temperaturaga bog'liq holda $\Delta W(T) = \Delta W(300K) - \beta(T - 300K)$ qonuniyat bo'yicha o'zgaradi. Bunda $\beta = 3.9 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$. Yarim o'tkazgich qolgan parametrlarining temperaturaga bog'liq o'zgarishi hisobga olinmasin.

1.18 masala. Ikki p – n o'tish turli materiallardan yasalgan, ammo aralashmalari konsentratsiyalari bir xil. Diffuziya ko'effitsiyentlari va zaryad tashuvchilar yashash vaqtlari xar ikkala materialda taxminan teng. Birinchi materialning taqiqlangan zonasi kengligi $\Delta W_1 = 1.0 \text{ eV}$ ikkinchi materialning taqiqlangan zonasi kengligi $\Delta W_2 = 0,75 \text{ eV}$ xona temperaturasida teskari toklar zichliklari nisbati j_{s1}/j_{s2} ni toping.

Yechish. Masalani yechish uchun (1.18) formuladan foydalanamiz. Undan ko'rinib turibdiki, tok zichligining materialga bog'liqligi taqiqlangan zona kengligi ΔW qiymati bilan aniqlanadi, chunki bu kattalik eksponentada turibdi. Shuning uchun toklar zichliklari nisbatini baholash uchun eksponensial ko'paytmalar nisbatini hisoblash yetarli:

$$\frac{j_{s1}}{j_{s2}} \approx \frac{\exp\left(-\frac{\Delta W_1}{kT}\right)}{\exp\left(-\frac{\Delta W_2}{kT}\right)} = \frac{1.98 \cdot 10^{-17}}{2.97 \cdot 10^{-13}} = 6.66 \cdot 10^{-5} \quad \text{Javob: } \frac{j_{s1}}{j_{s2}} = 6.66 \cdot 10^{-5}$$

O'z navbatida

$$j_n = en_i^2 \frac{D_n}{L_n N_A} \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right) \quad (1.15)$$

$$j_p = en_i^2 \frac{D_p}{L_p N_D} \left(\exp \frac{eU}{kT} - 1 \right) \quad (1.16)$$

Diffuziya ko'effitsiyentlar va diffuzion uzunliklar o'zaro tengligini hisobga olsak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{j_p}{j_n} = \frac{N_A}{N_D} = 20$$

Javob: $j_p/j_n = 20$

Nazorat qilish uchun mashqlar

1.19. Taqiqlangan zona kengligi yarim o'tkazgichning qanday xossalriga ta'sir ko'rsatadi?

1.20. Agar elektronning effektiv massasi kavak effektiv massasidan ikki marta katta bo'lsa, xona harorati (300 K) dagi xususiy yarim o'tkazgichda Fermi sathi holatini taqiqlangan zonaning o'rtasiga nisbatini toping.

1.21. Tarkibida 1 sm^3 hajmda $5 \cdot 10^{26}$ dona mushyak atomi bo'lgan germaniy kristali uchun $T=300 \text{ K}$ dagi Fermi sathi holatini taqiqlangan zonaning o'rtasiga nisbatini toping.

1.22. Xona harorati (300 K) da p-tipdagi germaniy kristali bor. Agar $m_p^* = 0,4m_0$ bo'lsa, akseptorli aralashma konsentratsiyasi qanday bo'lganda Fermi sathi valeniy zonaning eng yuqori sathiga mos keladi?

1.23. Quyidagilar uchun 300 K haroratdagi elektronlar va kavaklar konsentratsiyalarini aniqlang. a) xususiy kremniy yarim o'tkazgich; b) 1 sm^3 hajmida $5 \cdot 10^{17}$ dona surma atomi kremniy kristalida.

1.24. $T=300\text{ K}$ haroratida donor atomlar konsentratsiyasi $N_g = 2 \cdot 10^{14}\text{ sm}^{-3}$ va akseptor atomlar konsentratsiyasi $N_a = 3 \cdot 10^{14}\text{ sm}^{-3}$ bo'lgan germaniy namunasidagi elektronlar va kavaklar konsentratsiyasini aniqlang.

1.25. Germaniy namunasiga $N_a = 2 \cdot 10^{15}\text{ sm}^{-3}$ konsentratsiyali alyumin aralashmasi qo'shilgan. Harorat 300 K bo'lganda mazkur namunaning solishtirma o'tkazuvchanligini toping.

1.26. Yarim o'tkazgichdagi akseptorlar konsentratsiyasi $N_a = 2,3 \cdot 10^{13}\text{ sm}^{-3}$ donorlar konsentratsiyasi $N_g = 2,2 \cdot 10^{13}\text{ sm}^{-3}$ ga teng. Harorat 300 K bo'lganda kremniy namunasining solishtirma o'tkazuvchanligini aniqlang.

1.27. Quyidagi $G_{ym} = n_n e \mu_n + P_n e \mu_p$ va $n_n P_n = n_i^2 = G^2 T^3 e^{\frac{E_g}{kT}}$ tenglamalardan foydalanib muayyan berilgan haroratda yarim o'tkazgich eng kichik (minimal) elektr o'tkazuvchanlikka $n_n = n_i \sqrt{\frac{\mu_p}{\mu_n}}$ va

$P_n = n_i \sqrt{\frac{\mu_n}{\mu_p}}$ (bunda $n_i = \sqrt{n_n P_n} = \text{const}$) shartlar bajarilganda ega bo'lishini isbotlang.

1.28. Xususiy germaniyli yarim o'tkazgichda harorat 300 K bo'lganda elektronlar harakatchanligi $\mu_n = 3900 \frac{\text{sm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$, kavaklar harakatchanligi

$\mu_p = 1900 \frac{\text{sm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$ ga teng. Agar namunaning o'lchangan o'tkazuvchanligi $0,01\text{ sim/sm}$ bo'lsa, elektron-kavak juftligi zichligini toping.

1.29. Quyidagilarni aniqlang: a) harorat 300 K bo'lganda germaniyda 1m sim / sm solishtirma o'tkazuvchanlik olish uchun atom akseptorlar (1 sm^3 ga) konsentratsiyasi qancha bo'lishi lozim; b) bunda akseptor aralashma atomlarining germaniy atomlariga nisbati qanday? v) agar

germaniy xuddi shunday nisbatdagi donor aralashmaga ega bo'lsa, o'tkazuvchanlik qanday bo'ladi.

1.30. Harorat 300 K bo'lganda r -tipdagi germaniy solishtirma o'tkazuvchanligi $G_p = 100\text{ sim/sm}$ ga teng bo'lsa, kavaklar va elektronlar konsentratsiyasini aniqlang.

1.31. Xususiy germaniyda issiqlik generatsiya tufayli hosil bo'lgan elektron-kavak juftliklari zichligi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$n_i \approx 4,82 \cdot 10^{15} T^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_g}{2kT}} \text{ sm}^{-3},$$

bunda E_g - taqiqlangan zona kengligi, eV ; T - harorat, K ; k - Bolsman doimiysi. Elektron-kavak juftlari zichligini $200, 300, 400\text{ K}$ haroratlar uchun hisoblang. Bunda harorat o'zgarishi taqiqlangan zona kengligini o'zgartirmaydi deb hisoblaymiz.

1.32. O'lchamlari $0,25 \times 0,25 \times 0,05\text{ sm}$ bo'lgan to'g'ri to'rtburchak shaklidagi yarim o'tkazgich namunasi 20° S haroratda 1 sm^3 hajmda 10^{15} dona zaryad tashuvchiga ega. Qarama-qarshi tomonlarning yupqa qirralariga 20 V kuchlanish berilgan. Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi $500 \frac{\text{sm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$ ga teng bo'lganda, hosil bo'luvchi tok qiymatini toping.

1.33. Quyidagilar uchun xona harorati ($T=300\text{ K}$) dagi elektron dreyf tokining kavak dreyf tokiga nisbatini toping: a) xususiy germaniy, b) xususiy kremniy, v) solishtirma qarshiligi $5\text{ Om}\cdot\text{sm}$ bo'lgan n -tipli germaniy, g) solishtirma qarshiligi $5\text{ Om}\cdot\text{sm}$ bo'lgan n -tipli kremniy, d) solishtirma qarshiligi $5\text{ Om}\cdot\text{sm}$ bo'lgan r -tipli germaniy.

1.34. Kremniy monokristalida xona haroratidagi elektronlar va kavaklarning harakatchanligi mos holda 1400 va $500 \frac{\text{sm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$ ga teng. Shu haroratdagi elektronlar va kavaklarning diffuziya koeffitsiyentlarini aniqlang.

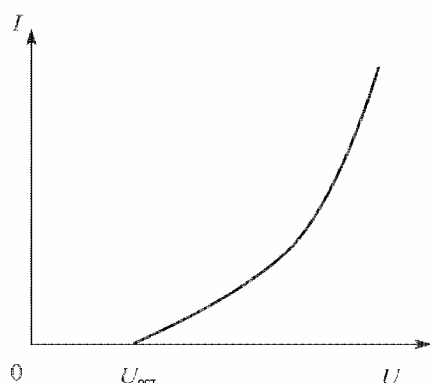
1.35. Agar n -tipli germaniy kristalida elektronlar harakatchanligi $\mu_n = 3900 \frac{\text{sm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$, tok tashuvchilar yashash vaqti $\tau_n = 100\text{ mk sek}$ bo'lsa, xona haroratiga (300 K) to'g'ri kelgan elektronning diffuziya uzunligini toping.

1.36. Qalinligi 1 mm va kengligi 1 sm bo'lgan yarim o'tkazgichli monokristall magnit induksiyasi $V=0,5\text{ Tl}$ bo'lgan magnit maydoniga joylashtirilgan. Magnit induksiya vektori namuna tekisligiga tik (perpendikulyar). Agar Xoll koeffitsiyenti $3,66 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{K}}$ ga teng bo'lsa, Xoll elektrodlaridagi kuchlanishni hisoblang.

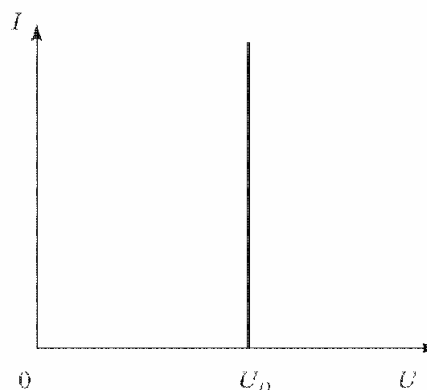
2. Yarim o'tkazgichli diodlar

Yarim o'tkazgichli diodlar asosi bo'lib p – n o'tish xizmat qiladi. Shuning uchun diod xususiyati va uning volt – amper xarakteristikasi p – n o'tish orqali o'tuvchi tok xususiyatiga o'xshaydi.

(1.8) ifoda ideal p – n o'tish volt – amper xarakteristikasini tavsiflaydi. Real kremniyli diodlarning volt amper xarakteristikalari ideal o'tish xarakteristikasidan farq qiladi. Kremniyli diodning tipik volt – amper xarakteristikasi 2.1 – rasimda keltirilgan.



2.1 – rasm. Kremniyli diodning volt – amper xarakteristikasi



2.2 rasm. Diodning ideal kalit sifatida tasvirlanishi

Real diodlar volt – amper xarakteristikasining farqli jihati – manfiy va kichik musbat kuchlanishlarda, yani $U < U_{ost}$ (2.1) rasimga qarang. Diod orqali o'tuvchi tok yo'q. Bunday diodlarda teskari toklar qiymati juda kichik shuning uchun muhandislik hisoblashlarda ular nolga teng deyiladi; sezilarli tok kuchlanishi $U > U_{ost}$ qiymatlarda yuzaga keladi. Kuchlanishning $0 < U < U_{ost}$ sohasi sukunat zonasi deyiladi. Ba`zan, kremniyli integral sxemalarni tahlil qilish chog'ida diod volt – amper xarakteristikasi bosqichli ko'rinishda (2.2 – rasm), yani diod ideal kalit sifatida tasvirlanadi.

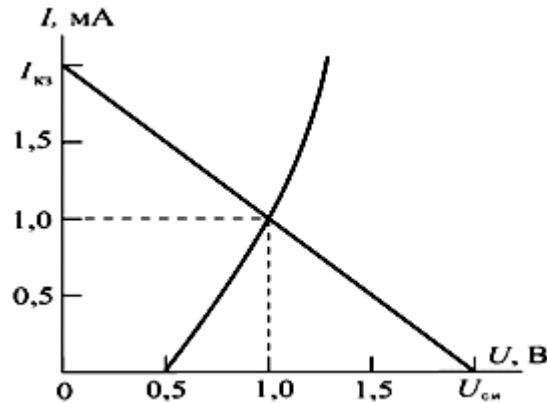
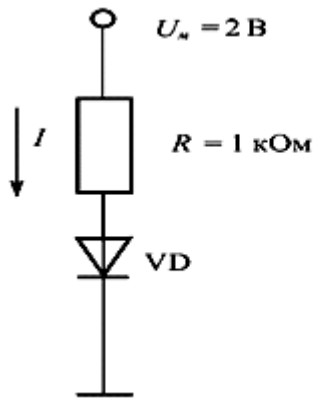
Diodning o'zgarmas tokka qarshiligi R va differensial qarshiligi R_{dif} asosiy parametrlar hisoblanadi. Qarshilik R dioddagi doimiy kuchlanishning undan o'tuvchi tokka nisbati sifatida aniqlanadi. Differensial qarshilik kuchlanishning muayyan qiymatida volt – amper xarakteristikasining absissa o'qiga qiyaligini harakterlaydi.

$$R_{dif} = \frac{dU}{dI}$$

Real diodlar xarakteristikalarining ideal p – n o'tish volt – amper xarakteristikasidan farqli amalda diodi bo'lgan real sxemalar kuchlanish va toklarni analitik hisoblash imkonini bermaydi. Shuning uchun amalda bunday masalalar grafo – analitik usuldan foydalangan holda yechiladi.

Bu usulning mohiyatini quyidagi sodda misolda tushuntiramiz.

Namuna. 2.3 – rasmda ko’rsatilgan sxemadan o’tuvchi tok qiymatini aniqlang. Diod volt – amper xarakteristikasi (2.4 – rasm) ma’lum, $U_M = 2 V$, $R = 1 kOm$



2.3- rasm . Diodning ulanish sxemasi

2.4-rasm Diodning volt amper harakteristikasi

Masalani yechish uchun zanjir (2.3 – rasm) uchun Kirxgofning 2 – chi qonunini yozamiz:

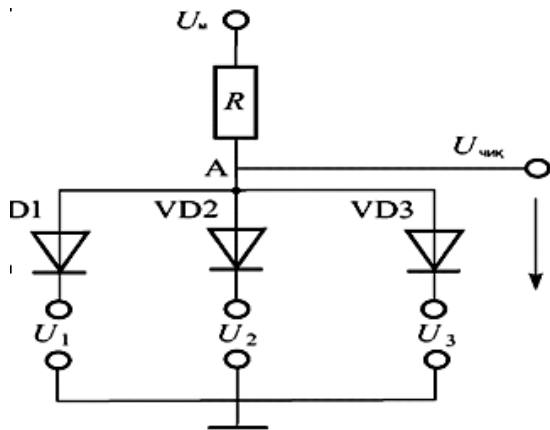
$$U_M = IR + U_D \quad (2.1)$$

bunda U_D - dioddagi kuchlanish pasayishi.

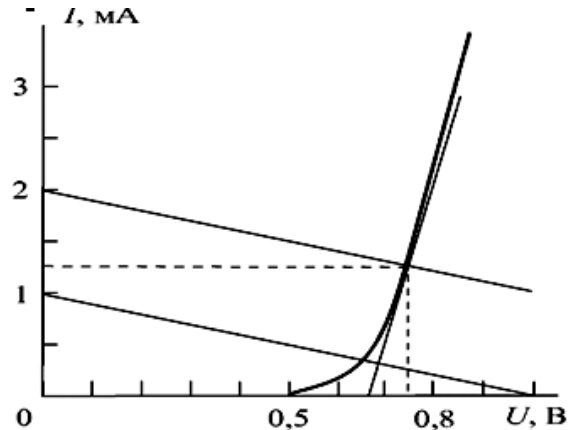
Bu tenglama ikkita noma’lum I va U_D dan iborat. Ularni aniqlash uchun yani bitta tenglama kerak bu tenglama vazifasini I va U_D orasidagi bog’lanishni beruvchi diod volt – amper xarakteristikasi bajaradi.

(2.1) tenglama to’g’ri chiziq tenglamasi bo’lgani uchun masalani grafik usulda yechish qulay. Ikki nuqta bo’yicha, yani tenglama (2.1) koordinata o’qlari bilan kesishish nuqtalari asosida, yuklama to’g’ri chizig’ini quramiz. Salt ishlash kuchlanishi U_{si} - yuklama to’g’ri chizig’ining absissa o’qi bilan kesishish nuqtasi; $U_{si} = U_M = 2 V$. Qisqa tutashuv toki I_{kT} - yuklama to’g’ri chizig’ining ordinata o’qi bilan kesishish nuqtasi; $I_{kT} = \frac{U_M}{R} = 2 mA$ to’g’ri chiziqning volt – amper xarakteristika bilan kesishish nuqtasi masalaning yechimi bo’ladi: $I = 1 mA$; $U_D = 1 V$

2.1- masala. 2.5 - rasmda ko’rsatilgan sxemada $U_M = 2.2 V$; $R = 500 Om$; $U_1 = U_2 = 0,2V$; $U_3 = 1.2 V$. Diodlarning volt – amper xarakteristikasi 2.6 – rasmda keltirilgan. Diodlar orqali o’tuvchi toklarni va chiqishdagi kuchlanish U_{chiq} ni aniq tokka qarshiligi R ni aniqlang.



2.5 Diodning ulanish sxemasi.
(2.1, 2.3, 2.4 masalalar uchun)



2.6 Diodning volt amper
xarakteristikasi VAX

Yechish. Kuchlanishlar U_1 va U_2 bir xil bo'lganligi uchun $VD1$ va $VD2$ diodlardagi kuchlanishlar va ulardan o'tuvchi toklar bir xil bo'ladi. Ularni mos holda U_D va I_D deb belgilaymiz. Faraz qilaylik, diod $VD3$ ochiq, yani u orqali o'tuvchi tok mavjud. 2.6 – rasmdan ko'rinib turibdiki, bu xol bo'lishi mumkin, qachonki A nuqta (2.5 - rasmda) potentsiali $U = U_3 + U_{ost} = 1.2 + 0.5 = 1.7 V$ qiymatdan yuqori bo'lsa. Bunda U_{ocT} diodning ostonaviy kuchlanishi bo'lib, uning qiymati, volt – amper xarakteristikadagi “Ostona sohasi” chegarasiga mos keladi. Agar shu inobatga olinsa $VD1$ va $VD2$ diodlardagi kuchlanish $1.2 - 0.2 = 1.5 V$ bo'lib, 2.6 – rasmda ko'rsatilganiga mos kelmaydi. Shuning uchun ham masalani yechish chog'ida $VD3$ diod yopiq, yani u orqali tok o'tmaydi deb hisoblaymiz. Qarshilik R orqali o'tuvchi tok Kirxgofning 1 – qonuniga asosan ochiq diod orqali o'tuvchi tokning ikkilanganiga teng: $I = 2I_D$. Kirxgofning 2 – qonuniga ko'ra:

$$U_M = U_1 + U_D + 2I_D R \quad (2.2)$$

(2.2) tenglamada ikkita noma'lum U_D va I_D mavjud. Ularni aniqlash uchun yana bitta tenglama zarur, ana shu tenglama sifatida diodning grafik ko'rinishida berilgan volt – amper xarakteristikasidan foydalanamiz. (2.2) tenglama yuklama to'g'ri chizig'i tenglamasi bo'lib, uni diod volt – amper xarakteristikasi tekisligida qurish uchun bu xarakteristikaning koordinata o'qlari bilan kesishuvchi nuqtalarini aniqlash zarur. Tenglamada $I_D = 0$ ni qo'yib, to'g'ri chiziqning kuchlanish o'qi U_{si} (salt ishlash kuchlanishi) bilan kesishuvchi nuqta olinadi:

$$U_{si} = U_m - U_1 = 2.2 - 0.2 = 2 V$$

So'ng $U_D = 0$ ni qo'yib yuklama to'g'ri chizig'ining ordinata o'qi I_{KT} (qisqa tutashuv toki) bilan kesishuvchi nuqta olinadi:

$$I_{kT} = \frac{U_M - U_1}{2R} = \frac{(2.2 - 0.2)V}{2 \cdot 0.5 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ mA}$$

Grafikda $U_{si} = 2 \text{ V}$ qiymati 2.6 – rasmdagi masshtabdan chiqib ketganligi bois, avval yuklama to'g'ri chizig'iga parallel holda yordamchi to'g'ri chiziqni o'tkazamiz. Faraz qilaylik yordamchi to'g'ri chiziq kuchlanish o'qini $U = 1 \text{ V}$, yani $U = \frac{U_{si}}{2}$ nuqtadan kesib o'tsin; u holda bu to'g'ri chiziq ordinata (tok) o'qini $I = \frac{I_{kT}}{2} = \frac{2 \text{ mA}}{2} = 1 \text{ mA}$ nuqtada kesib o'tadi. Yordamchi to'g'ri chiziqni 2.6- rasmda (0; 1 mA) va (1 V; 0) nuqtalar oralig'i o'tkazamiz. Yuklama chizig'i yordamchi chiziqqa parallel holda (0 ; 2 mA) nuqtadan o'tadi.

Umuman olganda (2.21) tenglama bilan berilgan to'g'ri chiziq ($U; I$) tekisligida ixtiyoriy ikki nuqta bo'yicha qurilishi mumkin; yuqorida keltirilgan to'g'ri chiziqni qurish usuli $I_D = 0$ va $U_D = 0$ ikki nuqta bo'yicha amalga oshirilgan.

Yuklama to'g'ri chizig'i bilan diod VAX kesishgan nuqtada ochiq diodlardan o'tuvchi tok I_D va ulardan o'tuvchi kuchlanish U_D aniqlanadi:
 $I_D = 1.25 \text{ mA}$ $U_D = 0.75 \text{ V}$

Chiqishdagi kuchlanish $U_{chiq} = U_1 + U_D = U_M - 2I_D R = 0.2 + 0.75 = 0.95 \text{ V}$.

Diod VD3 bu holda yopiq hisoblangan edi; undagi kuchlanish $U_{chiq} - U_3 = 0.95 - 1.2 = -0.25 \text{ V}$ ga teng.

Doimiy tokka qarshilik R_n qiymati:

$$R_{II} = \frac{U_D}{I_D} = \frac{0.75 \text{ V}}{1.25 \text{ mA}} = 600 \text{ }\Omega$$

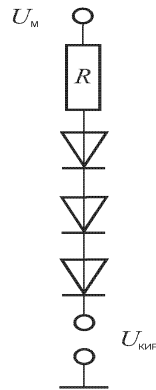
Differensial qarshilikni aniqlash uchun diodning VAX iga, ishchi nuqtada urinma o'tqizish va to'g'ri burchakli uchburchak qurish kerak. Uchburchakning gipotenuzasi urinmaning bir qismi, katetlari o'qlarga parallel bo'ladi. Katetlar nisbatlari $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ differensial qarshilikka teng. 2.6 – rasmdagi xarakteristikalaridan quyidagilarni aniqlaymiz:

$$R_{dif} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{0.1 \text{ V}}{1.25 \text{ mA}} = 80 \text{ }\Omega.$$

Javob: $I_{VD1} = I_{VD2} = 1.25 \text{ mA}$; $I_{VD3} = 0$; $U_{chiq} = 0.95 \text{ V}$; $R_{dif} = 80 \text{ }\Omega$
 $R_{II} = 600 \text{ }\Omega$.

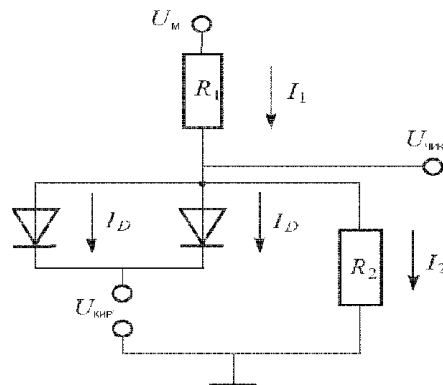
2.2 – masala. $U_m = 5 \text{ V}$; $R = 1.6 \text{ k}\Omega$; $U_{kir} = 0.2 \text{ V}$. Dioddan o'tuvchi toklarni va 2.7- rasmda tasvirlangan sxemada har bir dioddagi kuchlanishni aniqlang. Diodlarning differensial qarshiligi R_{dif} va doimiy tokka qarshiligi

R_o ni aniqlang. Diodlarning volt-ampere xarakteristikasi 2.6 –rasmda ko’rsatilgan.



2.7- rasm. Diodning ulanish sxemasi

2.3 masala. 2.5 – rasmda tasvirlangan sxemada $U_M = 6.2V$; $R = 2 kOm$, $U_1 = U_2 = U_3 = 0.2 V$. Diodlardan o’tuvchi toklarni va chiqishdagi kuchlanish U_{chiq} ni aniqlang. Diodlarning differensial qarshiligi R_{dif} va doimiy tokka qarshiligi R_o aniqlang. Diodlarning volt-ampere xarakteristikasi 2.6 – rasmda ko’rsatilgan.



2.8-rasm. Diodning ulanish sxemasi

2.4-masala. 2.8–rasmda tasvirlangan sxemada $U_M = 5V$ $R_1 = R_2 = 1 kOm$ $U_{kir} = 1V$. Diodlardan o’tuvchi toklarni, diodlardagi kuchlanishni va chiqish kuchlanishi U_{chiq} ni aniqlang. Diodlarning differensial qarshiligi R_{dif} va doimiy tokka qarshiligi R_o aniqlang. Diodlarning volt-ampere xarakteristikasi 2.6 – rasmda ko’rsatilgan.

Yechish. Kirxgof qonunlariga ko’ra tok va kuchlanishlar (2.8-rasm) quyidagi tenglamalar bilan bog’langan:

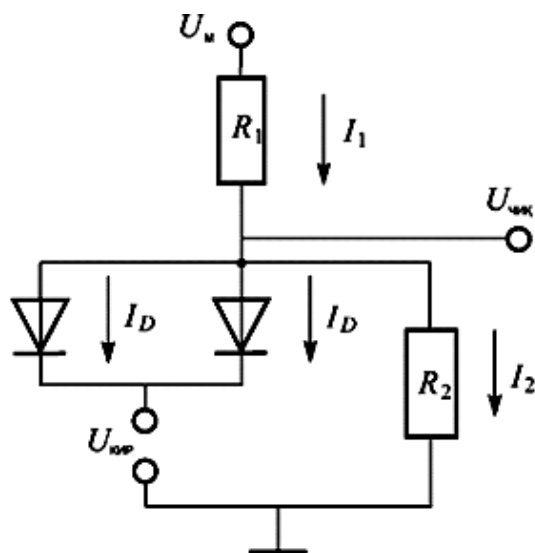
$$\begin{aligned} 2I_D + I_2 &= I_1, \\ I_2 R_2 &= U_D + U_{kir}, \\ U_M &= I_1 R_1 + U_D + U_{kir} \end{aligned}$$

Bu tenglamalarni I_1 va I_2 toklardan xalos etib, quyidagi ko'rinishdagi yuklama to'g'ri chizig'i tenglamasini olamiz:

$$U_M = 2I_D R_1 + U_D \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + U_{kir} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Bu tenglamada $I_D = 0$ deb, salt ishlash kuchlanishi $U_{si} = 1,5 V$ ni topamiz; $U_D = 0$ deb qisqa tutashuv toki $I_{q.t} = 1,5 mA$ ni aniqlaymiz. Yuklama to'g'ri chizig'ini o'tkazib grafik yechimini topamiz: $U_D = 0,7 V$; sxemadagi barcha toklar va kuchlanishlarni topish mumkin: $I_2 = 1,7 mA$; $I_1 = 3,3 mA$ $U_{chiq} = 1,7 V$. Dioddagi doimiy tokka qarshiligi R_a va differensial qarshiligi R_{dif} 2.1 masaladagi kabi aniqlanadi.

Javob: $U_D = 0,7 V$, $I_D = 0,8 mA$, $I_1 = 3,3 mA$, $I_2 = 1,7 mA$, $U_{chiq} = 1,7 V$, $R_0 = 875 Om$, $R_{dif} \approx 100 Om$



2.9 - rasm

2.5 – masala. 2.9 – rasmda tasvirlangan sxemadagi I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 toklarni aniqlang. Diodlar $VD1 - VD5$ bir xil, ularning volt – amper xarakteristikasi 2.12–rasmda ko'rsatilgan. $U_m = 4,2 V$, $R_1 = 0,6 kOm$, $R_2 = 10 kOm$, $U_{kir} = 2,4 V$.

Yechish. Avvalo qaysi tarmoqlar bo'yicha tok oqib o'tishi yoki oqib o'tolmasligini aniqlaymiz. Buning uchun A nuqta potensialini baholash lozim.

Faraz qilaylik $I_2 \neq 0$, yani chap tarmoq orqali o'tuvchi tok noldan farqli. Bu holda A nuqta potensialini $U_{kir} + U_{ost} = 2,4 + 0,5 = 2,9 V$ dan kam bo'lmasligi kerak.

Bunda U_{ost} diod ulanishi ostonoviy kuchlanish bo'lib, 0.5 V ga teng. Ammo A nuqtada potensial 2.9 V bo'lishi mumkin emas, chunki $3U_{ost} = 1,5V$ diodlar $VD3, VD4$ va $VD5$ ni ochish uchun yetarli. Diodlar $VD3 - VD5$ ochiq bo'lganida A nuqtadagi kuchlanish 1.5 V dan $3 \times 0.8 = 2.4 V$ oraliqda bo'ladi. Shunday qilib, agar diodlar $VD3 - VD5$ ochiq bo'lib, $VD2$ diod yopiq bo'lib tok I_2 nolga teng bo'ladi. Diodlardan $VD1$ va $VD3$ orqali o'tuvchi toklar teng: $I_1 = I_3$. Tok I_3 B nuqtada tarmoqlarga ajratiladi; R_2 qarshilik orqali o'tuvchi I_5 va $VD4, VD5$ diodlar orqali o'tuvchi I_4 toklarga ajratiladi.

Mazkur masalada yuklama to'g'ri chizig'i usulidan foydalanish uchun barcha diodlar orqali o'tuvchi toklar bir xil bo'lishi kerak. Ammo I_3 tok I_4 tokdan I_5 tok qiymaticha katta. Agar $I_5 \ll I_3$ bo'lsa taxminan yechish mumkin. Bu toklarni baholaymiz. V nuqta potentsiali $VD4$ va $VD5$ diodlar ochiq bo'lganida $2U_{ost} = 1V$ dan $2 \times 0.8 = 1.6 V$ gacha qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Demak I_5 tok qiymati $1.6 (B/R_2) = 0.16 mA$ dan oshmaydi. Boshqa tomondan tok I_1 (va unga teng tok I_3) qiymatlari quyidagidan kam bo'lmaydi:

$$I_{1min} = \frac{U_M - U_{Amax} - U_{D VD1 max}}{R_1} = \frac{4.2 - 2.4 - 0.8}{0.6} = 1.67 mA$$

Agar $I_{1min} \gg I_{5max}$ ekanligini hisobga olsak, masalani grofoanalitik usulda yechish chog'ida I_5 tokni hisobga olmasa ham bo'ladi va diodlar $VD1, VD3, VD4, VD5$ orqali bir I_1 tok oqib o'tadi, demak bu diodlardagi kuchlanish pasayishi ham bir xil bo'ladi.

Kirxgof tenglamasini $U_M - R_1 - VD1 - VD3 - VD4 - VD5 - \perp$ zanjir uchun $I_4 = I_1$ shartni hisobga olgan holda quyidagicha yozamiz:

$$U_m = 4U_D + I_1 R_1$$

Oxirgi tenglama, yuklama to'g'ri chizig'i tenglamasidir.

Salt ishlash kuchlanishi $U_{s.i}$ va qisqa tutashuv toki $I_{q.t}$ ni topamiz.

$$U_{s.i} = \frac{U_M}{4} = 1.05 V$$

$$I_{q.t} = \frac{U_M}{R_1} = 7 mA$$

Yuklama to'g'ri chizig'i (2.12 – rasmga qarang) diodning VAX ni $I_1 = 2 mA, U_D = 0.75 V$ nuqtada kesib o'tadi. Shunday qilib, $I_1 = I_3 = 2 mA$ A va V nuqtalar potentsiallari mos holda, $U_A = 3 \times 0.75 = 2.25 V$; $U_V = 2 \times 0.75 = 1.5 V$

ga teng. Qarshilik R_2 orqali o'tuvchi I_5 tok $\frac{1.5}{10} = 0.15 \text{ mA}$. Tok I_4 qiymatini aniqlash mumkin.

$$I_4 = I_3 - I_5 = 2 - 0.15 = 1.85 \text{ mA}$$

Olingan natija taxminiy bo'lib, uni interatsiya usuli bilan aniqlash mumkin. Ammo bunga ehtiyoj yo'q, chunki real sxemalarda diododlarning qarshiliklari ozuqa manbai kuchlanishlari va volt-ampere xarakteristikalarini odatda 5% dan yuqori bo'lmagan aniqlik bilan aniqlanadilar.

Javob: $I_1 = I_3 = 2 \text{ mA}$; $I_2 = 0$; $I_4 = 1.85 \text{ mA}$; $I_5 = 0.15 \text{ mA}$.

2.6 - masala 2.11 – rasmda tasvirlangan sxemadagi I_1, I_2, I_3, I_4 , va I_5 toklarni aniqlang. Diodlar $VD1-VD5$ bir xil, ochiq dioddagi kuchlanish pasayishi 0.8 V va u diod orqali o'tuvchi tokka bog'liq emas. $U_M = 5 \text{ V}$; $R_1 = 1 \text{ kOm}$; $R_2 = 0.2 \text{ kOm}$ $U_{kir} = 0.2 \text{ V}$.

2.7 – masala 2.13 – rasmda tasvirlangan sxemadagi I_1, I_2, I_3, I_4 , va I_5 toklarni aniqlang. Diodlar $VD1-VD5$ bir xil, ochiq dioddagi kuchlanish pasayishi 0.8 V bo'lganda aniqlang. $U_M = 5 \text{ V}$; $R_1 = 1 \text{ kOm}$; $R_2 = 0.6 \text{ kOm}$; $U_{kir} = 1.6 \text{ V}$

Yechish. Faraz qilaylik, tok $I_2 \neq 0$, u holda tarmoqlanish nuqtasidagi potensial $U_A = U_{kir} + 2U_D = 3.2 \text{ V}$. Faraz qilamiz $I_5 \neq 0$. Bu holda tarmoqlanish nuqtasi potentsiali $U_A = 4U_D = 3.2 \text{ V}$ bu baholash asosida quyidagicha xulosa qilish mumkin: A nuqtaning potentsiali U_A haqiqatdan ham 3.2 V ga teng va barcha tarmoqlar ochiq(barcha toklar noldan farqli) yoki A nuqta potentsiali $U_A = 3.2 \text{ V}$ dan kam, bu esa tok faqat bitta $U_M - R_1 - VD3 - VD4 - R_2 - \perp$ tarmoqdan oqishini bildiradi. Bu hollardan qaysi biri amal qilishini bilish uchun $U_A = 3.2 \text{ V}$ deb hisoblab, qarshiliklar orqali o'tuvchi toklarni baholaymiz:

$$I_1 = \frac{U_M - U_A}{R_1} = \frac{1.8}{1 \text{ kOm}} = 1.8 \text{ mA},$$

$$I_4 = \frac{U_B}{R_2} = \frac{1.6 \text{ V}}{0.6 \text{ kOm}} = 2.67 \text{ mA}.$$

Ammo 2.13 – rasmda tasvirlangan sxemaga ko'ra tok I_4 tok I_1 dan katta bo'lishi mumkin emas. Bu A va B tugunlar uchun Kirxgofning birinchi qonuniga zid. Demak, $U_A = 3.2 \text{ V}$ deb qilingan faraz noto'g'ri. Aslida esa A nuqta potentsiali $U_A < 3.2 \text{ V}$ bu esa $I_2 = I_5 = 0$ ni bildiradi. Endi $U_M - R_1 - VD3 - VD4 - R_2 - \perp$ kontur uchun Kirxgofning ikkinchi qonunini yozsak bo'ladi:

$$U_M = I_1 R_1 + 2U_D + I_1 R_2$$

bunda $I_4 = I_1$ ekanligi nazarda tutilgan bo'lib, o'z navbatida

$$I_1 = \frac{U_M - 2U_D}{R_1 + R_2} = \frac{3.4 \text{ B}}{1.6 \text{ } \kappa\text{OM}} \approx 2 \text{ mA}$$

Javob: $I_1 = I_3 = I_4 = 2 \text{ mA}$ $I_2 = I_5 = 0$

2.8 – masala. 2.14 - rasmda tasvirlangan sxemadagi $I_1, I_2, I_3, I_4,$ va I_5 toklarni aniqlang. Diodlar $VD1-V D3$ bir xil, ochiq dioddagi kuchlanish pasayishi 0.7 V bo'lganda aniqlang. $U_M = 5 \text{ V}$; $R_1 = 4 \text{ } \kappa\text{Om}$; $R_2 = 0,3 \text{ } \kappa\text{Om}$; $U_{kir} = 0.7 \text{ V}$

Nazorat qilish uchun mashqlar

2.9–masala. Qotishmali germaniyli diodda $N_g = 10^3 N_a$ bo'lib, germaniyni har 10^8 atomiga akseptor aralashmaning bitta atomi to'g'ri keladi. Xona temperaturasi ($T=300 \text{ K}$) dagi potensial baryer balandligini aniqlang.

2.10–masala. Bundan oldingi masalani xuddi shunday konsentratsiyali aralashmasi bo'lgan yassi r-n o'tishli kremniy uchun aniqlang.

2.11-masala. Keskin r-n o'tishli germaniyli diodning R-sohasi solishtirma qarshiligi 2 Om sm ga teng, n-soha solishtirma qarshiligi 1 Om sm . Harorat 300 K bo'lganda potensial baryer balandligini hisoblang .

2.12-masala. Bundan oldingi masalani p-n sohalarini xuddi shunday qiymatli solishtirma qarshiliklariga ega bo'lgan kremniyli diod uchun aniqlang.

2.13–masala. O'tish toki I_{p-n} bo'lgan p-n o'tish uchun tok tenglamasi

$$I_{p-n(x)} = \frac{\Pi e D_p P_{n(o)}}{L_p} e^{-\frac{x}{L_p}} \text{ va n-p o'tishning toki } I_{n-p} \text{ uchun mos kelgan}$$

tenglama asosida p-n o'tish orqali o'tuvchi kavak tokining elektron tokiga

nisbati quyidagiga tengligini isbotlang: $\frac{I_{p-n(0)}}{I_{n-p(0)}} = \frac{G_p L_n}{G_n L_p}$, bunda G_p (G_n) –

p(n) sohalar solishtirma o'tkazuvchanligi.

2.14-masala. Issiqlik tokining quyidagi tenglamasidan:

$$I_0 = \frac{\Pi e D_p P_n}{L_p} + \frac{\Pi e D_n n_p}{L_n} \quad \text{p-n o'tishning elektr tokini}$$

$$I_0 = \Pi \frac{kT}{e} \frac{b G_i^2}{(1+b)^2} \left(\frac{1}{G_n L_p} + \frac{1}{G_p L_n} \right) \text{ formula bo'yicha topish mumkinligini ko'rsa-}$$

ting. Bunda P- elektron-kavak o'tish yuzasi; G_i -yarim o'tkazgichning xususiy solishtirma o'tkazuvchanligi; $G_p, G_n - p(n)$ –sohalarning mos holda

solishtirma o'tkazuvchanliklari; $L_n - p$ – sohadagi elektronlarning diffuziya uzunligi; $b = \frac{\mu_n}{\mu_p}$; k – Bolsman doimiysi; e -elektron zaryadi; T -temperatura;

2.15 – masala. Yuqoridagi masala natijalaridan foydalanib ko'ndalang kesim yuzasi $P = 4 \text{ mm}^2$, $G_p = 1 \text{ sim/sm}$, $G_n = 0,1 \text{ sim/sm}$, $L_n = L_p = 0,15 \text{ sm}$ bo'lgan germaniyli yassi diod uchun xona haroratidagi issiqlik tokini toping.

2.16 – masala. Agar issiqlik toki $I_0 = 10 \text{ mA}$ bo'lsa, xona temperaturasidagi ideal yarim o'tkazgichli diodning volt-amper harakteristikasini hisoblang va quring. Hisoblashni kuchlanishning $0 \div (-10) \text{ V}$ (har 1 V orqali) va 0 dan $0,2 \text{ V}$ gacha (har $0,05 \text{ V}$ orqali) oraligi uchun bajaring.

2.17-masala. Yarim o'tkazgichli diod $T = 285 \text{ K}$ temperaturada quyidagi qiymatdagi kavak konsentratsiyalariga ega: $R_f = 10^{17} \text{ sm}^{-3}$, $R_n = 10^{11} \text{ sm}^{-3}$. Agar p-n o'tish sohasida kavaklar konsentratsiyasi chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi deb hisoblansa, p-n o'tish qalinligi $\Delta = 10^{-4} \text{ sm}$ va $T = 300 \text{ K}$ da diffuziya kavak toki zichligini toping.

2.18-masala. p-n o'tishning ixtiyoriy sohasidagi aralashma (donor yoki akseptor) konsentratsiyasi 10^{17} sm^{-3} ga teng. Xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi aralashma zaryad tashuvchilar konsentratsiyasidan 10 marta katta bo'lishi uchun temperatura qiymati qanday bo'lishi kerak?

2.19-masala. Germaniyli diodning r-sohasidagi akseptor aralashma konsentratsiyasi N_a va n – sohasidagi donor aralashma konsentratsiyasi N_g ni temperatura $T = 300 \text{ K}$ sohalar solishtirma o'tkazuvchanliklari mos holda $G_n = 1 \text{ sim/sm}$; $G_p = 100 \text{ sim/sm}$; bo'lganda aniqlang.

2.20-masala. Ideal p-n o'tishda to'g'ri siljishning $0,1 \text{ Volti}$ 300 K temperaturada zaryad tashuvchilarning muayyan tokini vujudga keltiradi. Ana shu tok ikki baravar ortishi uchun qanday qiymatli to'g'ri siljish zarur bo'ladi?

2.21-masala. Temperatura 300 K bo'lganda ideal p-n o'tish mavjud. quyidagilarni aniqlang: a) issiqlik toki I_0 ga teng bo'lgan to'g'ri tokni olish uchun qanday to'g'ri siljish zarur; b) issiqlik toki I_0 dan 100 marta katta to'g'ri tok olish uchun qanday qiymatli to'g'ri siljish lozim?

2.22-masala. Ideal p-n o'tish uchun quyidagilarni aniqlang: a) Xona temperaturasida kuchlanishning qanday qiymatida teskari tok issiqlik tokining 90% ga teng bo'ladi; b) to'g'ri kuchlanish $U_{to'g'} = 0,05 \text{ V}$ bo'lgandagi to'g'ri tokning xuddi shunday qiymatli teskari kuchlanishdagi tokka nisbati nimaga teng?

2.23-masala. Kuchlanish U ning musbat qiymatlarida yarim o'tkaz-

gichli diodning tok uchun tenglamasi $\left[I = I_0 \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right) \right]$ ning ko‘rinishi

$I \approx I_0 e^{\frac{eU}{kT}}$ ga teng. Bunday hollarda diodning o‘zgaruvchan tokka aktiv o‘tkazuvchanligi tok qiymatiga munosib ekanligini ko‘rsating.

2.24-masala. Yuzasi 1 mm^2 germaniyli p-n o‘tish $T=300 \text{ K}$ da $I_0 = 10 \text{ mA}$ issiqlik tokiga ega. Bu tok faqat elektronlar tufayli hosil bo‘lgan deb hisoblab, r-sohadagi elektronlarning diffuziya uzunligini hisoblang. r-sohada Fermi sathi o‘tkazuvchi zona ostidan $0,5 \text{ eV}$ ga pastda joylashgan, elektronlar harakatchanligi $3900 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ga teng.

2.25-masala. Yarim o‘tkazgichli diodning 27°C temperaturadagi issiqlik toki $I_0 = 1 \text{ mA}$ va 65°C da $I_0 = 10 \text{ mA}$ ga teng. Shu diodning temperatura 27°C va 65°C bo‘lgandagi volt-amper xarakteristikasini kuchlanish -2 dan $0,5 \text{ V}$ gacha o‘zgargan oraliq uchun quring.

2.26-masala. Qotishmali p-n o‘tish uchun ($N_a \ll N_g \mu u$) yopiq qatlam kengligi (zaryad tashuvchilar kambag‘allashgan soha) quyidagi formula

bo‘yicha aniqlanishini isbotlang: $\Delta = \frac{(2\varepsilon\mu_p\varphi_k)^{\frac{1}{2}}}{G_p^{\frac{1}{2}}}$, bunda φ_k -

potensiallarning kontakt farqi.

2.27-masala. Agar r-soha solishtirma qarshiligi $3,5 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$, potensiallar kontakt farqi $k=0,35 \text{ V}$, qo‘yilgan teskari siljish 5 V va r-n o‘tish ko‘ndalang kesim yuzasi $P=1 \text{ mm}^2$ bo‘lsa germaniyli r-n o‘tishning barerli sig‘imini toping.

2.28-masala. Germaniy r-n o‘tishli bo‘lib, r-sohasi solishtirma o‘tkazuvchanligi $10^2 \text{ sim}/\text{sm}$, n-sohasi solishtirma o‘tkazuvchanligi $-1 \text{ sim}/\text{sm}$. Namunaning nisbiy dialektirik singdiruvchanligi $\xi=16$. issiqlik muvozanati chog‘ida potensial barer sig‘imini balandligi $k=0,358 \text{ V}$. Quyidagilarni aniqlang: a) yuzasi $P=0,5 \text{ mm}^2$ bo‘lgan o‘tishning barer sig‘imini; b) teskari siljish 5 va 10 V bo‘lgandagi o‘tishning barer sig‘imini. O‘tish keskin deb faraz qiling.

2.29-masala. Issiqlik muvozanati chog‘ida qotishmali germaniyning r-n o‘tish potensial barer balandligi $0,2 \text{ V}$, r-soha akseptor aralashmalari konsentratsiyasi $N_a=3\cdot 10^4 \text{ sm}^{-3}$ bo‘lib, n-soha donorlar konsentratsiyasidan bir necha barobar kam. Quyidagilarni aniqlash talab etiladi: a) qo‘yilgan $-0,1$ va -10 V teskari kuchlanish uchun r-n o‘tish qalinligini hisoblang; b) $0,1 \text{ V}$ to‘g‘ri kuchlanish uchun; v) agar r-n o‘tish yuzasi $P=1 \text{ mm}^2$ bo‘lsa $-0,1$ va -10 V kuchlanishlarga mos keluvchi barer sig‘imini toping.

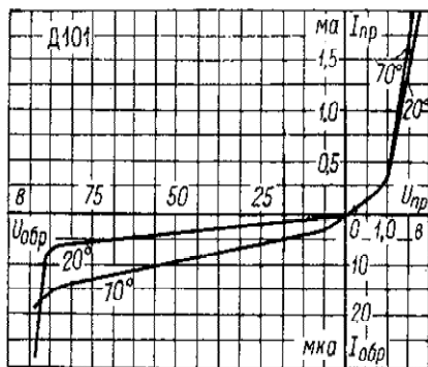
2.30-masala. Agar to'g'ri kuchlanish 1 V bo'lganda to'g'ri tok 0,25 mA bo'lsa, to'g'ri va teskari siljish chog'idagi doimiy tokka diodning qarshiligini aniqlang.

2.31-masala. Germaniyli diodning to'g'ri kuchlanishi 0,5 V ga doimiy to'g'ri tok 50 mA ga o'zgardi, teskari kuchlanish 40 V ga o'zgarsa, teskari tok 160 mA ga o'zgardi. Diodning differensial qarshiligini to'g'ri va teskari kuchlanishlarda aniqlang.

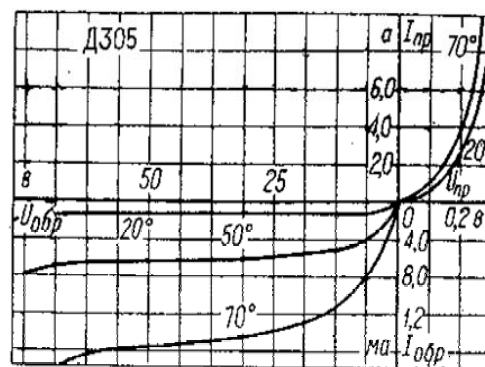
2.32-masala. Diod D101 ning 3.1-rasmdagi tasvirlangan volt-amper xarakteristikasidan foydalanib: a) to'g'ri tok 500 mA, 1 va 1.5 mA bo'lgandagi diodning differensial qarshiligini; b) 500 mA, 1 va 1.5 mA doimiy to'g'ri tokka qarshiliklarni va teskari kuchlanish 50 V bo'lganda teskari tokka qarshilikni; v) 0.5 mA to'g'ri tok o'tgandagi va kuchlanishi $U = -50 V$ ga to'g'ri kelgan teskari tok o'tgandagi diodda ajraluvchi quvvatni aniqlang.

2.33-masala. Temperaturaning $T_1 = 20^\circ C$ va $T_2 = 70^\circ C$ oralig'ida ishlovchi detektorli kaskada yarim o'tkazgichli D305 diod 3.2-rasmda keltirilgan quyidagilarni topish kerak: a) diodning o'zgarmas tokka qarshiligi R_0 va uning differensial qarshiligi R_{dif} temperatura $20^\circ C$ uchun to'g'ri kuchlanish 0.2 V va teskari kuchlanish 25 V bo'lganda; v) temperatura $20^\circ C$ dan $70^\circ C$ ortganda diodning o'zgarmas tokka qarshiligi R_0 va uning differensial qarshiligi R_{dif} necha marta o'zgaradi.

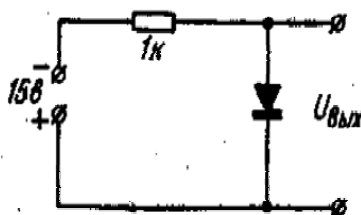
2.34-masala. Issiqlik toki $I_0 = 10 \text{ mA}$ bo'lgan ideal diod kuchlanishi $E = 10 V$ manbaga va qarshiligi 1 kOm bo'lgan rezistor bilan ketma-ket ulangan. Agar diod $T_0 = 300 K$ temperaturada ishlayotgan bo'lsa dioddagi to'g'ri tok va to'g'ri kuchlanishni aniqlang.



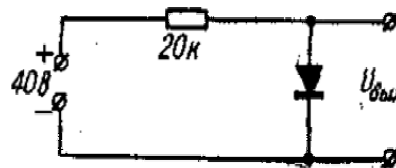
3.1-rasm



3.2-rasm



3.3- rasm



3.4- rasm

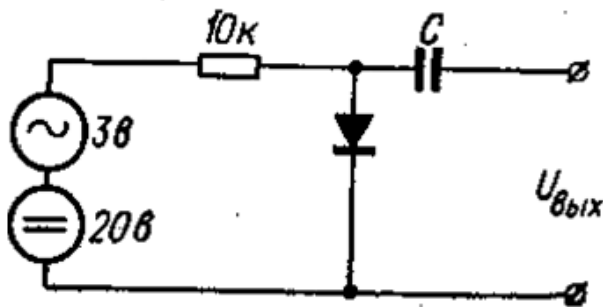
2.35-masala. Ideal diod sxemaga 3.3-rasmda ko'rsatilgandek ulangan. Chiqish kuchlanishni aniqlang.

2.36-masala. Agar xona temperaturasida ishlatiluvchi diodning issiqlik toki $I_0=10 \text{ mA}$ bo'lsa, 3.4-rasmda ko'rsatilgan sxemaning chiqish kuchlanishini toping.

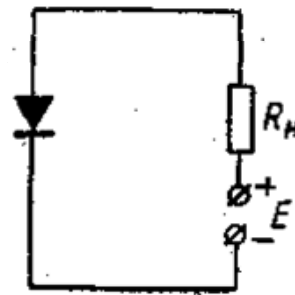
2.37-masala. Agar 3.5-rasmdagi diodning ishlashi xona temperaturasida bo'lsa, shu sxema chiqishdagi o'zgaruvchan kuchlanishini toping.

2.38-masala. Qarshiligi 100 Ohm bo'lgan rezistor issiqlik toki 27°C da 5 mA ga teng bo'lgan germaniyli diod bilan ketma-ket ulangan. Shu kombinatsiyadagi sxema uchun to'g'ri siljish chog'idagi tokning 10 mA dan 50 mA gacha bo'lgan oralig'dagi yig'indi volt amper xarakteristikasini yarim logarifmik masshtabda chizing.

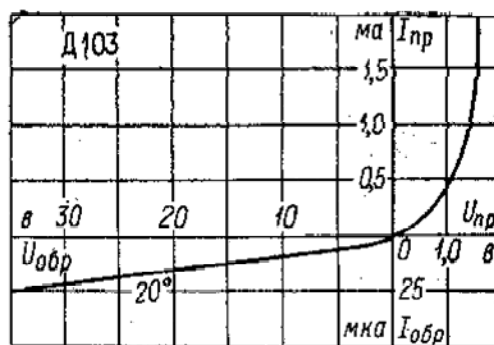
2.39-masala. Diod D103 sxemaga 3.6-rasm bo'yicha ulangan. Ozuqa manbai kuchlanishi $E=2\text{V}$, yuklama rezistori qarshiligi $R_{10}=1\text{kOhm}$. Quyidagilarni topish kerak: a) diod tokini, dioddagi va yuklamadagi kuchlanishlarni aniqlang. b) diodning ishchi xarakteristikasini quring. Diodning volt-amper xarakteristikasi 3.7-rasmda tasvirlangan.



3.5- rasm



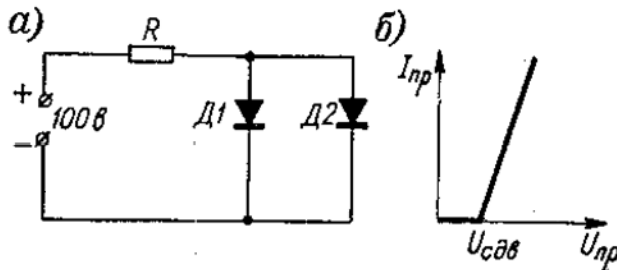
3.6- rasm



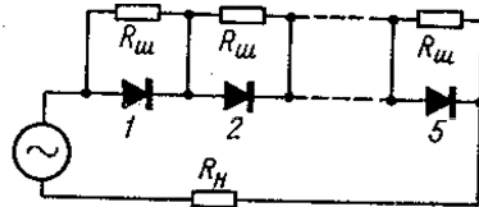
3.7- rasm

2.40-masala. 3.8-rasmda tasvirlangan sxemadagi diodlar tokini volt-amper xarakteristikasini bo'lak chiziqli approksimatsiya qo'llanilgan deb hisoblaymiz. Germaniyli diod D1 uchun siljish kuchlanishi $I_{sil1}=0.2 \text{ V}$ differensial qarshiligi $R_{dif1}=200\text{Ohm}$, kremniyli diod D2 uchun siljish kuchlanishi $I_{sil2}=0.6 \text{ V}$ va differensial qarshilik $R_{dif2}=15 \text{ Ohm}$. Hisoblashni a) $R=10 \text{ kOhm}$; b) $R=1 \text{ kOhm}$ bo'lgan ikki hol uchun bajaring.

2.41-masala. Diod D226V lardan foydalanib ta'sir etuvchi qiymati $U=700V$ bo'lgan sinusoidal kuchlanishni to'g'irshlash uchun mo'ljallangan filtrsiz sodda sxemani hisoblang. Sxema ko'rinishi 3.9-rasmdagidek bo'lishini isbotlang.



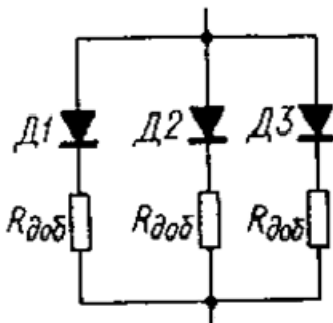
3.8- rasm



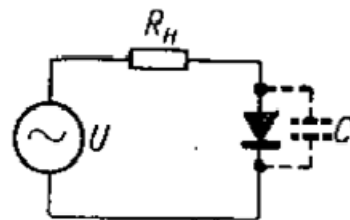
3.9- rasm

2.42-masala. Agar diod D226 lar qo'llanilgan to'g'irlash zanjiri $I_{to'g'}=400 mA$ to'g'irilgan tok olish imkonini bersa, to'g'irlash zanjirini tuzing va hisoblang. 3.10-rasmda berilgan zanjir berilgan shartlarga mos keladi.

2.43-masala. Yassi diod sodda to'g'irlash sxemasida yuklama rezistori $R_{10}=10 kOm$ bilan birga ishlatiladi (3.11-rasm). Diodning to'g'ri qarshiligi $R_{to'g'}=40 Om$, teskari qarshiligi $R_{tes}=400 kOm$ va $S=80 pF$. To'g'irilgan tok qiymati diod sig'imi S ta'siri hisobiga ikki barobar kamayadigan chastotani hisoblab toping.



3.10- rasm



3.11- rasm

2.44-masala. Yarim o'tkazgichli diodda $R_{to'g'}=40 Om$; $R_{tes}=0.4 mOm$; $S=80 pF$. Quyidagilarni aniqlang: a) chastotaning qanday qiymatida sig'imi so'z qarshiligi R_{tes} qarshiligiga teng bo'ladi va buning natijasida teskari tok sezilarli darajada ortadi (lekin u hali ham kichik bo'ladi). b) chastotaning qanday qiymatida sig'im S o'z qarshiligi $R_{to'g'}$ qarshilik bilan teng bo'ladi va diodning to'g'irlash xususiyati keskin yomonlashadi.

2.45-masala. Ma'lumki, elektr teshilish elektr maydon kuchlanganligi $E_{maks}=2 \cdot 10^5 V/sm$ bo'lganda yuzaga keladi. Teshilish kuchlanishini quyidagi tenglamadan topilishini isbotlang:

$$U_{maks} = \frac{\epsilon \cdot E^2_{maks}}{2 \cdot e \cdot N_A}$$

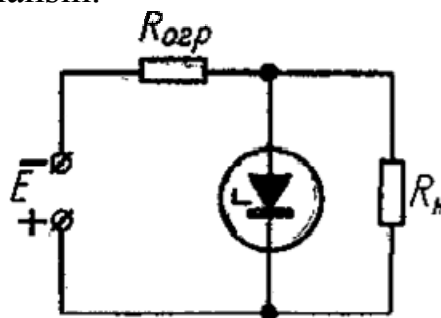
Teshilish kuchlanishi akseptor aralashma konsentratsiyasini o'zgartirish bilan o'zgartirilishi mumkinligini nazarda tutamiz.

2.46-masala. Yuklamadagi kuchlanishni me'yorlash uchun tayanch dioddan foydalaniladi. Uning me'yorlash kuchlanishi o'zgarmas va $U_{st} = 10 \text{ v}$ ga teng. Agar stabilitronning maksimal toki $I_{st.maks} = 30 \text{ mA}$ stabilitronning minimal toki $I_{st.min} = 1 \text{ mA}$, yuklama rezistor qarshiligi $R_{10} = 1 \text{ kOm}$ va cheklovchi rezistor qarshiligi $R_{chek} = 500 \text{ Om}$ bo'lsa oziqlantiruvchi kuchlanish o'zgarishining ruhsat etilgan chegaraviy qiymatlarini aniqlang.

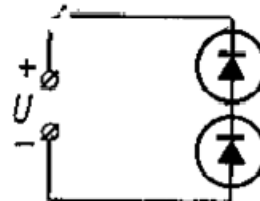
2.47-masala. Kremniyli stabilitron D813 kuchlanishi meyorlash uchun yuklama rezistori $R_{10} = 2 \text{ kOm}$ ga ulangan (3.12-rasm). Stabilitron ma'lumotlari : me'yorlash kuchlanishi $U_{st} = 13$, stabilitron maksimal toki $I_{st.maks} = 20 \text{ mA}$, stabilitron minimal toki $I_{st.min} = 1 \text{ mA}$. Agar manba kuchlanishi $E_{min} = 16 \text{ V}$ dan $E_{maks} = 24 \text{ V}$ gacha o'zgarsa cheklovchi rezistor qarshilgining qiymatini toping. Kuchlanish E ning o'zgarishi oralig'ida me'yorlash ta'minlanadimi yoki yo'qmi aniqlang.

2.48-masala. 3.13-rasmdagi sxemada qo'llanuvchi ikki diodning issiqlik toklari 1 va 2 mA. Diodlarning teshilish kuchlanishi bir xil va 100 V ga teng. Agar sxemaga beriluvchi kuchlanish a) $U = 90 \text{ V}$, b) $U = 110 \text{ V}$ bo'lsa, har bir diod toki va ulardagi kuchlanishlar aniqlansin.

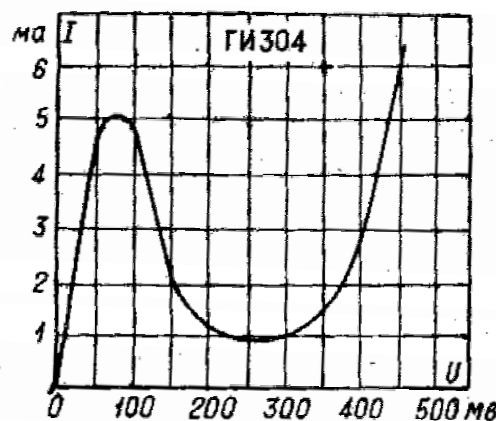
2.49-masala. Tunnel diod GI 304 ning volt-amper xarakteristikasi (3.14-rasm)dan xona temperaturasi sharoitidagi parametrlar: R_d ; I_{maks} / I_{min} ; U_{maks} ; U_{min} ; aniqlansin.



3.12- rasm



3.13- rasm



3.14-rasm

2.50-masala. Tunnel diod GI 304 ning differensial qarshiligi beriluvchi kuchlanishga qanday bog'langanligi grafigini chizing. Diodning volt-amper xarakteristikasi 3.14-rasmda ko'rsatilgan. Kuchlanish qiymatlaridan foydalaning.

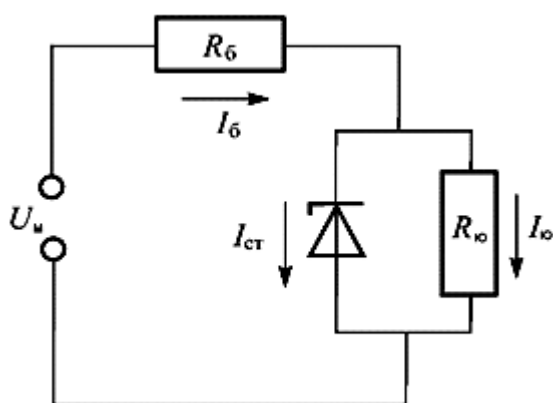
3. Stabilitronlar

Stabilitron kuchlanishi stabillash uchun qo'llaniladi. Uning ishlash asosi teskari kuchlanish berilganda p-n o'tishda elektr teshilish yuzaga kelishiga asoslangan.

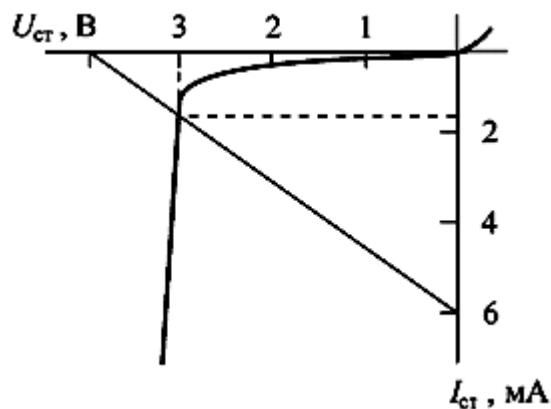
Amalda stabillagichlarning qo'llanishiga asosiy omil, ishchi rejimda stabilitron kuchlanishining tokka kuchsiz bog'langanligidir. Kuchlanishning tokka bog'liqligi stabilitronning differensial qarshiligi bilan xarakterlanadi.

$$r_d = \frac{dU}{dI} = \frac{dU_{st}}{dI_{st}}$$

Bu qarshilik qiymati bir necha o'n Om ni tashkil etadi. Stabilitronning ulanish sxemasi va uning volt-amper xarakteristikasi mos holda 3.1 va 3.2 – rasmlarda ko'rsatilgan.



3.1 rasm



3.2 rasm

Stabilitronni yuklama R_{yu} ga parallel ulanadi. Parallel ulangan bu zanjir qismiga ketma-ket qarshiligi stabilitronning differentsial qarshiligidan ancha katta bo'lgan cheklovchi (“ballast”) rezistor R_b ulanadi.

3.1 - rasmda keltirilgan sxemani ko'rib o'taylik va agar manba kuchlanishi stabilligi aniqligi ΔU_m ma'lum bo'lsa, yuklamadagi kuchlanish stabilligi aniqligi ΔU_{yu} ni hisoblaylik.

Sxemadagi toklar orasida quyidagi munosabat o'rinni:

$$I_b = I_{yu} + I_{st} \quad (3.1)$$

Agar $U_{yu} = U_{st}$ ekanligini hisobiga olinib, (3.1) ifodada toklarni ballast qarshilik va yuklama qarshiligi orqali ifodalasak uni quyidagicha shaklda yozish mumkin:

$$\frac{U_m - U_{st}}{R_b} = \frac{U_{st}}{R_{yu}} + I_{st} \quad (3.2)$$

$$\text{yoki } U_m = U_{st} \left(\frac{1}{R_{yu}} + \frac{1}{R_b} \right) R_b + I_{st} R_b \quad (3.3)$$

Stabillash aniqligi hisoblash uchun (3.3) tenglamada kengayishini olamiz.

$$\Delta U_m = \Delta U_{st} + R_b \left(\frac{\Delta U_{st}}{r_d} + \frac{\Delta U_{st}}{R_{yu}} \right) \quad (3.4)$$

bundan

$$\Delta U_{st} = \frac{\Delta U_m}{1 + \frac{R_b}{r_g} + \frac{R_b}{R_{yu}}} \quad (3.5)$$

3.1-masala. 3.1 - rasmda tasvirlangan sxemaning kuchlanishini stabillash aniqligi ΔU_{st} ni, agar $U_m = 12V \pm 1V$; $R_b = 2k\Omega$; $R_{yu} = 1k\Omega$; stabiltron differensial qarshiligi $r_g = 20\Omega$ bo'lganda aniqlang.

Yechish (3.5) formulaga soniy qiymatlarni quyib, quyidagini topamiz:

$$U_{st} = \frac{1}{1 + \frac{2000}{20} + \frac{2000}{1000}} \approx 0,01V$$

Javob: 0,01

3.2 – masala. Bundan oldingi masala shartlariga ko'ra yuklama orqali o'tuvchi tokni aniqlang. Stabiltron volt – amper xarakteristikasi 3.2 - rasmda keltirilgan.

Yechish. Yuklama orqali o'tuvchi tokni aniqlashdan oldin stabiltron orqali o'tuvchi tokni aniqlaymiz. Buni grafik yordamida yuklama to'g'ri chizig'ini qurgan holda oson amalga oshirish mumkin. Tenglama (3.3)dan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$I_{q.t}(U_{st} = 0) = \frac{U_m}{R_b} \quad (3.6)$$

$$U_{s.t}(I_{st} = 0) = \frac{U_m R_{yu}}{R_{yu} + R_b} \quad (3.7)$$

3.2 – rasmdan stabiltron toki $I_{st} = 1,5mA$, kuchlanish $U_{st} = 3V$ ekanligini topamiz ballast qarshilik orqali o'tuvchi tok quyidagiga teng:

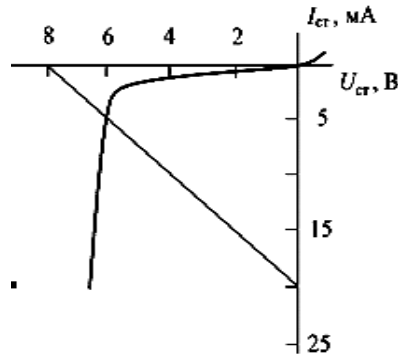
$$I_b = \frac{U_m - U_{st}}{R_b} = \frac{12 - 3}{2} = 4,5mA,$$

Yuklama orqali o'tuvchi tok:

$$I_{yu} = I_b - I_{st} = 3mA$$

Javob: 3 mA

3.3-masala. 3.1- rasmda ko'rsatilgan sxemadagi yuklama orqali o'tuvchi tokni va nisbiy stabillash aniqligi $\Delta U_{st} / U_{st}$ ni aniqlang. $U_m = 20V \pm 2V$, $R_b = R_{yu} = 1kOm$, stabiltron differensial qarshiligi $r_d = 20Om$. Stabiltronning volt – amper xarakteristikasi 3.3 – rasmda keltirilgan.



3.3-rasm

3.4-masala. Agar stabiltronning volt- amper xarakteristikasi ma'lum (3.3-rasm) bo'lsa, 3.1 – rasmda ko'rsatilgan sxemadagi yuklama qarshiligi R_{yu} va ballast qarshilik R_b aniqlansin. Yuklama to'g'ri chizig'i koordinatalari [8 V; 20 mA] bo'lgan (U_{st}, I_{st}) tekisligida 3.3 – rasmdagi ko'rinishga ega. Manba kuchlanishi $U_m = 10V$

Yechish. (3.6) va (3.7) ifodalardan foydalanamiz:

(3.6) ifodadan ballast qarshilik R_{yu} ni aniqlaymiz:

$$R_b = \frac{U_m}{I_{st}} = \frac{10}{20} = 0,5kOm,$$

(3.7) ifodadan yuklama qarshiligi R_{yu} ni aniqlaymiz:

$$R_{yu} = \frac{U_{s.i} R_b}{U_m - U_{s.i}} = 2kOm.$$

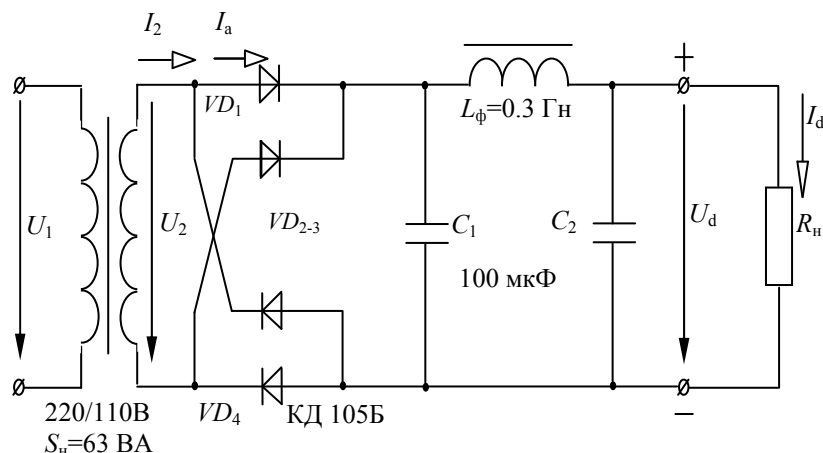
3.5-masala. Bundan oldingi masala shartida ballast qarshiligi qiymati berilgan $R_b = 1kOm$ bo'lsa, manba kuchlanishi U_m va yuklama qarshiligi R_{yu} ni aniqlang.

3.6-masala. Stabiltronning volt – amper xarakteristikasida yuklama to'g'ri chizig'i [20 V, 30mA] koordinatalarga ega. Agar yuklama qarshiligi $R_{yu} = 2kOm$ bo'lsa, manba kuchlanishi U_m va ballast qarshiligi R_b ni aniqlang.

3.7-masala. Stabilizatsion volt – amper xarakteristikasida yuklama to'g'ri chizig'i [$20 V, 25mA$] koordinatalarga ega. Agar manba kuchlanishi $U_m = 25V$ bo'lsa, yuklama qarshiligi R_b ni aniqlang.

4. Mustaqil ishlarni bajarish namunalari

4.1 – mustaqil topsiriq namunasi. P – simon induktiv - sig'imli filtrga ega bo'lgan to'g'rilagich sxemasi 4.1 – rasmda keltirilgan.



4.1-rasm

Yuklamaning nominal kuchlanishi 100 V, nominal quvvat 50 Bm, ruxsat etilgan pulsatsiya koeffitsiyenti 0.5%, o'zgaruvchan tok tarmog'idan chastotasi 50 Gs bo'lgan 220 V kuchlanish berilgan.

Ventil tiplarini tanlang, transformatorning hisobiy quvvatini va transformatsiya koeffitsiyentini filtr parametrlarini aniqlang.

Yechish.

1. Ventillarni tanlang.

Yuklama toki quyidagi ifodadan topiladi:

$$I_d = \frac{P_H}{U_d} = \frac{50}{100} = 0.5 A$$

Bir fazali ko'prik sxemali to'g'rilagich uchun ventill orqali o'tuvchi to'g'ri tokning o'rtacha qiymati:

$$I_a = \frac{I_d}{2} = \frac{0.5}{2} = 0.25 A$$

Ventildagi teskari maksimal kuchlanish:

$$I_{e,max} = 1.57 \cdot U_d = 1.57 \cdot 100 = 157 V$$

Ventilning KD105B turini tanlaymiz, ular uchun

$$I_{a,ruxc} = 0.3 A > I_a = 0.25 A$$

$$U_{b,ruxc} = 400V > U_{b,max} = 157 V$$

2. Transformator parametrlarini aniqlash.

Bir fazali ko'prik sxemali to'g'irlagich uchun ikkilamchi kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati:

$$U_2 = 1.11 \cdot U_d = 1.11 \cdot 100 = 111 \text{ V}$$

Bunga asosan transformatorning transformatsiya koeffitsiyentini topamiz:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{111} = 2$$

Transformatorning hisobiy quvvati:

$$S_{his} = 1.23 \cdot P_H = 1.23 \cdot 50 = 61.5 \text{ V.A}$$

Hisoblangan kattaliklar asosida standart transformatorni tanlaymiz:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{110} \text{ V};$$

3. Filtr parametrlarini aniqlash.

Bir fazali ko'prik sxemali to'g'irilagich chiqishidagi pulsatsiyalar koeffitsiyenti:

$$q_1 = 0.67$$

Talab etilgan pulsatsiyalar koeffitsiyenti:

$$q_2 = 0.005$$

Filtrning tekislash koeffitsiyenti:

$$K_F = \frac{q_1}{q_2} = \frac{0.67}{0.005} = 134$$

P – simon filtr oddiy C – filtrdan va G – simon LC – filtrdan iborat. Uning tekislash koeffitsiyenti:

$$K_F = K_C - K_{LC}$$

Filtr kondensatorlari sig'imini $C_1 = C_2 = 100 \text{ mKF}$ deb qabul qilamiz. U holda

$$K_C = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot m \cdot C_1 R_H = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 12.6,$$

Bunda m - to'g'irilangan kuchlanishning bir davr ichidagi pulsatsiyalar soni;

R_H - yuklama qarshiligi, u quyidagicha aniqlanadi

$$R_H = \frac{U_d}{I_d} = \frac{100}{0.5} = 200 \text{ Om}$$

Bunda LC - filtrning tekislash koeffitsiyenti (K_{LC})ni hisoblash mumkin.

$$K_{LC} = \frac{K_F}{K_C} = \frac{134}{12.6} = 10.6$$

LC - filtr uchun:

$$L_F C_2 = \frac{K_{LC}}{(2\pi f m)^2} = \frac{10.6}{(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2)^2} = 26.8 \cdot 10^{-6} \text{ Gn} \cdot F$$

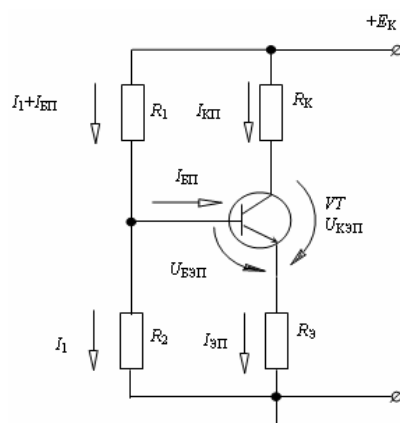
$C_2 = 100 \text{ mKF}$ ekanligini hisobga olsak, u holda

$$L_F = \frac{L_F C_2}{C_2} = \frac{26.8 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-6}} \approx 0.3 \text{ Gn}$$

Filtrning parametrlarini $C_1 = C_2 = 100 \text{ mKf}$, $L_F = 0.3 \text{ Gn}$ uning quyidagi samarali ishlash shartini qanoatlantiradi:

$$\frac{1}{m\omega C_F} \ll R_H \text{ va } m\omega L_\phi \gg R_H$$

4.2– mustaqil topsiriq namunasi. O'zgaruvchan tokni kuchaytirish kaskadi sxemasi 4.2 – rasmda keltirilgan. Tranzistor $n-p-n$ tipli. Ta'minlash manbai kuchlanishi $E_K = 36V$, yuklama quvvati $P_{yu} = 30mVT$, chiqish kuchlanishi amplitudasi maksimal qiymati $U_{chiq.m} = 9V$.



4.2-rasm

Tinch (sokin) nuqta parametrlarini, tranzistor turini tanlang. Kaskadning rezistorlari qarshiliklarini, dinamik parametrlarini hisoblang. Kaskadning FIK ini aniqlang va uning amplitudaviy xarakteristikasini quring.

Yechish.

1. Yuklama parametrlarini aniqlash .

Berilgan ma'lumotlar $P_{yu} = 30 \text{ mVT}$ va $U_{chiq.m} = 9 \text{ V}$ asosida yuklama qarshiligini hisoblaymiz:

$$R_{yo} = \frac{U_{chiq.m}^2}{2 \cdot P_{yu}} = \frac{9^2}{2 \cdot 30 \cdot 10^{-3}} = 1.35 \text{ kOm} = 1.35 \cdot 10^3 \text{ Om}$$

Yuklama toki amplitudasi:

$$I_{chiq.m} = \frac{U_{chiq.m}}{R_{yu}} = \frac{9}{1.35 \cdot 10^3} = 6.7 \text{ mA}$$

2. Sokin nuqtani tanlash.

Chiqish signalida nohiziqli buzilishlar yuzaga kelmasligi uchun, sokin nuqta parametrlari quyidagi shartlar asosida tanlanadi:

$$I_{KR} \geq I_{chiq.m}$$

$$U_{KER} \geq U_{chiq.m} + \Delta U$$

Bunda ΔU - to'yinish rejimi chog'ida tranzistordagi kuchlanish, uning qiymati 1....1.5 V oralig'ida qabul qilinadi.

Kollektor sokin toki I_{KP} qancha katta tanlansa, ta'minlash manbaidan istemol qilinuvchi quvvat shuncha katta bo'ldi, demak, kaskadning FIK past bo'ladi. Agar I_{KR} qiymati kichik tanlansa, chiqish signalida nohiziqli buzilishlar yuzaga kelishi mumkin.

Kollektor sokin tokini $I_{KR} = 12 \text{ mA}$, kollektor – emitter orasiga berilgan sokin kuchlanish qiymatini $U_{KTR} = 10 \text{ V}$ qabul qilamiz.

3. Tranzistorni tanlash.

Agar qo'shimcha shartlar ko'rsatilmagan bo'lsa, transistor quyidagi chegaraviy parametrlar bo'yicha tanlanadi:

$$\begin{aligned} U_{KE.rux} &\geq E_K = 36V \\ I_{K.rux} &\geq I_{KR} + I_{chiq.m} = 12 + 6.7 = 18.7 \text{ mA} \\ P_{k.rux} &\geq I_{KR} \cdot U_{KER} = 12 \cdot 10 = 120 \text{ mVm} \end{aligned}$$

Bu ma'lumotlar asosida KT315V tranzistorni tanlaymiz. Uning parametrlari: $U_{KE.rux} = 40 \text{ V}$ $I_{K.rux} = 100 \text{ mA}$ $P_{k.rux} = 150 \text{ mVT}$

Mazkur tranzistor quyidagi h - parametrlarga ega:

$$h_{11} = 0.14 \text{ kOm}, h_{21} = 50, h_{22} = 0.3 \text{ mKSm}$$

Uning h_{12} parametrni hisobga olmaymiz, sokin rejimidagi baza – emitter kuchlanishining tavsiya etilgan qiymati $U_{BER} = 1.0 \text{ V}$.

4. Statik rejim.

Statik rejimda signal manbasi uzilgan bo'lib, kaskad faqat ta'minlash manbai E_K ostida ishlaydi. Shuning uchun kondensatorlar qarshiligi cheksizga teng.

Yuklama statik chizig'i tenglamasi Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra quyidagicha yoziladi:

$$E_K = I_K \cdot R_K + U_{KE} + I_E \cdot R_E$$

Sxemadan $I_E = I_K \cdot I_V$ bo'lgani uchun va $I_K \gg I_V$ ekanligi inobatga olinsa, $I_E \approx I_K$ deb hisoblasa bo'ladi, u holda

$$E_K = I_K (R_K + R_E) + U_{KE}$$

Odatda, emitter qarshiligi R_E ni $R_E = (0.1 \dots 0.2) R_K$ deb qabul qilish tavsiya etiladi. Buni hisobga olsak, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$E_K = 1.1 \cdot I_K \cdot R_K + U_{KE}$$

Sokin ravishda $I_K = I_{KP}$ $U_{KE} = U_{KEP}$

$$\text{Qarshiliklar: } R_K = \frac{E_K - U_{KEP}}{1.1 \cdot I_{KEP}} = \frac{36 - 10}{1.1 \cdot 12} = 1.97 \text{ kOm}$$

Dinamik rejimda kondensatorning ishlash shartlari sezilarli darajada o'zgarish uchun bo'lgich tokini baza sokin toki I_{BII} dan 5....10 marta kattaroq tanlash tavsiya etiladi. Uni $I_1 = 5I_{BP}$ deb qabul qilamiz.

$$I_{BP} = \frac{I_{KP}}{h_{21}} = \frac{12}{50} = 0.24 \text{ mA}$$

$$I_1 = 5I_{BP} = 5 \cdot 0.24 = 1.2 \text{ mA}$$

Sxemadagi R_2 - baza emitter R_3 kontur uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan quyidagi tenglamalarni olamiz.

$$-R_2 I_1 + U_{B3II} + I_{KII} R_3 = 0$$

bundan

$$R_2 = \frac{U_{B3II} + I_{KII} \cdot R_3}{I_1} = \frac{1 + 12 \cdot 0.2}{1.2} = 2.8 \text{ kOm}$$

Sxemadagi $E_K - R_1 - R_2$ kontur uchun ikkinchi tenglama:

$$E_K = (I_1 + I_{BII}) \cdot R_1 + I_1 R_2$$

bundan

$$R_1 = \frac{E_K - I_1 R_2}{I_1 + I_{BII}} = \frac{36 - 1.2 \cdot 2.8}{1.2 + 0.24} = 22.7 \text{ kOm}$$

5. Dinamik rejim.

Dinamik rejimda ta'minlash manbai E_K qisqa tutashtirilgan, kondensatorlar qarshiligini hisobga olmasa ham bo'ladi, chunki ularning sig'imi ishchi chostotaning minimal qiymatida kondensatorlarning reaktiv qarshiligi sxemadagi rezistorlar qarshiligi qiymatidan bir tartibga kam bo'lishi kerak degan shartga ko'ra tanlanadi. Shuning uchun tranzistor h parametrlari hisobga olingan kaskad o'rindosh sxemasida toklar, kuchlanishlar va tok manbai yo'nalishlari qarama qarshi ishoralarda ko'rsatiladi. Bu sxemada asosan quyidagilarni yozish mumkin:

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{22.7 \cdot 2.8}{22.7 + 2.8} = 2.5 \text{ kOm}$$

Kaskadning kirish qarshiligi:

$$R_{kir} = \frac{R_B \cdot h_{11}}{R_B + h_{11}} = \frac{2.5 \cdot 0.14}{2.5 + 0.14} \approx 0.14 \text{ kOm}$$

Kaskadning chiqish qarshiligi:

$$R_{chiq} = \frac{R_K}{R_K \cdot h_{22} + 1} \approx R_K = 1.97 \text{ kOm}, \quad (h_{22} = 0.3 \cdot 10^{-6} \text{ SM})$$

Yuklama dinamik chizig'i tenglamasi:

$$U_{KE} = -i_K \frac{R_K R_{yu}}{R_K + R_{yu}}$$

Chiqish kuchlanishi amplitudasi maksimal qiymati $I_{K\Theta} = I_{K\Pi}$ bo'lganda

$$U_{chiq.m} = I_{KP} \frac{R_K \cdot R_{yu}}{R_K + R_{yu}} = 12 \cdot \frac{1.97 \cdot 1.35}{1.97 + 1.35} = 9.6 \text{ V}$$

Masalaning shartida $U_{chiq.m} = 9 \text{ V}$ edi, shuning uchun signal buzilishi sodir bo'lmaydi. Agar $U_{chiq.m}$ qiymati dastlabki (9 V) dan kichik bo'lganda edi, kollektor sokin toki $I_{K\Pi}$ ni oshirish kerak bo'ladi va hisoblashlar qaytadan amalga oshirilishi zarur.

Kuchaytirish koeffitsiyentlari:

$$K_u = \frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot \frac{R_K \cdot R_{yu}}{R_K + R_{yu}} = 50 \cdot \frac{1.97 \cdot 1.35}{0.14(1.97 + 1.35)} = 286;$$

$$K_i = h_{21} \cdot \frac{R_K}{R_K + R_{yu}} = 50 \cdot \frac{1.97}{(1.97 + 1.35)} = 29.7;$$

$$K_p = K_u \cdot K_i = 286 \cdot 29.7 = 8485$$

Iste'mol qilinuvchi quvvat (bo'lgich istemol qiluvchi quvvat katta bo'lmagani uchun, uni hisobga olmasa ham bo'ladi)

$$P_1 = I_{KP} \cdot U_{KEP} = 12 \cdot 10 = 120 \text{ mVt}$$

Kaskadning F.I.K ($P_2 = P_o$ 30 mVt) bo'lganda

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{30}{120} = 0.25$$

Kaskadlarning A rejimida ishlovchi turlari uchun bu F.I.K Yetarli darajada yuqori hisoblanadi, chunki ularning maksimal F.I.K qiymati 0.35 ga teng.

6. Kaskadning amplituda karakteristikasi $U_{chiq.m} = f(U_{kir.m})$

$$U_{chiq.m} = K_u \cdot U_{kir.m} = 286 \cdot U_{kir.m}$$

Bu chiziqli tenglama $U_{chiq.m} = 9.6 \text{ V}$ gacha o'rinli. Kuchlanishning yuqori qiymatlarida tranzistor berkiladi. Demak, amplituda xarakteristikasini (4.3- rasm) ikki nuqta bo'yicha kiritish mumkin:

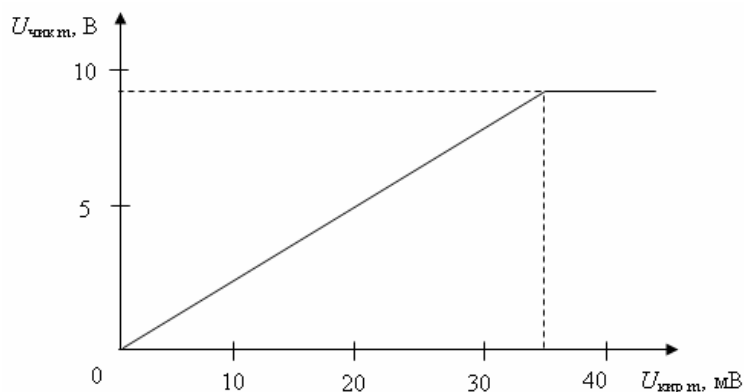
Birinchi nuqta - koordinata boshi $U_{kir.m} = 0$, $U_{chiq.m} = 0$

Ikkinchi nuqta - $U_{chiq.m} = 9.6 \text{ V}$ $U_{kir.m} = U_{chiq.m} / K_u = \frac{9.6}{286} = 33.6 \text{ mV}$

4.3 – mustaqil topsiriq namunasi. Parallel summator (jamlagich)

$U_{chiq.m} = 10 \cdot U_1 + U_2 - 2 \cdot U_3 - 5 \cdot U_4$ amallarni bajarish uchun mo'ljallangan bo'lib,

quyidagi parametrlarga ega operatsion kuchaytirgich K140UD8A asosida yig'ilgan.

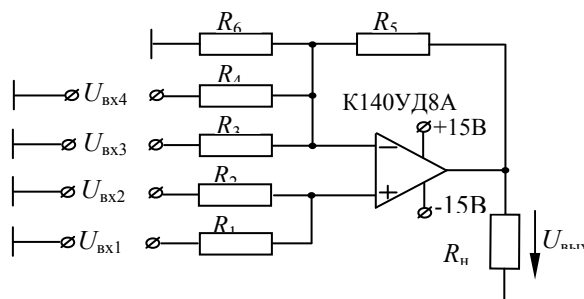


4.3 – rasm

Ta'minlash manbai kuchlanishi $E_{II} = \pm 15 V$, maksimal chiqish kuchlanishi $U_{chiq.m} = \pm 10 V$, kuchaytirish koeffitsiyenti $K_u = 50000$ teskari bog'lanish qarshiligi $40 kOm$. Sxemaning kirish zanjirlaridagi rezistorlar qarshiliklarini va kirishga beriluvchi birlik kuchlanish U ning maksimal qiymatini aniqlang.

Yechish.

Berilgan amallarni bajarish uchun mo'ljallangan parallel summator sxemasi 4.4-rasmda ko'rsatilgan. Noinverslovchi kirishlar soni funksiya-ning musbat hadlari soniga, inverslovchi kirishlar soni manfiy hadlar soniga mos keladi.



4.4- rasm

1. Parallel summator chiqishidagi kuchlanish:

$$U_{chiq} = \sum K_{iH} \cdot U_{iH} - \sum K_{iu} \cdot U_{iu},$$

bunda K_{iH} , U_{iH} , K_{iu} , U_{iu} - noinverslovchi va inverslovchi kirishlarning kuchaytirish koeffitsiyentlari va kirish kuchlanishlari.

Koeffitsiyentlar quyidagicha aniqlanadi:

$$K_i = \frac{R_{T.B}}{R_i},$$

bunda $R_{T.B}$ yoki sxemada R_5 - teskari bog'lanish qarshiligi, R_i - mazkur kirish zanjiridagi qarshilik. Qarshilik R_5 berilgan qiymati va kirishlarning vazn koeffitsiyentlari

($K_1 = 10, K_2 = 1, K_3 = 2, K_4 = 5$) bo'yicha kirish zanjir qarshiligini aniqlaymiz:

$$R_1 = \frac{R_5}{K_1} = \frac{40}{10} = 4 \text{ kOm}$$

$$R_2 = \frac{R_5}{K_2} = \frac{40}{1} = 40 \text{ kOm}$$

$$R_3 = \frac{R_5}{K_3} = \frac{40}{2} = 20 \text{ kOm}$$

$$R_4 = \frac{R_5}{K_4} = \frac{40}{5} = 8 \text{ kOm}$$

Jamlagich normal ishlashi uchun har ikkala kirish bo'yicha qarshiliklarni tenglashtirish lozim. Aks holda, operatsion kuchaytirgichning kirish toklari kirish zanjirida turlicha kuchlanish pasayishlarini yuzaga keltiradi va operatsion kuchaytirgich kirishida signal farqi hosil bo'ladi va bu signal kuchaytirgich tomonidan kuchaytiriladi. Kuchaytirgich chiqishida esa kirish kuchlanishi U_{kup} bo'lmaganda ham chiqish kuchlanish U_{chik} paydo bo'ladi.

Inverslovchi kirish bo'yicha kirish qarshiligi:

$$\frac{1}{R_u} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{20} + \frac{1}{8} + \frac{1}{40} = \frac{8}{40}; R_u = 5 \text{ kOm}$$

Inverslovchi kirish bo'yicha kirish qarshiligi:

$$R_H = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4 \cdot 40}{4 + 40} = 3.6 \text{ kOm } R_u > R_H$$

Kirish qarshiliklarini tenglashtirish uchun inverslovchi

$$R_H = \frac{R_6 \cdot R_u}{R_6 + R_u}; R_6 = \frac{R_u \cdot R_H}{R_u - R_H} = \frac{5 \cdot 3.6}{5 - 3.6} = 12.9 \text{ kOm}$$

2. Berilgan $U_{chik.m} = 10 \cdot U + U - 2 \cdot U - 5 \cdot U = 4U$ amalni bajarish chog'ida kirish kuchlanishi.

Operatsion kuchaytirgichning chiqishidagi maksimal kuchlanish 10 V bo'lganida birlik kirish kuchlanishi (hamma kirishda bir xil)

$$U = \frac{U_{chik.m}}{4} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ V}$$

3. Birlik kirish kuchlanishi 100 mV bo'lganda $U_{kir1} = U_{kir2} = U_{kir3} = U_{kir3} = 100 \text{ mV}$. Chiqish kuchlanishining birinchi kirish

bo'yicha ulushi $U_{kir1} = K_1 \cdot U_{kir1} = 10 \cdot 100 = 1000 \text{ mV}$. Boshqacha kirishlar uchun

$$U_{chiq2} = K_2 \cdot U_{kir2} = 1 \cdot 100 = 100 \text{ mV} \quad U_{chiq3} = -K_3 \cdot U_{kir3} = -2 \cdot 100 = -200 \text{ mV},$$

$$U_{chiq4} = -K_4 \cdot U_{kir4} = -5 \cdot 100 = -500 \text{ mV}$$

Jamlagichning chiqish qarshiligi

$$U_{chiq1} = U_{chiq2} = U_{chiq3} = U_{chiq4} = 1000 + 100 - 200 - 500 = 400 \text{ mV}$$

Adabiyotlar

1. Лачин В. И., Савёлов Н. С. Электроника. Учебное пособие.- Р./на-Дону. Изд. "Фенникс" 2005г. – 704 стр.
2. Бурков А. Т. Электронная техника и преобразователи. Учебник для вузов ж.д. транспорта.-М.: Транспорт. 2006 г. – 464 стр.
3. А.М. Сафаров Электроника асослари, Маърузалар матни, электрон варианты, ТошТЙМИ. 2006 й –90 б.
4. А.М.Сафаров, Х.А. Сагтаров «Электроника асослари» дан амалий ва мустақил машғулотларга доир услубий кўрсатма. –Т. ТошТЙМИ нашр. 2010 й –33 б.

Mundarija

Kirish.....	3
1. P –n o'tishning asosiy xususiyatlari	4
2. Yarim o'tkazgichli diodlar	16
3. Stabilitronlar.....	31
4. Mustaqil ishlarni bajarish namunalari	34
Adabiyotlar.....	42

Abdurauf Malikovich Safarov,
Dilshod Shavkatovich Rustamov

ELEKTRONIKA ASOSLARI

Uslubiy qo'llanma

Muharrir: Q.E.Axmedov
Texnik muharrir va sahifalovchi: Tashbayeva M.X.

Nashrga ruxsat etildi 16.12.2013 y.
Qog'oz bichimi 60×84/16. Hajmi 3 b.t.
Adadi 20 nusxa. Buyurtma №26-3/2013
ToshTYMI bosmaxonasida chop etildi
Toshkent sh., Odilxo'jaev ko'chasi, 1uy

Toshkent temir yo'l muhandislari instituti, 2014y.