

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA
O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI**

QARSHI MUHANDISLIK IQTISODIYOT INSTITUTI

A.B.Sa’dullayev, O.O. Zaripov, A.P.Umirov

SANOAT ELEKTRONIKASI

Qarshi muhandislik iqtisodiyot instituti Kengashi
tomonidan o‘quv qo‘llanma sifatida tavsiya etilgan

Qarshi – 2022

UDK 658.26:621.31 (075.8)

**A.B.Sa'dullayev, O.O. Zaripov, A.P.Umirov. "Sanoat elektronikasi".
O'quv qo'llanma. Qarshi - 2022. – 232 b.**

Taqrizchilar: Tashatov A.Q. - fizika-matematika fanlari doktori,
Qarshi Davlat Universiteti professori.

Norboyev A.E. - Qarshi muhandislik iqtisodiyot instituti
"Elektr energetikasi" kafedrasida katta o'qituvchisi.

O'quv qo'llanma 5310200 - Elektr energetikasi ta'lim yo'nalishi o'quv rejasiga kiritilgan fan dasturiga muvofiq tuzilgan.

O'quv qo'llanmada "Sanoat elektronikasi" fan dasturining asosiy qismida belgilangan elektr zanjirlarining asosiy elementlari, yarimo'tkazgichli elektron va fotoelektron asboblari, elektron to'g'rilagichlar va stabilizatorlar, bir va ko'p kaskadli kuchaytirgichlar, garmonik tebranishli generatorlarni parametrlarini aniqlashga oid bo'lgan masalalarni yechish uchun zaruriy formulalar keltirilgan va har bir mavzu bo'yicha namunaviy masalalar oddiydan murakkablik darajasi ortib borish tartibida tahlili bilan yechib ko'rsatilgan hamda talabalarga mustaqil yechishlari uchun masalalar taqdim etilgan. O'quv qo'llanma 5310200 - Elektr energetikasi ta'lim yo'nalishi uchun mo'ljallangan.

В учебном пособии представлены материалы, обозначенные в основной части учебной программы дисциплины «Промышленная электроника»: основные элементы электрических цепей, полупроводниковые электронные и фотоэлектронные устройства, электронные выпрямители и стабилизаторы, одно- и многокаскадные усилители, генераторы гармонических колебаний, предлагаются необходимые формулы для решения задач, примерные задачи представляются с анализом в порядке возрастания от простых к сложным, а также даны задачи для самостоятельного решения. Учебное пособие предназначен для образовательного направления 5310200 - Электроэнергетика.

The textbook presents the materials indicated in the main part of the curriculum of the discipline "Industrial Electronics": the main elements of electrical circuits, semiconductor electronic and photoelectronic devices, electronic rectifiers and stabilizers, single- and multi-stage amplifiers, generators of harmonic oscillations, the necessary formulas for solving problems, exemplary tasks are presented with analysis in ascending order from simple to complex, and tasks for independent solution are also given. The manual is intended for the educational direction 5310200 - Power industry.

Qarshi muhandislik iqtisodiyot instituti Kengashining 2022 yil, 29 - oktabrdagi №3 sonli qarori bilan nashrga tavsiya etildi.

Kirish.

Oliy ta'lim muassasalarida tahsil olayotgan talaba yoshlarni kelajakda tanlagan kasbiy yo'nalishlarida malakali mutaxassis kadrlar sifatida shakllanishida tegishli ta'lim yo'nalishlarining ishchi o'quv rejalarida belgilangan mutaxassislik fanlarini mukammal o'zlashtirgan va olingan nazariy bilimlarini amalda qo'llay olish ko'nikmasiga ega bo'lishlari talab etiladi.

Shu ma'noda ta'kidlab o'tish joizki, talaba yoshlar ongida yuqorida e'tirof etilgan malaka va ko'nikmalarni shakllanishida ta'lim yo'nalishlari mutaxassislik fanlarining o'ziga xos xususiyatlarini qat'iy e'tiborga olgan holda o'quv mashg'ulotlarini sifatli tashkil etilishi muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018 yil 5 iyundagi "Oliy ta'lim muassasalarida ta'lim sifatini oshirish va ularning mamlakatda amalga oshirilayotgan keng qamrovli islohotlarda faol ishtirokini ta'minlash bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi PQ-3775 sonli qarorida mamlakatimiz oliy ta'lim muassasalarida ta'lim sifatini oshirish orqali kelajakda jahon standartlari talablariga to'liq javob bera oladigan, raqobatbardosh malakali mutaxassislarni tayyorlash borasida qator ustuvor vazifalar belgilab berildi. Jumladan, o'quv mashg'ulotlarini sifatli va samarali tashkil etilishini ta'minlash maqsadida ta'lim yo'nalishlarining o'quv rejalarida belgilangan mutaxassislik fanlaridan xorijiy manbalardan keng foydalangan holda yangi avlod o'quv adabiyotlarini yaratishga alohida e'tibor qaratildi.

Bir necha yillik tajribamizdan ma'lumki, 5310200-Elektr energetikasi (Elektr ta'minoti) ta'lim yo'nalishi mutaxassislik fanlaridan belgilangan amaliy mashg'ulot darslarining tashkil etilishi sifati, mazkur fanlarning yangi avlod o'quv adabiyotlari bilan ta'minlaganlik holati bilan uzviy bog'liqdir. Shu maqsadda "Sanoat elektronikasi" fanidan tayyorlangan ushbu o'quv qo'llanmada yoritilgan ma'lumotlarni mukammal o'zlashtirishlari natijasida talaba yoshlar «Sanoat elektronikasi» fanidan chuqur bilimga ega bo'lishi, ishlab chiqarish sanoat korxonalarida qo'llanilayotgan zamonaviy elektron qurilmalarning turlari, tuzilishi, ishlash prinsipi, har bir elementining bajaradigan funksional vazifalari, tavsiflovchi

kattaliklari, amaliy ahamiyati to'g'risida aniq tasavvurga ega bo'lishlari mumkin. Bu esa talabalar ongida o'zlashtirilgan nazariy bilimlarni amalda qo'llay olish ko'nikmasini shakllanishi uchun asos bo'ladi.

O'quv qo'llanmada yuqorida bayon etilgan bilim, malaka va ko'nikmalarni talabalar ongida osonroq shakllantirish asosiy maqsad qilib olingan bo'lib, 5310200-Elektr energetika (Elektr ta'minoti) ta'lim yo'nalishi standarti hamda «Sanoat elektronikasi» fanining o'quv dasturi asosida tayyorlandi.

O'quv qo'llanma 5310200-Elektr energetika (Elektr ta'minoti) ta'lim yo'nalishida tahsil olayotgan bakalavrlar uchun mo'ljallangan bo'lib, professor-o'qituvchilar ham o'quv mashg'ulotlarida keng foydalanishlari mumkin.

Ma'lumki, «Sanoat elektronikasi» fanidan amaliy mashg'ulotlarda elektron qurilmalarning ish rejimlarini, tavsiflovchi parametrlarini aniqlashga oid turli murakkablikdagi masalalarni mustaqil yechish jarayonida masalaning shartida bayon etilgan hodisani to'liq ifodalovchi matematik tenglamalarni xotirasida saqlab qolmagan hollarda, talabalarda mazkur masalaga oid natijaviy ishchi formulani keltirib chiqarish yoki tegishli nazariy ma'lumotlarni adabiyotlardan qidirib topish muammosi paydo bo'ladi. Ushbu muammoni oson hal etish va mazkur fanning amaliy mashg'uloti dasturi bilan talaba yoshlarni oldindan tanishtirish maqsadida o'quv qo'llanmaning har bir mavzusiga tegishli masalalarni yechish uchun zarur bo'lgan asosiy nazariy ma'lumotlarning qisqacha tasnifi berildi.

O'quv qo'llanmada shuningdek, talabalarda masalalarni mustaqil yecha olish ko'nikmalarini tez va oson shakllantirish maqsadida hajmi va murakkablik darajasini e'tiborga olgan holda har bir mavzuga oid qiyinchilik darajasi ortib borish tartibida namunaviy masalalar batafsil tahlili bilan yechib ko'rsatilgan.

Talabalarning o'quv mashg'ulotlaridan so'ng uyida mustaqil ishlashi hamda olingan bilimlarini yanada mustahkamlashiga imkon yaratish maqsadida har bir mavzuga oid qiyinchilik darajasi ortib borish tartibida masalalar mustaqil yechish uchun rejalashtirilgan. Shuningdek, fan dasturida rejalashtirilgan har bir mavzuning xususiyatlaridan kelib chiqqan holda har bir mavzularga oid nazariy ma'lumotlar kengroq va talabalarga tushunarli tarzda yoritilgan.

I.Bob. Elektr zanjirlarining asosiy elementlari.

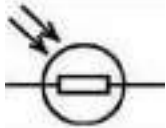
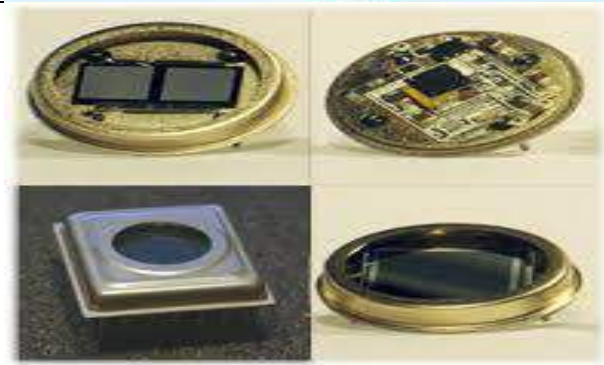
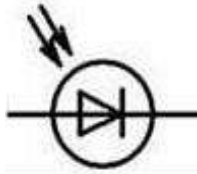
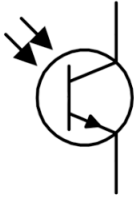
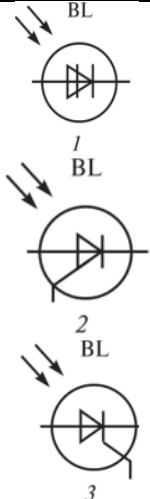
Asosiy tushunchalar.

Elektronika sanoatining asosiy elementlarini - elektr qarshilikli rezistorlar, kondensatorlar, induktiv g'altaklar, yarimo'tkazgichli diodlar, tranzistorlar, tiristorlar, optoelektron asboblari tashkil etadi. Turli xil maqsadlarda ishlatiladigan barcha turdagi elektron qurilmalar yuqorida nomlari keltirilgan elementlar asosida tuziladi. Elektronika sanoatida ishlatiladigan asosiy elementlarning tashqi ko'rinishi va sxematik belgilanishlari to'g'risida ma'lumotlar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Elektr zanjirlarining asosiy elementlari

Elektronika sanoatida qo'llanilayotgan asosiy elementlar	Elementlarning tashqi ko'rinishi	Elementlarning sxematik belgilanishi
Rezistorlar		
Kondensatorlar		
Induktiv g'altaklar		  Umumiy belgilanishi O'zaki induktiv g'altak
Diodlar		

<i>Tranzistorlar</i>		
<i>Tiristorlar</i>		
<i>Fotorezistorlar</i>		
<i>Fotodiodlar</i>		
<i>Fototranzistorlar</i>		
<i>Fototiristorlar</i>		

1.1. Elektr qarshilik. Qarshilikli elektr zanjirlarini hisoblash.

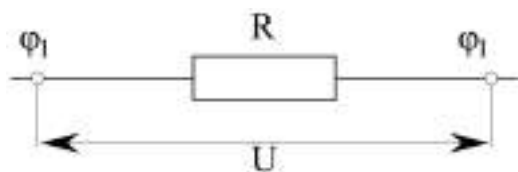
Asosiy tushunchalar.

Tok manbai, elektr energiyasi iste'molchilari va ularni o'zaro birlashtiruvchi o'tkazgich simlardan tashkil topgan tizimga elektr zanjir deb ataladi.

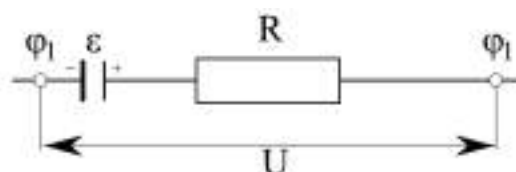
Elektr zanjirlarni tashkil etuvchi elementlarning soni va ulanish usuliga ko'ra shartli ravishda oddiy va murakkab yoki tarmoqlangan elektr zanjirlarga bo'linadi.

Elektr zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuni o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchining o'tkazgich uchlariga qo'yilgan potentsiallar farqiga to'g'ri proporsionalligini ifodalaydi va quyidagi $I = \frac{U}{R}$ (1.1.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda R -kattalik o'tkazgich materialining turiga hamda geometrik o'lchamlariga bog'liq bo'lib, o'tkazgichning elektr qarshiligi deb ataladi.

Silindr shaklidagi o'tkazgichlarning elektr qarshiligi uchun quyidagi ifoda o'rinlidir: $R = \rho \frac{l}{S}$ (1.1.2), bu yerda l -kattalik o'tkazgichning uzunligi, S - ko'ndalang kesimi yuzasi, ρ -kattalik meyoriy ($T = 300\text{ K}, P = 10^5\text{ Pa}$) sharoitda o'tkazgich materialining turiga bog'liq bo'lib (ilova 2-jadval), o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi deyiladi.



1.1-rasm



1.2-rasm

Tok manbaiga ega bo'lgan elektr zanjirning bir qismi berilgan holda (1.2-rasm) manbaning elektr yurituvchi kuchi hisobga olinadi.

Tok manbaining elektr yurituvchi kuchi deb birlik zaryadni berk zanjir bo'yicha ko'chirishda tashqi kuchlarning bajargan ishini tavsiflovchi fizik kattalikka aytiladi.

Berk zanjirdan o'tayotgan tokning sababchisi tok manbaining elektr yurituvchi kuchi bo'lib, tok kuchining kattaligi uchun quyidagi ifoda o'rinli bo'ladi: $I \cdot R_T = \varepsilon$ (1.1.3), bu yerda R_T - kattalik berk zanjirning to'liq qarshiligi, odatda u tashqi

zanjirning R -qarshiligi va tok manbaining r -ichki elektr qarshiliklarining algebraik yig'indisidan iborat bo'ladi, ya'ni: $R_T = R + r$ (1.1.4).

Berk zanjirning to'liq qarshiligini (1.1.4) ifodasini (1.1.3) tenglamaga qo'yib, elektr zanjiridagi tok kuchini ifodalovchi (1.1.3) tenglamani quyidagi shaklda yozishimiz mumkin: $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ (1.1.5).

Murakkab elektr zanjirlarida qarshiliklar ketma-ket, parallel va aralash usullarda ulanishi mumkin. Rezistorlari ketma-ket ulangan elektr zanjirlarida tarmoqlar bo'lmaydi, ya'ni barcha rezistorlar elektr zanjirida birin-ketin ulanadi va bunday hollarda elektr zanjirining istalgan qismida tok kuchi bir xil, ya'ni o'zgarmas bo'ladi. Qarshiliklari ketma-ket ulangan elektr zanjirning to'liq kuchlanishi aloxida qismlardagi kuchlanishlarning algebraik yig'indisidan iborat bo'ladi. Elektr qarshiliklari ketma-ket ulangan elektr zanjirlari uchun quyidagi uchta qonuniyat o'rinli:

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (1.1.6),$$

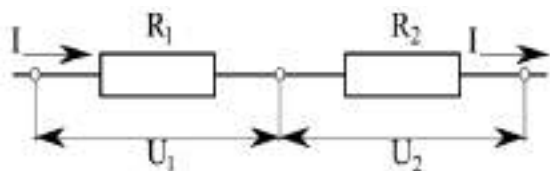
$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = \sum_{i=1}^n U_i \quad (1.1.7),$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i \quad (1.1.8).$$

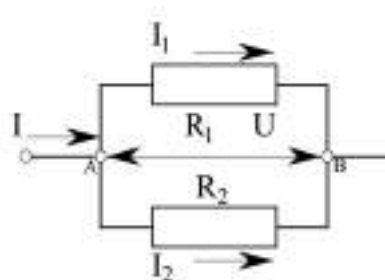
Elektr zanjirida n ta bir xil qarshilikli rezistorlar ketma-ket ulansa, elektr zanjiridagi umumiy kuchlanish quyidagicha ifodalanadi: $U = n \cdot U_1$ (1.1.9), bu yerda U_1 - bitta qarshilikdagi kuchlanish tushuvi. Bunday elektr zanjirlarida umumiy qarshilik matematik jihatdan quyidagi $R = n \cdot R_1$ (1.1.10) tenglama bilan ifodalanadi.

Qarshiliklar elektr zanjirida parallel ulansa, elektr zanjiri tarmoqlanadi (1.5-rasm). Rasmda tasvirlangan A va B nuqtalar tugunlar deyiladi.

Tugunda elektr zaryad to'planib qolmaganligi sababli vaqt birligida tugunga kelgan va tugundan chiqib ketgan zaryadlar miqdori teng bo'ladi, ya'ni elektr zanjirdagi umumiy tok kuchi: $I = I_1 + I_2$ (1.12) bo'lib, o'tkazgich uchlaridagi potensiallar farqi yoki kuchlanish bir xil bo'ladi.



1.4-rasm.



1.5- rasm.

Yuqorida aytilgan fikrlarni G.Om qonuniga muvofiq matematik jihatdan quyidagicha ifodalash mumkin: $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$ (1.13) yoki $U_1 = U_2 = U$ (1.14)

ekanligini e'tiborga olsak, (1.13) tenglamani quyidagi shaklda ifodalash mumkin:

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ (1.15). Qarshiliklar elektr zanjirida parallel ulangan hollarda quyidagi

qonuniyatlar o'rinli:

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (1.16),$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^n I_i \quad (1.17),$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (1.18).$$

Qarshiliklar elektr zanjiriga parallel ulanganda tarmoqlanishdan oldingi tok kuchi, tarmoqlanishdan keyingi har bir tok kuchlarining algebraik yig'indisiga teng bo'ldi.

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

Ko'ndalang kesimining diametri $d = 2 \text{ mm}$, uzunligi $l = 200 \text{ m}$ metr bo'lgan silindr shaklidagi mis o'tkazgichdan oqib o'tayotgan tok kuchi $I = 2 \text{ A}$ bo'lsa, o'tkazgichda kuchlanish tushuvi topilsin?

Berilgan:

$$d = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}, l = 200 \text{ m}, I = 2 \text{ A}, \rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}.$$

Topish kerak:

$$U = ?$$

Yechish.

Bir jinsli o'tkazgichdan tok o'tganda tok kuchi zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga muvofiq aniqlanadi, yani: $I = \frac{U}{R}$ (1) bo'lib, bu yerda U - o'tkazgichda kuchlanish tushuvi. O'tkazgichning R - qarshiligini $R = \rho \frac{l}{S}$ (2) ifodasini etiborga olib, (1) tenglamani quyidagi shaklda ifodalash mumkin: $U = I \cdot R = I \cdot \rho \frac{l}{S}$ (3), bu yerda ρ - mis o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi, S - ko'ndalang kesim yuzasi. Mis o'tkazgich silindr shaklida bo'lganligi sababli ko'ndalang kesim yuzasini $S = \frac{\pi d^2}{4}$ (4) ifodasini (3) tenglamaga qo'yib, o'tkazgichda kuchlanish tushuvining quyidagi ifodasini hosil qilamiz: $U = I \cdot \rho \cdot \frac{4l}{\pi \cdot d^2}$ (5).

Tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, o'tkazgichdagi U - kuchlanish tushuvini quyidagicha aniqlaymiz:

$$U = I \cdot \rho \cdot \frac{4l}{\pi \cdot d^2} = 2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^2}{3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2} \approx 2,1 \text{ V}.$$

Javob: $U \approx 2,1 \text{ V}$.

Masala

Ulanishi sxemasi 1-rasmda tasvirlangan elektr zanjirining rezistorlaridagi kuchlanish tushuvi hamda R_2, R_3 rezistorlardan o'tayotgan tok kuchi topilsin?. Hisoblash ishlarini bajarishda elektr zanjirdagi ampermetrning ko'rsatishi $I = 4 \text{ A}$ va rezistorlarning elektr qarshiliklari mos ravishda $R_1 = 6 \Omega, R_2 = 4 \Omega, R_3 = 8 \Omega$ deb hisoblansin.

Berilgan:

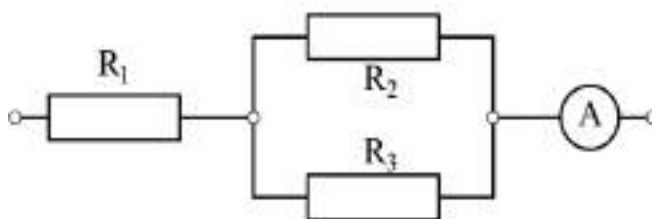
$$R_1 = 6 \Omega, R_2 = 4 \Omega,$$

$$R_3 = 8 \Omega, I = 4 \text{ A}.$$

Topish kerak:

$$U_1 = ?, U_2 = ?, U_3 = ?$$

$$I_2 = ?, I_3 = ?$$



1-rasm

Yechish.

Elektr zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga muvofiq R_1 rezistordagi tok kuchi: $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$ (1) bo'lib, bu yerdan R_1 rezistordagi kuchlanish tushuvini topsak:

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 = 4 \cdot 6 = 24 \text{ V}.$$

Rasmdan ko'rinib turganidek zanjirning to'liq elektr qarshiligi: $R = R_1 + R_2 + R_3$ (2) bo'lib, o'zaro parallel ulangan R_2 va R_3 qarshiliklarning yig'indisini $R_{2,3}$ - deb belgilasak, u holda: $R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$ (3) bo'lib, tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib $R_{2,3}$ - qarshilikni topamiz:

$$R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{4 \cdot 8}{4 + 8} \approx 2,67 \Omega.$$

Elektr zanjirdagi to'liq kuchlanish tushuvi: $U = U_1 + U_{2,3}$ (4) bo'lib, o'zaro parallel ulangan R_2 va R_3 qarshiliklarda kuchlanish tushuvlari bir xil, ya'ni: $U_{2,3} = U_2 = U_3$ (5), ekanligini hisobga olsak, u holda G.Om qonuniga muvofiq elektr zanjiridagi to'liq kuchlanish: $U = I \cdot R = I \cdot (R_1 + R_{2,3})$ (6).

Tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib tegishli matematik amallarni bajarib, to'liq kuchlanishni topamiz:

$$U = I \cdot (R_1 + R_{2,3}) = 4 \cdot (6 + 2,67) \approx 34,68 \text{ V}.$$

Binobarin (4) va (5) tenglamalarga asosan $U_2 = U_3 = U - U_1$ (7) ekanligini etiborga olsak, u holda $U_2 = U_3 = I \cdot (R_1 + R_{2,3}) - U_1 = U - U_1 = 34,68 \text{ V} - 24 \text{ V} \approx 10,68 \text{ V}$. Rasmdan ko'rinib turganidek R_1 -qarshilik va $R_{2,3}$ -ekvivalent qarshiliklar o'zaro ketma-ket ulangan, shu sababli bu qarshiliklar orqali oqib o'tuvchi tok kuchlari o'zaro teng, ya'ni: $I_1 = I_{2,3}$ (7) bo'lib, bu yerda $I_{2,3} = I_2 + I_3$ (8).

Ushbu holatda (7) tenglamaga muvofiq: $I_1 = I_2 + I_3$ (9) bo'lib, zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan R_2 qarshilikdan o'tuvchi tok kuchini topsak:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{10,68}{4} = 2,67 \text{ A}.$$

binobarin (9) tenglamadan R_3 qarshilikdan o'tuvchi tok kuchini topsak:

$$I_3 = I_1 - I_2 = 4 \text{ A} - 2,67 \text{ A} \approx 1,33 \text{ A}.$$

$$\text{Javob: } U_1 = 24 \text{ V}, U_2 = U_3 \approx 10,68 \text{ V}, I_2 = 2,67 \text{ A}, I_3 \approx 1,33 \text{ A}.$$

Masala.

Elektr yurituvchi kuchi $\varepsilon = 100 \text{ V}$ bo'lgan tok manbai, rezistorlar va ampermetr 1-rasmda tasvirlanganidek ulangan. Agarda ampermetr $I = 2 \text{ A}$ tok kuchini ko'rsatsa, R_1 -rezistordagi kuchlanish tushuvi $U_1 = 20 \text{ V}$ va rezistorlarni elektr qarshiliklarining son qiymatlari mos ravishda $R_3 = 40 \Omega$ hamda $R_4 = 20 \Omega$ bo'lsa, R_2 qarshilik topilsin?

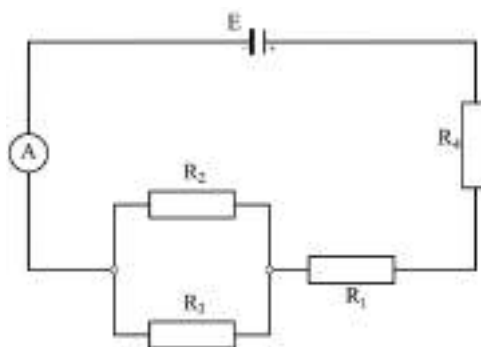
Berilgan:

$$\varepsilon = 100 \text{ V}, I = 2 \text{ A}, U_1 = 20 \text{ V},$$

$$R_3 = 40 \Omega, R_4 = 20 \Omega.$$

Topish kerak:

$$R_2 = ?.$$



1-rasm

Yechish.

Rasmdan ko'rinib turganidek o'zaro parallel ulangan R_2 va R_3 rezistorlarda kuchlanish tushuvi $U_{23} = \varepsilon - U_1 - U_4$ (1) bo'lib, bu yerda U_4 qarshilikdagi kuchlanish tushuvi zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan $U_4 = I \cdot R_4$ (2). Binobarin R_2 va R_3 qarshiliklar elektr zanjirida o'zaro parallel ulanganligi sabab, bu qarshiliklarda kuchlanish tushuvi o'zaro teng, ya'ni: $U_{23} = U_2 = U_3$ (3).

R_2 va R_3 qarshiliklardan oqib o'tuvchi tok kuchlarining yig'indisi esa ampermetr ko'rsatgan tok kuchiga teng, ya'ni $I = I_2 + I_3$ (4).

Yuqorida keltirilgan (2) tenglamadan R_4 qarshilikdagi kuchlanish tushuvini topsak: $U_4 = I \cdot R_4 = 2 \cdot 20 = 40 \text{ V}$ (5).

Ushbu holatda (1) va (5) tenglamalardan $U_{2,3}$ - kuchlanish tushuvini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$U_{2,3} = \varepsilon - U_1 - U_4 = 100 - 20 - 40 = 40 \text{ V}.$$

Zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga muvofiq R_3 - qarshilikdan oqib o'tuvchi tok kuchi:

$$I_3 = \frac{U_{2,3}}{R_3} = \frac{40}{40} = 1 \text{ A}.$$

u holda (4) tenglamaga asosan R_2 qarshilikdan o'tuvchi tok kuchi:

$$I_2 = I - I_3 = 2 \text{ A} - 1 \text{ A} = 1 \text{ A}.$$

Binobarin zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga muvofiq R_2 qarshilikdan oqib o'tuvchi tok kuchi: $I_2 = \frac{U_{23}}{R_2}$ (6) bo'lib, bu yerdan R_2 qarshilikni topsak:

$$R_2 = \frac{U_{2,3}}{I_2} = \frac{40}{1} = 40 \Omega.$$

Javob: $R_2 = 40 \Omega$.

Masala

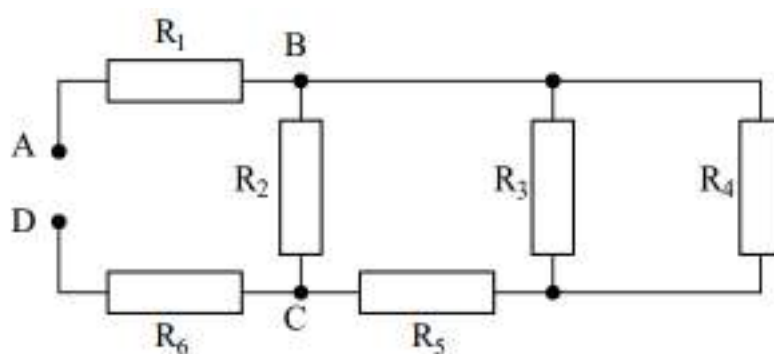
Ulanishi sxemasi 1-rasmda tasvirlangan elektr zanjiridagi rezistorlarning elektr qarshiliklarining qiymatlari mos ravishda $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 40 \Omega$, $R_4 = 30 \Omega$, $R_5 = 5 \Omega$, $R_6 = 15 \Omega$ bo'lsa, elektr zanjirning to'liq qarshiligi topilsin?

Berilgan:

$$R_1 = 10 \Omega, R_2 = 20 \Omega, R_3 = 40 \Omega, R_4 = 30 \Omega, R_5 = 5 \Omega, R_6 = 15 \Omega.$$

Topish kerak:

$$R_{A,D} = ?$$



1-rasm.

Yechish.

Elektr zanjirning to'liq $R_{A,D}$ qarshiligi o'zaro ketma-ket ulangan qismlar qarshiliklarining algebraik yig'indisiga teng, ya'ni: $R_{A,D} = R_1 + R_{B,C} + R_6$ (1). Elektr zanjiri BC qismining elektr qarshiligi o'zaro parallel ulangan ikki tarmoq R_2 va $R_{3,4,5}$ qarshiliklarning yig'indisidan iborat bo'lganligi uchun BC qismning natijaviy qarshiligini quyidagicha ifodalash mumkin: $\frac{1}{R_{B,C}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{3,4,5}}$ (2).

Elektr zanjirni BC qismining qarshiligini topish uchun oldin $R_{3,4,5}$ qarshilikni hisoblaymiz. Rasmdan ko'rinib turibdiki $R_{3,4,5} = R_{3,4} + R_5$ (3) bo'lib, bu yerda R_3 va R_4 qarshiliklar o'zaro parallel ulanganligini e'tiborga olsak, u holda $R_{3,4,5}$ qarshilikni quyidagi tenglamadan topish mumkin:

$$R_{3,4,5} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} + R_5 = \frac{40 \cdot 30}{40 + 30} + 50 \approx 67 \Omega.$$

Masalaning shartiga ko'ra talab etilgan elektr zanjirning to'liq qarshiligini aniqlash uchun (2) tenglamani soddalashtirib, elektr zanjirni BC qismining $R_{B,C}$ qarshiligini quyidagicha hisoblab topamiz:

$$R_{B,C} = \frac{R_2 \cdot R_{3,4,5}}{R_2 + R_{3,4,5}} = \frac{20 \cdot 67}{20 + 67} \approx 15,4 \Omega.$$

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, elektr zanjirning to'liq qarshiligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_{A,D} = R_1 + R_{B,C} + R_6 = 10 + 15,4 + 15 \approx 40,4 \Omega.$$

Javob: $R_{A,D} \approx 40,4 \Omega$.

Masala.

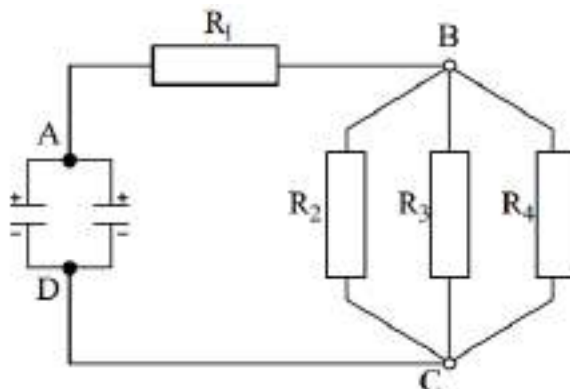
Elektr yurituvchi kuchlari va ichki qarshiliklari bir xil $\varepsilon = 2 \text{ V}$, $r = 1 \Omega$ bo'lgan $n = 2$ ta tok manbai o'zaro parallel ulanib, hosil qilingan tok manbai tashqi qarshiliklarga 2-rasmda tasvirlanganidek ulangan. Elektr zanjiridagi qarshiliklarning son qiymatlari mos ravishda $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 8 \Omega$, $R_3 = 4 \Omega$, $R_4 = 6 \Omega$, bo'lsa, R_3 qarshilikdan o'tayotgan I_3 – tok kuchi topilsin?

Berilgan:

$$\varepsilon = 2 \text{ V}, \quad r = 1 \Omega, n = 2, R_1 = 2 \Omega, \quad R_2 = 8 \Omega, R_3 = 4 \Omega, \quad R_4 = 6 \Omega.$$

Topish kerak:

$$I_3 = ?$$



2-rasm.

Yechish.

Berk zanjir uchun G.Om qonuniga muvofiq elektr zanjirdan o'tayotgan I_T - to'liq tok kuchi quyidagicha ifodalanadi: $I_T = \frac{\varepsilon_m}{R_T + r_m}$ (1), bu yerda ε_m - o'zaro parallel ulangan tok manbalaridan hosil qilingan tok manbaining elektr yurituvchi kuchi. Har ikki tok manbaining elektr yurituvchi kuchlari va ichki qarshiliklari bir xil bo'lganligi uchun $\varepsilon_m = \varepsilon$ (2) va uning ichki qarshiligi $r_m = \frac{r}{n} = \frac{1}{2} = 0,5 \Omega$ (3) bo'ladi.

Ushbu holatda elektr zanjiridagi to'liq tok kuchi quyidagicha ifodalanadi:

$$I_T = \frac{\varepsilon_m}{R_T + \frac{r}{n}} \quad (4).$$

Rasmdan ko'rinib turganidek elektr zanjirning to'liq tashqi qarshiligi $R_T = R_1 + R_{B,C}$ (5) bo'lib, tashqi zanjirning BC qismini umumiy elektr qarshiligi o'zaro parallel ulangan R_2 , R_3 va R_4 qarshiliklarning algebraik yig'indisidan iborat:

$$\frac{1}{R_{B,C}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{8} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{13}{24 \Omega} \quad (6) \text{ yoki } R_{B,C} \approx 1,85 \Omega.$$

Ushbu holatda (5) tenglamaga asosan elektr zanjirning to'liq tashqi qarshiligi:

$$R_t = R_1 + R_{B,C} = 2 + 1,85 \approx 3,85 \Omega.$$

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamaga asosan elektr zanjirdan o'tayotgan to'liq tok kuchi:

$$I_t = \frac{\varepsilon_m}{R_t + r_m} = \frac{2}{3,85 + 0,5} \approx 0,41 \text{ A}.$$

Ushbu holatda elektr zanjirning BC qismidagi kuchlanish tushuvi:

$$U_{B,C} = I_t \cdot R_{B,C} = 0,41 \cdot 1,85 \approx 0,76 \text{ V}.$$

Masalaning shartiga ko'ra aniqlanishi talab etilayotgan R_3 qarshilikdan o'tayotgan tok kuchi zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan quyidagiga teng bo'ladi:

$$I_3 = \frac{U_{B,C}}{R_3} = \frac{0,76}{4} \approx 0,19 \text{ A}.$$

Javob: $I_3 \approx 0,19 \text{ A}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Elektr yurituvchi kuchlari va ichki qarshiliklari mos ravishda $\varepsilon_1 = 1,6 \text{ V}$, $r_1 = 0,2 \Omega$ va $\varepsilon_2 = 0,8 \text{ V}$, $r_2 = 0,4 \Omega$ bo'lgan ikkita doimiy tok manbai bir xil ismli qutblari bilan ulangan. Tutashtiruvchi o'tkazgich simlarning qarshiligi $R = 0,2 \Omega$ bo'lsa, elektr zanjirdagi I tok kuchi aniqlansin?

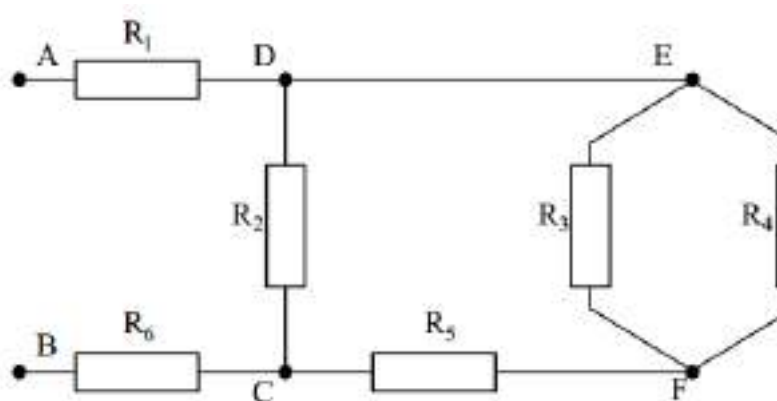
2. Diametri $d = 0,1 \text{ mm}$ bo'lgan mis o'tkazgichning $l = 2 \text{ m}$ uzunlikdagi bo'lagining qarshiligi $R = 4,46 \Omega$ bo'lsa, misning solishtirma qarshiligi topilsin?

3. Ko'ndalang kesim yuzasi $S = 1,4 \text{ mm}^2$ bo'lgan nixrom simdan tayyorlangan spiralning elektr qarshiligi $R = 25 \Omega$ bo'lsa, spiral simning uzunligi topilsin?

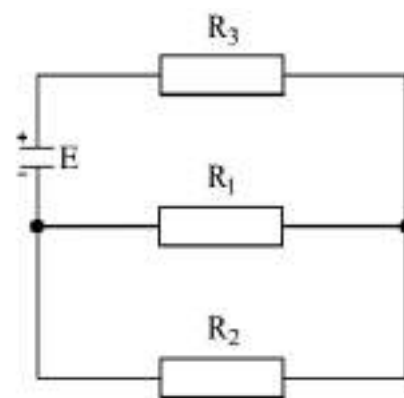
4. Konstantan simdan ikkita rezistor tayyorlandi. Agar rezistorlarni tayyorlashda bir xil $d = 0,2 \text{ mm}$ bo'lgan $l_1 = 100 \text{ m}$ va $l_2 = 150 \text{ m}$ uzunlikda similar ishlatilgan bo'lsa, ushbu rezistorlar elektr zanjiriga parallel ulangan holdagi ekvivalent qarshilik topilsin?

5. O'zaro ketma-ket ulangan $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 2,5 \Omega$ va $R_3 = 3 \Omega$ qarshilikli uchta rezistorning uchlaridagi kuchlanish $U = 6 \text{ V}$ bo'lsa, har bir qarshilikdagi U_1, U_2, U_3 , kuchlanishlarni toping?

6. Agar 3-rasmda tasvirlangan zanjirda $R_1 = 15 \Omega$, $R_2 = 30 \Omega$, $R_3 = 40 \Omega$, $R_4 = 33 \Omega$, $R_5 = 12 \Omega$, $R_6 = 45 \Omega$ bo'lsa, elektr zanjirning R_0 umumiy qarshiligi topilsin?



3-rasm

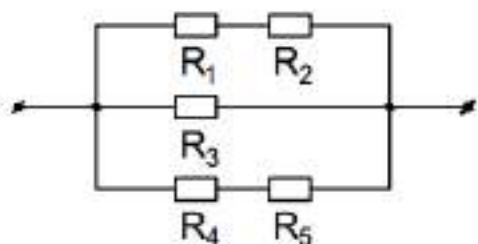


4-rasm

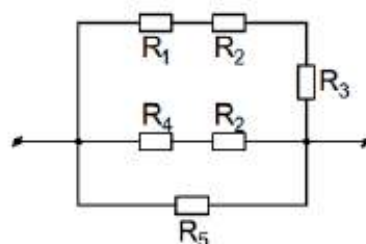
7. Elektr sxemasi 4-rasmda keltirilgan zanjirda tok manbaining elektr yurituvchi kuchi va ichki qarshiligi mos ravishda $\varepsilon = 100 V$, $r = 0,2 \Omega$ va tashqi qarshiliklar $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 18,8 \Omega$ bo'lsa, R_1 va R_2 qarshiliklardan o'tayotgan I_1 va I_2 tok kuchlari topilsin?

8. Har birining elektr yurituvchi kuchlari va ichki qarshiliklari bir xil, ya'ni $\varepsilon = 1,6 V$, $r = 1,2 \Omega$ bo'lgan $N=15$ ta element o'zaro $n=5$ tadan ketma-ket va $m=3$ tadan parallel ulanib hosil qilingan batareyaning ε_b elektr yurituvchi kuchi va r_b ichki qarshiligi topilsin?

9. Elektr zanjiriga $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$, $R_4 = 4 \Omega$, $R_5 = 8 \Omega$ qarshiliklar 5-rasmda ko'rsatilganidek ulangan bo'lsa elektr zanjirining ekvivalent qarshiligi topilsin?



5-rasm



6-rasm

10. Elektr zanjiriga $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 8 \Omega$, $R_4 = 6 \Omega$, $R_5 = 4 \Omega$ qarshiliklar 6-rasmda ko'rsatilganidek ulangan bo'lsa elektr zanjirining ekvivalent qarshiligi topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Elektr qarshilikning hosil bo'lishi jarayonining fizik mexanizmi va mohiyatini tushuntiring?
2. Moddalarning solishtirma elektr qarshiligini tashqi ta'sirlarga bog'liqligini qanday tushundingiz?
3. Nima sababdan harorat ortishi bilan o'tkazgichlarning solishtirma elektr qarshiligi ortadi, yarimo'tkazgich moddalarning solishtirma elektr qarshiligi kamayadi?
4. Murakkab yoki tarmoqlangan elektr zanjirlar deb qanday elektr zanjirlarga aytiladi?
5. Kirxgof qonunlarini ta'rifini ayting va matematik ifodalarini keltirib chiqaring?
6. Manbaning elektr yurituvchi kuchi bilan potentsiallar farqi yoki elektr kuchlanishining farqini tushuntiring?
7. Elektr zanjirida uzoq muddatli elektr toki mavjud bo'lishi shartlarini izohlang?
8. Elektr zanjirining ekvivalent qarshiligi deganda nimani tushundingiz va uning kattaligi asosan nimalarga bog'liqligini tushuntiring?
9. Manbaning elektr yurituvchi kuchini qanday kattaliklarga bog'liqligi va uning fizik mohiyatini tushuntiring?
10. Elektr tarmoq deganda nimani tushundingiz?

1.2. Elektr sig'im. Kondensatorli elektr zanjirlarini hisoblash.

Elektr sig'im – bu birlik potentsiallar farqida tizimning elektr zaryadini o'zida to'play olish qobiliyatini tavsiflovchi fizik kattalik.

Elektr sig'im umumiy holda $C = \frac{q}{U}$ (1.2.1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda q – zaryad miqdori.

Ikki qoplamali yassi kondensatorning elektr sig'imi $C = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ (1.2.2) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda ε – kattalik kondensator qoplamalari orasiga

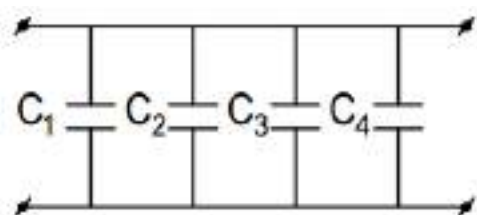
joylashtirilgan moddaning dielektrik singdiruvchanligi, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ elektr doimiysi, S – qoplamalarning sirt yuzasi, d – qoplamalar orasidagi masofa.

Kondensatorlar elektr zanjiriga parallel ulangan holatda (1.1-rasm) umumiy elektr sig‘im har bir kondensatorlar sig‘imlarining algebraik yig‘indisidan iborat bo‘lib, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

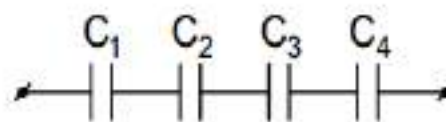
$$C_u = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i \quad (1.2.3).$$

Kondensatorlar elektr zanjiriga ketma-ket ulangan holatda (1.2-rasm) umumiy elektr sig‘im har bir kondensatorlarning sig‘imlarini teskari nisbatlarining algebraik yig‘indisidan iborat bo‘lib, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{1}{C_u} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (1.2.4).$$



1.1-rasm



1.2-rasm

Zaryadlangan kondensatorning elektr maydoni energiyasi qoplamalar orasidagi U – potentsiallar farqiga, kondensatorning C – elektr sig‘imiga, to‘plangan q – zaryad miqdoriga bog‘liq bo‘lib, quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2} \quad (1.2.5), \quad W = \frac{q \cdot U}{2} \quad (1.2.6), \quad W = \frac{q^2}{2 \cdot C} \quad (1.2.7).$$

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

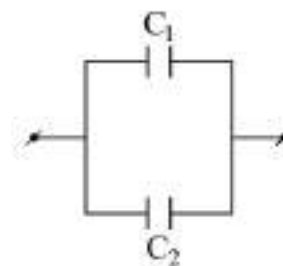
Elektr sig‘imi C_1 bo‘lgan va $U_1 = 15$ kuchlanishgacha zaryadlangan kondensator ikkinchi $C_2 = 30 \mu kF$ sig‘imi, $U_2 = 5 V$ kuchlanishgacha zaryadlangan kondensator bilan parallel ulandi (1-rasm). Kondensatorlar elektr zanjiriga ulangandan keyin qoplamalaridagi kuchlanish $U = 5 V$ bo‘lsa, birinchi kondensatorning elektr sig‘imi topilsin?

Berilgan:

$$C_2 = 30 \mu kF = 3 \cdot 10^{-5} F,$$

$$U_1 = 15 V, U_2 = 5 V, U = 5 V.$$

Topish kerak: $C_1 = ?$



1-rasm.

Yechish.

Turli ishorali zaryadlangan qoplamalari bilan ulangan kondensatorlar batariyasida to'plangan umumiy zaryad miqdori $q = C \cdot U$ (1) tenglama bilan ifodalanadi va miqdor jihatidan har bir kondensatordagi $q_1 = C_1 \cdot U_1$ (2) hamda $q_2 = C_2 \cdot U_2$ (3) zaryadlarning farqiga teng bo'ladi. Ushbu holatda o'zaro parallel ulangan C_1 va C_2 sig'imli kondensatorlarning umumiy elektr sig'imi $C = C_1 + C_2$ (3), ya'ni har bir kondensator elektr sig'imlarining algebraik yig'indisidan iborat bo'lib, kondensatorlarda to'plangan zaryad miqdorlarining nisbatiga ko'ra ikki xil holat ko'zatiladi. Agarda birinchi kondensatorda to'plangan zaryad miqdori, ikkinchi kondensatorda to'plangan zaryad miqdoridan katta bo'lsa, ya'ni $q_1 > q_2$, u holda

$$(C_1 + C_2) \cdot U = C_1 \cdot U_1 - C_2 \cdot U_2 \quad (4),$$

aks holda, ya'ni $q_1 < q_2$ бўлса, $(C_1 + C_2) \cdot U = C_2 \cdot U_2 - C_1 \cdot U_1$ (5) ifodalar o'rinli bo'ladi. Ushbu (4) va (5) tenglamalarni yechib, birinchi va ikkinchi holatlar uchun C_1 kondensatorning sig'imini ifodalovchi quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$C_1 \cdot U + C_2 \cdot U = C_1 \cdot U_1 - C_2 \cdot U_2 \quad (6),$$

$$C_2 \cdot U + C_2 \cdot U_2 = C_1 \cdot U_1 - C_1 \cdot U \quad (7), \text{ bu yerdan}$$

$$C_1 = \frac{C_2 \cdot (U + U_2)}{U_1 - U} \quad (8), q_1 > q_2 \text{ holatda}$$

$$C_1 \cdot U + C_2 \cdot U = C_2 \cdot U_2 - C_1 \cdot U_1 \quad (9)$$

$$C_1 \cdot (U + U_1) = C_2 \cdot U_2 - C_2 \cdot U \quad (10) \text{ bu yerdan}$$

$$C_1 = \frac{C_2 \cdot (U_2 - U)}{U + U_1} \quad (11) q_1 < q_2 \text{ holatda.}$$

Tenglamalardagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, birinchi kondensatorning C_1 -sig'imini quyidagicha aniqlaymiz:

$$C_1 = \frac{C_2 \cdot (U + U_2)}{U_1 - U} = \frac{3 \cdot 10^{-5} \cdot (4 + 5)}{15 - 4} \approx 2,45 \cdot 10^{-5} F.$$

$$C_1 = \frac{C_2 \cdot (U_2 - U)}{U + U_1} = \frac{3 \cdot 10^{-5} \cdot (5 - 4)}{4 + 15} \approx 1,6 \cdot 10^{-6} F.$$

Javob: Kondensatorlarda to'plangan zaryad miqdorlarning nisbatiga ko'ra birinchi kondensatorning elektr sig'imi $C_1 = 2,45 \cdot 10^{-6} F$ yoki $C_1 = 1,6 \cdot 10^{-6} F$ bo'lishi mumkin.

Masala.

Yassi kodensator qoplamalari orasiga $d_1 = 0,2 \text{ mm}$ qalinlikdagi shisha, $d_2 = 0,6 \text{ mm}$ qalinlikdagi slyuza, $d_3 = 0,4 \text{ mm}$ qalinlikdagi parafin joylashtirilgan. (1-rasm).

Agarda kondensator qoplamalari orasiga joylashtirilgan dielektrik moddalarning yuzalari kondensator qoplamalarining yuzalari bilan bir xil $S = S_1 = S_2 = S_3 = 240 \text{ sm}^2$ bo'lsa, kondensatorning elektr sig'imi topilsin?

Berilgan:

$$d_1 = 0,2 \text{ mm} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m},$$

$$d_2 = 0,6 \text{ mm} = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ m},$$

$$\varepsilon_2 = 6, \varepsilon_1 = 7,$$

$$d_3 = 0,4 \text{ mm} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ m},$$

$$S = 240 \text{ sm}^2 = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2.$$

Topish kerak: $C = ?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilgan holda, ya'ni yassi kondensatorning qoplamalari orasiga yupqa plastina shaklida dielektrik modda joylashtirilsa, u holda har bir dielektrik plastinaning sirtlarida qarama-qarshi ishorali zaryadlar induksiyanadi. Shu sababli qoplamalar orasida dielektrni modda plastina shaklida joylashtirilgan yassi kondensatorni o'zaro ketma-ket ulangan kondensatorlar to'plami sifatida qaralganda alohida kondensatorlarning elektr sig'implari:



1-rasm.

$$C_1 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d_1} \quad (1), \quad C_2 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d_2} \quad (2), \quad C_3 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d_3} \quad (3)$$

tenglamalar bilan ifodalanadi.

Ushbu holatda yassi kondensatorning elektr sig'imini quyidagi shaklda ifodalash mumkin:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (4).$$

Agarda (1), (2), (3) ifodalarni (4) tenglamaga qo'yib, tegishli soddalashtirish amallari bajarilsa, ushbu holatda kondensator sig'imini ifodalovchi quyidagi tenglamani keltirib chiqarish mumkin:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{\varepsilon_0} \left(\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2} + \frac{d_3}{\varepsilon_3} \right) \quad (5).$$

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kondensator sig'imini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \frac{1}{C} &= \frac{1}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2,4 \cdot 10^{-2}} \cdot \left(\frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{7} + \frac{0,6 \cdot 10^{-3}}{6} + \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{2} \right) \approx \\ &\approx 1,55 \cdot 10^9 \frac{1}{F}. \end{aligned}$$

Bu yerdan kondensatorning elektr sig'imini topsak:

$$C \approx 6,45 \cdot 10^{-9} F = 6,45 nF.$$

Javob: $C \approx 6,45 \cdot 10^{-9} F = 6,45 nF$.

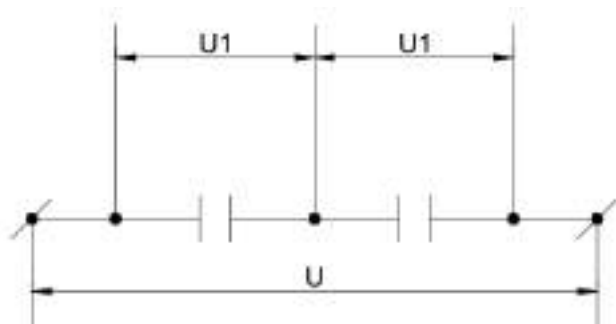
Masala.

Elektr sig'implari mos ravishda $C_1 = 5 \mu kF$ va $C_2 = 2 \mu kF$ bo'lgan yassi kondensatorlar $U = 220 V$ o'zgarmas kuchlanish elektr zanjiriga ketma-ket ulangan bo'lsa (1-rasm), har bir kondensator qisqichdagi kuchlanish tushuvlari U_1 va U_2 topilsin?

Berilgan:

$$U = 220 V, \quad C_1 = 5 \mu kF = 5 \cdot 10^{-6} F, \quad C_2 = 2 \mu kF = 2 \cdot 10^{-6} F.$$

Topish kerak: $U_1 = ? \quad U_2 = ?$



1-rasm.

Yechish.

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra C_1 va C_2 sig'imli kondensatorlar elektr zanjiriga o'zaro ketma-ket ulanganligi sababli, kondensatorlarni qoplamalarida to'plangan zaryad miqdorlari bir xil, ya'ni $q_1 = q_2$ (1) bo'ladi. Ushbu xolatda kondensator sig'imini umumiy holda ifodalovchi $C = \frac{q}{U}$ (2) ifodasini xar bir kondensator sig'imi uchun qo'llab va hosil qilingan quyidagi:

$$C_1 = \frac{q_1}{U_1} \quad (3), \quad C_2 = \frac{q_2}{U_2} \quad (4)$$

(3), (4) ifodalarni (1) tenglamaga qo'yib, quyidagi tenglikni keltirib chiqaramiz:

$$C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2 \quad (5) \text{ bu yerdan } U_2 = \frac{C_1}{C_2} \cdot U_1 \quad (6).$$

Elektr zanjir uchlaridagi U -kuchlanish har bir kondensatorda U_1 va U_2 kuchlanish tushuvlarini yig'indisidan iborat ekanligini hisobga olib, birinchi kondensatordagi U_1 kuchlanishni ifodalovchi tenglamani quyidagicha keltirib chiqaramiz:

$$U = U_1 + U_2 = U_1 + \frac{C_1}{C_2} \cdot U_1 \quad (7) \text{ bu yerdan } U_1 = \frac{C_2 \cdot U}{C_1 + C_2} \quad (8).$$

Tenglamalardagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, C_1 sig'imli kondensatordagi U_1 -kuchlanishni quyidagiga aniqlaymiz:

$$U_1 = \frac{C_2 \cdot U}{C_1 + C_2} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 220}{5 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-6}} \approx 62,86 \text{ V}.$$

Birinchi kondensatordagi U_1 kuchlanishning hisoblab topilgan son qiymatini
(6) tenglamaga qo'yib, ikkinchi kondensatordagi U_2 -kuchlanishni aniqlaymiz:

$$U_2 = \frac{C_1}{C_2} \cdot U_1 = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot 62,86 \text{ V} \approx 157,14 \text{ V}.$$

Javob: $U_1 = 62,86 \text{ V}$, $U_2 = 157,14 \text{ V}$.

Masala.

$U_1 = 600 \text{ V}$ kuchlanishda zaryadlangan $C_1 = 6 \mu\text{kF}$ sig'imli kondensator zaryadlanmagan $C_2 = 5 \mu\text{kF}$ sig'imli kondensatorga parallel ulangan elektr zanjiridagi umumiy sig'im va potensiallar farqi topilsin?

Berilgan:

$$U_1 = 600 \text{ V}, C_1 = 6 \mu\text{kF} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ F}, C_2 = 5 \mu\text{kF} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ F}.$$

Topish kerak: $C = ?$ $U = ?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilishiga asosan C_1 va C_2 sig'imli kondensatorlar o'zaro parallel ulanganligi sababli kondensatorlar batareyasining umumiy C - elektr sig'imi $C = C_1 + C_2$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan soni qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kondensatorlar batareyasining C - sig'imini quyidagicha aniqlaymiz:

$$C = C_1 + C_2 = 6 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ F}.$$

Elektr sig'imlari C_1 va C_2 bo'lgan kondensatorlar o'zaro parallel ulanganligi sababli umumiy C -sig'im $C = C_1 + C_2$ va ikkinchi kondensatorning zaryadlanmaganligi e'tiborga olinsa, ushbu holatda kondensatorlar ulangan elektr zanjirida kondensator qoplamalari orasidagi potensiallar farqi qo'yidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$(C_1 + C_2) \cdot U = C_1 \cdot U_1 \quad (2) \text{ bu yerdan}$$

$$U = \frac{C_1 \cdot U_1}{C_1 + C_2} = \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 600}{6 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6}} \approx 327 \text{ V}.$$

Javob: $C = 11 \cdot 10^{-6} \text{ F}$, $U = 327 \text{ V}$.

Masala.

Kondensator ulangan o'zgaruvchan tok elektr zanjirida kuchlanishning effektiv qiymati $U_{ef} = 220 V$, chastotasi $\nu = 50 Gts$, tok kuchining effektiv qiymati $I_{ef} = 5 A$ bo'lsa, kondensatorning C - sig'imi topilsin?

Berilgan:

$$U_{ef} = 220 V, I_{ef} = 5 A, \nu = 50 Gts.$$

Topish kerak: $C = ?$

Yechish.

O'zgaruvchan tok elektr zanjiriga ulangan kondensatorning sig'imi tok kuchining ω -siklik chastotasi va X_C -sig'im qarshilikka bog'liq bo'lib, $C = \frac{1}{\omega \cdot X_C}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Tenglamadagi ω -siklik chastotasining $\omega = 2\pi\nu$ (2) va X_C - sig'im qarshilikning $X_C = \frac{U_{ef}}{I_{ef}}$ (3) ifodalarini (1) tenglamaga qo'yib, kondensator sig'imining quyidagi ifodasini hosil qilamiz:

$$C = \frac{1}{2\pi\nu \cdot \frac{U_{ef}}{I_{ef}}} = \frac{I_{ef}}{2\pi\nu \cdot U_{ef}} \quad (4).$$

Tenglamadagi qattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, o'zgaruvchan tok elektr zanjiriga ulangan kondensatorning C -sig'imini qo'yidagicha aniqlaymiz:

$$C = \frac{I_{ef}}{2\pi\nu \cdot U_{ef}} = \frac{5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 220} \approx 7,2 \cdot 10^{-6} F.$$

Javob: $C = 7,2 \cdot 10^{-6} F$.

Masala.

O'zgaruvchan tok elektr zanjiriga $C = 5 \mu kF$ sig'imli kondensator ulangan. Agarda elektr zanjirida kuchlanishning effektiv qiymati $U_{ef} = 220 V$, chastotasi $\nu = 50 Gts$ bo'lsa, tok kuchining I_{ef} – effektiv qiymati topilsin?

Berilgan:

$$C = 5 \mu kF = 5 \cdot 10^{-6} F, \nu = 50 Gts, U_{ef} = 220 V.$$

Topish kerak: $I_{ef} = ?$

Yechish.

Kondensatorning ulangan o'zgaruvchan tok elektr zanjirida sig'im qarshilik $X_C = \frac{1}{\omega C}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda ω - kattalik siklik (doiraviy) chastota $\omega = 2\pi\nu$ (2). Sig'im qarshilikni $X_C = \frac{U_{ef}}{I_{ef}}$ (3) ifodalovchi tenglamasiga (1) va (2) ifodalarni qo'yib, tok kuchining I_{ef} - effektiv qiymatini ifodalovchi quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$I_{ef} = 2\pi\nu \cdot C \cdot U_{ef} \text{ (4).}$$

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, tok kuchining I_{ef} -effektiv qiymatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$I_{ef} = 2\pi\nu \cdot C \cdot U_{ef} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 220 \approx 0,35 \text{ A.}$$

Javob: $I_{ef} = 0,35 \text{ A.}$

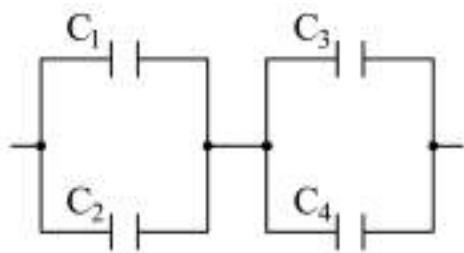
Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Kondensatorlar elektr zanjiriga 1-rasmda ko'rsatilganidek qilib ulangan. Kondensatorlarning elektr sig'implari mos ravishda $C_1 = 0,2 \mu kF$, $C_2 = 0,1 \mu kF$; $C_3 = 0,3 \mu kF$; $C_4 = 0,4 \mu kF$ bo'lsa, kondensatorlar batareyasining C to'liq elektr sig'imi aniqlansin.

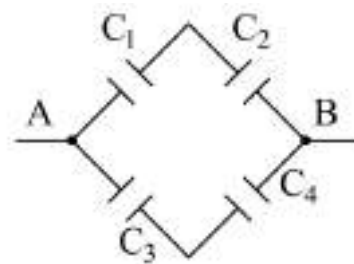
2. Elektr sig'implari $C_1 = 0,2 \mu kF$, $C_2 = 0,6 \mu kF$; $C_3 = 0,3 \mu kF$; $C_4 = 0,4 \mu kF$ bo'lgan kondensatorlar 2-rasmda ko'rsatilganidek qilib elektr zanjiriga ulangan bo'lib, A va B nuqtalar orasidagi potentsiallar farqi $U = 320V$ bo'lsa, har bir kondensator qoplamalaridagi potentsiallar farqi U_i va zaryad miqdori q_i topilsin ($i = 1,2,3,4$)?

3. Elektr sig'implari $C_1 = 10 \text{ nF}$, $C_2 = 30 \text{ nF}$; $C_3 = 6 \text{ nF}$; $C_4 = 20 \text{ nF}$ bo'lgan kondensatorlar 3-rasmda tasvirlanganidek elektr zanjiriga ulangan. Kondensatorlar batareyasining C to'liq elektr sig'imi topilsin?

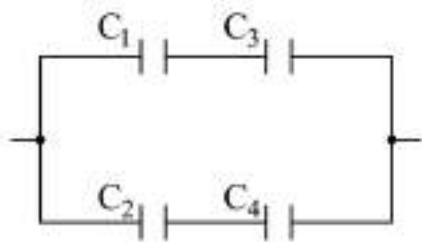
4. Umumiy sig'imi $C = 2,25 \mu kF$ bo'lishi uchun elektr sig'implari $C_1 = 2 \mu kF$, $C_2 = 0,2 \mu kF$, $C_3 = 0,05 \mu kF$ bo'lgan uchta kondensator qanday usulda ulanishi kerak?



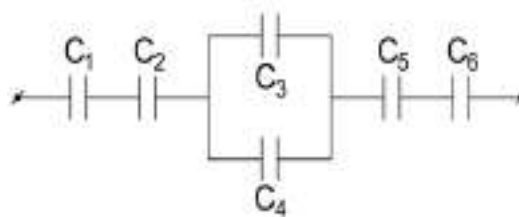
1-rasm



2-rasm



3-rasm



4-rasm

5. Har birining elektr sig'implari $C_1 = C_2 = C_3 = 2,5 \mu kF$ bo'lgan uchta kondensatorni ketma-ket va parallel ulangan holdagi umumiy elektr sig'implarining nisbati aniqlansin?

6. Elektr sig'implari $C_1 = 150 nF$, $C_2 = 200 nF$, $C_3 = 250 nF$, $C_4 = 300 nF$, $C_5 = 400 nF$, $C_6 = 500 nF$ bo'lgan oltita kondensator 4-rasmda tasvirlanganidek elektr zanjiriga ulangan. Kondensatorlar batareyasining umumiy elektr sig'imi topilsin?

7. Qoplamalari orasidagi kuchlanish $U = 50 V$, elektr sig'imi $C = 500 nF$ bo'lgan yassi kondensator qoplamalari orasiga joylashtirilgan dielektrik moddaning dielektrik singdiruvchanligi $\epsilon = 6$, qalinligi $d = 2 \text{ mm}$ bo'lsa, qoplamalarning yuzasi va elektr maydon energiyasi toplisin?

8. Kondensator qoplamalari orasidagi kuchlanishning o'zgarish $U = const$ qiymatida qoplamalar orasiga joylashtirilgan moddaning dielektrik singdiruvchanligi 5 marta ortsa, kondensatorning elektr maydon energiyasi qanday o'zgaradi?

9. O'zgaruvchan va o'zgarmas sig'imli kondensatorlar o'zaro parallel ulangan. Agarda o'zgarmas sig'imli kondensatorning elektr sig'imi $C_1 = 20 nF$, o'zgaruvchan sig'imli kondensatorning elektr sig'imi $C_2 = 30 nF$ dan $C_3 = 100 nF$ gacha o'zgarsa, kondensatorlar batareyasining umumiy sig'imi qanday oraliqda o'zgarishi topilsin?

10. O'zgaruvchan va o'zgarmas sig'imli kondensatorlar o'zaro elektr zanjiriga ketma-ket ulangan bo'lib, agarda o'zgarmas sig'imli kondensatorning elektr sig'imi $C_1 = 800 \text{ nF}$ bo'lib, o'zgaruvchan kondensatorning elektr sig'imi $C_2 = 200 \text{ nF}$ dan $C_3 = 400 \text{ nF}$ gacha o'zgarsa, kondensatorlar batareyasining elektr sig'imini o'zgarishi oralig'i topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Elektr sig'im qanday kattaliklarga bog'liqligi va uning fizik ma'nosini tushuntiring?
2. Kondensatorlarning qanday turlarini bilasiz va ulardan amalda qanday maqsadlarda foydalaniladi?
3. Kondensatorning elektr maydoni energiyasi deganda nimani tushundingiz va uning amaliy ahamiyatini izohlang?
4. Yassi metal qoplamali kondensatorlarda dielektrik moddalardan nima maqsadda foydalanilgan?
5. Dielektrik moddalarning dielektrik singdiruvchanligi qaysi parametrlarga bog'liq va uning fizik ma'nosi nimadan iborat?
6. Kondensatorlarni teshilishi deganda nimani tushundingiz va uning sodir etilishi jarayonining fizik mexanizmini tushuntiring?
7. Kondensatorlarning teshilishi jarayonining qanday turlarini bilasiz va uning amaliy ahamiyati nimalardan iboratligini tushuntiring?
8. Kondensatorlarni teshilishi hodisasini qanday turlarini, ularning amaliy ahamiyatini bilasiz va har birini sodir etilishi jarayonining fizik mexanizmini batafsil tushuntiring?
9. Bir necha kondensatorlar nima maqsadda elektr zanjiriga parallel ulanishining amaliy ahamiyatini tushuntiring?
10. Kondensatorlarda qo'llaniladigan dielektrik moddalarning amaliy ahamiyatini tushuntiring?

1.3.Induktivlik. Induktiv g'altakli elektr zanjirlarini hisoblash.

Asosiy tushunchalar.

Induktiv g'altak – o'zida magnit maydon energiyasini jamlovchi element bo'lib, undagi kuchlanish va tok kuchining o'zaro bog'liqligi quyidagicha ifodalanadi:

$$U_L = L \frac{dI}{dt} \quad (1.3.1),$$

bu yerda L – kattalik g'altakning induktivligi deb, induktiv g'altak orqali birlik miqdorida elektr toki o'tishi natijasida hosil bo'lgan magnit oqimiga son jihatidan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.

Induktiv g'altak o'zgaruvchan tok elektr zanjiriga ulanganda vujudga keladigan X_L - reaktiv elektr qarshilikka induktiv qarshilik deyiladi va ushbu kattalik elektr tokining siklik chastotasiga va g'altakning induktivligiga to'g'ri proporsional bo'lib, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$X_L = \omega L \quad (1.3.2).$$

Induktiv g'altaklar elektr zanjiriga o'zaro ketma-ket ulanganda tizimning umumiy induktivligi har bir g'altakni induktivliklarining algebraik yig'indisidan iborat bo'lib, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$L_u = L_1 + L_2 + \dots + L_n = \sum_{i=1}^n L_i \quad (1.3.3).$$

Elektr zanjiriga o'zaro ketma-ket ulangan induktiv g'altaklar orasida magnit bog'lanish bo'lsa, umumiy induktivlik quyidagicha ifodalanadi:

$$L_u = L_1 + L_2 \pm 2M \quad (1.3.4)$$

Induktiv g'altaklar tizimining umumiy induktivligini hisoblashda har bir g'altakdagi magnit oqimlarining yo'nalishlari bir xil bo'lsa (1.3.4) tenglamaga $+2M$, qarama-qarshi yo'nalishda bo'lsa $-2M$ kattalikdagi tuzatmalar kiritiladi. Elektr zanjiriga induktiv g'altaklar parallel ulanganda tizimning umumiy induktivligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{1}{L_u} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i} \quad (1.3.5).$$

Masallarni yechish namunalari.

Masala.

O'zgaruvchan tok elektr zanjiriga induktiv g'altak ulangan. Agarda g'altakning aktiv qarshiligi hisobga olmasa bo'ladigan darajada kichik bo'lsa, tok kuchi tebranishlari chastotasini $\nu = 50 \text{ Gts}$, kuchlanish va tok kuchining effektiv qiymatlarini mos ravishda $U_{ef} = 220 \text{ V}$, $I_{ef} = 6 \text{ A}$ deb hisoblab, g'altakning induktivligi topilsin?

Berilgan.

$$U_{ef} = 220 \text{ V}, \quad I_{ef} = 6 \text{ A}, \quad \nu = 50 \text{ Gts}, \quad R = 0.$$

Topish kerak: $R = ?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra o'zgaruvchan tok elektr zanjiriga ulangan induktiv g'altakning aktiv qarshiligi deyarli $R \approx 0$ bo'lganligi sababli g'altakning induktiv qarshiligi $X_L = \omega L$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Bu yerda ω -sikliik chastotaning $\omega = 2\pi\nu$ (2) ifodasini $X_L = \frac{U_{ef}}{I_{ef}}$ (3) tenglamaga qo'yib, (1) ifoda bilan tenglashtirib, induktiv g'altakning L -induktivligini ifodalovchi quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$L = \frac{U_{ef}}{I_{ef} \cdot 2\pi\nu} \quad (4).$$

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib tegishli matematik amallarni bajarib, g'altakning induktivligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$L = \frac{U_{ef}}{I_{ef} \cdot 2\pi\nu} = \frac{220}{6 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50} \approx 0,12 \text{ Gn}.$$

Javob: $L = 0,12 \text{ Gn}$.

Masala.

Tebranish chastotasi $\nu_1 = 50 \text{ Hz}$ va $\nu_2 = 400 \text{ Hz}$ bo'lgan o'zgaruvchan tok elektr zanjirlariga 1-rasmga ko'rsatilganidek ulangan g'altakning induktivligi $L = 1,2 \text{ Gn}$ bo'lsa, g'altakning X_{L_1} va X_{L_2} induktiv qarshiliklari topilsin?

Berilgan:

$$\nu_1 = 50 \text{ Hz}, \nu_2 = 400 \text{ Hz}, L = 1,2 \text{ Gn.}$$

Topish kerak: $X_L = ?$

Yechish:

O'zgaruvchan tok elektr zanjiriga ulangan induktiv g'altakning induktiv qarshiligi umumiy holda $X_L = \omega \cdot L$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda ω -kattalik siklik (doiraviy) chastotani $\omega = 2\pi\nu$ (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib, induktiv qarshilikning umumiy holda quyidagi ifodasini hosil qilishimiz mumkin:

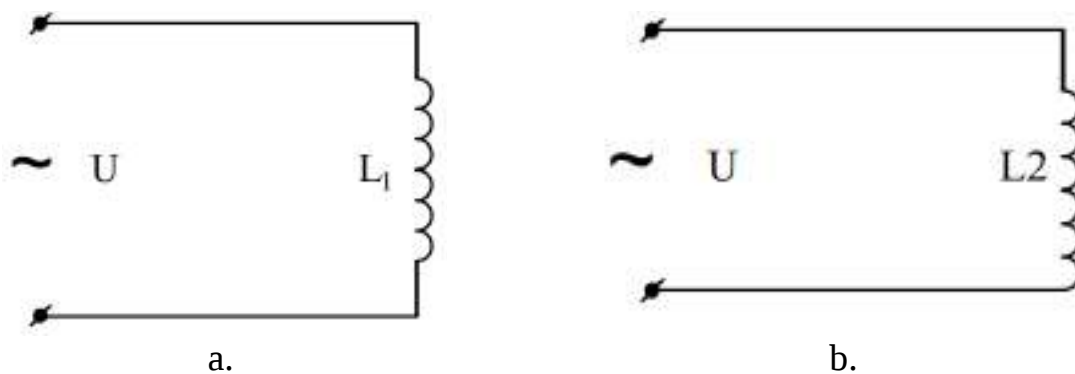
$$X_L = 2\pi\nu \cdot L \text{ (3).}$$

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, 1 va 2 - xususiy holatlar uchun g'altakning X_{L_1} va X_{L_2} induktiv qarshiliklarni qo'yidagicha aniqlaymiz:

$$X_{L_1} = 2\pi\nu_1 \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,2 \approx 377 \Omega.$$

$$X_{L_2} = 2\pi\nu_2 \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 400 \cdot 1,2 \approx 3 \text{ k}\Omega.$$

Javob: $X_{L_1} \approx 377 \Omega, X_{L_2} \approx 3 \text{ k}\Omega.$



1-rasm

Masala.

O'zgaruvchan tok zanjirida kuchlanishning effektiv qiymati $U_{ef} = 220 \text{ V}$, chastotasi $\nu = 400 \text{ Gts}$ bo'lib, g'altakning induktiv qarshiligi $X_L = 500 \Omega$ bo'lsa, undan o'tayotgan tok kuchining I_{ef} - effektiv qiymati va g'altakning induktivligi topilsin?

Berilgan:

$$\nu = 400 \text{ Gts}, X_L = 500 \Omega, U_{ef} = 220 \text{ V}.$$

Topish kerak: $I_0 = ?$, $L = ?$

Yechish:

Induktiv g'altak ulangan o'zgaruvchan tok elektr zanjirida g'altak orqali oqib o'tayotgan tok kuchining I_{ef} - effektiv qiymati, amplituda qiymatiga nisbatan $\sqrt{2}$ marta kichik bo'ladi va quyidagi $I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$, (1) tenglama bilan ifodalanadi. Masalaning shartiga ko'ra o'zgaruvchan tok elektr zanjiriga faqat induktiv g'altak ulanganligi sababli, elektr zanjirning to'la Z –qarshiligi X_L -induktiv qarshilikdan iborat bo'lib, $Z = X_L = \omega L$ (2) shakldagi tenglama bilan ifodalanadi.

Zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan elektr zanjirida tok kuchining effektiv qiymatini $I_{ef} = \frac{U_{ef}}{Z} = \frac{U_{ef}}{X_L}$ (3) tenglama bilan ifodalanishini hisobga olgan holda tok kuchining (3) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, tok kuchining I_0 - amplituda qiymatini qo'yidagicha aniqlaymiz:

$$I_0 = I_{ef} \cdot \sqrt{2} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ef}}{X_L} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{500} \approx 0,62 \text{ A}.$$

Ushbu xususiy holat uchun g'altakning induktivligini (2) tenglamadan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi\nu} = \frac{500}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \approx 1,6 \text{ Gn}.$$

Javob: $I_0 \approx 0,62 \text{ A}$, $L \approx 1,6 \text{ Gn}$.

Masala.

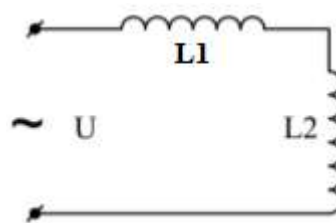
O'zgaruvchan tok elektr zanjiriga induktivliklari $L_1 = 0,5 \text{ mGn}$ va $L_2 = 0,7 \text{ mGn}$ bo'lgan g'altaklar 2-rasmda ko'rsatilganidek o'zaro ketma-ket ulangan. Agarda g'altaklarning o'zaro induktivligi $M_L = 0,2 \text{ mGn}$ bo'lsa, g'altaklarning umumiy L – induktivligi, magnit oqimlarining yo'nalishlari bir xil va qarama-qarshi bo'lgan holatlar uchun topilsin?

Berilgan:

$$L_1 = 0,5 \text{ mGn},$$

$$L_2 = 0,7 \text{ mGn},$$

$$M_L = 0,2 \text{ mGn}.$$



2-rasm.

Topish kerak:

$$L_{U_1} = ?, L_{U_2} = ?$$

Yechish.

O'zgaruvchan tok elektr zanjiriga induktiv g'altaklar o'zaro ketma-ket ulangan holda g'altakning umumiy induktivligi $L_U = L_1 + L_2$ (1) tenglama bilan ifodalanib, induktiv g'altaklar cho'lg'amidagi magnit oqimlarining yo'nalishlari bir xil bo'lgan holda $+2M$, qarama-qarshi bo'lgan holda $-2M$ kattalikdagi tuzatmalar kiritilishi natijasida (1) tenglama quyidagi shakllarda ifodalanadi. Magnit oqimlarning yo'nalishlari bir xil bo'lgan holda: $L_U = L_1 + L_2 + 2M$ (2), magnit oqimlarining yo'nalishlari qarama-qarshi bo'lgan holda: $L_U = L_1 + L_2 - 2M$ (3), bu yerda M – kattalik induktiv g'altaklarning o'zaro induktivligi.

Ushbu holatda (2) va (3) tenglamalardagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, induktiv g'altaklardagi magnit oqimlarining bir tomonga va qarama-qarshi yo'nalishdagi holatlar uchun umumiy induktivliklarini qo'yidagicha aniqlaymiz:

$$L_{U_1} = L_1 + L_2 + 2M_L = 0,5 + 0,7 + 2 \cdot 0,2 \approx 1,6 \text{ mGn}.$$

$$L_{U_2} = L_1 + L_2 - 2M_L = 0,5 + 0,7 - 2 \cdot 0,2 \approx 0,8 \text{ mGn}.$$

$$\text{Javob: } L_{U_1} = 1,6 \text{ mGn}, L_{U_2} = 0,8 \text{ mGn}.$$

Masala.

O'zgaruvchan tok elektr zanjiriga ulangan ikki g'altakning o'zaro bog'lanish koefitsiyenti $K = 0,8$ o'zaro induktivligi $M_L = 30 \text{ mGn}$, birinchi g'altakning induktivligi $L_1 = 60 \text{ mGn}$ bo'lsa, ikkinchi g'altakning induktivligi topilsin?

Berilgan:

$$K = 0,8, M_L = 30 \text{ mGn}, L_1 = 60 \text{ mGn}.$$

Topish kerak: $L_2 = ?$

Yechish.

O'zgaruvchan tok elektr zanjiriga ulangan ikki induktiv g'altakning o'zaro M_L – induktivligi umumiy holda quyidagi $M_L = K\sqrt{L_1 \cdot L_2}$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda K – kattalik birinchi g'altak magnit oqimining qancha qismi ikkinchi g'altakning o'ramlarini kesib o'tganligini ko'rsatuvchi ikki induktiv g'altakning o'zaro bog'lanish koeffitsienti. Masalaning shartida aniqlanishi talab etilgan ikkinchi g'altakning L_2 – induktivligini (1) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$L_1 \cdot L_2 = \left[\frac{M_L}{K} \right]^2 \quad (2), \text{ bu yerdan } L_2 = \frac{M_L^2}{k^2 \cdot L_1} = \frac{30^2}{0,8^2 \cdot 60} \approx 23,4 \text{ Gn}.$$

Javob: $L_2 \approx 23,4 \text{ Gn}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Induktiv g'altak chastotasi $\nu_1 = 50 \text{ Gts}$ va $\nu_2 = 300 \text{ Gts}$ bo'lgan o'zgaruvchan tok elektr zanjirlariga ulangan holatlarda induktiv qarshiliklar topilsin? Hisoblash ishlarini bajarishda g'altakning induktivligi $L = 2 \text{ Gn}$ deb hisoblansin.

2. Induktiv g'altakning aktiv qarshiligi hisobga olmasa bo'ladigan darajada kichik deb hisoblab, $\nu = 60 \text{ Gts}$ chastotali o'zgaruvchan tok elektr zanjiriga ulangan g'altakning induktivligi topilsin? Hisoblash ishlarini bajarishda induktiv g'altak uchlaridagi kuchlanishning effektiv qiymati $U_{ef} = 200 \text{ V}$, tok kuchining effektiv qiymati $I_{ef} = 4 \text{ A}$ deb hisoblansin?

3. Elektr kuchlanishining effektiv qiymati $U_{ef} = 220 \text{ V}$, chastotasi $\nu = 500 \text{ Gts}$ bo'lgan tarmoqqa ulangan g'altakning induktiv qarshiligi $X_L = 1,2 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, g'altak orqali oqib o'tayotgan tok kuchining I_0 – amplituda qiymati va g'altakning induktivligi topilsin?

4. Elektr zanjiriga ketma-ket ulangan g'altaklarning induktivligi $L_1 = 2 \text{ mGn}$ va $L_2 = 6 \text{ mGn}$, o'zaro induktivligi $M = 30 \text{ mGn}$ bo'lsa, umumiy induktivlik topilsin?

5. Elektr zanjiriga parallel ulangan g'altaklarning induktivligi $L_1 = 0,5 \text{ mGn}$ va $L_2 = 0,8 \text{ mGn}$ bo'lsa, induktiv g'altaklarning induktivligi aniqlansin?

6. G'altakning induktivligi $L = 0,2 \text{ Gn}$, o'ramlar soni $N = 120$ ta, magnit oqimi $\Phi = 0,05 \text{ Vb}$ bo'lsa, g'altak orqali oqib o'tayotgan tok kuchi aniqlansin?

7. Elektr zanjiriga o'zaro ketma-ket ulangan induktiv g'altaklardan birinchisining induktivligi $L_1 = 0,5 \text{ mGn}$, ikkinchisidiki $L_2 = 0,8 \text{ mGn}$, o'zaro induktivligi $M = 0,84 \text{ mGn}$ bo'lsa, magnit oqimlarining bir xil va qarama-qarshi yo'nalishlari uchun g'altaklarning umumiy induktivligi topilsin?

8. Induktivliklari $L_1 = 0,5 \text{ mGn}$, $L_2 = 0,6 \text{ mGn}$, $L_3 = 0,8 \text{ mGn}$ bo'lgan g'altaklar elektr zanjiriga ketma-ket ulangan, g'altaklar tizimining umumiy induktivligi aniqlansin?

9. Induktivliklari $L_1 = 0,2 \text{ mGn}$, $L_2 = 0,4 \text{ mGn}$, $L_3 = 0,8 \text{ mGn}$ bo'lgan g'altaklar elektr zanjiriga o'zaro parallel ulangan, g'altaklar tizimining umumiy induktivligi topilsin?

10. Ikkita induktiv g'altakning bog'lanish koeffitsiyenti $k = 0,8$, o'zaro induktivligi $M = 30 \text{ mGn}$, birinchi g'altakning induktivligi $L_1 = 0,2 \text{ mGn}$ bo'lsa, ikkinchi g'altakning induktivligi aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

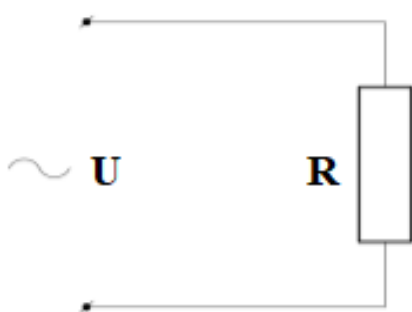
1. Induktivlik deb nimaga aytiladi va uning fizik mohiyatini qanday tushundingiz?
2. Induktiv g'altaklar amaliyotda qanday maqsadlarda ishlatiladi va ularning amaliy ahamiyati nimalardan iborat ekanligini tushuntiring?
3. Induktiv qarshilikni hosil bo'lishining fizik mexanizmini tushuntiring?
4. G'altakning induktivligini haroratga bog'liqligini fizik mexanizmini qanday tushundingiz?
5. Amalda bir necha induktiv g'altaklarni ketma-ket yoki parallel ulanishi nima maqsadlarda amalga oshiriladi?
6. Ikkita g'altakning o'zaro induktivligi asosan g'altaklarga tegishli bo'lgan qaysi xususiy kattaliklariga bog'liq bo'ladi?
7. G'altaklarni bog'lanish koeffitsiyentining fizik ma'nosini tushuntiring?
8. Induktivlikni magnit oqimiga bog'liqligini fizik mohiyatini izohlang?
9. Induktiv g'altaklarning afzallik va kamchiliklarini tushuntiring?

10. Zamonaviy elektronika sanoatida induktiv g'altakning o'lchamini kichraytirish maqsadida qanday uslublardan foydalanilmoqda?

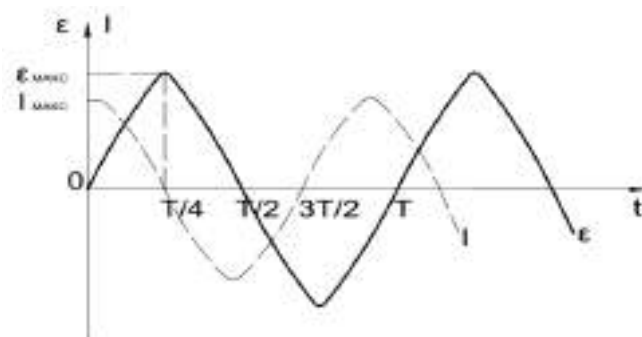
1.4. Rezistor, kondensator va induktiv g'altaklar ulangan o'zgaruvchan tok elektr zanjirlarini hisoblash.

Asosiy tushunchalar.

O'zgaruvchan tok elektr zanjirida aktiv qarshilik. Elektr zanjiri o'tkazgichlardan va induktivligi uncha katta bo'lmagan, ammo elektr qarshiligi R_0 ancha katta bo'lgan yuklamadan iborat bo'lsin (1.4.1-rasm). Bu yerdagi R_0 kattalik elektr qarshilik yoki *aktiv qarshilik* deb ataladi.



1.4.1-rasm



1.4.2-rasm

Aktiv qarshilikdagi tok kuchi va kuchlanishning tebranishi grafik ravishda ifodalansa, 1.4.2-rasmda tasvirlanganidek grafik bog'lanishiga ega bo'lib, aktiv qarshilikli o'tkazgichda tok kuchining tebranishi faza bo'yicha kuchlanish fazasi bilan bir xil bo'ladi va tok kuchining amplituda qiymati quyidagi tenglikdan aniqlanadi:

$$I_M = \frac{U_m}{R} \quad (1.4.1).$$

O'zgaruvchan tok elektr zanjirida sig'im. O'zgaruvchan tok elektr zanjirida kondensator davriy ravishda zaryadlanib va razryadlanib, tashqi zanjirda o'zgaruvchan tokni saqlab turadi. Ushbu holatda kondensator o'zgaruvchan tok uchun sig'im qarshilik deb ataluvchi chekli qarshilikdan iborat bo'lib qoladi.

Kondensatorga o'zgaruvchan sinusoidal $\varepsilon = \varepsilon_M \cdot \sin \omega t$ (1.4.2) kuchlanish (EYK) berilgan holda o'tkazgich simlardagi omik qarshilik juda kichik bo'lganidan, ulardagi kuchlanish tushishini e'tiborga olmay, kondensator qoplamalaridagi

kuchlanish U_c berilgan kuchlanishga teng deb hisoblanadi va quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$U_c = \varepsilon = \varepsilon_M \cdot \sin \omega t \quad (1.4.3).$$

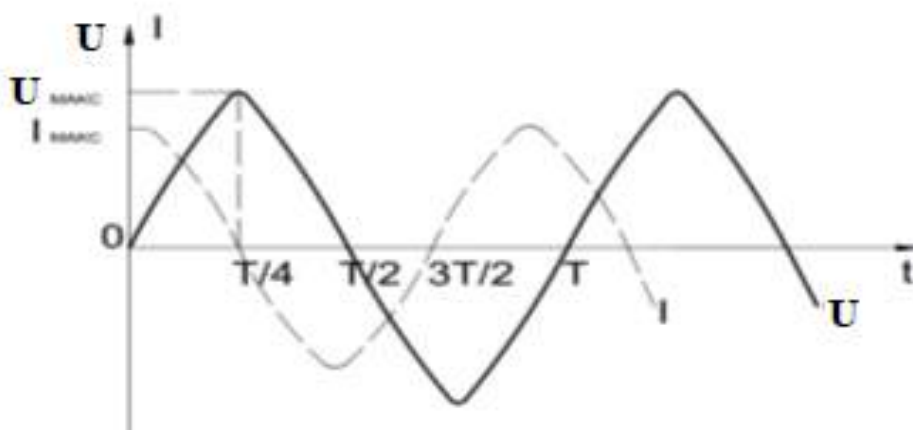
Ushbu holatda vaqtning ixtiyoriy momentida $q = C \cdot \varepsilon_M \cdot \sin \omega t$ (1.4.4) bo'lib, agarda kichik dt vaqt oralig'ida kondensatorning zaryadi dq kattalikka o'zgarsa, o'tkazuvchi simlaridan oqib o'tuvchi tok kuchi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$I = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_c}{dt} = C \cdot \varepsilon_M \cdot \cos \omega t = \varepsilon_M \cdot C \cdot \omega \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (1.4.5).$$

Tok kuchining amplituda qiymatining $I_M = \varepsilon_M \cdot C \cdot \omega$ (1.4.6) ifodasini (5) tenglamaga qo'yib, tok kuchining $I = I_M \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$ (1.4.7) ifodasini hosil qilish mumkin.

O'zgaruvchan tok zanjiri uchun G.Om qonuni $I_M = \frac{\varepsilon_M}{\frac{1}{C \cdot \omega}}$ (1.4.8) shaklda ifodalanadi, tenglamadagi $R_C = \frac{1}{C \cdot \omega}$ (1.4.9) kattalik o'zgaruvchan tok uchun kondensatorning sig'im qarshiligi deb yuritiladi.

O'zgaruvchan tok elektr zanjirida I tok kuchining va U kuchlanish o'zgarishlari turlicha fazalarda sodir etilib, tok kuchining fazasi kuchlanish fazasidan $\frac{\pi}{2}$ ga siljigan bo'ladi, ya'ni tok kuchining I_M maksimal qiymati kuchlanishning ε_M maksimal qiymatidan chorak (T/4) davrga oldin keladi (1.4.3-rasm).



1.4.3-rasm.

O'zgaruvchan tok elektr zanjirida induktivlik. O'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan g'altakda (ayniqsa ferromagnit o'zakli) omik qarshilikdan tashqari o'tkazgichning induktivligiga bog'liq bo'lgan qo'shimcha qarshilik mavjud bo'lib, *induktiv qarshilik* deb yuritiladi.

Induktivligi bo'lgan o'tkazgichda tokning o'zgarishlari natijasida bu o'zgarishlarga to'sqinlik qiluvchi, ya'ni tok kuchining I_M amplituda qiymatini kamaytiruvchi va demak, $I_{\Phi\Phi}$ effektiv tokni kamaytiruvchi o'zinduksiya EYuK vujudga keladi.

O'zinduksiya g'altagi orqali induktiv g'altakga berilgan ε o'zgaruvchan kuchlanish (EYuK) ta'sirida hosil bo'ladigan sinusoidal o'zgaruvchan tok kuchi quyidagi $I = I_M \cdot \sin\omega t$ (1.4.10) tenglama bilan ifodalanadi.

Ushbu holatda elektr zanjirida hosil bo'lgan o'zinduksiya elektr yurituvchi kuchining kattaligi $\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt}$ (1.4.11) bo'ladi.

Induktiv g'altak ulangan o'zgaruvchan tok elektr zanjirida G.Om qonunining ifodasi matematik jihatidan quyidagi shaklda bo'lib, $I_M = \frac{\varepsilon_M}{L \cdot \omega}$ (1.4.12), bu yerda $R_L = \omega \cdot L$ (1.13) kattalik o'zinduksiya g'altagining induktiv qarshiligi deb ataladi.

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

O'zgaruvchan elektr zanjiriga aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altak quyidagi 1-rasmda ko'rsatilganidek o'zaro ketma-ket ulangan.

Agarda kondensatorning elektr sig'imi $C = 400 \mu kF$, aktiv qarshilik $R_a = 16 \Omega$, g'altakning induktivligi $L = 20 mGn$, o'zgaruvchan kuchlanishning effektiv qiymati $U_{ef} = 220 V$, chastotasi $\nu = 50 Gts$ bo'lsa, elektr zanjiridagi tok kuchining I_{ef} – effektiv qiymati, kondensatorning X_C – sig'im qarshiligi, g'altakning induktiv qarshiligi X_L , kondensator va induktiv g'altakdagi U_C hamda U_L kuchlanish tushuvlari topilsin?

Berilgan:

$$R_a = 16 \, \Omega, \, \nu = 50 \, \text{Gts},$$

$$U_{ef} = 220 \, \text{V},$$

$$L = 20 \, \text{mGn} = 20 \cdot 10^{-3} \, \text{Gn},$$

$$C = 400 \, \mu\text{kF} = 4 \cdot 10^{-4} \, \text{F}.$$

Topish kerak:

$$I_{ef} = ?, \, X_C = ?, \, X_L = ?, \, U_C = ?, \, U_L = ?$$

Yechish.

O'zgaruvchan tok elektr zanjiriga ulangan kondensatorning sig'im qarshiligini masalaning shartida berilgan o'zgaruvchan tok chastotasi ν va kondensatorning C – sig'imi orqali quyidagicha aniqlaymiz:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 4 \cdot 10^{-4}} \approx 7,96 \, \Omega.$$

Umumiy holda g'altakning induktiv qarshiligini ifodalovchi $X_L = \omega L$ (1) tenglamadagi ω - siklik chastotaning $\omega = 2\pi\nu$ (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib, quyidagi ifodani hosil qilamiz: $X_L = 2\pi\nu \cdot L$ (3).

Ushbu (3) tenglamadan o'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan g'altakning induktiv qarshiligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$X_L = 2\pi\nu \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \approx 6,28 \, \Omega.$$

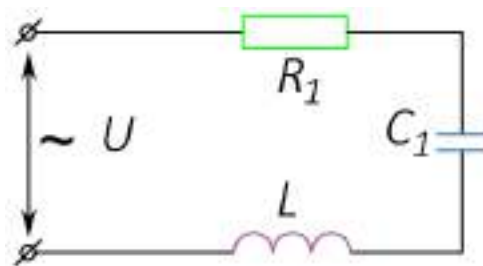
Ma'lumki, o'zgaruvchan tok elektr zanjirining to'liq qarshiligi R - aktiv, X_C - sig'im va X_L - induktiv qarshiliklarning yig'indisidan iborat bo'lib, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (3).$$

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan va hisoblab topilgan qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, elektr zanjirining to'liq Z -qarshiligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{16^2 + (6,28 - 7,96)^2} \approx 259 \, \Omega.$$

Ushbu holatda o'zgaruvchan tok elektr zanjiridagi tok kuchining I_{ef} – effektiv qiymatini $I_{ef} = \frac{U_{ef}}{R}$ (4) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:



1-rasm

$$I_{ef} = \frac{U_{ef}}{R} = \frac{220}{16} \approx 13,75 \text{ A.}$$

Yuqorida bajarilgan hisoblashlar natijasida kattaliklarning aniqlangan son qiymatlariga asoslanib, kondensator va induktiv g'altakdagi kuchlanish tushuvlarini quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_C = I_{ef} \cdot X_C = 13,75 \cdot 7,96 \approx 109,5 \text{ V,}$$

$$U_L = I_{ef} \cdot X_L = 13,75 \cdot 6,28 \approx 86,4 \text{ V.}$$

Javob: $X_C \approx 7,96 \Omega$, $X_L \approx 6,28 \Omega$, $Z \approx 259 \Omega$, $I_{ef} \approx 13,75 \text{ A}$,
 $U_C \approx 109,5 \text{ V}$, $U_L \approx 86,4 \text{ V}$.

Masala.

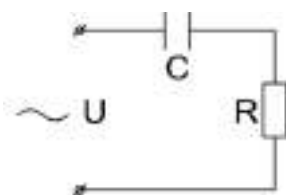
O'zgaruvchan tok elektr zanjiriga kondensator va aktiv qarshilik o'zaro ketma-ket ulangan (2-rasm). Agarda kondensatorning sig'imi $C = 2\mu\text{kF}$, aktiv qarshilik $R = 600 \Omega$, tarmoq kuchlanishi $U = 220 \text{ V}$, chastotasi 50 Gts bo'lsa, elektr zanjirning to'liq Z – qarshiligi, elektr zanjiridagi I – tok kuchi, aktiv va sig'im qarshiliklarda kuchlanish tushuvlari topilsin?

Berilgan:

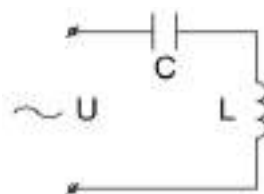
$$C = 2\mu\text{kF} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ F}, \quad R = 600 \Omega, \quad U = 220 \text{ V}, \quad \nu = 50 \text{ Gts.}$$

Topish kerak:

$$Z = ? \quad I = ? \quad U_R = ? \quad U_C = ?$$



(2-rasm)



(3-rasm)

Yechish.

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra elektr zanjiriga R – aktiv qarshilik va C – sig'im kondensator ulanganligi sababli elektr zanjirining to'liq Z – elektr qarshiligi R – aktiv va X_C – sig'im qarshiliklarining yig'indisidan iborat bo'lib, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad (1).$$

Tenglamadagi X_C – sig‘im qarshilikning $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}$ (2) ifodasini (1) tenglamaga qo‘yib, tegishli matematik amallarni bajarib, elektr zanjirining to‘liq Z – qarshiligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2} = \sqrt{600^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}\right)^2} \approx 1708 \, \Omega.$$

O‘zgaruvchan tok elektr zanjiridagi tok kuchini ifodalovchi $I = \frac{U}{Z}$ (3), tenglamaga asosan ushbu xususiy holat uchun elektr zanjiridagi tok kuchining kattaligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$I = \frac{220 \, V}{1708 \, \Omega} \approx 0,13 \, A.$$

Ushbu holatda kattaliklarning masalani shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlari asosida aktiv qarshiligidagi U_R va sig‘im qarshilikda U_C – kuchlanish tushuvlarini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$U_R = I \cdot R = 0,13 \cdot 600 \approx 78 \, V;$$

$$U_C = I \cdot X_C = I \cdot \frac{1}{2\pi\nu C} = \frac{0,13}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} \approx 207 \, V;$$

$$\text{Javob: } Z = 1708 \, \Omega, \quad I \approx 0,13 \, A, \quad U_R \approx 78 \, V; \quad U_C \approx 207 \, V.$$

Masala.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga $C = 8 \, \mu kF$ sig‘imli kondensator va induktivligi $L = 1,4 \, Gn$ bo‘lgan g‘altak o‘zaro ketma-ket ulangan (3-rasm). Agarda elektr zanjiri ulangan tarmoq kuchlanishining effektiv qiymati $U_{ef} = 220 \, V$, chastotasi $\nu = 50 \, Gts$ bo‘lsa, zanjirning to‘liq Z – elektr qarshiligi, tok kuchi, sig‘im va induktiv qarshiliklarda kuchlanish tushuvi aniqlansin?

Berilgan:

$$C = 8 \, \mu kF = 8 \cdot 10^{-6} \, F, \quad \nu = 50 \, Gts, \quad U_{ef} = 220 \, V, \quad L = 1,4 \, Gn.$$

Topish kerak:

$$Z = ? \quad I_{ef} = ? \quad U_C = ? \quad U_L = ?.$$

Yechish:

Masalani shartida aniqlanishi talab etilgan kattaliklarni topish uchun avvalo ω - siklik doiraviy chastotani $\omega = 2\pi\nu$ (1), kondensatorning X_C - sig‘im qarshiligini $X_C = \frac{1}{\omega C}$ (2) va g‘altakning X_L - induktiv qarshiligini $X_L = \omega L$ (3) tenglamalardan quyidagicha aniqlaymiz:

$$\omega = 2\pi\nu = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \approx 314 \frac{\text{rad}}{\text{s}} ;$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} \approx 398 \Omega.$$

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi\nu L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,4 \approx 439,6 \Omega.$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \approx X_L - X_C = 439,6 - 398 \approx 41,6 \Omega.$$

$$I = \frac{U_{ef}}{Z} = \frac{220 \text{ V}}{41,6 \Omega} \approx 5,3 \text{ A}.$$

Ushbu holatda kondensator va induktiv g‘altakda U_C hamda U_L - kuchlanish tushuvlarini $U_C = I_{ef} \cdot X_C$ (4), $U_L = I_{ef} \cdot X_L$ tenglamalardan quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_C = I_{ef} \cdot X_C = 5,3 \cdot 398 \approx 2,1 \text{ kV};$$

$$U_L = I_{ef} \cdot X_L = 5,3 \cdot 439,6 \approx 2,33 \text{ kV}.$$

$$\text{Javob: } Z = 41,6 \Omega, I_{ef} = 5,3 \text{ A}, U_C \approx 2,1 \text{ kV}, U_L \approx 2,33 \text{ kV}.$$

Masala

O‘zgaruvchan tok elektr zanjiriga R - aktiv qarshilik va X_L - induktiv qarshilikli g‘altak o‘zaro ketma-ket ulangan (1-rasm). Agarda aktiv elektr qarshilik $R = 14 \Omega$, g‘altakning induktivligi $L = 0,2 \text{ Gn}$, kuchlanishning effektiv qiymati $U_{ef} = 220 \text{ V}$, chastotasi $\nu = 50 \text{ Gts}$ bo‘lsa, tok kuchining I_{ef} - effektiv qiymati, elektr zanjirining to‘liq Z - qarshiligi, aktiv qarshilikdagi U_R va induktiv g‘altakdagi U_L - kuchlanish tushuvlari toplisin?

Berilgan:

$$R = 14 \Omega, \quad L = 0,2 \text{ Gn}, \quad \nu = 50 \text{ Gts}, \quad U_{ef} = 220 \text{ V}.$$

Topish kerak:

$$Z = ?, I_{ef} = ?, U_R = ?, U_L = ?.$$

Yechish:

Masalaning shartiga ko'ra son qiymatlari aniqlanishi talab etilgan kattaliklarni topish uchun avvalo ω - siklik chastotani $\omega = 2\pi\nu$ (1) tenglamadan aniqlaymiz:

$$\omega = 2\pi\nu = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

Ushbu holatda o'zgaruvchan tok elektr zanjirining to'liq elektr qarshiligini $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ (2), tok kuchining I_{ef} - effektiv qiymatini $I_{ef} = \frac{U_{ef}}{Z}$ (3), R - aktiv qarshilikdagi U_R - kuchlanish tushuvini $U_R = I_{ef} \cdot R$ (4), induktiv g'altakdagi U_L - kuchlanish tushuvini $U_L = I_{ef} \cdot X_L$ (5) tenglamalardan quyidagicha aniqlaymiz:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2} = \sqrt{14^2 + (314 \cdot 0,2)^2} \approx 64,3 \Omega.$$

$$I_{ef} = \frac{U_{ef}}{Z} = \frac{220}{64,3} = 3,42 \text{ A};$$

$$U_R = I_{ef} \cdot R = 3,42 \cdot 14 = 48 \text{ V};$$

$$U_L = I_{ef} \cdot X_L = 3,42 \cdot 0,2 \approx 215 \text{ V}.$$

$$\text{Javob: } Z = 64,3 \Omega, I_{ef} \approx 3,42 \text{ A}, U_R \approx 48 \text{ V}, U_L \approx 215 \text{ V}.$$

Mustaqil yechish uchun masalar.

1. Kuchlanishning effektiv qiymati $U_{ef} = 220 \text{ V}$ bo'lgan $\nu = 50 \text{ Gts}$ chastotali o'zgaruvchan tok tarmog'iga ketma-ket ravishda $R = 10 \Omega$ aktiv elektr qarshilik, $L = 50 \text{ Gn}$ induktiv g'altak, $C = 60 \mu\text{kF}$ sig'imli kondensator ulangan. Elektr zanjiridan tok kuchining effektiv qiymati, aktiv qarshilik, induktiv g'altak va kondensatordagi kuchlanish tushuvlari topilsin?

2. Elektr qarshiligi $R = 20 \Omega$ bo'lgan aktiv qarshilik va induktivligi $L = 0,4 \text{ Gn}$ bo'lgan induktiv g'altak ulangan o'zgaruvchan tok elektr zanjirining to'liq qarshiligi aniqlansin?

3. Tarmoq kuchlanishi $U = 220 \text{ V}$ bo'lgan elektr zanjiriga $R = 20 \Omega$ elektr qarshilikli aktiv qarshilik, $L = 0,2 \text{ Gn}$ induktivlikli g'altak, $C = 2 \mu\text{kF}$ sig'imli

kondensator ketma-ket ulangan. Sig‘im, induktiv va elektr zanjirning to‘la qarshiligi, tok kuchi topilsin?

4. O‘zgaruvchan tok elektr zanjiriga ketma-ket ulangan g‘altakning induktivligi $L = 0,5 \text{ Gn}$, aktiv qarshilik $R_a = 6 \Omega$ bo‘lsa, zanjirning to‘liq qarshiligi $Z = 160 \Omega$ bo‘lishi uchun o‘zgaruvchan tok chastotasi qanday bo‘lishi kerak?

5. Tarmoq kuchlanishi $U = 220 \text{ V}$ bo‘lgan elektr zanjiriga aktiv qarshilik va kondensator ketma-ket ulangan. Agarda o‘zgaruvchan tok chastotasi $\nu = 500 \text{ Gts}$, aktiv qarshilik $R = 200 \Omega$, tok kuchi $I = 60 \text{ mA}$ bo‘lsa, kondensatorning elektr sig‘imi topilsin?

6. Elektr sig‘imi qarshiligi $X_C = 400 \Omega$ bo‘lgan kondensator va induktiv g‘altak o‘zaro ketma-ket ulangan o‘zgaruvchan tok elektr zanjiriga kuchlanish rezonansi o‘zgaruvchan tok chastotasining $\nu = 25 \text{ kGts}$ qiymatida sodir etilsa, g‘altakning induktivligi aniqlansin?

7. O‘zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulangan aktiv qarshilik $R = 50 \Omega$, g‘altakning induktivligi $L = 2,4 \text{ mGn}$, kondensatorning elektr sig‘imi $C = 160 \text{ nF}$ bo‘lsa, tarmoq kuchlanishi o‘zgarishi chastotasining $\nu = 240 \text{ kGts}$ va $U = 50 \text{ V}$ son qiymatida induktiv va sig‘im qarshiliklar, tok kuchi, aktiv hamda induktiv qarshiliklarda kuchlanish tushuvlari aniqlansin?

8. Elektr sig‘imi $C = 25 \mu\text{kF}$ bo‘lgan kondensator va $L = 60 \text{ mGn}$ induktivlikli g‘altak elektr zanjiriga o‘zaro ketma-ket ulangan bo‘lsa, kuchlanish rezonansi o‘zgaruvchan tok chastotasining qanday qiymatida sodir etiladi?

9. Tarmoq kuchlanishi $U = 220 \text{ V}$, o‘zgaruvchan tok chastotasi $\nu = 50 \text{ Gts}$ bo‘lgan elektr zanjiriga $C = 20 \mu\text{kF}$ sig‘imli kondensator, $R = 500 \Omega$ aktiv qarshilik o‘zaro ketma-ket ulangan. Elektr zanjirining to‘liq qarshiligi, zanjirdagi tok kuchi, aktiv hamda sig‘im qarshiliklarda kuchlanish tushuvlari aniqlansin?

10. O‘zgaruvchan tok chastotasi $\nu = 50 \text{ Gts}$ bo‘lgan elektr zanjiriga $R = 12 \Omega$ aktiv qarshilik, $L = 0,8 \text{ Gn}$ induktivlikli g‘altak ketma-ket ulangan bo‘lsa, elektr zanjirining to‘liq qarshiligi topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Aktiv, sig'im va induktiv qarshiliklarning fizik mohiyatini tushuntiring?
2. O'zgaruvchan tok elektr zanjirida sig'im qarshilikni vujudga kelishini fizik mexanizmini izohlang?
3. O'zgaruvchan tok elektr zanjirida induktiv qarshilikni vujudga kelishini fizik mexanizmini tushuntiring?
4. Aktiv, sig'im va induktiv qarshiliklarda kuchlanish tushuvini qanday tushundingiz?
5. Sig'im va induktiv qarshiliklarda kuchlanish tushuvining kattaligi qaysi kondensator hamda induktiv g'altakning asosan qaysi parametrlariga bog'liq?
6. O'zgaruvchan tok elektr zanjirida kuchlanish rezonansining sodir etilishi jarayonining fizik mexanizmini tushuntiring?
7. Aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altak ulangan o'zgaruvchan tok elektr zanjirining to'liq qarshiligi qaysi parametrlar bilan aniqlanadi?
8. Rezonans chastotasining fizik mohiyatini tushuntiring?
9. Induktiv g'altak va kondensator ulangan elektr zanjirida g'altak induktivligining kondensator sig'imiga ko'paytmasi LC - kattalik 2 marta ortganda rezonans chastotasining son qiymati qanday o'zgaradi?
10. O'zgaruvchan tok elektr zanjirida kuchlanish rezonansi hosil qilinishi uchun qanday shart bajarilishi lozim?

II.Bob. Yarimo‘tkazgichli elektron asboblari.

Yarimo ‘tkazgichli elektron asboblari – bu yarimo‘tkazgichli materiallar asosida tayyorlangan elektron asboblari bo‘lib, sanoat elektronikasida xususiyatlariga ko‘ra turli maqsadlarda ishlatiladi.

Yarimo‘tkazgichli elektron asboblari tarkibiga elektronika sanoatida ishlab chiqariladigan va yarimo‘tkazgich materiallari asosida tayyorlangan turli xil maqsadlarda ishlatiladigan diod, tranzistor, tiristor, fotorezistor, fotodiod, fototranzistor, fototiristor, yorug‘lik diodi va boshqalarni kiritish mumkin.

2.1.Yarimo‘tkazgich materiallarining elektr o‘tkazuvchanlik xususiyatlari.

Asosiy tushunchalar.

Yarimo‘tkazgich materiallarining elektr o‘tkazuvchanligini tavsiflash uchun kiritilgan asosiy fizik kattalik solishtirma elektr o‘tkazuvchanlik deb ataladi. Yarimo‘tkazgich materiallarining elektr o‘tkazuvchanligi 2 turga bo‘linadi:

- 1.Xususiy elektr o‘tkazuvchanlik;
- 2.Kirishmali elektr o‘tkazuvchanlik.

Yarimo‘tkazgich materiallarining xususiy va kirishmali elektr o‘tkazuvchanliklari quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$\sigma_{xus} = \sigma_0 \exp \left(-\frac{E_g}{2kT} \right) \quad (2.1.1)$$

$$\sigma_{kir} = \sigma_0 \exp \left(-\frac{\Delta E_f}{2kT} \right) \quad (2.1.2)$$

bu yerda σ_0 –yarim o‘tkazgich materialining $t \rightarrow \infty^\circ\text{C}$ haroratda solishtirma elektr o‘tkazuvchanligi, ΔE_f –kirishma atomlarini faollashtirish energiyasi.

Yarim o‘tkazgich materiallarning xususiy elektr o‘tkazuvchanligida n_i - elektronlar va p_i - kovaklar konsentratsiyasi o‘zaro teng bo‘ladi, ya’ni: $n_i=p_i$ yoki $n_i + p_i=2 \cdot n_i$ (2.1.3).

Xususiy elektr o‘tkazuvchanlik holatida solishtirma elektr o‘tkazuvchanlik: $\sigma_i=en_i\mu_n + ep_i\mu_p$ (2.1.4) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda μ_n va μ_p elektron va kovaklarning ko‘rilayotgan yarimo‘tkazgich materialidagi harakatchanligi.

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

Kremniy kristalini $T_1 = 273 \text{ K}$ haroratdan $T_2 = 283 \text{ K}$ haroratgacha qizdirilganda solishtirma xususiy elektr o'tkazuvchanligi necha marta o'zgaradi? Kremniy moddasining taqiqlangan zona kengligi $E_g = 1,1 \text{ eV}$.

Berilgan:

$$E_g = 1,1 \text{ eV}; T_1 = 273 \text{ K}; T_2 = 283 \text{ K}.$$

Topish kerak:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = ?$$

Yechish.

Yarimo'tkazgich materiallarining xususiy elektr o'tkazuvchanligi umumiy holda $\sigma = \sigma_0 \exp\left(\frac{E_g}{2kT}\right)$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Masalaning shartiga asosan T_1 va T_2 haroratlar uchun yarimo'tkazgich materialining solishtirma elektr o'tkazuvchanligini (1) tenglamaga asosan quyidagi shakllarda ifodalash mumkin:

$$\sigma_1 = \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_1}\right) \quad (2), \quad \sigma_2 = \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_2}\right) \quad (3).$$

Yuqorida keltirilgan (3) va (2) tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadma-had bo'lib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{\exp\left(-\frac{E_g}{2kT_1}\right)}{\exp\left(-\frac{E_g}{2kT_2}\right)} = \exp\left[\frac{E_g}{2k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] \quad (4).$$

Masalaning shartiga ko'ra aniqlanishi talab etilgan T_2 va T_1 haroratlarga mos keluvchi solishtirma elektr o'tkazuvchanliklarning $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ nisbatini (4) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib va tegishli matematik amallarni bajarib quyidagicha aniqlaymiz:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \exp\left[\frac{E_g}{2k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] = \exp\left[\frac{1,1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} \cdot \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{283}\right)\right] \approx 2,3$$

$$\text{Javob: } \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \approx 2,3.$$

Masala.

Kremniy kristali $T_1 = 273 \text{ K}$ haroratdan $T_2 = 283 \text{ K}$ haroratgacha qizdirilganda solishtirma elektr o'tkazuvchanligi $n = 2,28$ marta ortgan bo'lsa, kremniyning taqiqlangan zona kengligi aniqlansin?

Berilgan:

$$T_1 = 273 \text{ K}; T_2 = 283 \text{ K}; \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = n = 2,28.$$

Topish kerak:

$$E_g = ?$$

Yechish:

Yarimo'tkazgich materiallarning solishtirma elektr o'tkazuvchanligini ifodalovchi $\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$ (1) tenglamasiga asosan T_1 va T_2 haroratga qizdirilgan kremniy kristalining solishtirma elektr o'tkazuvchanligini quyidacha ifodalaymiz:

$$\sigma_1 = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_1}\right) \quad (2), \quad \sigma_2 = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_2}\right) \quad (3).$$

Yuqorida keltirilgan (2) va (3) tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadmahad bo'lib, yarimo'tkazgich materialining T_2 va T_1 haroratlarga mos keluvchi solishtirma elektr o'tkazuvchanliklarning $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ nisbatini ifodalovchi quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = n = \frac{\sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_2}\right)}{\sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_1}\right)} = \exp\left[\frac{E_g}{2k}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] \quad (4).$$

Ushbu (4) tenglama matematik jihatidan ko'rsatgichli tenglama ekanligini hisobga olib, tenglamaning har ikki tomonlarini e asosga ko'ra logariflab, qo'yidagi tenglamani keltirib chiqarishimiz mumkin:

$$\ln(n) = \frac{E_g}{2k} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \quad (5).$$

Tenglamadan yarimo'tkazgich materialining E_g - taqiqlangan zona kengligining quyidagi ifodasini topamiz:

$$E_g = \frac{2k \cdot \ln(n)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (6).$$

Ushbu tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, yarimo'tkazgich materialining E_g - taqiqlangan zona kengligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$E_g = \frac{2 \cdot k \ln(n)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = \frac{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1}{\frac{1}{273} - \frac{1}{283}} \approx 2,12 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 1,3 \text{ eV}.$$

Javob: $E_g \approx 2,12 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 1,3 \text{ eV}.$

Masala.

n - tur o'tkazuvchanlikli monokristal kremniy materiali asosida tayyorlangan parallilapepid shaklidagi naunaning uzunligi $l=10 \text{ mm}$, eni $b=2 \text{ mm}$, balandligi $h=1\text{mm}$, elektron va kovaklarning kremniy kristalida harakatlanchanliklari mos ravishda $\mu_n = 0,14 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, $\mu_p = 0,05 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$, xususiy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasi $n_i = 10^{16} \text{ m}^{-3}$, materialning elektr qarshiligi $R=150 \Omega$ bo'lsa, kirishma atomlari konsentratsiyasi va kovakli o'tkazuvchanligini elektronli o'tkazuvchanlikka nisbati topilsin?

Berilgan:

$$l=10 \text{ mm} = 10^{-2} \text{ m}, b=2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}, h=1\text{mm} = 10^{-3} \text{ m}, \mu_n = 0,14 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}, \\ \mu_p = 0,05 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}; n_i = 10^{16} \text{ m}^{-3}; R = 150 \Omega.$$

Topish kerak:

$$p_p = ? \quad n_n = ? \quad \frac{\sigma_n}{\sigma_p} = ?$$

Yechish:

Kremniy materialining solishtirma elektr qarshiligini umumiy holda ifodalovchi $\rho = R \cdot \frac{b \cdot h}{l}$ (1) tenglamaga asosan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\rho = 150 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}}{10^{-2}} \approx 0,03 \Omega \cdot \text{m}.$$

n-tur o'tkazuvchanlikli kremniyning solishtirma elektr qarshiligini ifodalovchi (2) tenglamasidagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\rho_n = \frac{1}{\sigma_n} = \frac{1}{e(n_n \cdot \mu_n + \rho_n \mu_p)} \quad (2),$$

$$0,03 = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{19}(0,14 \cdot n_n + 0,05p_n)} \quad (3) \text{ yoki}$$

$$0,14n_n + 0,05p_n = 2,08 \cdot 10^{20} \quad (4) .$$

Binobarin $n_i^2 = n \cdot p$ (5) ekanligini hisobga olsak, n – sohada asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi $p_n = \frac{n_i^2}{n_n}$ (6) bo'lib, u xolda (6) ifodani (4) tenglamaga qo'yib quyidagi tenglikni xosil qilamiz:

$$0,14n_n + 0,05 \frac{n_i^2}{n_n} = 2,08 \cdot 10^{20} \quad (7),$$

bu yerda kremniy materiali uchun $n_i = 10^{16} m^{-3}$ ekanligini hisobga olib, (7) tenglamani soddalashtiramiz:

$$0,14 n_n^2 + 0,05 \cdot 10^{32} = 2,08 \cdot 10^{20} n_n \quad (8).$$

Yuqorida keltirib chiqarilgan (8) tenglama matematik jihatidan kvadrat tenglama bo'lib, uning ildizlari:

$$n_{n1,2} = \frac{2,08 \cdot 10^{20} \pm \sqrt{(2,08)^2 \cdot 10^{40} - 4 \cdot 0,14 \cdot 0,05 \cdot 10^{32}}}{2 \cdot 0,14} \quad (9)$$

tenglamaga asosan aniqlansa:

$$n_{n1} = \frac{2,08 \cdot 10^{20} + 2,08 \cdot 10^{20}}{2 \cdot 0,14} \approx 1,48 \cdot 10^{21} m^{-3}.$$

Ushbu holatda barcha kirishma atomlari ionlashgan ekanligini hisobga olsak $N_p = n_n = 1,48 \cdot 10^{21} m^{-3}$ bo'lib, kirishma atomlari bilan legirlangan yarimo'tkazgichli kremniyda kovakli va elektronli o'tkazuvchanlik mos ravishda $\sigma_p = e \cdot p \cdot \mu_p$ (10) hamda $\sigma_n = e \cdot n \cdot \mu_n$ (11) tenglamalar bilan ifodalanishini e'tiborga olsak, u holda elektronli va kovakli elektr o'tkazuvchanliklarning nisbati quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_p} = \frac{e \cdot \mu_n \cdot n_n}{e \cdot \mu_p \cdot \rho_n} = \frac{\mu_n \cdot n_n^2}{\mu_p \cdot n_i^2} \quad (12).$$

Ushbu (12) tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, elektron va kovakli o'tkazuvchanliklar nisbatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_p} = \frac{0,14 \cdot (1,48 \cdot 10^{21})^2}{0,05 \cdot (10^{16})^2} \approx 6,1 \cdot 10^{10}.$$

Javob: $\frac{\sigma_n}{\sigma_p} \approx 6,1 \cdot 10^{10}.$

Masala.

Germaniy materialining $T = 300 \text{ K}$ xona haroratida solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 0,43 \Omega \cdot m$, elektron va kovaklarning harakatchanliklari mos ravishda $\mu_n = 0,39 \frac{m^2}{V \cdot s}$ va $\mu_p = 0,19 \frac{m^2}{V \cdot s}$ bo'lsa, elektron va kovaklarini xususiy konsentratsiyasi topilsin?

Germaniy atomlari konsentratsiyasining har $n = 2 \cdot 10^6$ tasiga bitta surma elementi kirishma atomi mos kelsa, $T = 300 \text{ K}$ haroratda elektron va kovaklarning konsentratsiyasi hamda materialning solishtirma elektr qarshiligi topilsin?

Berilgan:

$$T = 300K, \rho_{Ge} = 0,43 \Omega \cdot m, \mu_n = 0,39 \frac{m^2}{V \cdot s}, \mu_p = 0,19 \frac{m^2}{V \cdot s}.$$

Topish kerak:

$$n_i = ?, p_i = ?, \rho = ?$$

Yechish:

Yarim o'tkazgich materiallarining solishtirma elektr o'tkazuvchanligi umumiy holda $\sigma = e(p\mu_p + n\mu_n)$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Bu yerda e - kattalik elektronning zaryadi, son qiymati $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$, n, p va μ_n, μ_p - kattaliklar mos ravishda elektron va kovaklarning konsentratsiyasi hamda harakatchanligi. Yarim o'tkazgichlarning hususiy elektr o'tkazuvchanligi uchun $p_i = n_i$ bo'lib, solishtirma elektr o'tkazuvchanligi $\sigma_i = \frac{1}{\rho_i} = n_i \cdot e(\mu_n + \mu_p)$ (2) tenglama bilan ifodalanadi.

Ushbu tenglamadan elektronlar va kovaklarning xususiy konsentratsiyasini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$n_i = p_i = \frac{1}{\rho_i \cdot e \cdot (\mu_n + \mu_p)} = \frac{1}{0,43 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (0,39 + 0,19)} \approx 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}.$$

Masalaning shartida bayon etilishiga muvofiq holda germaniy materialiga kiritilgan donor kirishma atomlari konsentratsiyasi quyidagicha aniqlanadi, ya'ni:

$$N_d = \frac{4,4 \cdot 10^{28}}{2 \cdot 10^6} \approx 2,2 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}.$$

$T = 300 \text{ K}$ xona haroratida kirishma atomlarining hammasi ionlashgan holda bo'ladi va $n_n = 2,2 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$.

Ushbu holatda n – tur elektr o'tkazuvchanlikli germaniy kristalida kovaklar konsentratsiyasini $\rho_i = \frac{n_i^2}{n_n}$ (3) tenglamadan aniqlashimiz mumkin:

$$\rho_i = \frac{n_i^2}{n_n} = \frac{(2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3})^2}{2,2 \cdot 10^{22}} = \frac{6,25 \cdot 10^{38}}{2,2 \cdot 10^{22}} \approx 2,84 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}.$$

Kirishma atomlari bilan legirlangan yarim o'tkazgichlarning solishtirma elektr qarshiligi $\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{e(\rho\mu_n + n\mu_n)}$ (4) tenglama bilan ifodalanib, masalaning shartida bayon etilgan n – tur o'tkazuvchanlikni e'tiborga olsak, u holda $n \cdot \mu_n$ kattalikka nisbatan $p \cdot \mu_p$ hadni hisobga olmaslik mumkin, u holda materialning solishtirma elektr qarshiligini $\rho_n = \frac{1}{\sigma_n} = \frac{1}{en\mu_n}$ (5) tenglamaga asosan quyidagicha aniqlaymiz:

$$\rho_n = \frac{1}{\sigma_n} = \frac{1}{en\mu_n} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,2 \cdot 10^{22} \cdot 0,39} \approx 7,3 \cdot 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}.$$

Javob: $n_i = p_i \approx 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$, $\rho_n \approx 7,3 \cdot 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Germaniy kristalida donor kirishma atomlari konsentratsiyasi $N_d = 10^{20} \text{ m}^{-3}$ bo'lsa, n – tur o'tkazuvchanlikli kristalda $T = 300 \text{ K}$ haroratda asosiy va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi hamda materialning solishtirma elektr qarshiligi topilsin?

2. Kremniy monokristalining $T = 300\text{ K}$ haroratda solishtirma elektr o'tkazuvchanligi topilsin?

Kremniy monokristalida akseptor va donor kirishma atomlarining konsentratsiyasi mos ravishda $N_a = 2,3 \cdot 10^{19}\text{ m}^{-3}$, $N_d = 2,2 \cdot 10^{19}\text{ m}^{-3}$ deb hisoblansin.

3. Quyidagilar uchun $T = 300\text{ K}$ haroratdagi elektronlar va kovaklar konsentratsiyalarini aniqlang? a) xususiy kremniy materialida; b) 1 sm^3 hajmida $5 \cdot 10^{17}$ dona surma atomi kiritilgan kremniy kristalida.

4. Germaniy kristali namunasiga $N_a = 2 \cdot 10^{15}\text{ sm}^{-3}$ konsentratsiyali alyuminiy atomlari aralashmasi qo'shilgan. Harorat $T = 300\text{ K}$ bo'lganda mazkur namunaning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi topilsin?

5. Yarim o'tkazgichdagi akseptorlar konsentratsiyasi $N_a = 2,3 \cdot 10^{13}\text{ sm}^{-3}$ donorlar konsentratsiyasi $N_d = 2,2 \cdot 10^{12}\text{ sm}^{-3}$ ga teng. Harorat $T = 300\text{ K}$ bo'lganda kremniy namunasining solishtirma elektr o'tkazuvchanligini aniqlang?

6. Sof toza kremniyda $T = 300\text{ K}$ xona haroratida elektron va kovaklarning konsentratsiyasi $n_i = 2 \cdot 10^{16}\text{ m}^{-3}$, harakatchanliklari $\mu_n = 1450\text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, $\mu_p = 500\text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ bo'lsa, kremniy materialining xususiy solishtirma elektr o'tkazuvchanligi va xususiy solishtirma elektr qarshiliklari aniqlansin?

7. Sof toza germaniy materialida $T = 300\text{ K}$ xona haroratida elektron va kovaklarning konsentratsiyasi $n_i = 2,2 \cdot 10^{19}\text{ m}^{-3}$, zaryad tashuvchilarning harakatchanliklari $\mu_n = 3800\text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, $\mu_p = 1810\text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ bo'lsa, shu haroratda germaniy materialining xususiy solishtirma elektr o'tkazuvchanligi va xususiy solishtirma elektr qarshiliklari aniqlansin?

8. Sof toza kremniy materialining $T_1 = 300\text{ K}$ va $T_2 = 800\text{ K}$ haroratlardagi solishtirma elektr o'tkazuvchanliklarining nisbati aniqlansin?

9. Sof toza germaniy materialining $T_1 = 300\text{ K}$ va $T_2 = 800\text{ K}$ haroratlardagi solishtirma elektr o'tkazuvchanliklarining nisbati aniqlansin?

10. Meyoriy sharoitda ($P = 10^5\text{ Pa}$, $T = 293\text{ K}$) sof toza kremniy va germaniy kristallarida xususiy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyalarining nisbati aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Yarim o'tkazgich moddalarini boshqa turdagi moddalardan farqlovchi asosiy elektrofizik xususiyatlari nimalardan iborat?
2. Elementar yarimo'tkazgichlar deganda qanday moddalar tushuniladi va ularni boshqa turdagi yarimo'tkazgichlardan farqlovchi xususiyatlari nimalardan iborat ekanligini tushuntiring?
3. Xususiy va kirishmali yarimo'tkazgichlar bir-biridan qanday farqlanadi?
4. Xususiy yarimo'tkazgichlarda elektron-kovak juftini hosil bo'lishi mexanizmini tushuntiring?
5. Zonalar nazariyasini fizik mohiyatini tushuntiring?
6. Yarimo'tkazgich materiallarining solishtirma elektr o'tkazuvchanligi asosan qaysi parametrlarga bog'liq?
7. Zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining fizik ma'nosini tushuntiring?
8. Yarimo'tkazgichlar taqiqlangan zonasi kengligini qanday tushundingiz?
9. Yarimo'tkazgich materiallarining taqiqlangan zonasi kengligi asosan qaysi parametrlarga bog'liq?
10. Yarimo'tkazgich materiallarida zaryad tashuvchi zarrachalar harakatchanligining fizik mohiyatini tushuntiring?

2.2.To'g'rilovchi diodlarning tavsiflovchi parametrlarini hisoblash.

Asosiy tushunchalar.

- To'g'rilovchi diodlar amalda o'zgaruvchan kuchlanishli elektr manbalarni o'zgarmasga o'zgartirish uchun ishlatiladi.
- To'g'rilovchi diodlarning asosiy xususiyati bir tomonlama o'tkazuvchanlikni namoyon qilishdan iborat, ya'ni diodga to'g'ri kuchlanish berilganda undan katta tok oqib o'tadi, teskari kuchlanish berilganda tok deyarli o'tmaydi.
- Past chastotalarda ishlovchi (past chastotali diodlar) diodlarning asosiy vazifasi sanoat chastotali (50 Gs) o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka o'zgartirishdan iborat bo'lib, bunda diod to'g'rilangan tokning yuqori qiymatini ta'minlashi shart bo'ladi.

➤ To'g'rilovchi diodlar odatda kichik, o'rta va katta quvvatli diodlarga ajratiladi va mos ravishda 0,3 A gacha, 0,3 A dan 10 A gacha hamda 10 A dan katga toklarda ishlashga mo'ljallanadi.

Yarimo'tkazgichli to'g'rilovchi diodning to'g'ri yo'nalishda o'zgarmas tokka elektr qarshiligi quyidagi (2.1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_0 = \frac{U_{to'g'}}{I_{to'g'}} \quad (2.2.1),$$

bu yerda $U_{to'g'}$ - to'g'ri yo'nalishida dioddagi kuchlanish, (V), $I_{to'g'}$ - to'g'ri yo'nalishida dioddan o'tuvchi tok kuchi.

Yarimo'tkazgichli to'g'rilovchi diodning teskari yo'nalishda o'zgarmas tokka elektr qarshiligi quyidagi (2.2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_0 = \frac{U_{tes}}{I_{tes}} \quad (2.2.2),$$

bu yerda U_{tes} – teskari yo'nalishida dioddagi kuchlanish, I_{tes} – teskari yo'nalishida dioddan o'tuvchi tok kuchi.

Yarimo'tkazgichli to'g'rilovchi diod qiziganda quvvat isrofi quyidagi (2.2.3) tenglama bilan ifodalanadi:

$$P_i = I_{to'g'} \cdot U_{to'g'} \quad (2.2.3)$$

bu yerda P_i -kattalik diodning qizishi natijasida sodir etilgan quvvat isrofi.

Yarimo'tkazgichli to'g'rilovchi diodning to'g'ri yo'nalishda o'zgaruvchan tokka R_d -elektr qarshiligi (differinsial qarshilik) quyidagi (2.4) tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_d = \frac{dU_{to'g'}}{dI_{to'g'}} \quad (2.2.4),$$

bu yerda $dU_{to'g'}$ - to'g'ri kuchlanishning o'zgarishi, (V), $dI_{to'g'}$ - to'g'ri kuchlanish o'zgarishi ta'sirida, to'g'ri tokning o'zgarishi.

Yarimo'tkazgichli to'g'rilovchi diodga to'g'ri kuchlanish berilganda to'g'ri yo'nalishda oqib o'tayotgan tok kuchi eksponensial qonuniyat bo'yicha ortib boradi va ushbu holatda p-n o'tishning volt-amper tavsifi quyidagi (2.2.5) tenglama bilan ifodalanadi:

$$I = I_0 \cdot \left(e^{\frac{U}{\varphi_t}} - 1 \right) \quad (2.2.5),$$

bu yerda φ_t – kattalik termodinamik potensial deb atalib, $\varphi_t = \frac{kT}{e}$ (2. 2.6) tenglama bilan ifodalanadi va uning $T_1 = 300 \text{ K}$ haroratdagi son qiymati:

$$\varphi_t = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 300\text{K}}{1,6 \cdot 10^{-19}\text{K}} \approx 0,0258 \text{ V}.$$

Yarimo‘tkazgichli to‘g‘rilovchi diodni volt-amper xarakteristikasining S - tikligi quyidagi (2.2.7) tenglama bilan ifodalanadi:

$$S = \frac{dI_{to'g'}}{dU_{to'g'}} \quad (2.2.7).$$

Masalarni yechish namunalari.

Masala.

Kremniy monokristali asosida tayyorlangan to‘g‘rilovchi diodning o‘zgarmas $U = 0,2 \text{ V}$ kuchlanishida teskari to‘yinish tok kuchining son qiymati $I_0 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ A}$ bo‘lsa, $T = 300 \text{ K}$ haroratda diodning o‘zgarmas tokka R_1 qarshiligi va r_d – differensial qarshiliklari topilsin?

Berilgan.

$$U = 0,2 \text{ V}, \quad T = 300 \text{ K}, \quad I_0 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ A}, \quad q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ kl},$$

$$T = 300 \text{ K}, \quad k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}.$$

Topish kerak: $R = ? \quad r_\alpha = ?$

Yechish.

Diodga to‘g‘ri kuchlanish berilgan holatda diod orqali oqib o‘tayotgan tok kuchi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$I = I_0 \left[e^{\frac{q \cdot U}{k\tau}} - 1 \right] \quad (1),$$

bu yerda I_0 – kattalik teskari tokning to‘yinish qiymati. Ushbu tenglamadagi qattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo‘yib, tegishli matematik amallarni bajarib, I – tok kuchining son qiymatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$I = I_0 \left[e^{\frac{q \cdot U}{k\tau}} - 1 \right] = 2 \cdot 10^{-8} \cdot \left[e^{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,2}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}} - 1 \right] \approx 4,55 \cdot 10^{-5} \text{ A}.$$

Ushbu holatda $p - n$ o'tishli diodning o'zgaras tokka elektr qarshiligini quyidagi $R = \frac{U}{I}$ (2) tenglamadan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$R = \frac{0,2}{4,55 \cdot 10^{-5}} \approx 4,4 \cdot 10^3 \Omega.$$

Ma'lumki, to'g'rilovchi diodning differensial qarshiligi umumiy holatda quyidagi $\frac{1}{r_d} = \frac{dI}{dU}$ (3) tenglama bilan ifodalanadi.

Tok kuchining $I = I_0 \left[e^{\frac{q \cdot U}{k\tau}} - 1 \right]$ shakldagi ifodasini (3) tenglamaga muvofiq differensiallash orqali to'g'rilovchi diodning differensial qarshiligini ifodalovchi quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{1}{r_d} = \frac{dI}{dU} = I_0 \cdot \left(\frac{q}{k\tau} \right) e^{\frac{q \cdot U}{k\tau}} \quad (4).$$

Differensial qarshilikni (4) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$\frac{1}{r_d} = 2 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \cdot e^{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,2}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}} \approx 1,76 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$$

$$\text{бу ерда } r_d = \frac{1}{1,76 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}} \approx 568,2 \Omega.$$

Javob: $r_d = 568,2 \Omega$, $R = 4,4 \cdot 10^3 \Omega$.

Masala.

Kremniy kristali asosida tayyorlangan ideal $p - n$ o'tishli diodga $U = 0,2 V$ to'g'ri kuchlanish berilganda $T = 300 K$ haroratda I_1 - tok oqib o'tayotgan bo'lsa, diodning haroratini o'zgartirmagan holda tok kuchini 2 marta oshirish uchun berilishi talab etilgan to'g'ri kuchlanishning qiymati topilsin?

Berilgan:

$$U_1 = 0,2 V, T = 300 K, \quad k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}, \quad q = 1,6 \cdot 10^{-19} kl, \quad \frac{I_2}{I_1} = 2.$$

Topish kerak:

$$U_2 = ?$$

Yechish.

Ma'lumki, ideal $p - n$ o'tishli diodning volt-amper tavsifini ifodalovchi tenglama $I = I_0 \cdot \left[e^{\frac{q \cdot U}{k\tau}} - 1 \right]$ (1) shaklda bo'lib, bu yerda I_0 -kattalik teskari to'yinish tok kuchi, q -elementar zaryad, U - kattalik $p - n$ o'tishga berilgan kuchlanishni ifodalaydi.

Masalaning shartida bayon etilgan har ikki holat uchun (1) tenglama quyidagi shakllarda ifodalanadi:

$$I_1 = I_0 \cdot \left[e^{\frac{q \cdot U_1}{k\tau}} - 1 \right] \quad (2),$$

$$I_2 = I_0 \cdot \left[e^{\frac{q \cdot U_2}{k\tau}} - 1 \right] \quad (3).$$

Ushbu tenglamalarni hadma-had bo'lib va $I_1 \gg I_0$, $I_2 \gg I_0$, $\frac{I_2}{I_1} = 2$ ekanligini inobatga olgan holda quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{I_2}{I_1} = 2 = e^{\frac{q}{k\tau}(U_2 - U_1)} \quad (4),$$

bu yerdan masalaning shartida son qiymati aniqlanishi talab etilgan U_2 - kuchlanishni ifodalovchi quyidagi tenglamani keltirib chiqarishimiz mumkin:

$$\frac{q}{kT}(U_2 - U_1) = \ln 2 \text{ ёки } U_2 = \frac{kT}{q} \cdot \ln 2 + U_1 \quad (4).$$

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, U_2 -kuchlanishni quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_2 = \frac{kT}{q} \ln 2 + U_1 = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln 2 + 0,1 \approx 0,218 \text{ V}.$$

Javob: $U_2 = 0,218 \text{ V}$.

Masala.

Kremniy monokristali asosida tayyorlangan $p-n$ o'tishli diodning $T_1 = 300 \text{ K}$ haroratda teskari to'yinish toki $I_{1,0} = 10^{-12} \text{ A}$, $T_2 = 400 \text{ K}$ haroratda teskari to'yinish toki $I_{2,0} = 4 \cdot 10^{-9} \text{ A}$ bo'lsa, to'g'ri tok kuchining son qiymatini $I = 2 \text{ mA}$ deb hisoblab, har ikki holat uchun to'g'ri kuchlanishning qiymatlari topilsin?

Berilgan:

$$T_1 = 300 \text{ K}, \quad T_2 = 400 \text{ K}, \quad I_{1.0} = 10^{-12} \text{ A}, I_{2.0} = 4 \cdot 10^{-9} \text{ A},$$
$$I = 2 \text{ mA} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ A}, \quad q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ kl}, \quad k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}.$$

Topish kerak: $U_1 = ?$, $U_2 = ?$

Yechish.

Ma'lumki, ideal $p - n$ o'tishli diodning volt-amper tavsifi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$I = I_0 \cdot \left[e^{\frac{q \cdot U}{k \tau}} - 1 \right] \quad (1),$$

bu yerda U -kattalik diodga berilgan kuchlanishni ifodalaydi. Ushbu tenglamada soddalashtirish amallarini bajarib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{I}{I_0} + 1 = e^{\frac{q \cdot U}{k \tau}} \quad (2).$$

Yuqorida keltirilgan (2) tenglama U - noma'lum kattalikka nisbatan ko'rsatkichli tenglama ekanligi sababli, tenglamani logarifmlab va soddalashtirilib, quyidagi tenglikni keltirib chiqaramiz:

$$U = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I}{I_0} + 1 \right) \quad (3).$$

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, har ikki holat uchun U - kuchlanishning son qiymatlarini quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_1 = \frac{k \cdot T_1}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_1}{I_{1.0}} + 1 \right) = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln \left[\frac{2 \cdot 10^{-3}}{10^{-12}} + 1 \right] \approx 0,554 \text{ V}.$$

$$U_2 = \frac{k \cdot T_2}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_2}{I_{2.0}} + 1 \right) = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 400}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln \left[\frac{2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-9}} + 1 \right] \approx 0,453 \text{ V}.$$

Javob: $U_1 = 0,554 \text{ V}$; $U_2 = 0,453 \text{ V}$.

Masala.

Kremniy kristali asosida tayyorlangan to'g'rilovchi diod elektr zanjiriga elektr yurituvchi kuchi (EYuK) $\varepsilon = 12 \text{ V}$ bo'lgan tok manbai bilan $R_H = 10 \text{ k}\Omega$ yuklama

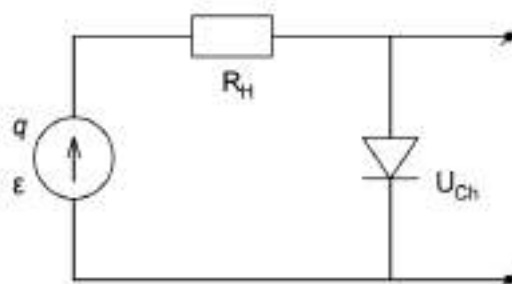
qarshilik orqali 1-rasmda tasvirlanganidek ulangan. Agarda diodning teskari tuyinish toki $I_0 = 5 \mu kA$ bo'lsa, $T = 300 K$ haroratda chiqish kuchlanishining qiymati topilsin?

Berilgan:

$$I_0 = 5 \mu kA = 5 \cdot 10^{-6} A, \quad \varepsilon = 12 V,$$

$$T = 300 K, q = 1,6 \cdot 10^{-19} kl,$$

$$R_H = 10 k\Omega, k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K},$$



1-rasm.

Topish kerak:

$$U_{ch} = ?$$

Yechish.

Amaliyot natijalaridan ma'lumki, diodga to'g'ri kuchlanish berilganda, kremniy materialidan tayyorlangan to'g'rilovchi diodlarning qarshiligi $R = 200 \Omega$ dan ortmaydi va bunday holatlarda elektr zanjiridagi tok kuchi bilan, R_H -yuklama qarshiligidagi qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{12}{10 \cdot 10^3} = 1,2 mA.$$

Ushbu holatda to'g'rilovchi diodning volt-amper tavsifini matematik jihatidan ifodalovchi $I = I_0 \cdot \left[e^{\frac{q \cdot U}{k \tau}} - 1 \right]$ (1) tenglamadagi U -kattalikning quyidagi ifodasini keltirib chiqarishimiz mumkin:

$$\left[\frac{I}{I_0} + 1 \right] = e^{\frac{q \cdot U}{k \tau}} \quad (2) \text{ bu yerdan } U = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I}{I_0} + 1 \right) \quad (3).$$

Tenglamadagi kattalikni masalaning shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, U_{ch} -chiqish kuchlanishni quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_{ch} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I}{I_0} + 1 \right) = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln \left(\frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-6}} + 1 \right) \approx 0,14 V.$$

$$\text{Javob: } U_{ch} = 0,14 V.$$

Masala.

Germaniy kristali asosida tayyorlangan p-n o'tishda donor va akseptorlar konsentratsiyasi $N_d = 10^4 N_a$ bo'lib, germaniy kristali xususiy atomlarining 10^8 ta soniga bitta akseptor kirishma atomi mos kelgan bo'lsa, $T = 300 \text{ K}$ haroratda kontakt potentsiallari farqi topilsin?

Hisobiy ishlarni bajarishda germaniy kristalida xususiy atomlar konsentratsiyasi $N_{Ge} = 4,4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$, xususiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi $n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$N_d = 10^3 N_a, n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}, k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}, e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}.$$

Topish kerak:

$$\varphi_k = ?$$

Yechish:

Germaniy kristalida atomlar konsentratsiyasi $N_{Ge} = 4,4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$ ekanligini hisobga olsak, masalaning shartiga ko'ra akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$N_a = \frac{N_{Ge}}{10^8} = \frac{4,4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}}{10^8} = 4,4 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$$

Binobarin, donor kirishma atomlari konsentratsiyasi masalaning shartiga ko'ra:

$$N_d = 10^3 N_a = 10^3 \cdot 4,4 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3} = 4,4 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}.$$

Masalaning shartida aniqlanishi talab etilgan p-n o'tishda kontakt potentsiallari farqini ifodalovchi (1) tenglamadagi kattaliklarning hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\varphi_k = \frac{KT}{e} \cdot \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2} \quad (1).$$

$$\varphi_k = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln \frac{4,4 \cdot 10^{20} \cdot 4,4 \cdot 10^{23}}{2,5^2 \cdot 10^{38}} \approx 0,0258 \cdot 12,64 \approx 0,326 \text{ V}.$$

Javob: $\varphi_k \approx 0,326 \text{ V}$.

Masala.

Kremniy monokristali asosida tayyorlangan p-n o'tishda donor va akseptorlar konsentratsiyasi $N_d = 10^3 N_a$ bo'lib, kremniy atomlarining 10^8 ta soniga bitta akseptor kirishma atomi mos kelgan bo'lsa, $T = 300K$ haroratda kontakt potentsiallari farqi topilsin? Hisob ishlarini bajarishda kremniy monokristalida xususiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi $n_i = 5 \cdot 10^{28} m^{-3}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$N_d = 10^3 N_a, n_i = 5 \cdot 10^{28} m^{-3}, k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}, e = 1,6 \cdot 10^{-19} Kl.$$

Topish kerak: $\varphi_k = ?$

Yechish:

Kremniy monokristalida xususiy atomlar konsentratsiyasini $n_i = 5 \cdot 10^{28} m^{-3}$ ekanligini e'tiborga olsak, masalaning shartida bayon etilishiga muvofiq kremniy monokristalining hajmidagi akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasi $N_a = \frac{n_i}{10^8}$ (1) tenglamaga asosan:

$$N_a = \frac{n_i}{10^8} = \frac{5 \cdot 10^{28} m^{-3}}{10^8} = 5 \cdot 10^{20} m^{-3}.$$

Yarimo'tkazgichli kremniy materiali hajmidagi donor kirishma atomlari konsentratsiyasi $N_d = 10^3 N_a$ tenglamaga muvofiq:

$$N_d = 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{20} m^{-3} = 5 \cdot 10^{23} m^{-3}.$$

Ushbu holatda p-n o'tish sohasidagi kontakt potentsiallari farqini ifodalovchi (2) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, φ_k – kontakt potentsiallar farqini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\varphi_k = \frac{KT}{e} \cdot \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2} \quad (2).$$

$$\varphi_k = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \cdot 300K}{1,6 \cdot 10^{-19} K} \cdot \ln \frac{5 \cdot 10^{20} m^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{23} m^{-3}}{(5 \cdot 10^{28} m^{-3})^2} \approx 0,73 V.$$

Javob: $\varphi_k \approx 0,73 V$.

Masala.

Germaniy materiali asosida tayyorlangan p-n o'tishni p va n sohalarining solishtirma elektr qarshiliklari mos ravishda $\rho_p = 0,02 \Omega \cdot m$, $\rho_n = 0,01 \Omega \cdot m$ bo'lsa, $T = 300K$ haroratda kontakt potentsiallari farqi topilsin?

Hisob ishlarini bajarishda germaniy kristalida elektronlar va kovaklarning harakatchanliklarini mos ravishda $\mu_n = 0,39 \frac{m^2}{V \cdot s}$, $\mu_p = 0,19 \frac{m^2}{V \cdot s}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$\rho_p = 0,02 \Omega \cdot m, \rho_n = 0,01 \Omega \cdot m, T = 300 K, \mu_n = 0,39 \frac{m^2}{V \cdot s}, \mu_p = 0,19 \frac{m^2}{V \cdot s},$$
$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}, e = 1,6 \cdot 10^{-19} Kl, n_i = 2,5 \cdot 10^{19} m^{-3}.$$

Topish kerak: $\varphi_k = ?$

Yechish:

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra p –soxaning solishtirma elektr qarshiligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\rho_p = \frac{1}{\sigma_p} = \frac{1}{e \cdot p \cdot \mu_p} = \frac{1}{e \cdot N_a \cdot \mu_p} \quad (1).$$

Tenglamadagi N_a - kattalik p - tur o'tkazuvchanlik sohasidagi akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasi, μ_p - kovaklarning germaniy monokristalida harakatchanligi. Yuqorida keltirilgan (1) tenglamadan N_a - akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$N_a = \frac{1}{e \cdot \rho_p \cdot \mu_p} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} Kl \cdot 0,02 \Omega \cdot m \cdot 0,19 \frac{m^2}{V \cdot s}} \approx 1,64 \cdot 10^{21} m^{-3}.$$

Xuddi shuningdek, n – tur o'tkazuvchanlik sohasidagi donor kirishma atomlari konsentratsiyasini quyidagicha aniqlaymiz:

$$N_d = \frac{1}{e \cdot \rho_n \cdot \mu_n} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} Kl \cdot 0,01 \Omega \cdot m \cdot 0,39 \frac{m^2}{V \cdot s}} \approx 1,6 \cdot 10^{21} m^{-3}.$$

Masalaning shartida aniqlanishi talab etilgan p-n o'tishning kontakt potentsiallarini ifodalovchi (2) tenglamadagi kattaliklarni hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib quyidagicha aniqlaymiz:

$$\varphi_k = \frac{KT}{e} \cdot \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2} \quad (2).$$

$$\varphi_k = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \cdot 300K}{1,6 \cdot 10^{-19} K} \cdot \ln \frac{1,64 \cdot 10^{21} m^{-3} \cdot 1,6 \cdot 10^{21} m^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-19} K} \approx 0,21 V.$$

Javob: $\varphi_k \approx 0,21 V$.

Masala.

Yarimo'tkazgichli p-n o'tishga $T_1 = 273 K$ haroratda $U=1V$ to'g'ri kuchlanish berildi. Agarda harorat $T_2 = 300 K$ ga oshirilsa, p-n o'tish orqali o'tayotgan tok kuchi necha marta o'zgaradi?

Berilgan:

$$T_1 = 273 K, T_2 = 300 K, U = 1 V, k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}, e = 1,6 \cdot 10^{-19} Kl.$$

$$\text{Topish kerak: } \frac{I_2}{I_1} = ?$$

Yechish.

Umumiy holda yarimo'tkazgichli materiallar asosida tayyorlangan p-n o'tish orqali oqib o'tayotgan tok kuchi $I = I_0 \left[\exp\left(\frac{e \cdot U}{kT}\right) - 1 \right]$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Masalaning shartiga ko'ra (1) tenglamani T_1 va T_2 haroratlar uchun quyidagi shaklda ifodalaymiz:

$$I_1 = I_0 \left[\exp\left(\frac{e \cdot U}{kT_1}\right) - 1 \right] \quad (2), \quad I_2 = I_0 \left[\exp\left(\frac{e \cdot U}{kT_2}\right) - 1 \right] \quad (3).$$

Yuqorida keltirib chiqarilgan (2) va (3) tenglamalarni o'ng va chap tomonlarini hadma-had bo'lib, tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib T_1 va T_2 haroratlarga mos keluvchi tok kuchlarining $\frac{I_2}{I_1}$ - nisbatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{I_0 \left[\exp\left(\frac{e \cdot U}{kT_2}\right) - 1 \right]}{I_0 \left[\exp\left(\frac{e \cdot U}{kT_1}\right) - 1 \right]} = \frac{\exp\left(\frac{e \cdot U}{kT_2}\right) - 1}{\exp\left(\frac{e \cdot U}{kT_1}\right) - 1} \approx 4,7$$

$$\text{Javob: } \frac{I_2}{I_1} \approx 4,7$$

Masala.

Yarim o'tkazgichli monokristal kremniy asosida tayyorlangan yuqori teskari kuchlanishli p-n o'tishda $T = 300 \text{ K}$ xona haroratida tok kuchi $I_0 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ A}$ bo'lsa, $U = 0,1 \text{ V}$ to'g'ri kuchlanishdagi tok kuchi topilsin?

Berilgan:

$$T = 300 \text{ K}, I_0 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ A}, U = 0,1 \text{ V}.$$

Topish kerak:

$$I = ?$$

Yechish.

Yuqori teskari kuchlanish berilganda p-n o'tish orqali teskari to'yinish toki oqadi. Masalaning shartida bayon etilishiga muvofiq, ushbu holatda p-n o'tish orqali oqib o'tadigan tok kuchining aniqlash uchun $I = I_0 \left[e^{\frac{U}{\varphi_t}} - 1 \right]$ (1) tenglamadan foydalanamiz.

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, to'g'ri kuchlanish berilganda p-n o'tish orqali o'tadigan tok kuchini quyidagicha aniqlaymiz:

$$I = 2 \cdot 10^{-7} \text{ A} \cdot \left[e^{\frac{0,1}{0,0258}} - 1 \right] \approx 9,6 \cdot 10^{-6} \text{ A}.$$

Bu yerda φ_t – kattalik termodinamik potensial deb nomlanib, $\varphi_t = \frac{kT}{e}$ (2) tenglama bilan ifodalanadi va uning $T_1 = 300 \text{ K}$ haroratdagi son qiymati:

$$\varphi_t = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 300 \text{ K}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ K}} \approx 0,0258 \text{ V}.$$

$$\text{Javob: } I \approx 9,6 \cdot 10^{-6} \text{ A}.$$

Masala.

Yarim o'tkazgichli to'g'rilovchi diodning $T_1 = 300 \text{ K}$ haroratda teskari toki $I_0 = 1 \mu\text{A}$ bo'lsa, diodning R_0 - qarshiligi va $U = 150 \text{ mV}$ to'g'ri kuchlanishda R_d - diffrensial qarshiligi aniqlansin?

Berilgan:

$$T_1 = 300 \text{ K}, I_0 = 1 \mu\text{K}, U = 150 \text{ mV}.$$

Topish kerak:

$$R_0 = ?, R_d = ?$$

Yechish.

Yarimo'tkazgichli materialлари asosida tayyorlangan diod orqali o'tayotgan tok kuchi to'g'ri kuchlanish berilgan holatda $I = I_0 \left[e^{\frac{U}{\varphi_t}} - 1 \right]$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerdaga φ_t -kattalik termodinamik potensial deb yuritiladi va uning son qiymati:

$$\varphi_t = \frac{kT}{e} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 300 \text{ K}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ K}} = 25,8 \text{ mV}.$$

Ushbu holatda (1) tenglamaga muvofiq diod orqali oqib o'tayotgan tok kuchining kattaligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$I = 1 \cdot 10^{-6} \text{ A} \cdot \left[e^{\frac{150 \cdot 10^{-3} \text{ V}}{25,8 \cdot 10^{-3}}} - 1 \right] \approx 326,5 \cdot 10^{-6} \text{ A}.$$

Ushbu holatda diodning elektr qarshiligi $R_0 = \frac{U}{I}$ (2) tenglamaga asosan:

$$R_0 = \frac{0,150 \cdot 10^{-3} \text{ V}}{326,5 \cdot 10^{-6} \text{ A}} \approx 460 \Omega.$$

Diodning diffrensial qarshiligini (1) tenglamani diffrensiallashtirish orqali topamiz, ya'ni:

$$R_d = \frac{dU}{dI} = \frac{\varphi_t}{I + I_0} \quad (3).$$

To'g'ri kuchlanishning $U = 150 \text{ mV}$ qiymatida $I \gg I_0$ ekanligi sababli, (3) tenglamani quyidagi shaklda ifodalashimiz mumkin:

$$R_d = \frac{\varphi_t}{I} = \frac{25,8 \cdot 10^{-3} \text{ V}}{326,5 \cdot 10^{-6} \text{ A}} \approx 79,3 \Omega.$$

Javob: $R_0 \approx 460 \Omega$, $R_d \approx 79,3 \Omega$.

Masala.

Elektr zanjirida to'g'ri va teskari ulanish holatlarida qarshiliklari mos ravishda $R_{to'g'} = 10 \Omega$, $R_{tes} = 10^5 \Omega$ bo'lgan to'g'rilovchi diod o'zgaruvchan elektr tokini to'g'rilagich sifatida qo'llanilgan. Agarda 1-rasmda tasvirlangan sxemada to'g'rilagich dioddagi diffuzion sig'im $C_d = 40 \text{ nF}$ bo'lsa, chastotaning qanday qiymatida to'g'irlangan tok kuchi $\sqrt{2}$ marta kamayadi?

Hisob ishlarini bajarishda yuklama qarshiligining son qiymati $R_n = 1 \cdot 10^3 \Omega$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$R_{to'g'} = 10 \Omega, R_{tes} = 10^5 \Omega,$$

$$C_d = 40 \text{ nF} = 4 \cdot 10^{-11} \text{ F},$$

$$R_n = 1 \cdot 10^3 \Omega.$$

Topish kerak:

$$f = ?$$

Yechish.

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra, $R_n \gg R_{to'g'}$ va $R_{tes} \gg R_n$ bo'lib, bu yerdan to'g'ri va teskari kuchlanishlar berilgan holatlarda diod orqali oqib o'tuvchi tok kuchlarini ifodalovchi quyidagi tenglamalarni keltirib chiqarishimiz mumkin:

$$I_{to'g'} = \frac{U}{R_n + R_{to'g'}} = \frac{U}{R_n} \quad (1), \quad I_{tes} = \frac{U}{R_n + R_{tes}} = \frac{U}{R_{tes}} \quad (2), \quad I_{to'g'} \gg I_{tes} \quad (3)$$

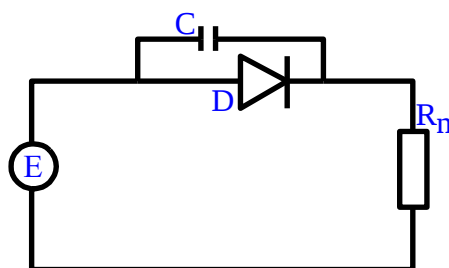
Chastotaning past qiymatlarida to'g'rilangan tok kuchi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$I_t = I_{to'g'} - I_{tes} \approx I_{to'g'} \quad (4).$$

Ushbu holatda chastotaning yuqori qiymatlarida quyidagi (5) va (6) tengliklar o'rinli bo'lib:

$$I_{to'g'} \approx \frac{U}{R_n} \quad (5) \text{ va } I_{tes} = \frac{U}{Z_{tes}} \quad (6),$$

bu yerda Z_{tes} — kattalik yuqori chastotada diodning C_d — sig'imi hisobga olingan holdagi elektr zanjirning to'liq qarshiligi.



1-rasm

Ma'lumki, p-n o'tishda teskari qarshilikni kompleks shaklda quyidagicha ifodalash mumkin: $Z_{tes} = (j\omega) = R_n + (R_{tes} - jX_c)$ (6), bu yerda jX_c – kattalik $jX_c = \frac{1}{j\omega C_d}$ (7) bo'lib, C_d – sig'imning reaktiv qarshiligini ifodalaydi. Ushbu holatda to'g'rilangan tok kuchining kamayishi teskari tokning ortishi hisobiga amalga oshadi. To'g'ri tok kuchi o'zgarmasdan saqlanadi va to'g'rilangan tokning birlamchi qiymati bilan aniqlanadi:

$$I_t = I_{to'g'} - I_{tes} = \frac{I_{to'g'}}{\sqrt{2}} \quad (8).$$

Binobarin, teskari yo'nalishdagi tok kuchi va elektr qarshilikning quyidagi ifodalarida $I_{tes} = \frac{U}{Z_{tes}} = 0,3 \frac{U}{R_n}$; $Z_{tes} = \frac{R_n}{0,3} \approx 3,33R_n$ ekanligi hisobga olinsa, bu yerdan $Z_{tes} = \sqrt{R_n^2 + X_c^2}$ (9) bo'lib, ushbu tenglamada $X_c \ll R_{tes}$ ekanligi e'tiborga olinsa:

$$X_c = \sqrt{Z_{tes}^2 - R_n^2} = \sqrt{(3,33R_n)^2 - R_n^2} \approx 3,17R_n.$$

Ushbu holatda diodni reaktiv qarshiligining chastotaga bog'liqligi quyidagi $X_c = \frac{1}{\omega C_d} = \frac{1}{2\pi f C_d}$ (10) tenglama bilan ifodalanadi. Ушбу (10) tenglamadan f –chastotani topsak:

$$f = \frac{1}{2\pi X_c C_d} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,17 \cdot 10^3 \cdot 40 \cdot 10^{-12}} \approx 1,26 \cdot 10^6 \text{ Gts}.$$

Xulosa qilib aytilganda, yarimo'tkazgichli diodda to'g'rilangan tok kuchining qiymati $f = 1,26 \cdot 10^6 \text{ Gts}$ chastotada $\sqrt{2}$ marta kamayadi.

Javob: $f = 1,26 \cdot 10^6 \text{ Gts}$.

Masala.

Germaniy materiali asosida tayyorlangan p-n o'tishda donor va akseptorlar konsentratsiyasi $N_d = 10^3 N_a$ bo'lib, germaniy atomlarining 10^8 ta soniga bitta akseptor kirishma atomi mos kelgan bo'lsa, $T=300 \text{ K}$ haroratda kontakt potentsiallari farqi topilsin?

Hisob ishlarini bajarishda germaniy kristalining xususiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi $n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$N_d = 10^3 N_a, T=300 \text{ K}, n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}.$$

Topish kerak: $\varphi_k = ?$

Yechish.

Germaniy materiali kristalida me'yoriy sharoitda xususiy atomlar konsentratsiyasi $N = 4,4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$ ekanligini hisobga olsak, masalaning shartiga ko'ra akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasini quyidagicha aniqlaymiz:

$$N_a = \frac{N}{10^8} = \frac{4,4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}}{10^8} = 4,4 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}.$$

Binobarin donor kirishma atomlari konsentratsiyasi masalaning shartida berilgan kattaliklar asosida quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$N_d = 10^3 N_a = 10^3 \cdot 4,4 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3} = 4,4 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}.$$

Ushbu holatda p-n o'tishida kontakt potentsiallari farqini ifodalovchi quyidagi (1) tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, p-n o'tishidagi kontakt potentsiallari farqini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\varphi_k = \frac{kT}{e} \cdot \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2} \quad (1).$$

$$\varphi_k = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln \frac{4,4 \cdot 10^{20} \cdot 4,4 \cdot 10^{23}}{2,5^2 \cdot 10^{38}} \approx 0,0258 \cdot 12,64 \approx 0,326 \text{ V}.$$

Javob: $\varphi_k \approx 0,326 \text{ V}.$

Masala.

Kremniy monokristali asosida tayyorlangan p-n o'tishida donor va akseptorlar konsentratsiyasi $N_d = 10^3 N_a$ bo'lib, kremniy atomlarining 10^8 ta soniga bitta akseptor kirishma atomi mos kelgan bo'lsa, $T=300 \text{ K}$ haroratda kontakt potentsiallari farqi topilsin?

Hisob ishlarini bajarishda kremniy monokristalining xususiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi $n_i = 5 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$N_d = 10^3 N_a, \quad T = 300 \text{ K}, \quad n_i = 5 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}, \quad n_i = 5 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}.$$

Topish kerak: $\varphi_k = ?$

Yechish.

Kremniy monokristalida meyoriy sharoitda xususiy atomlar konsentratsiyasi $n_i = 5 \cdot 10^{28} m^{-3}$ ekanligini e'tiborga olsak, masalaning shartida bayon etilishiga muvofiq akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasi $N_a = \frac{n_i}{10^8}$ tenglamaga asosan:

$$N_a = \frac{n_i}{10^8} = \frac{5 \cdot 10^{28} m^{-3}}{10^8} = 5 \cdot 10^{20} m^{-3}.$$

Kremniy monokristali hajmidagi donor kirishma atomlari konsentratsiyasi $N_d = 10^3 N_a$ tenglamaga muvofiq:

$$N_d = 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{20} m^{-3} = 5 \cdot 10^{23} m^{-3}.$$

Ushbu holatda kontakt potentsiallari farqini quyidagi (1) tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\varphi_k = \frac{KT}{e} \cdot \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2} \quad (1).$$

$$\varphi_k = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \cdot 300K}{1,6 \cdot 10^{-19} K} \cdot \ln \frac{5 \cdot 10^{20} m^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{23} m^{-3}}{(5 \cdot 10^{28} m^{-3})^2} \approx \\ \approx 0,0258 \cdot \frac{J}{Kl} \cdot 28,5 \approx 0,73 V.$$

Javob: $\varphi_k \approx 0,73 V$.

Masala.

Yuqori teskari kuchlanishli p-n o'tishda $T = 300 K$ xona haroratida tok kuchi $I_0 = 2 \cdot 10^{-7} A$ bo'lsa, $U = 0,1 V$ to'g'ri kuchlanishda tok kuchi topilsin?

Berilgan:

$$T = 300 K, \quad I_0 = 2 \cdot 10^{-7} A, \quad U = 0,1 V.$$

Topish kerak: $I = ?$

Yechish.

Yuqori teskari kuchlanish berilganda p-n o'tish orqali teskari to'yinish toki oqib o'tadi. Masalaning shartida bayon etilishiga muvofiq, ushbu holatda p-n o'tishga

to'g'ri kuchlanish berilganda oqib o'tadigan tok kuchini aniqlashimiz maqsadida $I = I_0 \left[e^{\frac{U}{\varphi_t}} - 1 \right]$ (1) tenglamadan foydalanamiz.

Tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, to'g'ri kuchlanish berilganda p-n o'tish orqali o'tadigan tok kuchini aniqlaymiz:

$$I = 2 \cdot 10^{-7} A \cdot \left[e^{\frac{0,1}{0,0258}} - 1 \right] \approx 9,6 \cdot 10^{-6} A.$$

Javob: $I \approx 9,6 \cdot 10^{-6} A$.

Masala.

Yarimo'tkazgichli to'g'rilovchi diod orqali $T_1 = 300 K$ xona haroratida oqib o'tayotgan teskari toki kuchining son qiymati $I_0 = 1 mA$ bo'lsa, diodning elektr qarshiligi va $U = 150 mV$ to'g'ri kuchlanishda R_d - differensial qarshiligi aniqlansin?

Berilgan:

$$T_1 = 300 K, I_0 = 1 mA, U = 150 mV.$$

Topish kerak: $R_d = ?$

Yechish.

Yarimo'tkazgichli to'g'rilovchi diodga to'g'ri kuchlanish berilganda diod orqali oqib o'tayotgan tok kuchi quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$I = I_0 \left[e^{\frac{U}{\varphi_t}} - 1 \right] \quad (1).$$

Tenglamadagi φ_t -kattalik termodinamik potensial deb yuritiladi va uning son qiymati:

$$\varphi_t = \frac{kT}{e} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \cdot 300K}{1,6 \cdot 10^{-19} K} = 25,8 mV.$$

Ushbu holatda (1) tenglamaga muvofiq diod orqali o'tayotgan tok kuchi:

$$I = 1 \cdot 10^{-6} A \cdot \left[e^{\frac{150 \cdot 10^{-3} V}{25,8 \cdot 10^{-3}}} - 1 \right] \approx 326,5 \cdot 10^{-6} A.$$

U holda, diodning qarshiligi: $R_0 = \frac{U}{I}$ (2) tenglamaga asosan:

$$R_0 = \frac{0,150 \cdot 10^{-3} V}{326,5 \cdot 10^{-6} A} \approx 460 \Omega.$$

Yarimo‘tkazgichli to‘g‘rilovchi diodning differensial qarshiligini ifodalovchi tenglamasini (2) tenglamani differensiallash orqali keltirib chiqaramiz:

$$R_d = \frac{dU}{dI} = \frac{\varphi_t}{I + I_0} \quad (3).$$

To‘g‘ri kuchlanishning $U = 150 \text{ mV}$ qiymatida $I \gg I_0$ ekanligi sababli, (3) tenglamani quyidagi shaklda ifodalashimiz va diodning differensial qarshiligini aniqlashimiz mumkin:

$$R_d = \frac{\varphi_t}{I} = \frac{25,8 \cdot 10^{-3} V}{326,5 \cdot 10^{-6} A} \approx 79,3 \Omega.$$

Javob: $R_d \approx 79,3 \Omega$.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Kremniy kristali asosida tayyorlangan p-n o‘tishning p va n – o‘tkazuvchanlik sohalarining solishtirma elektr qarshiliklari mos ravishda $\rho_p = 10^{-21} \Omega \cdot m$, $\rho_n = 10^{-2} \Omega \cdot m$, xususiy elektr zaryadi tashuvchi zarrachalarning konsentratsiyasi $n_i = 1,2 \cdot 10^{16} m^{-3}$ bo‘lsa, kontakt potentsiallari farqi topilsin?

2. Germaniy monokristali asosida tayyorlangan p-n o‘tishga $T_1 = 300 \text{ K}$ haroratda $U = 4 \text{ V}$ to‘g‘ri kuchlanish berildi. Agarda p-n o‘tish tayyorlangan material $T_2 = 280 \text{ K}$ haroratgacha sovitilsa, tok kuchi necha marta o‘zgaradi?

3. Kremniy monokristali asosida tayyorlangan p-n o‘tishga $T_1 = 300 \text{ K}$ haroratda teskari kuchlanish toki $I_0 = 30 \mu kA$ bo‘lsa $U = 4 \text{ V}$ to‘g‘ri va teskari kuchlanishda diodning differensial qarshiligi topilsin?

4. Germaniyli diod orqali oqib o‘tayotgan to‘g‘ri tok kuchi to‘g‘ri kuchlanishning $U = 0,5 \text{ V}$ qiymatida 50 mA bo‘lib, teskari kuchlanish 40 V ga oshirilganda, teskari tok kuchi 160 mA ga o‘zgargan bo‘lsa, to‘g‘ri va teskari kuchlanishlarda diodning differensial qarshiligi topilsin?

5. Diodning to‘g‘ri yo‘nalishda berilgan $U_{to'rg'}$ $= 0,4 \text{ V}$ kuchlanishda o‘zgarmas tokka elektr qarshiligi 6Ω bo‘lsa, diod ulangan elektr zanjiridagi tok kuchi topilsin?

6. To'g'rilovchi diodning teskari yo'nalishida berilgan $U_{tes} = 30 V$ kuchlanishda teskari tok kuchining son qiymati $I_{tes} = 2 mA$ bo'lsa, diodning teskari yo'nalishda o'zgarmas tokka elektr qarshiligi topilsin?

7. Yarimo'tkazgichli to'g'rilovchi diodning to'g'ri yo'nalishda berilgan kuchlanish $U_{to'rig'} = 0,3 V$ bo'lganda tok kuchi $I_{to'rig'} = 100 mA$ bo'lsa, diod qizishi natijasida sodir etiladigan quvvat isrofi topilsin?

8. Yarimo'tkazgichli diodning to'g'ri yo'nalishdagi tok kuchi $I_{to'rig'} = 4 A$, teskari yo'nalishdagi tok kuchi $I_{tes} = 2 mA$ bo'lsa, diodning o'zgaruvchan tokni to'g'rilash ko'effitsiyenti aniqlansin?

9. To'g'rilovchi diodning teskari yo'nalishdagi elektr qarshiligi $R_{tes} = 25 k\Omega$, to'g'ri yo'nalishdagi elektr qarshiligi $R_{to'rig'} = 2 \Omega$ bo'lsa, diodning o'zgaruvchan tokni to'g'rilash ko'effitsiyenti topilsin?

10. Yarim o'tkazgichli diod orqali oqib o'tgan tokning quvvati $P = 5 W$, to'g'rilangan tok kuchining qiymati $5 A$ bo'lsa, diodning to'g'ri yo'nalishda o'zgaruvchan tokka ichki qarshiligi aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. To'g'rilovchi diodlarning asosiy vazifalari nimalardan iborat?
2. Elektronika sanoatida to'g'rilovchi diodlarni ishlab chiqarishda asosan qanday materiallar ishlatiladi?
3. Germaniy materiali asosida tayyorlangan diodlar asosan nima maqsadlarda ishlatiladi?
4. Kremniy va germaniy materiallaridan tayyorlangan diodlar bir-biridan qanday xususiyatlariga ko'ra farq qiladi?
5. Qanday sharoitlarda germaniyli diodlarga qaraganda kremniyli diodlar ishlatiladi?
6. Kremniy materiali asosida tayyorlangan diodlar haroratning qanday oralig'ida ishlash qobiliyatini saqlaydi?
7. To'g'rilovchi diodlarni tavsiflovchi asosiy parametrlarini fizik mohiyatini tushuntiring?

8. To'g'rilovchi diodlarni issiqlikdan teshilish hodisasining sodir etilishi jarayonining fizik mexanizmini tushuntiring?

9. To'g'rilovchi diodlarni elektr teshilishi hodisasining sodir etilishi jarayonining fizik mexanizmini tushuntiring?

10. To'g'rilovchi diodlarni turli xil elektr zanjirlarida foydalanish uchun asosan qaysi parametrlari qat'iy e'tiborga olinishi talab etiladi?

2.3. Stabilitrnlarning tavsiflovchi parametrlarini hisoblash.

Asosiy tushunchalar.

Agar stabilitronni tok bilan ta'minlovchi manbaning kuchlanishi o'zining o'rtacha qiymatidan ikki tomonga o'zgarsa, cheklovchi qarshilikning kattaligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$r_{ch} = \frac{U_{orrt} - U_{st}}{I_{orrt} + I_y} \quad (2.1),$$

bu yerda $U_{orrt} = \frac{U_{min} + U_{max}}{2}$ (2.2) - kattalik stabilitrnga berilgan kuchlanishning o'rtacha qiymati;

U_{st} - stabilitron stabillashtiradigan kuchlanish;

$I_{orrt} = \frac{I_{min} + I_{max}}{2}$ (2.3) - stabilitronning o'rtacha tok kuchi;

$I_y = \frac{U_{st}}{r_y}$ (2.4) - stabilitron yuklamasidagi tok kuchi;

Elektr zanjiriga o'zaro ketma-ket ulangan va yondirish kuchlanishi bir xil bo'lgan stabilitronlarda kuchlanish teng taqsimlanadi:

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (2.5).$$

Ketma-ket ulangan stabilitronlarni yondirib beruvchi qarshiliklar yordamida yondirish uchun zarur bo'lgan manba kuchlanishi quyidagi (2.6) tenglama bilan aniqlanadi:

$$U = U_{yon} + (n - 1)U_{st} \quad (2.6),$$

bu yerda n – ketma-ket ulangan stabilitronlarning soni.

Stabillashgan kuchlanishning kattaligini kamaytirish uchun kuchlanishning bir qismini qarshilikda quyidagi (2.7) tenglamaga muvofiq holda yutdirish mumkin:

$$r = \frac{U_{st} - U}{I_y} \quad (2.7),$$

bu yerda: r - qarshilik;

U_{st} - stabillash kuchlanishi;

U - zarur bo'lgan stabillshgan kuchlanish;

I_y - yuklama tokining kuchi.

Stabillashning effektivligini ifodalovchi fizik kattalik stabilitronning stabillash koeffitsiyenti bo'lib, quyidagi (2.8) formula bilan aniqlanadi:

$$k_{st} = \frac{\Delta U}{U} : \frac{\Delta U_{st}}{U_{st}} \quad (2.8),$$

bu yerda: ΔU - tarmoq kuchlanishining o'zgarishi;

U - tarmoq kuchlanishi;

ΔU_{st} - stabillash kuchlanishining o'zgarishi;

U_{st} - stabilitronning stabillash kuchlanishi.

Stabilitronning o'zgarmas tokka minimal va maksimal ichki qarshiliklari mos ravishda quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$r_{min} = \frac{U_{st}}{I_{max}} \quad (2.9), \quad r_{max} = \frac{U_{st}}{I_{min}} \quad (2.10).$$

Stabilitronning o'zgaruvchan tokka ichki qarshiligi quyidagi (2.11) tenglama bilan ifodalanadi:

$$r_l = \frac{\Delta U_{st}}{\Delta I} \quad (2.11).$$

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

Elektr zanjirida tok kuchi $I_y = 15 \text{ mA}$ bo'lganda iste'molchi me'yoriy rejimda ishlashi uchun $U_{st} = 160 \text{ V}$ stabillangan kuchlanish talab etilgan holda tarmoq kuchlanishi $U_{min} = 210 \text{ V}$ dan $U_{max} = 236 \text{ V}$ gacha, stabilitronda tok kuchi $I_{min} = 10 \text{ mA}$ dan $I_{max} = 30 \text{ mA}$ gacha o'zgarsa, tok kuchini o'rtacha o'zgarishi va ushbu ish rejimida talab etiladigan cheklovchi qarshilikning qiymatlari topilsin?

Berilgan:

$$I_y = 15 \text{ mA} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ A}, U_{st} = 160 \text{ V}, U_{min} = 210 \text{ V}, U_{max} = 236 \text{ V}, \\ I_{min} = 10 \text{ mA} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ A}, I_{max} = 30 \text{ mA}.$$

Topish kerak: $I_{ort} = ?$, $r_{ch} = ?$

Yechish.

Tarmoqning o'rtacha kuchlanishini $U_{ort} = \frac{U_{min} + U_{max}}{2}$ (2) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_{ort} = \frac{U_{min} + U_{max}}{2} = \frac{210 + 236}{2} = 223 \text{ V}.$$

Ushbu holatda stabilitron orqali oqib o'tayotgan tok kuchining o'rtacha qiymati $I_{ort} = \frac{I_{min} + I_{max}}{2}$ (3) tenglamaga asosan:

$$I_{ort} = \frac{I_{min} + I_{max}}{2} = \frac{10 \cdot 10^{-3} + 30 \cdot 10^{-3}}{2} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ A}.$$

Masalani shartida aniqlanishi talab etilgan cheklovchi qarshilikning son qiymatini (1) tenglamadagi kattaliklarning hisoblab topilgan son qiymatlarini, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$r_{ch} = \frac{U_{ort} - U_{st}}{I_{ort} + I_y} = \frac{223 - 160}{20 \cdot 10^{-3} + 15 \cdot 10^{-3}} \approx 1,8 \text{ k}\Omega.$$

Javob: $I_{ort} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ A}$, $r_{ch} = 1,8 \text{ k}\Omega$.

Masala.

Iste'molchidagi yuklama kuchlanishini stabillash uchun ishlatilgan stabilitron qurilmasida stabillashtirilgan o'zgarmas elektr kuchlanishi $U_{st} = 20 \text{ V}$, tok kuchining maksimal va minimal qiymatlari $I_{max} = 40 \text{ mA}$, $I_{min} = 10 \text{ mA}$, yuklama qarshiligi $R_y = 1 \text{ k}\Omega$, cheklovchi rezistor qarshiligi $r_{ch} = 0,5 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, kuchlanishni ruxsat etilgan U_{max} - maksimal va U_{min} - minimal o'zgarishi qiymatlari topilsin?

Berilgan:

$$U_{st} = 20 \text{ V}, \quad I_{max} = 40 \text{ mA}, \quad I_{min} = 10 \text{ mA}, \quad R_y = 1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega,$$

$$r_{ch} = 0,5 \text{ k}\Omega = 0,5 \cdot 10^3 \Omega.$$

Topish kerak:

$$U_{max} = ?, \quad U_{min} = ?$$

Yechish.

Masalaning shartida bayon etilgan holatda elektr tarmog'idagi kuchlanish quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$U = U_{st} + r_{ch} \cdot (I_y + I_{st}) \quad (1).$$

Ushbu ish rejimida yuklama orqali oqib o'tayotgan tok kuchi elektr zanjirining bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan $I_y = \frac{U_{st}}{R_y}$ (2) tenglama bilan ifodalanadi. Tok kuchining (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik soddalashtirish amallarini bajarib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$U = U_{st} + r_{ch} \cdot \left(\frac{U_{st}}{R_y} + I_{st} \right) = U_{st} \cdot \left(1 + \frac{r_{ch}}{R_y} \right) + I_{st} \cdot r_{ch} \quad (3).$$

Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kuchlanishning ruxsat etilgan U_{max} – maksimal va U_{min} – minimal qiymatlarini quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_{max} = 20 \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} \right) + 40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^3 \approx 30 + 20 \approx 50 \text{ V}.$$

$$U_{min} = 20 \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} \right) + 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^3 \approx 30 + 5 \approx 35 \text{ V}.$$

$$\text{Javob: } U_{max} \approx 50 \text{ V}, \quad U_{min} \approx 35 \text{ V}.$$

Masala.

Yarim o'tkazgichli kremniy asosida tayyorlangan Д813 rusumli stabilitron elektr kuchlanishni stabillash maqsadida $R_y = 3 \text{ k}\Omega$ yuklama qarshiligiga 1-rasmda ko'rsatilganidek ulangan.

Agarda stabilitronda stabillash kuchlanishi $U_{st} = 15 \text{ V}$, tok kuchining I_{stmax} - maksimal va I_{stmin} - minimal qiymatlari mos ravishda $I_{stmax} = 30 \text{ mA}$, $I_{stmin} = 2 \text{ mA}$ bo'lib, tarmoq kuchlanishi $U_{min} = 20 \text{ V}$ dan $U_{max} = 50 \text{ V}$ gacha o'zgarsa, chegaralovchi qarshilikning qiymati topilsin?

Berilgan:

$$R_y = 3 \text{ k}\Omega = 3 \cdot 10^3 \Omega, \quad U_{st} = 15 \text{ V},$$

$$I_{stmax} = 30 \text{ mA} = 30 \cdot 10^{-3},$$

$$I_{stmin} = 2 \text{ mA} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ A},$$

$$U_{min} = 20 \text{ V}, \quad U_{max} = 50 \text{ V}.$$

Topish kerak: $r_{ch} = ?$

Yechish.

Masalaning shartida bayon etilishi hamda 1-rasmda tasvirlangan sxemaga asosan chegaralovchi qarshilik tenglama bilan ifodalanadi:

$$r_{ch} = \frac{U}{I} = \frac{U_{ort} - U_{st}}{U_{ort.st} + I_y} \quad (1).$$

Masalaning shartiga ko'ra aniqlanishi talab etilgan cheklovchi qarshilikning r_{ch} – qiymatini topish uchun avvalo (1) tenglamadagi kuchlanishning U_{ort} - o'rtacha qiymatini, stabilitron orqali oqib o'tgan tok kuchini $I_{st.ort}$ - o'rtacha qiymatini va yuklama qarshilik orqali oqib o'tgan tok kuchining I_y - qiymatlarini quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_{ort} = \frac{(U_{max} + U_{min})}{2} = \frac{50 + 20}{2} = 35 \text{ V},$$

$$I_{st.ort} = \frac{I_{stmin} + I_{ctmax}}{2} = \frac{30 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3}}{2} \approx 16 \cdot 10^{-3} \text{ A}.$$

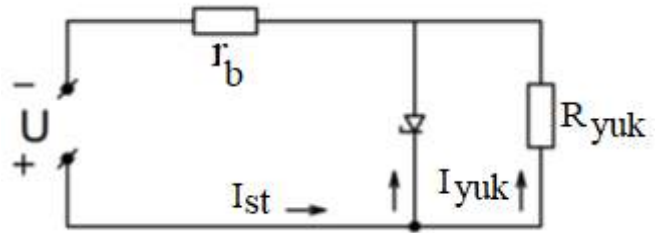
Elektr zanjirning bir qismi uchun G.Om qonuniga muvofiq yuklama qarshiligi orqali oqib o'tuvchi tok kuchining son qiymatini $I_y = \frac{U_{st}}{R_y}$ (2) tenglamadan topsak:

$$I_y = \frac{15 \text{ V}}{3 \cdot 10^3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ A}.$$

Masalaning shartiga ko'ra aniqlanishi talab etilgan cheklovchi qarshilikni (1) tenglamadagi kattaliklarni hisoblab topilgan qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$r_{ch} = \frac{U_{ort} - U_{st}}{I_{ort} + I_y} = \frac{35 - 15}{16 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3}} = \frac{20}{21 \cdot 10^{-3}} \approx 0,95 \text{ k}\Omega.$$

Javob: $r_{ch} \approx 0,95 \text{ k}\Omega$.



1-rasm.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Stabillash elektr kuchlanishi $U_{st} = 160\text{ V}$ bo'lgan stabilitronda tok kuchi $I_{min} = 6\text{ mA}$ dan $I_{max} = 36\text{ mA}$ gacha o'zgarganda stabillangan kuchlanishning qiymati $\Delta U = 5\text{ V}$ ga o'zgargan bo'lsa, stabilitronning o'zgaruvchan tokka ichki qarshiligi topilsin?

2. Elektr zanjiriga ulangan qurilmaning meyoriy rejimda ishlashi uchun tok kuchi $I_{st} = 40\text{ mA}$ bo'lganda $U_{st1} = 140\text{ V}$ stabillangan kuchlanish talab etiladigan holda $U_{st2} = 180\text{ V}$ stabillashgan kuchlanish beruvchi stabilitrondan foydalanilganda cheklovchi qarshilikning kattaligi qanday bo'lishi aniqlansin?

3. Tarmoq kuchlanishining o'rtacha qiymati $U_{ort} = 160\text{ V}$, stabilitron orqali oqib o'tayotgan tok kuchining o'rtacha qiymati $I_{ort} = 20\text{ mA}$ bo'lganda elektr zanjiriga ulangan qurilmaning meyorda ishlashi uchun talab etiladigan stabil kuchlanishning kattaligi $U_{st} = 120\text{ V}$ bo'lsa, cheklovchi qarshilikning kattaligi topilsin?

4. Stabilitron ulangan tok manbaining kuchlanishi 120 voltdan 140 voltgacha o'zgarsa, manba kuchlanishining nisbiy o'zgarishi aniqlansin?

5. Elektr zanjiriga ulangan yuklama qarshiligida tok kuchi $I_y = 15\text{ mA}$ bo'lganda qurilmaning meyorida ishlashi uchun $U_{st} = 160\text{ V}$ stabillangan kuchlanish talab etiladigan holda tarmoq kuchlanishi $U_{min} = 210\text{ V}$ dan $U_{max} = 240\text{ V}$ gacha, stabilitron orqali oqib o'tuvchi tok kuchi $I_{stmin} = 7\text{ mA}$ dan $I_{stmax} = 32\text{ mA}$ gacha o'zgarsa, tok kuchining o'rtacha o'zgarishi va cheklovchi kuchlanishning kattaligi topilsin?

6. Uchta stabilitron ketma-ket ulangan holda har bir stabilitronning stabillash va yonish kuchlanishlari bir xil, ya'ni $U_{st} = 120\text{ V}$, $U_y = 150\text{ V}$ bo'lsa, uchala stabilitronni bir vaqtda yondirish uchun talab etiladigan kuchlanishning qiymati aniqlansin?

7. Elektr zanjiriga ulangan qurilma orqali oqib o'tuvchi tok kuchi $I = 12\text{ mA}$ bo'lganda, $U = 140\text{ V}$ stabillangan kuchlanish talab etilgan holda ushbu kuchlanishni

stabillash uchun stabilitronning stabillash kuchlanishi $U_{st} = 165 V$ bo'lsa, cheklovchi qarshilikning kattaligi aniqlansin?

8. Elektr zanjiriga o'zaro ketma-ket ulangan uchta stabilitronlardan qanday stabillashgan kuchlanish olish mumkin. Stabilitronlarning stabillash kuchlanishlari bir xil, ya'ni $U_{st} = 150 V$.

9. Stabilitronning stabillash kuchlanishi $U_{st} = 140 V$, stabillangan kuchlanishning o'zgarishi $\Delta U_{st} = 5 V$ bo'lsa, stabilitron kuchlanishining nisbiy o'zgarishi topilsin?

10. Elektr zanjirining yuklama qarshiligida tok kuchi $I_y = 12 mA$ bo'lganda qurilmaning me'yorda ishlashi uchun $U_{st} = 180 V$ kuchlanish talab etiladi. Agarda stabilizator ulangan tarmoq kuchlanishining 220 voltdan 245 voltgacha o'zgarishida stabilitron uchun tok kuchining minimal va maksimal qiymatlari mos ravishda $I_{stmin} = 15 mA$ va $I_{stmax} = 30 mA$ bo'lsa, tok kuchining o'rtacha o'zgarishi hamda talab etiladigan cheklovchi qarshilikning qiymatlari aniqlansin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Stabilitronlar elektronika sanoatida asosan qanday maqsadlarda ishlatiladi va ularning amaliy ahamiyatini tushuntiring?

2. Stabilitronlar va stabistorlar ish rejimiga nisbatan qanday farqlanadi?

3. Yarimo'tkazgichli stabilitronlar qanday ish rejimida ishlaydi va ish rejimlarini tavsiflovchi parametrlarining fizik mohiyatini tushuntiring?

4. Stabilitronlarni tavsiflovchi parametrlarining fizik mohiyatini tushuntiring?

5. Stabilizatsiya kuchlanishini o'rtacha harorat koeffitsiyentining ta'riflang?

6. Stabilitronlarning ishlash prinsipini fizik mohiyatini tushuntiring?

7. Stabilitronning stabilizatsiya xususiyatini ifodalovchi, ya'ni stabilizatsiya kuchlanishining tok kuchiga bog'liqligini ko'rsatuvchi kattalik qanday nomlanadi?

8. Stabilizatsiya kuchlanishining chetlashishi deyilganda nimani tushundingiz?

9. Stabilitronlarda stabilizatsiya kuchlanishining ΔU_{st} - chetlashishi asosan qaysi kattaliklarga bog'liq?

10. Stabistorlar qanday ish rejimida ishlaydi?

2.4. Bipolyar tranzistorlarning parametrlarini hisoblash.

Asosiy tushunchalar.

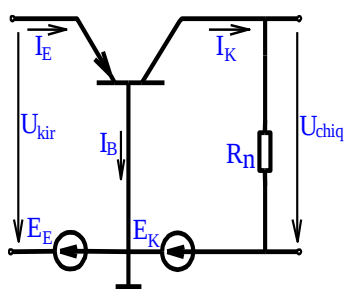
Amaliyotda ko‘p hollarda umumiy emitterli (2.4.1-rasm) yoki umumiy bazali sxemada ulanadigan bipolyar tranzistorlardan foydalaniladi I_k - kollektor tokining boshqaruvchi I_B - baza toki yoki I_E - emitter tokiga bog‘liqligi quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$I_k = \beta(I_B + I_{KO}) \quad (2.4.1), \quad I_k = 2I_E + I_{KO} \quad (2.4.2),$$

$$\beta = h_{21E} \text{ va } \alpha = h_{21B} \quad (2.4.3) - \text{tok uzatish koeffitsiyentlari.}$$

I_{KO} - baza kollektor p-n uzatishning teskari toki, bunda $I_E = 0$.

Umumiy emitterli va umumiy bazali sxemalarning uzatish koeffitsiyentlari orasida quyidagi bog‘lanish mavjud: $\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$ (2.4.4).



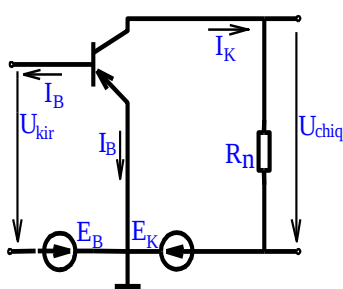
Umumiy baza sxemasi.

$$R_{kir} = R_E + R_B \cdot (1 - \alpha)$$

$$h_{21B} = \alpha \approx 1$$

$$K_{UB} \approx \frac{R_n}{R_{EB}}$$

$$K_{PB} \approx \frac{R_n}{R_{EB}}$$



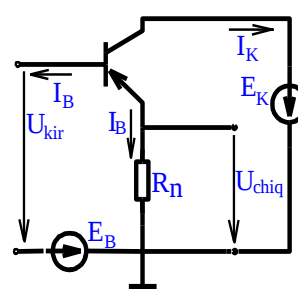
Umumiy emettir sxemasi.

$$R_{kir} = R_B + R_E \cdot (\beta + 1)$$

$$h_{21E} = \beta = -\frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$K_{UE} = -\frac{\beta \cdot R_n}{R_{BE}}$$

$$K_{PE} = \frac{\beta^2 \cdot R_n}{R_{BE}}$$



Umumiy kollektor sxemasi.

$$R_{kir} = R_B + (R_E + R_n)(\beta + 1)$$

$$h_{21B} = \beta + 1$$

$$K_{UB} \approx 1$$

$$K_{PB} \approx \beta$$

2.4.1-rasm. K_{UB}, K_{PB} - tranzistorni kuchlanish va quvvat bo‘yicha kuchaytirish koeffitsiyentlari

Kalit rejimida ikki holat – ochiq (to‘yinish) va berk (uzilish) rejimi bo‘ladi. Bu rejimlar umumiy emitterli sxema uchun quyidagi shartlarda bajariladi:

$$U_{kir} \leq R_B \cdot I_{KO}; \quad R_B \leq \beta \cdot R_k \quad (2.4.5),$$

tenglamadagi R_B va R_k - mos ravishda baza va kollektor zanjirlarning qarshiliklari.

O'zgaruvchan tokda tranzistorning kirish qarshiligi quyidagi (2.4.6) tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_{kir} = \frac{\Delta U_{kir}}{\Delta I_{kir}} \quad (2.4.6)$$

bu yerda ΔU_{kir} - kirish kuchlanishning o'zgarishi, ΔI_{kir} - kirish kuchlanishining o'zgarishi ta'sirida kirish tokining o'zgarishi.

Umumiy emitterli sxemada baza tokini kuchaytirish koefitsiyenti quyidagi (2.4.7) tenglama bilan ifodalanadi:

$$h_{21E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \quad (2.4.6)$$

Umumiy bazali sxemada emitter tokini uzatish koefitsiyenti quyidagi (2.4.8) tenglama bilan ifodalanadi:

$$h_{21B} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E} \quad (2.4.8)$$

bu yerda ΔI_K , ΔI_B , ΔI_E – kattaliklar kollektor, baza va emitterda tok kuchlarining o'zgarishi.

Baza tokini kuchaytirish koefitsiyenti h_{21B} va emitter tokini o'zatish koefitsiyenti h_{21E} - orasidagi bog'liqlik quyidagi (2.4.9) tenglama bilan ifodalanadi:

$$h_{21E} = h_{21B}(1 - h_{21B}) \quad (2.4.9)$$

Kollektordagi quvvati isrofi:

$$P_K = I_K \cdot U_K \quad (2.4.10)$$

bu yerda I_K - kollektor toki, U_K - kollektordagi kuchlanish.

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

Elektr sxemasi 1-rasmda tasvirlangan p-n-p rusumli tranzistor qaysi rejimda ishlaydi?

Tranzistorni tavsiflovchi kattaliklarining son qiymatlari quyidagicha:

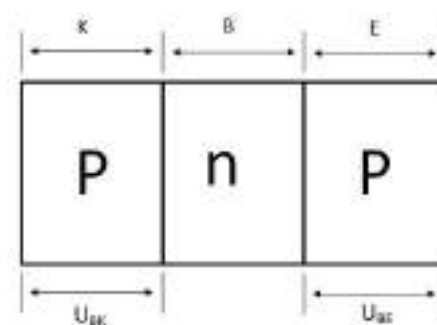
$$U_{B,E} = -0,4V, U_{K,E} = -0,3V, U_{B,E} = -0,4V, U_{K,E} = -10V, U_{B,E} = 0,4V, \\ U_{K,E} = -10V.$$

Berilgan:

$$U_{B,E} = -0,4 \text{ V}, \quad U_{K,E} = -0,3 \text{ V},$$

$$U_{B,E} = -0,4 \text{ V}, \quad U_{K,E} = -10 \text{ V},$$

$$U_{B,E} = 0,4 \text{ V}, \quad U_{K,E} = -10 \text{ V}.$$



1-rasm

Yechish:

Tranzistorni qaysi rejimda ishlashini aniqlash uchun avvalo emitter va kollektor o'tishini qaysi tomonga siljishini aniqlash lozim. Binobarin $U_{K,E}$ - kollektor va emitter orasida kuchlanish ikkita o'tish orasida taqsimlanadi, ya'ni:

$$U_{K,E} = U_{B,E} + U_{K,B} = U_{B,E} - U_{B,K} \quad (1) \text{ bu tenglamadan } U_{B,K} = U_{B,E} - U_{K,E} \quad (2).$$

Masalaning birinchi shartiga muvofiq: $U_{B,E} < 0$, to'g'ri emitter o'tishiga mos keladi va (2) tenglamaga asosan $U_{B,K} = 0,4\text{V} - (-0,3\text{V}) = -0,1\text{V}$ bo'lib, har ikki o'tish to'g'ri o'tish hamda u to'yinish rejimiga mos tushadi.

Masalaning ikkinchi shartiga muvofiq: $U_{B,E} < 0$, to'g'ri emitter o'tishiga mos keladi va (2) tenglamaga asosan $U_{B,K} = -0,4\text{V} - (-10\text{V}) = 9,6\text{V}$.

Demak, kollektor o'tish teskari yo'nalishda bo'lib, faol ish rejimiga mos tushadi.

Masalaning uchinchi shartiga muvofiq: $U_{B,E} < 0$, teskari emitter o'tishiga mos keladi va (2) tenglamaga asosan $U_{B,K} = 0,4\text{V} - (-10\text{V}) = 10,4\text{V}$ bo'lib, teskari kollektor o'tishiga mos keladi.

Demak, har ikki o'tish teskari yo'nalishda bo'lib, kesish ish rejimiga mos tushadi.

Masala.

Elektr zanjiriga 2-rasmda tasvirlangan sxema asosida ulangan n-p-n rusumli tranzistorning tavsiflovchi parametrlari quyidagicha: $\alpha_N = 0,995$; $\alpha_I = 0,1$; $I_{B,E \text{ tes}} = 10^{-14}\text{A}$; $I_{K,B \text{ tes}} = 10^{-13}\text{A}$.

Agarda $U_{K,B} = 5V$; $U_{B,E} = 0,62V$ bo'lsa, $T = 300 K$ haroratda I_E, I_K, I_B - emitter, kollektor, baza toklarini va bazaning β - tok uzatish koeffitsiyenti topilsin?

Berilgan:

$\alpha_N = 0,995$, $\alpha_I = 0,1$, $I_{B,E\ tes} = 10^{-14}A$, $I_{K.B.tes} = 10^{-13}A$, $U_{K,B} = 5V$, $U_{B,E} = 0,62V$, $T = 300 K$.

Topish kerak: $I_E = ?$, $I_K = ?$, $I_B = ?$, $\beta = ?$

Yechish:

Kollektor va emitter orasidagi kuchlanishni $U_{K,E} = U_{K,B} + U_{B,E}$ (1) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz: $U_{K,E} = 5 + 0,62 = 5,62 V$

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra $U_{B,E} = 0,62 V$, demak emitter o'tish to'g'ri yo'nalishda bo'lib, $U_{B,K} = -U_{K,B} = -5 V$.

Kollektor o'tishga teskari yo'nalganligini e'tiborga olsak, tranzistorning ish rejimi faol rejimga mos tushadi. Ushbu holatda, kollektor va emitter orqali oqib o'tayotgan tok kuchlarini quyidagicha aniqlashimiz mumkmn:

$$I_K = \alpha_N \cdot I_{E.B.tes} \left[e^{\frac{U_{B,E}}{\Phi_t}} - 1 \right] - I_{K.B.tes} \left[e^{\frac{U_{B,K}}{\Phi_t}} - 1 \right] =$$

$$= 0,995 \cdot 10^{-14} \cdot \left[e^{\frac{0,62}{0,25}} - 1 \right] + 10^{-13} \cdot \left[e^{\frac{-5}{0,25}} - 1 \right] \approx 5,86 \cdot 10^{-4} A.$$

$$I_E = I_{E.B.tes} \left[e^{\frac{U_{B,E}}{\Phi_t}} - 1 \right] - \alpha_I \cdot I_{K.B.tes} \left[e^{\frac{U_{B,K}}{\Phi_t}} - 1 \right] = 10^{-14} \cdot [e^{24,8} - 1] +$$

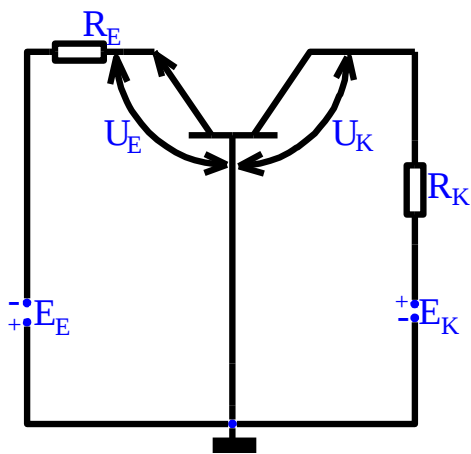
$$+ 0,1 \cdot 10^{-13} \approx 5,89 \cdot 10^{-4} A.$$

U holda baza orqali oqib o'tayotgan tok kuchini quyidagicha aniqlashimiz mumkin: $I_B = I_E - I_K = (5,89 - 5,86) \cdot 10^{-4} A = 3 \cdot 10^{-6} A$.

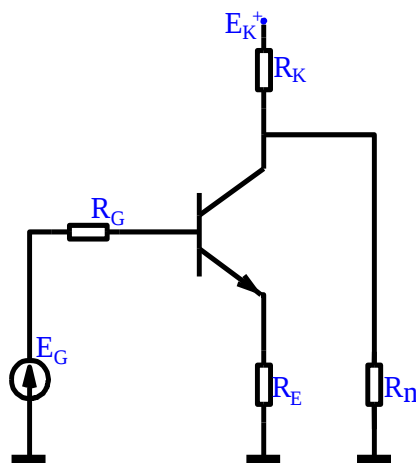
Baza orqali oqib o'tayotgan tok kuchi orqali bazaning tok uzatish koeffitsiyentini $\beta = \frac{I_K}{I_B}$ (2) tenglamadan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\beta = \frac{I_K}{I_B} = \frac{5,86 \cdot 10^{-4} A}{3 \cdot 10^{-6} A} \approx 195.$$

Javob: $\beta \approx 195$.



2-rasm



3-rasm

Masala.

Elektr zanjiriga 2-rasmda tasvirlangan sxema bo'yicha ulangan tranzistorning ish rejimi aniqlansin? Tranzistor kremniy materialidan tayyorlangan bo'lib, hisob ishlarini bajarishda tavsiflovchi parametrlarini quyidagi tartibda deb hisoblansin: $E_E = -2 V$, $R_K = 4 k\Omega$, $R_E = 1 k\Omega$, $E_K = 10 V$, $\alpha = h_{21B} = 0,99$.

Berilgan:

$$E_E = -2 V, R_K = 4 k\Omega, R_E = 1 k\Omega, E_K = 10 V, \alpha = h_{21B} = 0,99.$$

Topish kerak: $I_E = ?$, $I_K = ?$, $U_K = ?$

Yechish.

Elektr zanjirining kirish qismi uchun Kirxgofning 2-chi qonuniga muvofiq: $E_E = I_E \cdot R_E + U_E$ (1). Tranzistorni kremniydan tayyorlanganligini e'tiborga olsak, $U_E \approx 0,7 V$ deb hisoblashimiz mumkin va bu holda emitter tokini (2) tenglamadan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$I_E = \frac{E_E - U_E}{R} \quad (2), \quad I_E = \frac{2 - 0,7}{10^3} \approx 1,3 mA.$$

Emitter tokini hisoblab topilgan son qiymatini (3) tenglamaga qo'yib, kollektor tokini quyidagicha aniqlaymiz:

$$I_K = \alpha \cdot I_E \quad (3), \quad I_K = 0,99 \cdot 1,3 \cdot mA \approx 1,3 mA.$$

Kollektor tokining hisoblab topilgan va masalaning shartida berilgan kattaliklarning son qiymatlarini (4) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni

bajarib, elektr zanjirning chiqish qismidagi kuchlanishni quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$E_K = I_K \cdot R_K + U_K \quad (4), U_K = E_K - I_K R_K = 10V - 1,3 \cdot 10^{-3} A \cdot 4 \cdot 10^3 \Omega \approx 4,8V.$$

$$\text{Javob: } I_E \approx 1,3 \text{ mA}, I_K \approx 1,3 \text{ mA}, E_K \approx 4,8V.$$

Masala.

Tranzistor kaskadga 3-rasmda tasvirlanganidek umumiy emitterli sxema asosida ulangan bo'lib, tavsiflovchi asosiy kattaliklari va elektr zanjirning parametrlari quyidagicha: $h_{11E} = 800 \Omega$, $h_{12E} = 5 \cdot 10^{-4} \Omega$, $h_{21E} = 48$, $R_T = 1 \text{ k}\Omega$, $h_{22E} = 80 \mu\text{kSm}$, $R_E = 0,51 \text{ k}\Omega$, $R_K = 5,1 \text{ k}\Omega$, $R_n = 10 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, kuchlanish va tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentlari topilsin?

Berilgan:

$$h_{11E} = 800 \Omega, \quad h_{12E} = 5 \cdot 10^{-4} \Omega, h_{21E} = 48, \quad h_{22E} = 80 \mu\text{kSm}, \\ R_T = 1 \text{ k}\Omega, \quad R_E = 0,51 \text{ k}\Omega, \quad R_K = 5,1 \text{ k}\Omega, \quad R_n = 10 \text{ k}\Omega$$

Topish kerak: $K_u = ?$, $K_I = ?$

Yechish.

Elektr zanjirining kirish qarshiligini quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanishini e'tiborga olsak:

$R_{kir} = R_B + (r_E + R_E)(1 + h_{21E}) = R_B + r_E(1 + h_{21E}) + R_E(1 + h_{21E})$ (1),
ushbu holatda $h_{11E} = r_B + r_E(1 + h_{12E})$ (2) ifodani (1) tenglamaga qo'yib, $R_{kir} = h_{11E} + (1 + h_{21E}) \cdot R_E$ (3) tenglamani hosil qilamiz. Bu yerdan R_{kir} – kirish qarshiligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$R_{kir} = 800 + (1 + 48) \cdot 0,51 \cdot 10^3 \approx 25,8 \text{ k}\Omega.$$

Tranzistorning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentini aniqlash uchun quyidagi (4) tenglamadan foydalanamiz:

$$K_u = \frac{\beta \cdot R_{Kn}}{(R_G + R_{kir})} \quad (4), \quad \beta = h_{21E}, \quad (5) \quad R_{K,n} = \frac{R_K \cdot R_n}{R_K + R_n} \quad (6),$$

bu yerda h_{21E} - baza tokini uzatish ko'effitsiyenti, $R_{K,n}$ - kollektor zanjirining ekvivalent qarshiligi. Tenglamadagi kattaliklarning son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentini aniqlaymiz:

$$K_u = \frac{-48 \cdot \frac{5,1 \cdot 10}{5,1 + 10} \cdot 10^3}{(1 + 25,8) \cdot 10^3} \approx -6,05.$$

Bu yerda minus ishora elektr signalini inverslashni anglatadi.

Ushbu holatda (7) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, tranzistorning tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentini quyidagicha aniqlaymiz:

$$K_I = \beta \cdot \frac{R_\Gamma}{R_\Gamma + R_{\text{кип}}} \cdot \frac{R_K}{R_K \cdot R_H} (7), K_I = 48 \cdot \frac{10^3}{(1 + 25,8) \cdot 10^3} \cdot \frac{5,1 \cdot 10^3}{(5,1 + 10) \cdot 10^3} \approx 0,6.$$

Demak, sxemada tok bo'yicha kuchaytirish amalga oshirilmaydi.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Uzatish ko'effitsiyenti $\beta = 100$ bo'lgan bipolyar tranzistor umumiy emitter sxemasi bo'yicha elektr zanjiriga ulangan. Kollektor toki $I_k = 1 \text{ mA}$ bo'lsa, I_B – baza va I_E - emitter toki hamda α - emitterning tok uzatish ko'effitsiyenti topilsin? I_{KO} - baza kollektor p-n o'tishning teskari toki hisobga olinmasin?

2. Umumiy emitterli sxema bo'yicha ulangan bipolyar tranzistorda baza toki $I_B = 20 \mu\text{kA}$, kollektor toki $I_k = 1 \text{ mA}$ bo'lsa, α, β - emitter va bazani tok uzatish ko'effitsiyentlari topilsin?

3. Umumiy bazali sxema bo'yicha ulangan tranzistorning uzatish ko'effitsiyenti α aniqlansin? Agar $I_E = 5 \text{ mA}$, $I_{KO} = 20 \mu\text{kA}$ bo'lganda kollektor toki $I_k = 4,9 \text{ mA}$ ga teng bo'lsa, shu tranzistor umumiy emitterli sxema bo'yicha ulanganda uzatish ko'effitsiyenti aniqlansin?

4. Umumiy bazali sxema bo'yicha ulangan tranzistor quyidagi parametrlarga $h_{11b} = 50 \Omega$, $h_{12b} = 5 \cdot 10^{-4}$, $h_{21b} = -0,95$, $h_{22b} = 0,5 \mu\text{kSm}$ ega bo'lsa, shu tranzistorning h, y va z – parametrlarini a) umumiy kollektorli sxemada; b) umumiy emitterli sxemada hisoblab toping?

5. Umumiy emittr sxemasi bo'yicha elektr zanjiriga ulangan KT315A tranzistorli baza toki $0,1 \text{ mA}$ ga o'zgardi. Agar baza tokini uzatish ko'effitsiyenti $h_{21a} = 0,975$ bo'lsa, emitter tokining o'zgarishi aniqlansin?

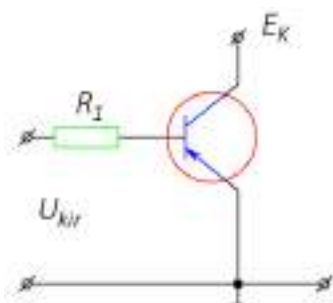
6. Elektr zanjiriga n-p-n rusumli tranzistor umumiy baza sxemasi bo'yicha ulangan. Emitter-baza kuchlanishi $U_{E-B} = -0,5 V$, kollektor-baza kuchlanishi $U_{K-B} = 12 V$ bo'lsa, kollektor – emitter kuchlanishini aniqlang?

7. Elektr zanjiriga p-n-p rusumli tranzistor umumiy emitter sxemasi bo'yicha ulangan. Baza-emitter kuchlanishi $U_{B-E} = -10 V$ bo'lsa, kollektor – baza kuchlanishini aniqlang?

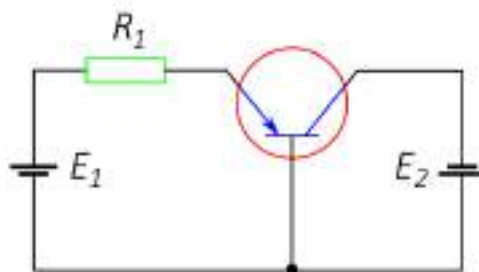
8. Agar kollektor toki $I_K = 5 \mu kA$ bo'lsa, 4-rasmda tasvirlangan elektr sxemaning kirishiga berilgan U_{kir} – kuchlanishining qiymati topilsin?. Hisob ishlarini bajarishda $R_1 = 20 k\Omega$, $\beta = 10$, $E_k = -10 V$ deb hisoblansin.

9. Elektr zanjiriga n-p-n rusumli tranzistor umumiy emitter sxemasi bo'yicha ulangan. Baza-emitter kuchlanishi $U_{B-E} = -5 V$ bo'lsa, kollektor-baza kuchlanishini aniqlang? Hisob ishlarini bajarishda $R_1 = 5 k\Omega$, $E_1 = 25 V$, $E_2 = 5 V$ deb hisoblansin.

10. Elektr zanjiriga 5-rasmda tasvirlangan sxemada baza toki $I_B = 80 \mu kA$ bo'lsa, baza tokini uzatish β -koeffitsiyentining qiymati aniqlansin?



4-rasm.



5-rasm.

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Tranzistor deb qanday elektron qurilmaga aytiladi va elektronika sanoatida nima qanday maqsadlarda qo'llaniladi?

2. Elektronika sanoatida tranzistorlarning qanday turlari ishlab chiqariladi?

3. Tranzistorlartavsiflovchi asosiy kattaliklarining fizik mohiyatini tushuntiring?

4. Tranzistorlar elektr zanjiriga ulanish usuliga ko'ra necha turga bo'linadi?

5. Tranzistorning qaysi o'tkazuvchanlik sohalarida asosiy zaryad tashuvchi zarrachalar konsentratsiyasi eng katta bo'lishi shart va buning sababini qanday izohlaysiz?

6. Tranzistorning baza sohasi nima sababdan juda yupqa (atigi bir necha mikrometr qalinlikda) qilib tayyorlanadi?
7. Tranzistorlarni tavsiflovchi kattaliklarning fizik ma'nosini tushuntiring?
8. Tranzistorlar qanday ish rejimlarida ishlaydi?
9. Elektr signalini kuchlanish va quvvat bo'yicha kuchaytirish maqsadida tranzistorni qaysi ulanish turidan foydalaniladi?
10. Tranzistorni statik va dinamik xarakteristikasi deganda nimani tushundingiz?

2.5. Maydon (unipolyar) tranzistorlar.

Asosiy tushunchalar

Maydon (unipolyar) tranzistorlarda bipolyar tranzistorlardan farqli ravishda elektr tokini o'tishida faqat bir turdagi zaryad tashuvchi zarrachalar ishtirok etadi va zaryad tashuvchi zarrachalarning turi kanal tayyorlangan materialning elektr o'tkazuvchanlik turiga bog'liq bo'ladi. Stok kuchlanishining o'zgarish holatidagi stok tokining zatvor kuchlanishiga nisbatini tavsiflovchi kattalikka xarakteristikaning tikligi deb ataladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$S = \frac{dI_S}{dU_Z} \quad (2.5.1), \quad U_{S-I} = \text{const.}$$

Zatvor kuchlanishining qiymati o'zgarish bo'lganda stok kuchlanishi o'zgarishini, stok tokining o'zgarishiga nisbatini tavsiflovchi kattalikka maydon tranzistorining ichki qarshiligi deb ataladi va (2.5.2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_i = \frac{dU_{S-I}}{dI_S} \quad (2.5.2), \quad U_{Z-I} = \text{const.}$$

Stok kuchlanishini, zatvor kuchlanishiga nisbatan necha marta o'zgarishini tavsiflovchi kattalik k -kuchaytirish ko'effitsiyenti deyiladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$k = \frac{dU_{S-I}}{dU_{Z-I}} \quad (2.5.3), \quad I_S = \text{const.}$$

Maydon tranzistorining kirish qarshiligi zatvor-istok orasidagi kuchlanish o'zgarishining zatvor-istok orqali oqib o'tuvchi tok kuchining o'zgarishiga nisbatini tavsiflaydi va quyidagicha ifodalanadi:

$$R_k = \frac{\Delta U_{Z-I \max}}{\Delta I_{Z-I \max}} \quad (2.5.4).$$

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

Maydon tranzistori kanali n-tur elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, solishtirma elektr o'tkazuvchanligi $\sigma_n = 20 \frac{\text{sm}}{\text{m}}$, zatvor-istok orasidagi kuchlanishning $U_{Z-I} = 0$ qiymatida kanal sohasining kengligi $d = 5 \mu\text{km}$ bo'lsa, kesish (otsechka) kuchlanishi topilsin?

Hisob ishlarini bajarishda kremniy moddasining dielektrik singdiruvchanligi $\varepsilon = 12$, elektronlarning kremniy kristalidagi harakatchanligi $\mu_n = 0,13 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}$ deb hisoblansin.

Berilgan.

$$\sigma_n = 20 \frac{\text{sm}}{\text{m}}, U_{Z-I} = 0, \varepsilon = 12, \mu_n = 0,13 \frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}}, u_z = 0, R_{S-I} = 50 \Omega, \\ d = 5 \mu\text{km} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}.$$

Topish kerak: $U_q = ?$

Echu.

Maydon tranzistorining kanal sohasini solishtirma elektr o'tkazuvchanligi $\sigma_n = \sigma_n \cdot e \cdot N_d$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda N_d – kattalik donor kirishma atomlari konsentratsiyasi.

Masalaning shartida berilgan kattaliklarning son qiymatlarini qo'yib, (1) tenglamadan N_d – donor kirishmalar konsentratsiyasini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$N_d = \frac{\sigma_n}{\mu_n \cdot e} = \frac{20}{0,13 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 9,6 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}.$$

Maydon tranzistorida zatvor va istok orasida kuchlanishning qiymati $U_{Z-I} = 0$ holatida otsechka kuchlanishi quyidagi (2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$U_q = \frac{e \cdot N_d \cdot a^2}{2\varepsilon\varepsilon_0} \quad (2),$$

bu yerda a – kattalik kanal kengligining yarmisini ifodalaydi, ya'ni $a = \frac{d}{2}$.

Yuqorida keltirilgan (2) tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kesish (ostechka) kuchlanishini quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_q = \frac{e \cdot N_d \cdot a^2}{2\epsilon\epsilon_0} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 9,6 \cdot 10^{20} \cdot \left(\frac{5}{2} \cdot 10^{-6}\right)^2}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 12} \approx 4,5 \text{ V}.$$

Javob: $U_q \approx 4,5 \text{ V}$.

Masala.

Maydon tranzistorining quyidagi 1-rasmda tasvirlangan statik xarakteristikalariga asosan stok-istok va zatvor-istok orasidagi kuchlanishlarning $U_{s-I} = 8 \text{ V}$, $U_{z-I} = -3 \text{ V}$ qiymatlariga mos keluvchi ishchi nuqtasida Volt-Amper xarakteristikaning tikligi va tranzistorning ichki qarshiligi topilsin?

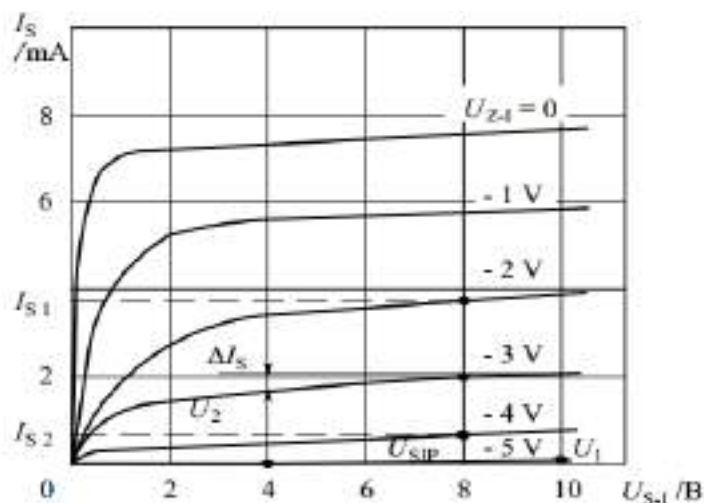
Berilgan.

$U_{s-I} = 8 \text{ V}$,

$U_{z-I} = -3 \text{ V}$

Topish kerak:

$S=?$, $R=?$



1-rasm.

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra son qiymatlari aniq bo'lgan kattaliklar $U_{s-I} = 8 \text{ V}$, $U_{z-I} = -3 \text{ V}$ asosida A - ishchi nuqtani tanlab olamiz va stok-istok kuchlanishining o'zgarmas $U_{s-I} = 8 \text{ V}$ qiymatiga hamda zatvor-istok kuchlanishining $\Delta U_{z-I} = \pm 1 \text{ V}$ o'zgarishi intervalida xarakteristikaning S – tikligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$S = \frac{\Delta I_S}{\Delta U_{z-I}} = \frac{I_{S1} - I_{S2}}{\Delta U_{z-I}} = \frac{(3,8 - 0,8) \cdot 10^{-3}}{2} \approx 1,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}}.$$

Ushbu holatda maydon tranzistorining ichki qarshiligini (1) tenglamaga asosan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$R = \frac{\Delta U_{S-I}}{\Delta I_S} = \frac{U_1 - U_2}{\Delta I_S} = \frac{10 - 4}{0,2 \cdot 10^{-3}} \approx 30 \text{ k}\Omega.$$

Javob: $S \approx 1,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$, $R \approx 30 \text{ k}\Omega$.

Masala.

p-n-o'tishi boshqariladigan maydon tranzistori kuchaytirish kaskadiga umumiy istok sxemasi bo'yicha ulangan bo'lib, stok tokining maksimal qiymati $I_{Smax} = 4 \text{ mA}$, xarakteristika tikligining maksimal qiymati $S_{max} = 4 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$, yuklama qarshiligi $R_y = 10 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, maydon tranzistorining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefitsiyenti topilsin?. Hisob ishlari zatvor va istok orasidagi kuchlanishning a) $U_{z-I} = -1,5 \text{ V}$, b) $U_{z-I} = -0,5 \text{ V}$ qiymatlarida bajarilsin.

Berilgan.

$$I_{Smax} = 4 \text{ mA}, S_{max} = 4 \frac{\text{mA}}{\text{V}}, R_y = 10 \text{ k}\Omega, \text{ a) } U_{z-I} = -1,5 \text{ V}, \text{ b) } U_{z-I} = -0,5 \text{ V}.$$

Topish kerak: $k_U = ?$

Yechish:

Masalaning shartiga ko'ra aniqlanishi talab etilgan maydon tranzistorining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefitsiyenti (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_U = S \cdot R_y \quad (1),$$

bu yerda S – kattalik maydon tranzistori xarakteristikasining tikligi, R_y – yuklama qarshiligi. Ushbu (1) tenglamadagi son qiymati masalaning shartida berilmagan S – kattalikni topishimiz uchun avvalo tranzistorning kesish kuchlanishini aniqlashimiz lozim, chunki maydon tranzistori xarakteristikasining S – tikligi va U_k – kesish kuchlanishi orasida bog'lanish quyidagi (2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$S = S_{max} \left(1 - \frac{U_{z-I}}{U_k} \right) \quad (2).$$

Yuqorida keltirilgan (2) tenglamadagi U_k – kesish kuchlanishini quyidagi (3) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_k = \frac{2I_{Smax}}{S_{max}} \quad (3), U_k = \frac{2 \cdot 4}{4} = 2 \text{ V}.$$

Ushbu holatda (2) tenglamadagi kattaliklarning hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, masalaning a) va b) shartlarga muvofiq holda maydon tranzistori xarakteristikasining tikligini topamiz:

$$S_a = S_{max} \left(1 - \frac{U_{Z-I}}{U_k} \right) = 4 \cdot \left(1 - \frac{1,5}{2} \right) = 1 \text{ mA/V}.$$

$$S_b = S_{max} \left(1 - \frac{U_{Z-I}}{U_k} \right) = 4 \cdot \left(1 - \frac{0,5}{2} \right) = 3 \text{ mA/V}.$$

Masalaning shartida berilgan va hisoblab topilgan kattaliklarning son qiymatlarini (2) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, maydon tranzistorining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$a) k_U = S \cdot R_y = \frac{1 \text{ mA}}{V} \cdot 10 \text{ k}\Omega = 10.$$

$$b) k_U = S \cdot R_y = \frac{3 \text{ mA}}{V} \cdot 10 \text{ k}\Omega = 30.$$

Javob: a) $k_U = 10$, b) $k_U = 30$.

Masala.

p-n-o'tishi boshqariladigan maydon tranzistorida stok tokining maksimal qiymati $I_{Smax} = 2 \text{ mA}$ va kesish kuchlanishi $U_k = 4 \text{ V}$ bo'lsa, zatvor-istok kuchlanishining teskari yo'nalishdagi $U_{Z-I} = 2 \text{ V}$ qiymatida stok tok kuchi topilsin? Ushbu holatda xarakteristikaning tikligi va maksimal tikligining qiymatlari aniqlansin.

Berilgan:

$$I_{Smax} = 2 \text{ mA}, U_k = 4 \text{ V}, U_{Z-I} = 2 \text{ V}.$$

Topish kerak:

$$I_S = ?, S_{max} = ?$$

Yechish.

Masalaning shartida berilgan kattaliklar asosida quyidagi (1) tenglamadan maydon tranzistori stokidagi tok kuchini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$I_S = I_{Smax} \left(1 - \frac{|U_{z-I}|}{U_k} \right)^2 \quad (1), \quad I_S = 2 \left(1 - \frac{2}{4} \right)^2 = 0,5 \text{ mA}.$$

Ma'lumki, maydon tranzistori xarakteristikasining tikligi masalaning shartida berilgan zatvor-istok orasidagi U_{z-I} – kuchlanish va U_k -kesish kuchlanishi orqali quyidagi (2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$S = \frac{2 \cdot I_{Smax}}{U_k} \left(1 - \frac{|U_{z-I}|}{U_k} \right) \quad (2).$$

Yuqorida keltirilgan (2) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, maydonli tranzistorning ushbu holatda xarakteristikasining tikligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$S = \frac{2 \cdot 2}{4} \cdot \left(1 - \frac{2}{4} \right) = 0,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}}.$$

Ushbu holatda maydon tranzistori xarakteristikasining maksimal tikligini quyidagi (3) tenglamadan aniqlashimiz mumkin:

$$S_{max} = \frac{2 \cdot I_{Smax}}{U_k} = \frac{2 \cdot 2}{4} = 1 \frac{\text{mA}}{\text{V}}.$$

$$\text{Javob: } I_S = 0,5 \text{ mA}, \quad S = 0,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}}, \quad S_{max} = 1 \frac{\text{mA}}{\text{V}}.$$

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Maydon (unipolyar) tranzistorlar deb qanday elektron asbobga aytiladi?
2. Maydon tranzistorlarining ishlash prinsipini tushuntiring?
2. Maydonli tranzistorlarning ishlash prinsipi qanday fizik hodisaga asoslangan?
3. Maydon va bipolyar tranzistorlarning asosiy farqlarini tushuntiring?
4. Maydon tranzistorlari elektr zanjiriga qanday usullarda ulanadi?
5. Maydon tranzistorlari qanday kattaliklar bilan tavsiflanadi?
6. Maydon tranzistori xarakteristikasining tikligi nimalarga bog'liq?
7. Statik kuchaytirish koeffitsiyenti tranzistorning qaysi xususiyatini tavsiflaydi?
8. Maydon tranzistorlarining asosiy afzalliklari nimalardan iborat?
9. Maydon tranzistori yuqori chastotalarda ishlashi uchun asosan qaysi parametri qat'iy hisobga olinadi?
10. Maydon tranzistorining elektr zanjiriga to'g'ri ulanishini tushuntiring?

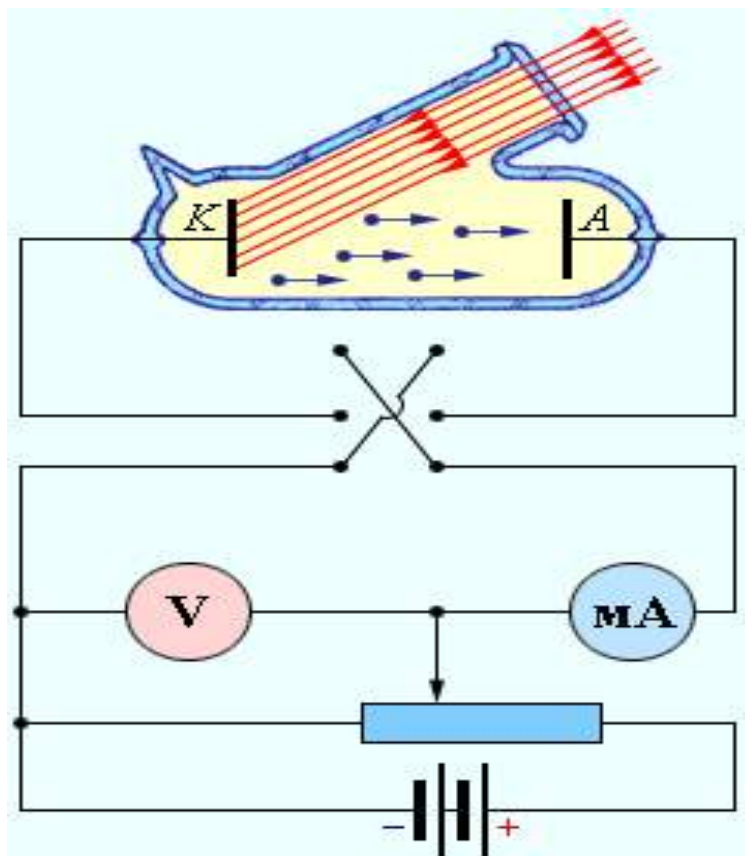
III.Bob. Yarimo‘tkazgichli fotoelektron asboblari.

Yarimo‘tkazgichli fotoelektron asboblari elektronika sanoatida yarimo‘tkazgich materiallari asosida ishlab chiqarilib, ularning ishlash prinsipi yarimo‘tkazgichlarda ichki fotoeffekt hodisasiga asoslangan. Yarimo‘tkazgichli fotoelektron asboblari tarkibiga fotorezistor, fotodiod, fototranzistor, fototiristor, yorug‘lik nurlanish diodi va boshqalarni kiritish mumkin. Ushbu asboblari elektronika sanoatida xususiyatlariga ko‘ra turli maqsadlarda ishlatiladi.

3.1. Yarimo‘tkazgichlarda fotoeffekt hodisasi.

Asosiy tushunchalar.

- *Foton* - nurlanish energiyasini tashuvchi zarracha bo‘lib, uning tinchlikdagi massasi nolga teng.
- Kvant nazariyasiga asosan yorug‘lik alohida ulushlar-kvantlar tarzida nurlanadi.
- *Fotoeffekt* - yorug‘lik nurlanishi ta’sirida moddadan elektronlarni uzib chiqarilishi hodisasi.
- *Fotoeffekt* - tashqi va ichki fotoeffekt turlariga bo‘linadi.



3.1.1 – rasm. Tashqi fotoeffekt hodisasini tadqiqoti qurilmasi.

Tashqi fotoeffekt - nurlanish ta'sirida jismning sirt yuzasidan elektronlarni uzib vakuumga uchib chiqarilishi hodisasi. Birinchi marta rux plastinasida kuzatilgan tashqi fotoeffekt hodisasini laboratoriya sharoitida tadqiqot qurilmasi 3.1.1 - rasmda tasvirlangan.

Ichki fotoeffekt - yarim o'tkazgich materiallarida nurlanish ta'sirida bog'lanishdagi elektronlarni bog'langan holatdan uzilib erkin holatga o'tishi hodisasi.

Tashqi va ichki fotoeffekt hodisalari bir xil qonuniyat asosida nurlanish energiyasi yutilishi natijasida sodir etiladi.

Fotoeffekt hodisasining quyidagi qonuniyatlari eksperimental tadqiqotlar asosida aniqlangan:

- Fotoeffekt hodisasida yorug'lik ta'sirida jismning sirtidan uchib chiqayotgan fotoelektronlarning tezligi sirt yuzasiga tushayotgan yorug'likning ν -chastotasiga bog'liq bo'lib, yorug'lik intensivligiga bog'liq emas.

- Vaqt birligi ichida ajralib chiqayotgan fotoelektronlarning soni jismning sirt yuzasiga tushayotgan nurlanish intensivligiga proporsionaldir.

- Har qanday modda uchun yorug'likning chegaraviy eng kichik ν - chastotasi mavjudki (fotoeffektning "qizil chegarasi") undan kichik chastotalarda fotoeffekt hodisasi ro'y bermaydi.

- Nurlanish fotonlarining energiyasi $W = h\nu > A_{ch}$ (3.1.1) bo'lsa, jism sirtidan elektronlar ajralib chiqib, nurlanish energiyasining qolgan qismi elektronlarning kinetik energiyasini ortishiga sarflanadi.

- Energiyaning saqlanish qonuniga asosan ushbu jarayon: $h\nu = A_{ch} + \frac{m\vartheta^2}{2}$ (3.1.2) tenglama bilan ifodalanadi. Bu ifodaga fotoeffekt uchun A.Eynshteyn tenglamasi deyiladi.

- Elektronlarning chiqish ishi uchun kerak bo'lgan fotonning energiyasi qiymatini tenglamadan aniqlasak: $h\nu_0 = A_{ch}$ (3.1.3). Ushbu ifodadan aniqlanuvchi ν_0 - chastotaga mos keluvchi λ_0 - to'lqin uzunlik fotoeffektning qizil chegarasi deb ataladi.

- Elektronlarning maksimal kinetik energiyasi $W_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = eU_d = eEd$ (3.1.4) tenglama bilan ifodalanadi

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

Fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi yorug'lik nurlanishi to'liq uzunligi $\lambda_q = 300 \text{ nm}$ bo'lsa, ushbu metalda fotoeffektni hosil qiluvchi fotonlarning minimal kinetik energiyasi topilsin?

Berilgan:

$$\lambda_q = 300 \text{ nm} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m}, \quad h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

Topish kerak: $E_m = ?$

Yechish.

Fotoeffekt uchun A.Eynshteyn tenglamasiga asosan $h \cdot \nu = A_{ch} + \frac{mv^2}{2}$ (1) bu yerda $h \cdot \nu$ - kattalik yorug'lik fotonining energiyasi, A_{ch} - chiqish ishi, $\frac{mv^2}{2}$ - fotoelektronlarning kinetik energiyasi. Fotoeffektning qizil chegarasi holatida fotonlarning $h \cdot \nu$ - minimal energiyasi A_{ch} - chiqish ishiga teng bo'lishi kerak. Bunday holatda yorug'lik fotonlarining minimal energiyasini $E_m = h \nu_q = h \frac{c}{\lambda_q}$ (2) tenglama bilan ifodalashimiz mumkin. Tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, yorug'lik fotonlarining minimal energiyasini quyidagicha aniqlaymiz:

$$E_m = h \frac{c}{\lambda_q} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \approx 6,62 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Javob: $E_m = 6,62 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Masala.

Volfram elementi moddasi uchun fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi yorug'lik to'liq uzunligi topilsin?. Volfram uchun fotoelektronlarning chiqish ishi $A_{ch} = 4,5 \text{ eV}$.

Berilgan:

$$A_{ch} = 4,5 \text{ eV} \approx 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}, \quad h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Topish kerak:

$$\lambda_q = ?$$

Yechish.

Fotoeffekt uchun A.Eynshteyn tenglamasiga asosan $h \cdot \nu = A_{ch} + \frac{m\nu^2}{2}$ (1), bu yerda $h \cdot \nu$ -kattalik yorug'lik fotonining energiyasi, A_{ch} -chiqish ishi, $\frac{m\nu^2}{2}$ - fotoelektronlarning kinetik energiyasi.

Fotoeffektning qizil chegarasi holatida fotonlarning $h \cdot \nu$ -minimal energiyasi, A_{ch} -chiqish ishiga teng bo'lishi kerak. Ushbu holatda yorug'lik fotonlarining minimal energiyasini $E_m = h\nu_q = h \frac{c}{\lambda_q}$ (2) tenglama bilan ifodalashimiz mumkin. Yuqorida keltirilgan (2) tenglamadan λ_q - yorug'lik to'lqin uzunligini topib, tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, volfram elementi uchun fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi λ_q -yorug'lik to'lqin uzunligini aniqlaymiz:

$$\lambda_q = h \frac{c}{A_{ch}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ j} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7,2 \cdot 10^{-19} \text{ j}} \approx 2,76 \cdot 10^{-7} \text{ m}.$$

Javob: $\lambda_q \approx 2,76 \cdot 10^{-7} \text{ m}.$

Masala.

Ishchi sirt yuzasi $S=30 \text{ sm}^2$ va integrall sezgirligi $\kappa=500 \frac{\mu\text{kA}}{\text{Lm}}$ bo'lgan selenli fotoelement gal'vanometr orqali elektr tarmoqqa ulangan. Qurilma yordamida $E=2 \text{ Lk}$ yoritilganligini o'lchash uchun galvanometrning sezgirligi β qanday bo'lishi kerak?

Berilgan:

$$\kappa=500 \frac{\mu\text{kA}}{\text{Lm}}=5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{A}}{\text{Lm}}, \quad S=30 \text{ sm}^2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2, \quad E=2 \text{ Lk}.$$

Topish kerak: $\beta = ?$

Yechish.

Amalda E-yoritilganlikni hosil qiluvchi fotoelementning ishchi sirt yuzasiga tushayotgan F yorug'lik oqimi $F = E \cdot S$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Tenglamadan F-yorug'lik oqimini topamiz: $F = 2 \text{ Lk} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Lm}$.

Ushbu holatda elektr zanjirida hosil qilingan fototok kuchini $i = k \cdot F$ (2) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$i = 5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{A}}{\text{Lm}} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ Lm} \approx 30 \cdot 10^{-7} \text{ A} \approx 3 \cdot 10^{-6} \text{ A}.$$

Binobarin, tok kuchining bunday qiymatini o'lchash uchun ishlatilayotgan galvanometr $\beta \sim 10^{-6} \text{ A}$ sezgirlikka ega bo'lishi talab etiladi, ya'ni galvanometr 10^{-6} A tok kuchining yuzdan bir ulushlarini qayd etishi keraak.

Javob: $\beta \sim 10^{-6} \text{ A}$

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi nurlanish chastotasi $\nu = 4 \cdot 10^{14} \text{ Gts}$ bo'lsa, nurlanish to'lqin uzunligi, fotonning massasi va energiyasi topilsin?

2. Fotoeffekt sodir etilgan moddada fotoelektronlarning chiqish ishi $A_{ch} = 4,5 \text{ eV}$ bo'lsa, fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi nurlanish chastotasi va energiyasi topilsin?

3. Taqiqlangan zona kengligi $E_g = 1,1 \text{ eV}$ bo'lgan yarimo'tkazgich materialining sirtiga tushayotgan nurlanish to'lqin uzunligi $\lambda = 400 \text{ nm}$ bo'lsa, fotoelektronlarning kinetik energiyasi va tezligi topilsin?

4. Yarimo'tkazgich materialining taqiqlangan zonasi kengligi $E_g = 1,52 \text{ eV}$ bo'lsa, fotoeffektni yuzaga keltiruvchi nurlanish energiyasi va to'lqin uzunligi topilsin?

5. Yarimo'tkazgich moddasida fotoeffektning qizil chegarasiga mos keluvchi nurlanish to'lqin uzunligi $\lambda = 500 \text{ nm}$ bo'lsa, yarimo'tkazgichning taqiqlangan zonasi kengligi topilsin?

6. Metal plastinka sirtida fotoeffekt hodisasi kuzatilgan moddada chiqish ishi $A_{ch}=1,4 \text{ eV}$ bo'lsa, fotoeffektni hosil qiluvchi nurlanish fotonlarining m_f - massasi topilsin?

7. Chiqish ishlarining son qiymatlari mos ravishda $A_{ch_1}=1,2 \text{ eV}$, $A_{ch_2}=1,8 \text{ eV}$ bo'lgan yarimo'tkazgichni moddalarda fotoeffektni yuzaga keltiruvchi nurlanish fotonlarining massalari nisbati topilsin?

8. Fotoeffektni yuzaga keltiruvchi nurlanish fotonlarining massasi $m_f=2,4 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$ bo'lsa, nurlanuvchi moddada fotoeffektning qizil chegarasi aniqlansin?

9. Chiqish ishi $A_{ch}=0,8 \text{ eV}$ bo'lgan moddaning sirtiga tushayotgan nurlanish chastotasi $\nu=2 \cdot 10^{14} \text{ Gts}$ bo'lsa, fotoeffekt natijasida hosil bo'lgan fotoelektronlarning kinetik energiyasi va tezligi topilsin?

10. Fotoeffekt jarayonida moddaning sirtiga tushayotgan nurlanish chastotasi $\nu_1=4 \cdot 10^{14} \text{ Gts}$ dan $\nu_2=8 \cdot 10^{14} \text{ Gts}$ ga o'zgartirilganda, fotoelektron-larning kinetik energiyasi necha marta o'zgaradi? Hisob ishlarini bajarishda nurlanish tushayotgan moddaning chiqish ishi $A_{ch}=0,82 \text{ eV}$ deb hisoblansin.

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Fotoeffektning fizik mohiyatini tushuntiring?
2. Fotoeffektning qizil chegarasi deganda nimani tushundingiz?
3. Ichki va tashqi fotoeffektlarning farqini tushuntiring?
4. Fotoeffektda fotoelektronlarni paydo bo'lishining fizik mexanizmini tushuntiring?
5. Yarimo'tkazgichlarda ichki fotoeffekt hodisasi qanday fizik jarayonlar asosida sodir etiladi?
6. Fotoeffektda to'yinish toki qaysi parametrlarga bog'liq?
7. Monoxromatik nurlanish oqimini o'zarishi bilan to'yinish toki qanday o'zgaradi?
8. Monoxromatik nurlanish energiyasining o'zgarishi fotoelektronlar-ning kinetik energiyasini qanday o'zgarishiga olib keladi?

9. Yarimo'tkazgichlarda sodir etiladigan ichki fotoeffektda fotoelektronlarning generatsiyasi jarayonining fizik mexanizmini tushuntiring?

10. Yarimo'tkazgichlarda nurlanish ta'sirida fotoelektronlarni generatsiyasi jarayoni materialning asosan qaysi parametrlariga bog'liq?

3.2. Fotorezistorlar.

Asosiy tushunchalar

Fotorezistor - bu yorug'lik nuri ta'sirida o'zining solishtirma elektr qarshiligini o'zgartiruvchi elektron asbob.

Fotorezistorlarni tavsiflovchi asosiy kattaliklari:

- Yoritilmagan holatdagi (qorong'ulikdagi) tok kuchi;
- Me'yoriy sharoitda fotorezistorning yoritilmagan holatdagi elektr qarshiligi;
- Ishchi kuchlanishida fototok kuchi;
- Yoritilgan holatdagi va qorong'ulikdagi tok kuchlarining farqi (ayirmasi);
- Yorug'lik nuriga nisbatan integral va spektrial sezgirligi;
- Sezgirlik diapazonining chegarasi;
- Ishchi kuchlanishi.

Fotorezistorning solishtirma sezgirligi quyidagi (3.2.1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_f = \frac{I_f}{F \cdot U} \quad (3.2.1)$$

bu yerda I_f - fototok kuchi, F - yorug'lik oqimi, U - fotorezistorning ishchi kuchlanish.

Fotorezistorning integral sezgirligi quyidagi (3.2.2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_f = \frac{I_f}{F} \quad (3.2.2).$$

Masala.

Elektr qarshiligi $R_0 = 15 \text{ k}\Omega$ bo'lgan fotorezistor elektr zanjiriga 1-rasmda tasvirlanganidek yuklama $R_y = 5 \text{ k}\Omega$ qarshilik bilan ketma-ket ulangan. Agarda fotorezistorga yorug'lik tushirilganda elektr zanjir orqali oqib o'tayotgan tok kuchi 3 marta ortgan bo'lsa, fotorezistorning yoritilgan holatda elektr qarshiligi topilsin?

Berilgan:

$$R_0 = 15 \text{ k}\Omega, R_y = 5 \text{ k}\Omega,$$

$$\frac{I_2}{I_1} = 3$$

Topish kerak:

$$R_f = ?$$

Yechish.

Elektr zanjirining bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan elektr zanjir orqali oqib o'tayotgan tok kuchi, fotorezistorga yorug'lik tushirilgan va qorong'ulik holatlarida quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$I_1 = \frac{U}{R_0 + R_y} \cdot (1), \quad I_2 = \frac{U}{R_f + R_y} \cdot (2),$$

bu yerda I_1 - zanjir orqali fotorezistorga yorug'lik tushirilmagan holatda oqib o'tuvchi tok kuchi, I_2 - fotorezistor yoritilgan holatda elektr zanjir orqali oqib o'tuvchi tok kuchi, R_f - fotorezistorning yoritilgan holatdagi elektr qarshiligi.

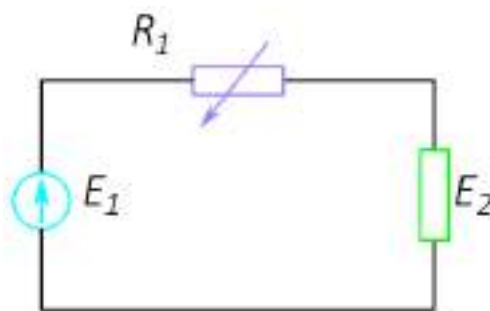
Masalaning shartida bayon etilishiga asosan har ikki holatda tok kuchlarining nisbati aniq bo'lganligi sababli (1) va (2) tenglamalarni hadma-had bo'lib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\frac{U}{R_f + R_y}}{\frac{U}{R_0 + R_y}} = \frac{R_0 + R_y}{R_f + R_y} \quad (3).$$

Tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tenglikni matematik amallarni bajarib, fotorezistorning yoritilgan holatdagi R_f - elektr qarshiligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\frac{R_0 + R_y}{R_f + R_y} = \frac{I_2}{I_1} = 3, \text{ bu yerdan } R_f = \frac{R_0 + R_y}{4} - R_y = \frac{15 + 5}{3} - 5 \approx 1,67 \text{ k}\Omega.$$

Javob: $R_f \approx 1,67 \text{ k}\Omega$.



1-rasm

Masala.

Yarimo'tkazgichli monokristal kremniy materiali asosida tayyorlangan ΦCK rusumli fotorezistor elektr zanjiriga ulangan. Agarda fotorezistorni ishchi sirt yuzasiga tushayotgan yorug'lik oqimi $F=0,5 \text{ Lm}$, tarmoq kuchlanishi $U=120 \text{ V}$, fototok kuchi $I_f = 20 \text{ mA}$ bo'lsa, fotorezistorning yorug'likka solishtirma integral sezgirligi k_i topilsin?

Berilgan:

$$U = 120 \text{ V}, \quad F = 0,5 \text{ Lm}, \quad I_f = 20 \text{ mA}.$$

Topish kerak:

$$k_i = ?$$

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra fotorezistorning ishchi sirt yuzasiga tushayotgan nurlanish energiyasi $W = h\nu \geq A_{ch} (1)$ deb hisoblaymiz, chunki ushbu shart bajarilmasa fotorezistorning ishchi sirt yuzasiga tushuvchi va moddaga yutilgan nurlanish energiyasi faqat fotorezistor tayyorlangan moddaning ichki energiyani ortishiga sarflanadi. Ushbu holatda fotorezistorning solishtirma integral sezgirligi quyidagi (2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_i = \frac{I_f}{F \cdot U} \quad (2).$$

Tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, fotorezistorning solishtirma integral sezgirligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$k_i = \frac{I_f}{F \cdot U} = \frac{20}{0,5 \cdot 120} \approx 0,33 \frac{\text{mA}}{\text{Lm} \cdot \text{V}}.$$

$$\text{Javob: } k_i \approx 0,33 \frac{\text{mA}}{\text{Lm} \cdot \text{V}}.$$

Masala.

Solishtirma integral sezgirligi $k_i = 3,5 \frac{\text{mA}}{\text{Lm} \cdot \text{V}}$ bo'lgan fotorezistor ulangan elektr zanjirida tarmoq kuchlanishi $U=160 \text{ V}$ bo'lganda, zanjir orqali $I_f = 8 \text{ mA}$ tok oqib

o'tishi uchun fotorezistorning ishchi sirt yuzasiga tushayotgan nurlanish oqimi F – qanday bo'lishi kerak?

Berilgan:

$$k_i = 3,5 \frac{mA}{Lm \cdot V}, \quad U = 160 V, \quad I_f = 8 mA.$$

Topish kerak:

$$F = ?$$

Yechish.

Ma'lumki, elektr zanjiriga ulangan fotorezistorning ishchi sirt yuzasiga tushayotgan F - nurlanish oqimi energiyasi yutilishi hisobiga fotorezistor tayyorlangan moddaning solishtirma elektr qarshiligi kamayishi natijasida zanjir orqali oqib o'tayotgan tok kuchi ortadi. Ushbu holatda fotorezistorning solishtirma integral sezgirligi quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_i = \frac{I_f}{F \cdot U} \quad (1).$$

Tenglamadan fotorezistorning ishchi sirt yuzasiga yutilgan nurlanish oqimini quyidagicha aniqlaymiz:

$$F = \frac{I_f}{k_i \cdot U} = \frac{8}{3,5 \cdot 160} \approx 0,014 Lm.$$

Javob: $F \approx 0,014 Lm.$

Masala.

Tarmoq kuchlanishi $U=200 V$ bo'lgan elektr zanjiriga ulangan fotorezistorning solishtirma integral sezgirligi $k_i = 2,5 \frac{mA}{Lm \cdot V}$, elektr zanjir orqali oqib o'tayotgan tok kuchi $I_f = 10 mA$, fotorezistor ishchi sirt yuzasining yoritilganligi $E_y = 50 Lk$ bo'lsa, fotorezistorning ishchi sirt yuzasi S topilsin?

Berilgan:

$$U = 200 V, \quad k_i = 2,5 \frac{mA}{Lm \cdot V}, \quad I_f = 10 mA, \quad E_y = 50 Lk.$$

Topish kerak:

$$S = ?$$

Yechish.

Elektr zanjiriga ulangan fotorezistorning solishtirma integral sezgirligi quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_i = \frac{I_f}{F \cdot U} \quad (1).$$

Tenglamadagi F - kattalik, ya'ni fotorezistorning ishchi sirt yuzasiga tushayotgan yorug'lik oqimining E_y - yoritilganlik orqali $F = E_y \cdot S$ (2) ifodasini (1) tenglamaga qo'yib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$k_i = \frac{I_f}{E_y \cdot S \cdot U} \quad (3).$$

Tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, fotorezistorning ishchi sirt yuzasini quyidagicha aniqlaymiz:

$$S = \frac{I_f}{k_i \cdot E_y \cdot U} = \frac{20}{2,5 \cdot 50 \cdot 200} \approx 4 \text{ sm}^2.$$

Javob: $S \approx 4 \text{ sm}^2$.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Ishchi kuchlanishi $U = 15 \text{ V}$ bo'lganda fotorezistorning solishtirma sezgirligi $k_i = 300 \frac{\text{mkA}}{\text{mV}}$, bo'lsa, uning integral sezgirligi aniqlansin?
2. Fotorezistorning yorug'likka sezgirligi $k_\phi = 5 \text{ mA/Lm}$, ishchi $S = 10^{-4} \text{ m}^2$ sirt yuzasining yoritilganligi $E=100 \text{ Lk}$ bo'lsa, fototok kuchining qiymati aniqlansin?
3. Solishtirma integral sezgirligi $k_i = 500 \frac{\text{mkA}}{\text{mV}}$ bo'lgan, $\Phi\text{CK-4}$ rusumli fotorezistorning ishchi sirt yuzasiga tushayotgan yorug'lik oqimi $F = 1,5 \text{ Lm}$ bo'lsa, $U = 30 \text{ V}$ kuchlanish berilganda hosil bo'ladigan fototok kuchi topilsin?
4. Fotorezistorga berilgan kuchlanish $U = 120 \text{ V}$, ishchi sirt yuzasiga tushayotgan yorug'lik oqimi $F = 0,5 \text{ Lm}$, fototokning qiymati $I_f = 20 \text{ mA}$ bo'lsa, fotorezistorning solishtirma sezgirligi topilsin?
5. Agar yorug'lik oqimi doimiy (o'zgarmas) bo'lsa, fototok yorug'lik manbaining spektral tarkibiga bog'liq bo'ladimi?

6. Fotorezistorning ishchi sirt yuzasi 2 marta orttirilsa, fototok kuchining qiymati qanday o'zgaradi?

7. Fotorezistorning ishchi sirt yuzasining yoritilganligi 4 marta orttirilsa, fototok kuchining qiymati qanday o'zgaradi?

8. $\Phi C-A1$ rusumli fotorezistorning yorug'lik tushmagandagi (qorong'ulikdagi) elektr qarshiligi $R_q = 10\text{ k}\Omega$, yoritilgandagi elektr qarshiligi $R_y = 1,2\text{ k}\Omega$ bo'lsa, fotorezistorning elektr qarshiligining nisbiy o'zgarishi topilsin?

9. $\Phi C-A6$ rusumli fotorezistorning qorong'ulikdagi qarshiligi $R_q = 20\text{ k}\Omega$ bo'lsa, fotorezistorning ishchi kuchlanishi topilsin?

10. $\Phi C-\Delta O$ rusumli fotorezistorning qorong'ulikdagi qarshiligi $R_q = 300\text{ k}\Omega$, qarshilikning o'zgarishi karraligi 450ga teng bo'lsa, fotorezistorning yoritilgan holatdagi elektr qarshiligi topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Fotorezistorlarning ishlash prinsipi qanday fizik hodisalarga asoslanganligini mohiyatini tushuntiring?

2. Elektronika sanoatida sezgirliги yuqori bo'lgan fotorezistorlarni tayyorlashda nima sababdan yarimo'tkazgichli materiallardan foydalaniladi?

3. Ichki fotoeffekt hodisasining fizik mohiyatini qanday tushundingiz va ushbu fizik jarayon sodir etilishining mexanizmini qanday tasavvur qildingiz?

4. Fotorezistorlarning yorug'likka sezgirliги darajasi asosan qanday omillarga bog'liq ekanligini tushuntiring?

5. Fotorezistorning integral sezgirliгining fizik ma'nosini tushuntiring?

6. Fotorezistorning spektrial sezgirliгining fizik ma'nosini tushuntiring?

7. Fotorezistorlarning spektrial va integral sezgirliгining farqini izohlab bering?

8. Fotorezistorning ishchi sirt yuzasi ikki marta orttirilganda uning integral sezgirliги qanday o'zgaradi?

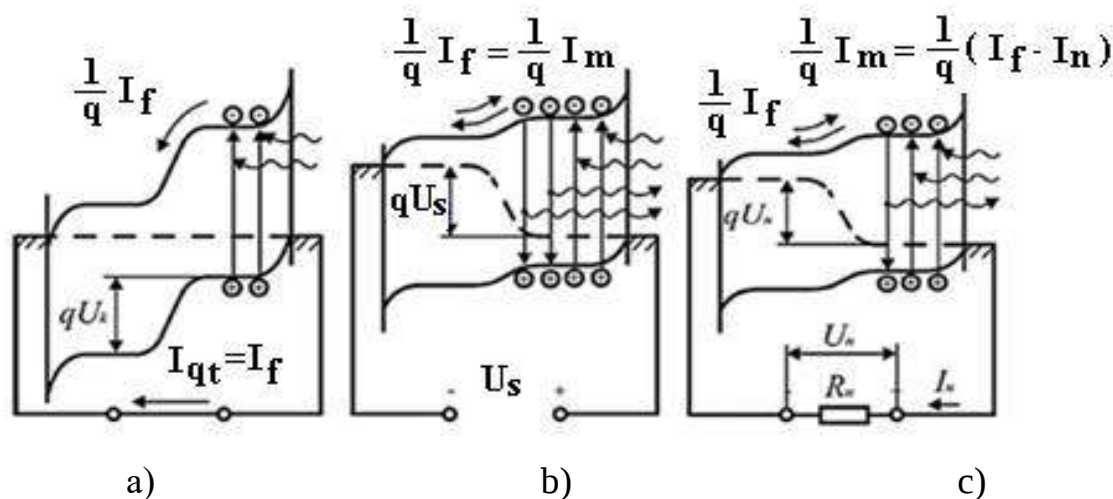
9. Fotorezistorning ishchi sirt yuzasi to'rt marta kamaytirilganda uning spektrial sezgirliги qanday o'zgaradi?

10. Fotorezistorlar amaliyotda asosan qanday maqsadlarda ishlatiladi?

3.3. p-n o'tishda fotoeffekt hodisasi.

Asosiy tushunchalar.

Fotoelementlar tok manbai sifatida ishlatilganda R_y – yuklama qarshiligi elektr zanjiriga ulangan bo'lishi talab etiladi. Quyosh modullari yuklama qarshiligining $R_y = 0$ qiymatida qisqa tutashuv rejimida (3.3.1 - a) rasm), $R_y = \infty$ holatda esa salt ishlash (3.3.1 - b) rasm) rejimida ishlaydi. Birinchi holatda (3.3.1 – a) pacm) p–n o'tishning zona diagrammasi, siljish kuchlanishi berilmagan va yoritilmagan termodinamik muvozanat holatidagi p–n o'tishning zona diagrammasidan farq qilmaydi. Ushbu holatda p–n o'tish orqali fototokning oqib o'tishiga yoritish hisobiga fotogeneratsiya natijasida p-sohada elektron – kovak juftining hosil bo'lishi sabab bo'ladi.



3.3.1-rasm. Yoritilgan holatda p–n-o'tishning turli rejimlarda zona diagrammasi.
a) qisqa tutashuv rejimi; b) salt ishlash rejimi; c) yuklama qarshilik ulangan holatdagi ish rejimi.

➤ Qisqa tutashtirilgan p–n o'tishli elektr zanjirida yorug'lik ta'sirida hosil bo'lgan fotoelektronlar p–sohadan n-soha o'tib, to'planishi natijasida uni manfiy zaryadlaydi, p–sohada qolgan ortiqcha kovaklar hisobiga musbat hajmiy zaryadlar hosil qilinadi. Shu tariqa hosil bo'lgan potentsiallar farqiga, qutblari to'g'ri p–n o'tishga mos keluvchi $U_{s,i}$ - salt ishlash kuchlanishi deb yuritiladi

➤ Salt ishlash rejimida (3.3.1 - b) rasm) to'g'ri o'tishli salt ishlash kuchlanishining $U_{s,i}$ qiymatida fototok kuchi qorong'ulikdagi tok kuchining qiymatiga tenglashadi va matematik jihatdan quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$I_q = I_0 \cdot \left[\left(\frac{kT}{q} \right) \exp \left(\frac{q \cdot U_{s,i}}{A \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right] \approx I_f \quad (3.3.1),$$

bu yerda $U_{s,i}$ – kattalik to‘g‘ri o‘tishli p–n o‘tishda salt ishlash kuchlanishi.

➤ Tenglamadagi A - kattalik p–n o‘tishning volt-amper tavsifini ifodalovchi chiziqqa o‘tkazilgan urinma bo‘yicha tok zichligi ortishi bilan kuchlanishni ortib borishini ifodalaydi va quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$A = 0,434 \cdot \frac{q \cdot \Delta U}{k \cdot T} \quad (3.3.2).$$

➤ Yorug‘lik ta’sirida generatsiyalangan nomuvozanatdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi hisobiga hosil bo‘lgan fototok quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$I_f = \frac{q \cdot P_y}{h \cdot \nu} \quad (3.3.3),$$

bu yerda P_y – yoritilayotgan ishchi sirt yuzasiga tushayotgan nurlanish quvvati, $h \cdot \nu$ – ishchi sirt yuzasiga yutilgan nurlanish fotonlarining energiyasi.

➤ Salt ishlash rejimida to‘g‘ri o‘tishli p–n o‘tishda salt ishlash kuchlanishi (3.2.1) tenglamaga asosan quidagicha ifodalanadi:

$$U_{s,i} = \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_f}{I_0} + 1 \right) \approx \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_f}{I_0} \right) \quad (3.3.4).$$

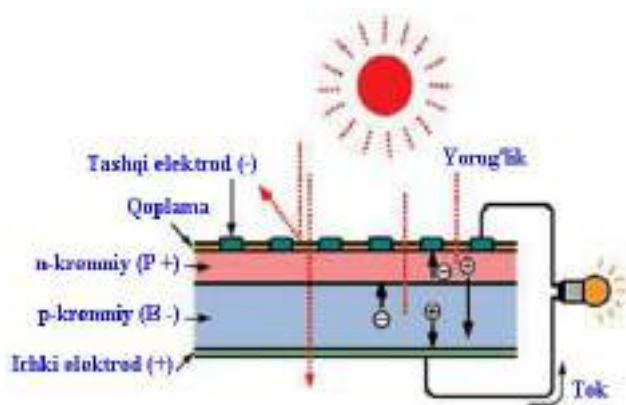
➤ Agarda p–n o‘tishli elektr zanjiriga yuklama qarshilik ulangan bo‘lsa, u holda tok oqimining yo‘nalishi har doim fototok yo‘nalishiga mos bo‘ladi. Bunday holatlarda yorug‘lik ta’sirida p–n o‘tishning volt-amper tavsifini quyidagi tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$U_y = \left(\frac{kT}{q} \right) \cdot \ln \left[\frac{(I_f - I_y)}{I_0} + 1 \right] \quad (3.3.5),$$

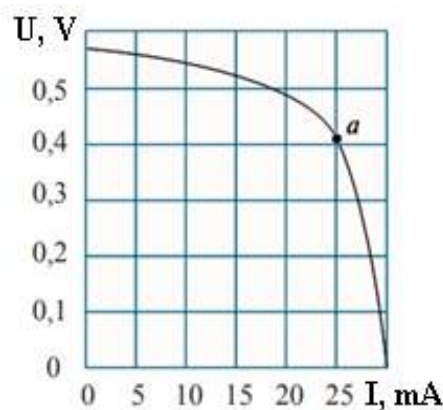
bu yerda U_y - kattaligi jihatidan p–n o‘tishdagi kuchlanishga teng bo‘lgan yuklama qarshilikdagi kuchlanish, I_f -yuklamadagi tok kuchi, I_0 -to‘yinish toki, I_f -fototok, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K - Bolsman doimiysi, T – mutloq harorat, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl elektronning zaryadi.

Yarimo‘tkazgichli fotoelementlarning umumiy ko‘rinishi va volt-amper tavsifi 3.3.2 va 3.3.3 - rasmlarda tasvirlangan bo‘lib, unga ko‘ra fotoelementning maksimal quvvati rasmda ko‘rsatilgan a – nuqtaga mos keluvchi ish rejimiga nisbatan tanlanadi

va matematik jihatdan $P_{max} = U_0 \cdot I_0 = k_t \cdot U_{s.i} \cdot I_{q.t}$ tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda U_0 va I_0 – mos ravishda quvvatning maksimal qiymatiga mos keluvchi kuchlanish va tok kuchi (rasmda kuchlanish va tok kuchining a -nuqtaga mos keluvchi qiymatlari), k_t -volt-amper tavsifining to'ldirilishi koeffitsiyenti, $U_{s.i}$ – salt ishlash kuchlanishi, $I_{q.t}$ – qisqa tutashuv toki.



3.3.2-rasm. Fotoelementlarning umumiy ko'rinishi.



3.3.3-rasm. Fotoelementlarning volt-amper tavsifi.

Fotoelementlarning foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{nur}} \cdot 100\% \quad (3.3.5),$$

tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda P_{max} – fotoelementning maksimal quvvati, P_{nur} – fotoelementning ishchi sirt yuzasiga tushuvchi nurlanish quvvati.

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

Yarimo'tkazgichli p-n o'tishli fotoelementni monoxromatik nurlanish bilan yoritilganda $T = 290 \text{ K}$ haroratda kuchlanishi $V_0 = 0,35 \text{ V}$, p-n o'tishning to'yinish tok zichligi $J_0 = 10^{-8} \text{ A/m}^2$, nurlanish ta'sirida hosil bo'lgan indutsirlangan tok zichligi $J_L = 2,2 \text{ mA/m}^2$ bo'lsa, yoritilgan holatda p-n o'tishdagi tok zichligi topilsin?

Berilgan:

$$T = 290 \text{ K}, \quad J_0 = 10^{-8} \frac{\text{A}}{\text{m}^2}, \quad V_0 = 0,35 \text{ V}, \quad J_L = 2,2 \frac{\text{mA}}{\text{m}^2}, \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl},$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}.$$

Topish kerak:

$J=?$

Yechish:

Ma'lumki, p-n o'tishni monoxromatik nurlanish bilan yoritilgan holatdagi va qorong'ulikdagi, ya'ni yorug'lik nuri bilan yoritilmagan holatdagi volt-amper tavsifini ifodalovchi matematik tenglamalari asosan yorug'lik ta'sirida yuzaga keluvchi fototokning qiymati bilan farqlanadi va quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$J = J_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{e \cdot V_0}{k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (1), \quad J = J_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{e \cdot V_0}{k \cdot T}\right) - 1 \right] - J_L \quad (2).$$

Ushbu holatda, masalaning shartida berilgan kattaliklarning son qiymatlarini (2) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, p-n o'tish orqali oqib o'tayotgan tok kuchining son qiymatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} J &= J_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{e \cdot V_0}{k \cdot T}\right) - 1 \right] - J_L = 10^{-8} \cdot \left[\exp\left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,35}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290}\right) - 1 \right] - 2,2 = \\ &= 12 \frac{mA}{m^2} - 2,2 \frac{mA}{m^2} \approx 9,8 \frac{mA}{m^2}. \end{aligned}$$

$$\text{Javob: } J \approx 9,8 \frac{mA}{m^2}.$$

Masala.

p-n o'tishli fotoelementning ishchi sirt yuzasi monoxromatik nurlanish bilan yoritilganda $T = 290 \text{ K}$ haroratda hosil bo'lgan fototokning qiymati $I_f = 5 \mu kA$, to'yinish toki $I_0 = 10^{-8} \text{ A}$ bo'lsa, p-n o'tishning salt ishlash kuchlanishi topilsin? p-n o'tishning volt-amper tavsifini ifodalovchi chiziqqa o'tkazilgan urinma bo'yicha kuchlanish o'zarishini tavsiflovchi ΔU kattalikni $\Delta U = 55 \text{ mV}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$T = 290 \text{ K}, \quad I_f = 5 \mu kA = 5 \cdot 10^{-6} \text{ A}, \quad \Delta U = 55 \text{ mV} = 55 \cdot 10^{-3} \text{ V},$$

$$I_0 = 10^{-8} \text{ A}, \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}, \quad k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}.$$

Topish kerak: $U_{s,i}=?$

Yechish:

Fotoelementlarning salt ishlash rejimida, to'g'ri o'tishli p-n o'tishda salt ishlash kuchlanishi (3.4) tenglamaga asosan quidagicha ifodalanadi:

$$U_{s,i} = \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_f}{I_0} + 1\right) \approx \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_f}{I_0}\right) \quad (1).$$

Masalaning shartida berilgan kattaliklarga asosanib, salt ishlash kuchlanishini aniqlashimiz uchun avvalo (1) tenglamadagi A kattalikning son qiymatini (3.2) tenglamadan topamiz:

$$A = 0,434 \cdot \frac{q \cdot \Delta U}{k \cdot T} = 0,434 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 55 \cdot 10^{-3}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290} \approx 0,95.$$

To'g'ri o'tishli p-n o'tishda salt ishlash kuchlanishining son qiymatini (1) tenglama-dagi kattaliklarning masalani shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$U_{s,i} \approx \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_f}{I_0}\right) \approx \frac{0,95 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \ln\left(\frac{5 \cdot 10^{-6}}{10^{-8}}\right) \approx 150 \text{ mV}.$$

Javob: $U_{s,i} \approx 150 \text{ mV}$.

Masala.

p-n o'tishli fotoelementlardan tuzilgan 12 ta quyosh modulidan iborat quyosh batareyasining maksimal quvvati va unga mos kelgan kuchlanishning qiymati topilsin?

Quyosh batareyasi, tavsiflovchi parametrlari deyarli bir xil bo'lgan fotoelementlardan tuzilgan bo'lib, tavsiflovchi parametrlarining son qiymatlari quyidagicha bo'lsin:

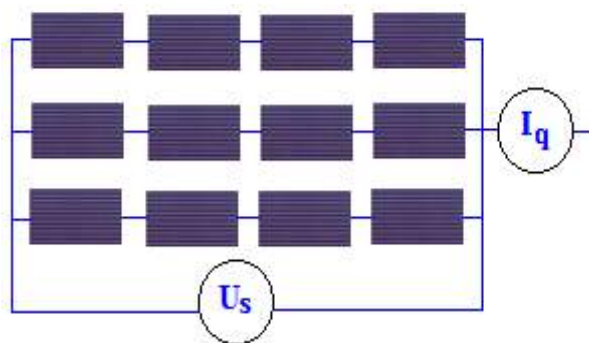
$$U_{m,f} = 40 \text{ V}; P_{m,b} = 210 \text{ W};$$

p-n o'tishli fotoelementlar soni $N_f = 72 \text{ ta}$ (1-rasm).

Berilgan:

$$U_{m,f} = 40 \text{ V}, P_{m,b} = 210 \text{ W}, N_f = 72 \text{ ta}.$$

Topish kerak: $S = ?$



1-rasm. Quyosh batareyasining sxemasi.

Yechish.

Masalaning shartida bayon etilishiga ko‘ra quyosh batareyasini tashkil etuvchi 12 ta quyosh modullari 1-rasmda tasvirlanganidek 3 ta qatorda o‘zaro ketma – ket ulangan va o‘zaro parallel ulangan 4 ta quyosh modulidan iborat sxemasi tuzilgan. Yuqorida keltirilgan sxema asosida tuzilgan elektr zanjiri uchun quyosh batareyasining maksimal quvvatiga mos keluvchi kuchlanishning maksimal qiymatini $U_{m.b} = 4 \cdot U_{m.f}$ (1) tenglamadan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$U_{m.b} = 4 \cdot U_{m.f} = 4 \cdot 40 \text{ V} = 160 \text{ V}.$$

U holda, quyosh batareyasining maksimal quvvatiga mos keluvchi quyosh modullaridagi tok kuchini $I_{m.f} = \frac{P_{m.b}}{U_{m.b}}$ (2) tenglamadan aniqlaymiz:

$$I_{m.f} = \frac{P_{m.b}}{U_{m.f}} = \frac{210}{40} = 5,25 \text{ A}.$$

Rasmda tasvirlangan sxemaga ko‘ra quyosh modullarini o‘zaro ketma-ket ulangan holda 3 ta qatorda joylashganligini hisobga olgan holda batareyaning maksimal quvvatiga mos keluvchi quyosh batareyasidagi tok kuchining son qiymatini $I_{m.b} = 3 \cdot I_{m.f}$ (3) tenglamadani aniqlaymiz:

$$I_{m.b} = 3 \cdot I_{m.f} = 3 \cdot 5,25 \text{ A} \approx 15,8 \text{ A}.$$

Masalaning shartida berilgan kattaliklar asosida hisoblab topilgan quyosh batareyasining maksimal quvvatiga mos keluvchi kuchlanish va tok kuchining maksimal son qiymatlarini $P_{m.b} = U_{m.b} \cdot I_{m.b}$ (4) tenglamaga qo‘yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyosh batareyasining maksimal quvvatini topamiz:

$$P_{m.b} = U_{m.b} \cdot I_{m.b} = 160 \text{ V} \cdot 15,8 \text{ A} \approx 2,53 \text{ kW}.$$

Javob: $P_{m.b} \approx 2,53 \text{ kW}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Monokristal kremniy asosida tayyorlangan p-n o'tishli fotoelementni monoxromatik nurlanish bilan yoritilgandagi p-n o'tishning to'yinish tok zichligi $J_0=10^{-9} A/m^2$, kuchlanishi $V_0=0,45 V$, nurlanish ta'sirida hosil bo'lgan indutsirlangan va p-n o'tishning tok zichliklari mos ravishda $J_L=2,2 mA/m^2$ va $J \approx 12,8 \frac{mA}{m^2}$ bo'lsa, p-n o'tish kristalining harorati topilsin?

2. Galliy arsenidi materialidan tayyorlangan p-n o'tishli fotoelementning salt ishlash ish rejimida, qorong'ulikdagi $T=290 K$ haroratda p-n o'tish orqali oqib o'tayotgan to'g'ri tok zichligi $J \approx 14,6 \frac{mA}{m^2}$, salt ishlash kuchlanishi $U_{s,i} \approx 160 mV$ bo'lsa, to'yinish tok zichligi topilsin?

3. Kremniy materiali asosida tayyorlangan p-n o'tishli fotoelementning salt ishlash ish rejimida monoxromatik nurlanish bilan yoritilgan holatda $T=300 K$ haroratda p-n o'tish orqali oqib o'tayotgan to'g'ri tok zichligi $J \approx 18,5 \frac{mA}{m^2}$, salt ishlash kuchlanishi $U_{s,i} \approx 185 mV$, nurlanish ta'sirida indutsirlangan fototok zichligi $J_L=1,8 mA/m^2$ bo'lsa, to'yinish tok zichligi topilsin?

4. Monokristal kremniy materialidan tayyorlangan p-n o'tishli fotoelementlardan tuzilgan 8 ta quyosh modulidan iborat quyosh batareyasining maksimal quvvati va unga mos kelgan kuchlanishning qiymati topilsin? Quyosh batareyasi, deyarli bir xil parametrli fotoelementlardan tuzilgan bo'lib, tavsiflovchi parametrlari quyidagicha bo'lsin: $U_{m,f}=30 V$; $P_{m,b}=180 W$; p-n o'tishli fotoelementlar soni $N_f=48 ta$.

5. Kremniy kristalidan tayyorlangan $T=285 K$ haroratda p-n o'tish to'yinish tokining zichligi $J_0=10^{-8} A/m^2$, salt ishlash kuchlanishi $U_{s,i} \approx 0,3 V$ bo'lgan fotoelementning qorong'ulikdagi to'g'ri p-n o'tish tokining zichligi topilsin?

6. Yorug'lik ta'sirida generatsiyalangan nomuvozanatdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi hisobiga hosil bo'lgan fototok kuchi $I_f=5 mA$, ishchi sirt yuzasiga tushayotgan nurlanish chastotasi $\nu=3 \cdot 10^{14} Gts$ bo'lsa, yoritilayotgan sirtga tushuvchi nurlanish quvvati aniqlansin?

7. Foydali ish koeffitsiyenti $\eta=0,14$, maksimal quvvati $P_{max}=50 mW$ bo'lgan fotoelementning sirtiga tushayotgan nurlanish quvvati aniqlansin?

8. p-n o'tishda fotoeffekt natijasida hosil bo'lgan fototok kuchi $I_f = 8 \text{ mA}$, ishchi sirt yuzasiga yutilayotgan nurlanish quvvati $P_y = 2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ bo'lsa, nurlanish fotonining energiyasi topilsin?

9. p-n o'tishli fotoelementni maksimal $P_{max} = 6 \text{ mW}$ quvvatiga mos keluvchi qisqa tutashuv toki $I_{\varepsilon} = 2 \text{ mA}$, salt ishlash kuchlanishi $u_s = 4 \text{ V}$ bo'lsa, volt-amper tavsifining to'ldirish ko'effitsiyenti topilsin?

10. Yarim o'tkazgichli fotoelementning volt-amper tavsifining to'ldirish ko'effitsiyenti $k = 0,9$ bo'lib, maksimal $P_m = 8 \text{ mW}$ quvvatga mos keluvchi salt ishlash kuchlanishi $u_s = 12 \text{ V}$ bo'lsa, I_q – qisqa tutashuv tok kuchi topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. p-n o'tishda fotoeffektni sodir etilishi jarayonining fizik mexanizmini tushuntiring?

2. p-n o'tishda fotoeffekt hodisasida fototok kuchi qanday kattaliklarga bog'liq?

3. Nomuvozanatli zaryad tashuvchilar deganda nimani tushundingiz?

4. Zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va nomuvozanatdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining farqi nimadan iboratligini tushuntiring?

5. Fotoelementlar nima sababdan p-n o'tishli yarimo'tkazgich materiallari asosida tayyorlanishining fizik asoslarini tushuntiring?

6. p-n o'tishli fotoelementlarda ishchi sirt yuzasiga tushuvchi nurlanish energiyasi ortganda fototok kuchi qanday o'zgaradi?

7. p-n o'tish kontakt potentsiallari farqining o'zgarishi fotoeffektning qizil chegarasini o'zgarishiga qanday ta'sir etadi?

8. Fotoelementlar tayyorlangan materialning xususiy zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi bilan fototok orasida o'zaro bog'liqlikni fizik mexanizmini tushuntiring?

9. p-n o'tishli fotoelementlarning r – sohasida akseptorlar, n-sohasida donorlar konsentratsiyasi ortib borishi bilan fotoelementning quvvati qanday o'zgaradi?

10. Monoxromatik nurlanish fotonlarining energiyasi ortishi bilan fotoelementning quvvati qanday o'zgaradi?

3.4. Yarimo'tkazgichli fotoelementlar.

Asosiy tushunchalar.

➤ *Fotoelement* - quyosh nurlanishi energiyasini elektr energiyasiga o'zgartirish uchun mo'ljallangan yarimo'tkazgichli qurilma.

➤ *Fotoelektr modul (quyosh paneli)* - yorug'lik energiyasini to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantirish uchun mo'ljallangan qurilma bo'lib, bir necha ketma-ket ulangan fotoelementlardan iborat bo'ladi.

➤ Quyosh fotoelektr stansiyalarida ishlatiladigan quyosh panellarini tashkil etuvchi ishchi qurilmalar asosan monokristal kremniy materiali asosida tayyorlangan p-n o'tishli fotoelementlardan iborat bo'lib, volt-amper tavsifi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$U = \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left[\frac{(I_f - I_0)}{I_0} + 1 \right] - IR \quad (3.4.1),$$

bu yerda $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ – Bolsman doimiysi, T – fotoelementning ishchi harorati, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ elementar zaryad, I_f – yorug'lik intensivligiga bog'liq bo'lgan fotoelement tomonidan hosil qilingan fototok kuchi, I_0 – fotoelement tayyorlangan materialning xususiyatlariga va texnologik jarayonlariga bog'liq bo'lgan teskari tokning to'yinish qiymati, R – ichki qarshilik, A – volt-amper tavsifining tiklik koeffitsiyenti deb nomlangan o'lchov birliksiz doimiy kattalik.

➤ *Fotoelementning chiqish quvvati:*

$P = (I_H \cdot U_H)_{\max} = \xi \cdot I_{qt} \cdot U_{sy} \quad (3.4.2)$, tenglama bilan ifodalanadi va bu yerda ξ – kattalik volt-amper tavsifining to'ldirilishi koeffitsiyenti deb atalib, volt-amper tavsifini to'g'ri burchakli shaklga yaqinlashishi drajasini ko'rsatadi hamda uning $\xi = 0,8 \div 0,9$ qiymatlarida fotoelement yuqori quvvatli deb hisoblanadi. I_{qt} - qisqa tutashuv toki, U_{si} - salt ishlash kuchlanishi $U_{si} = \ln\left(\frac{I_f}{I_0} + 1\right) \cdot \frac{k \cdot T}{q} \quad (3.4.3)$ tenglama bilan ifodalanadi.

➤ *Fotoelementlarning foydali ish koeffitsiyenti* – maksimal quvvatning birlik yuzaga tushuvchi yorug'lik intensivligiga nisbatidan aniqlanib, quyidagi (3.4) tenglama bilan ifodalanadi:

$$\eta = \frac{P}{I_{yor}} = \frac{I_f \cdot U_{sy}}{I_{yor}} = \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \frac{I_f}{I_{yor}} \cdot \xi \cdot \ln\left(\frac{I_f}{I_0}\right) \quad (3.4.4),$$

bu yerda I_{yor} – kattalik birlik sirt yuzasiga tushayotgan yorug‘lik intensivligi.

➤ *Fotoelektr modul (quyosh paneli)* – yorug‘lik energiyasini to‘g‘ridan-to‘g‘ri elektr energiyasiga aylantirish uchun mo‘ljallangan qurilma bo‘lib, bir necha ketma-ket ulangan fotoelementlardan iborat bo‘ladi.

➤ Quyosh fotoelektr stansiyalarida ishlatiladigan quyosh panellarini tashkil etuvchi ishchi qurilmalar asosan monokristal kremniy materiali asosida tayyorlangan p-n o‘tishli fotoelementlardan iborat bo‘lib, volt-ampere tavsifi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$U = \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln\left[\frac{(I_f - I_0)}{I_0} + 1\right] - IR \quad (3.4.5),$$

bu yerda $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ – Bolsman doimiysi, T – fotoelementning ishchi harorati, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ elementar zaryad, I_f – yorug‘lik intensivligiga bog‘liq bo‘lgan fotoelement tomonidan hosil qilingan fototok kuchi, I_0 – fotoelement tayyorlangan materialning xususiyatlariga va texnologik jarayonlariga bog‘liq bo‘lgan teskari tokning to‘yinish qiymati, R – ichki qarshilik, A – volt-ampere tavsifining tiklik koeffitsiyenti deb nomlangan o‘lchov birliksiz doimiy kattalik.

➤ *Fotoelementning chiqish quvvati* - $P = (I_H \cdot U_H)_{max} = \xi \cdot I_{qt} \cdot U_{sy}$ (3.4.6) tenglama bilan ifodalanadi va bu yerda ξ - kattalik volt-ampere tavsifining to‘ldirilishi koeffitsiyenti deb atalib, volt-ampere tavsifini to‘g‘ri burchakli shaklga yaqinlashishi drajasini ko‘rsatadi hamda uning $\xi = 0,8 \div 0,9$ qiymatlarida fotoelement yuqori quvvatli deb hisoblanadi. I_{qt} - qisqa tutashuv toki, U_{si} - salt ishlash kuchlanishi $U_{si} = \ln\left(\frac{I_f}{I_0} + 1\right) \cdot \frac{k \cdot T}{q}$ (3.4.7) tenglama bilan ifodalanadi.

Masala.

Ishchi sirt yuzasi $S=30 \text{ sm}^2$ va integrall sezgirlik $\kappa=500 \frac{\mu\text{KA}}{\text{Lm}}$ bo‘lgan selenli fotoelement gal’vanometr orqali elektr tarmoqqa ulangan. Qurilma yordamida

$E=2\text{ Lk}$ yoritilganligini o'lchash uchun galvanometrning sezgirligi β qanday bo'lishi kerak?

Berilgan:

$$k=500 \frac{\mu\text{A}}{\text{Lm}}=5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{A}}{\text{Lm}}; S=30 \text{ sm}^2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2; E=2 \text{ Lk}.$$

Topish kerak: $\beta = ?$

Yechish.

E-yoritilganlikni hosil qiluvchi fotoelementning ishchi sirt yuzasiga tushayotgan F yorug'lik oqimi $F = E \cdot S$ (1) tenglama bilan ifodalanadi.

Tenglamadan F-yorug'lik oqimini topamiz:

$$F=2 \text{ Lk} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2=6 \cdot 10^{-3} \text{ Lm}.$$

Ushbu holatda elektr zanjirida hosil qilingan fototok kuchini $i = k \cdot F$ (2) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$i = 5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{A}}{\text{Lm}} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ Lm} \approx 30 \cdot 10^{-7} \text{ A} \approx 3 \cdot 10^{-6} \text{ A}.$$

Binobarin, tok kuchining bunday qiymatini o'lchash uchun galvanometr $\beta \sim 10^{-6} \text{ A}$ sezgirlikka ega bo'lishi talab etiladi, ya'ni galvanometr 10^{-6} A tok kuchining yuzdan bir ulushlarini qayd etishi keraak.

Javob: $\beta \sim 10^{-6} \text{ A}$

Masala.

Fotoelementning fotosezgirligi $k_f = 10 \text{ mA/Lm}$, uning $S = 10^{-5} \text{ m}^2$ ishchi sirt yuzasining yoritilganligi $E=200 \text{ Lk}$ bo'lsa, fotoelementda hosil bo'ladigan fototok kuchi quyidagi shartlarda aniqlansin?

1. Kattaliklarning masalani shartida berilgan qiymatlarida.
2. Fotoelementning sirt yuzasini 2 marta orttirilganida.

Berilgan:

$$k_f = 10 \frac{\text{mA}}{\text{Lm}}, S = 10^{-5} \text{ m}^2, E=200 \text{ Lk}.$$

Topish kerak:

$$I_{f1} = ?, I_{f2} = ?$$

Yechish.

Yorug'lik ta'sirida fotoelementda hosil bo'lgan totok kuchi umumiy holda $I_f = k_f \cdot F$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Ushbu holatda F – yorug'lik oqimining sirt yuzasini E - yoritilganligi bilan bog'lanishini ifodalovchi $F=E \cdot S$ (2) tenglamasiga asosan fototok kuchini maslada talab etilgan shartlariga ko'ra quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

1-shartga ko'ra:

$$I_{f1} = k \cdot F = k \cdot E \cdot S = \frac{10 \cdot 10^{-3} A}{Lm} \cdot 2 \cdot 10^{-2} Lk \cdot 10^{-5} m^2 \approx 20 \cdot 10^{-6} A.$$

2-shartga ko'ra:

$$I_{f2} = k \cdot F = k \cdot E \cdot 2S = \frac{10 \cdot 10^{-3} A}{Lm} \cdot 2 \cdot 10^{-2} Lk \cdot 2 \cdot 10^{-5} m^2 \approx 40 \cdot 10^{-6} A$$

Javob: $I_{f1} \approx 20 \cdot 10^{-6} A$, $I_{f2} \approx 40 \cdot 10^{-6} A$.

Masala.

Fotoelementning fotosezgirliги $k_f = 2 mA/Lm$ unda hosil bo'lgan tok kuchi $I_f = 4 \cdot 10^{-5} A$ bo'lsa, ishchi sirt yuzasiga tushayotgan yorug'lik oqimi aniqlansin?

Berilgan:

$$k_f = 2 \frac{mA}{Lm}, \quad I_f = 4 \cdot 10^{-5} A.$$

Topish kerak: $F = ?$

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra fototok kuchining son qiymati berilganligini e'tiborga olgan holda $I_f = k_f \cdot F$ tenglamadan F – yorug'lik oqimini quyidagicha aniqlaymiz:

$$F = \frac{I_f}{k} = \frac{4 \cdot 10^{-5} A}{2 \cdot 10^{-3} \frac{A}{Lm}} \approx 2 \cdot 10^{-2} Lm.$$

Javob: $F \approx 2 \cdot 10^{-2} Lm$.

Masala.

Quyosh batareyasining ishchi sirti yuzasiga tushuvchi nurlanish oqimining zichligi $G = 460 W/m^2$, batareyaning quvvati $P = 100 W$, ushbu holatda foydali ish ko'effitsiyenti $\eta = 20 \%$ bo'lsa, quyosh batareyasining ishchi sirti yuzasi topilsin?

Berilgan:

$$G = 460 \frac{W}{m^2}, \quad P = 100 \text{ W}, \quad \eta = 20 \text{ \%}.$$

Topish kerak:

$$S = ?$$

Yechish.

Masalaning shartida quyosh batareyasining ishchi sirt yuzasiga tushuvchi nurlanish oqimining zichligi va batareyaning quvvati va foydali ish koeffitsiyentlarining son qiymatlari berilganligini e'tiborga olsak, u holda berilgan kattaliklar orqali quyosh batareyasining quvvati, uning foydali ish koeffitsiyenti, ishchi sirt yuzasi va unga tushuvchi nurlanish oqimining zichligi bilan aniqlanadi va quyidagi $P = \eta \cdot S \cdot G$ (1) tenglama bilan ifodalanadi. Tenglamadan quyosh batareyasining ishchi sirt yuzasini topib, kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, ishchi sirt yuzasini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$S = \frac{P}{\eta \cdot G} = \frac{100}{0,2 \cdot 460} \approx 1,1 \text{ m}^2.$$

Javob: $S \approx 1,1 \text{ m}^2$.

Masala.

Quyosh batareyasi 900 ta fotoelementlardan iborat bo'lib, har birining quvvati $P_0 = 1,5 \text{ W}$, o'lchamlari 20X30 sm bo'lsa, quyosh batareyasining η – foydali ish koeffitsiyenti topilsin?. Batareyani har bir fotoelementining ishchi sirt yuzasiga tushuvchi nurlanish oqimi o'zgarmas $G = 500 \text{ W/m}^2$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$G = 500 \frac{W}{m^2}, \quad P_0 = 1,5 \text{ W}, \quad n = 900, \quad S = 20 \times 30 \text{ sm} = 0,06 \text{ m}^2.$$

Topish kerak: $S = ?$

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra quyosh batareyasi 900 ta fotoelementlardan tashkil topgan bo'lib, uning ishchi sirti yuzasiga tushuvchi nurlanish oqimining o'rtacha zichligi $G = 500 \text{ W/m}^2$.

Ushbu holatda, quyosh batareyasining umumiy quvvati $P = n \cdot P_0$ (1) tenglama bilan ifodalanadi, bu yerda n – fotoelementlar soni, P_0 -bitta fotoelementning quvvati. (1) tenglamaga asosan quyosh batareyasining quvvati:

$$P = n \cdot P_0 = 900 \cdot 1,5 = 1350 \text{ W}.$$

Quyosh batareyasining oʻrtacha ishchi sirt yuzasini $S \approx n \cdot S_1$ (2) tenglama bilan ifodalashimiz mumkin, u holda $S \approx n \cdot S_1 \approx 900 \cdot 20 \cdot 30 \cdot \text{sm}^2 = 54 \text{ m}^2$ ekanligini hisobga olib, quyosh batareyasining foydali ish koeffitsiyentini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\eta = \frac{P}{S \cdot G} \cdot 100\% = \frac{1350}{54 \cdot 500} \cdot 100\% = 5\%.$$

Javob: $\eta = 5\%$.

Masala.

Kichik oʻrnatilgan quvvatli elektr energiyasi isteʼmolchilari, uy sharoitida oʻzgarmas $U = 12 \text{ V}$ kuchlanish va $q = 40 \text{ A} \cdot \text{s}$ sigʻimli akkumulyatorlar batareyasidan taʼminot olmoqda. Agarda xonadonning elektr yoritish tizimi har kuni kechki mahal $t=4$ soat qoʻshilsa va unda oʻrtacha isteʼmol toki $I=3 \text{ A}$ boʻlsa, uzluksiz energiya taʼminotini amalga oshirish uchun akkumulyatorlar batareyasini zaryadlovchi fotoelektrik tizim qanday boʻlishi kerak?

Fotoelektrik tizimning ishchi sirt yuzasiga tushuvchi nurlanish oqimining zichligi $G = 1000 \text{ W/m}^2$ boʻlsa, fotoelementlar qanday ulanishi lozim?

Berilgan:

$$U = 12 \text{ V}, q = 40 \text{ A} \cdot \text{s}, t=4 \text{ soat}, I=3 \text{ A}, G = 1000 \text{ W/m}^2.$$

Topish kerak: $S = ?$

Yechish.

Masalaning shartida keltirilgan $q = 40 \text{ A} \cdot \text{s}$ sigʻimli va $U = 12 \text{ V}$ oʻzgarmas kuchlanishli akkumulyatorlar batareyasini zaryadlash uchun unga 15 V gacha kuchlanish berish talab etiladi.

Maʼlumki, yarimoʻtkazgichli monokristal kremniy materiali asosida tayyorlangan bir dona fotoelementda maksimal yuklama holatida kuchlanish $U_1 = 0,5 \text{ V}$ atrofida

bo'ladi. U holda, umumiy 15 V kuchlanishni hosil qilish uchun har biri 0,5 V kuchlanishni hosil qiluvchi 30 ta fotoelement talab etiladi.

Masalaning shartida bayon etilishiga ko'ra, har kuni kechki vaqtda 45 A·s elektr energiyasi iste'mol qilinsa, u holda foydali ish ko'effitsiyenti $\eta = 0,8$ bo'lgan akkumulyatorlar batareyasidan foydalanilganda tizim meyorida ishlashi uchun har kunida $W = \frac{40 \text{ A} \cdot \text{s}}{0,8} = 50 \text{ A} \cdot \text{s}$ energiya talab etildi.

Agarda fotoelementlar har kuni o'rtacha 3 soat yoritilgan holatida bo'lsa, u holda tok kuchining talab etilgan qiymati $I = \frac{40 \text{ A} \cdot \text{s}}{3 \text{ soat}} \approx 13,4 \text{ A}$. Tok kuchning bunday qiymatini olish uchun o'zaro ketma-ket ulangan yarimo'tkazgichli fotoelementlarning ishchi sirt yuzalari $S = \frac{13,4 \text{ A}}{2 \cdot 10^{-2} \text{ A/sm}^2} \approx 670 \text{ sm}^2$. Ushbu holatda 36 ta fotoelementdan iborat quyosh modulini har bir fotoelementining sirt yuzasi $S_0 \approx 18,6 \text{ sm}^2$ bo'lishi lozim.

Javob: $S \approx 670 \text{ sm}^2$.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Binoning yuqori tomida quyosh batareyalari o'rnatilgan. Agarda tomning uzunligi $L = 40 \text{ m}$, kengligi $b = 12 \text{ m}$, quyosh batareyasining EYuK $V_0 = 0,5 \text{ V}$, samaradorligi $\gamma = 2 \cdot 10^{-2} \text{ A/sm}^2$ bo'lsa, 4 soat yoritilganlik holatida tejalgan elektr energiyasi miqdori aniqlansin?

2. Iste'molchilarni uzluksiz elektr energiyasi bilan ta'minoti uchun har kuni $3 \text{ kW} \cdot \text{soat}$ energiya talab etilsa, umumiy sirt yuzasi $S = 20 \text{ m}^2$, har bir fotoelementining EYuK $V_0 = 0,5 \text{ V}$, samaradorligi $\gamma = 2 \cdot 10^{-2} \text{ A/sm}^2$ bo'lsa, quyosh modulini yoritilishi vaqti aniqlansin?

3. Selenli fotoelement galvanometr orqali elektr tramog'iga ulangan bo'lib, fotoelementning ishchi sirt yuzasiga $F = 8 \text{ mW}$ yorug'lik oqimi tushganda $i = 2 \text{ } \mu\text{A}$ fototok hosil bo'lsa, fotoelementning integral sezgirliги topilsin?

4. Quyosh batareyasi har birining quvvati $P_0 = 1,8 \text{ W}$ bo'lgan fotoelementlardan tuzilgan bo'lib, uning o'rnatilgan quvvati $P_{o'rn} = 1750 \text{ W}$ bo'lsa, fotoelementlar soni aniqlansin? Agarda har bir fotoelementni o'lchami $20 \times 30 \text{ sm}$ bo'lsa, quyosh batareyasini o'rnatish uchun qanday o'lchamdagi maydon talab etiladi.

5. Integral sezgirligi $k = 400 \frac{A}{Lm}$ bo'lgan fotoelementning ishchi sirt yuzasiga $F = 2 m L m$ yorug'lik oqimi tushishi natijasida hosil bo'lgan fototok kuchi topilsin?
6. Ishchi sirt yuzasi $S = 40 sm^2$ bo'lgan fotoelementga tushayotgan yorug'lik oqimi $F = 6 m L m$ bo'lsa, yoritilganlik topilsin?
7. Quyosh batareyasining $s = 1,2 m^2$ ishchi sirt yuzasiga tushayotgan nurlanish energiyasi $G = 520 \frac{W}{m^2}$, batareyaning quvvati $P = 40 W$ bo'lsa, uning η – foydali ish ko'effitsiyenti topilsin?
8. Quyosh modulining ishchi sirt yuzasi $s = 1,4 m^2$, maksimal quvvati $P_{max} = 12 W$, foydali ish ko'effitsiyenti $\eta = 0,18$ bo'lsa, quyosh modulining ishchi sirti yuzasiga yutilgan nurlanish energiyasi topilsin?
- Agarda quyosh modulining volt-ampere tavsifidagi maksimal quvvatga mos keluvchi salt ishlash kuchlanishi $u_s = 7,8 V$, volt-ampere tavsifini to'ldirish ko'effitsiyenti $k = 0,92$ bo'lsa, qisqa tutashuv tok kuchi topilsin?
9. Quyosh modulining ishchi sirt yuzasiga yutilayotgan nurlanish energiyasi $G = 420 \frac{W}{m^2}$, modulning maksimal quvvati $P_{max} = 12,8 W$, foydali ish ko'effitsiyenti $\eta = 0,18$ bo'lsa, quyosh modulining ishchi sirt yuzasi topilsin?
10. Turar joy binosini faqat elektr yoritish tizimi o'zgarmas $u = 22 V$ kuchlanish va $q = 80 A \cdot s$ sig'imli akkumulyatorlar batareyasidan ta'minot olmoqda. Agarda elektr yoritish tizimi iste'molchilarining o'rnatilgan quvvati $P_{orn} = 1,2 kW$ bo'lsa, quyosh modulidan ta'minot olgan akkumulyatorlar batareyasi qancha vaqtgacha yoritish tizimi iste'molchilarini uzluksiz energiya bilan ta'minlashi mumkin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Quyosh modullarining quvvati qaysi parametrlariga bog'liq?
2. Yarimo'tkazgichli fotoelementlarning asosiy kamchiliklari nimalardan iborat?
3. Yarimo'tkazgichli fotoelementlarning foydali ish ko'effitsiyentini kichikligini sabablarini tushuntiring?
4. Amaliyotda quyosh panellarini monokristal kremniy materialidan tayyorlanishining sabablarini tushuntiring?

5. Quyosh modullarini hisoblashda asosan qaysi kattaliklarning son qiymatlari aniqlanadi?
6. Davlat standartiga muvofiq quyosh moduli nechta fotoelementdan iborat bo'lishi belgilangan?
7. Quyosh modulida fotoelementlarning sonini chegaraviy qiymati asosan qaysi parametrlar bilan bog'liq?
8. Quyosh elektr stansiyalarini loyihalashda fotoelektrik modullar asosan qaysi parametrlariga nisbatan tanlanadi?
9. Quyosh modullarini tashkil etuvchi fotoelementlarni tavsiflovchi asosiy parametrlarini fizik mohiyatini tushuntiring?
10. Fotoelementlarni harorati ortishi bilan foydali ish koeffitsiyenti qanday o'zgaradi?

IV.Bob. Elektron to'g'rilagichlar va stabilizatorlar.

Asosiy tushunchalar.

Elektron to'g'rilagichlar – sanoat elektronikasida va ishlab chiqarish sanoat korxonalarida manbaning o'zgaruvchan kuchlanishini yuklamaning o'zgarish kuchlanishiga o'zgartirish maqsadida qo'llaniladi.

Elektron to'g'rilagichning asosiy vazifasi - to'g'rilagich qurilmasining kirishiga berilgan kuchlanishning yo'nalishi o'zgarganda, yuklama qarshilik orqali oqib o'tayotgan tokning yo'nalishini o'zgartirmasdan saqlashdan iborat.

Elektron to'g'rilagich qurilmasi asosan quyidagi elementlardan tashkil topgan bo'ladi: transformator, yarimo'tkazgichli to'g'rilagich, tekislovchi filtrlar va kuchlanish stabilizatori.

Elektron to'g'rilagich qurilmasini tavsiflovchi asosiy kattaliklar – bu k_t - to'g'rilash va k_p - pulslanish koeffitsiyentlari asosan bo'lib, quyidagi (4.1) va (4.2) tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$k_t = \frac{R_{tes}}{R_{to'g'}} \quad (4.1), \quad k_p = \frac{U_{1max}}{U_{to'g'}} \quad (4.2)$$

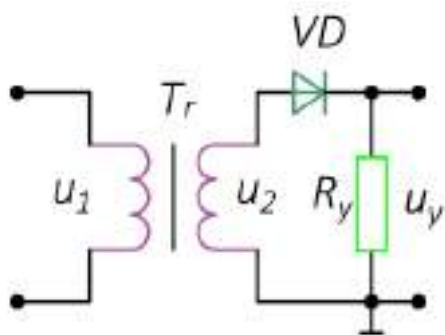
bu yerda R_{tes} va $R_{to'g'}$ - kattaliklar yarimo'tkazgichli to'g'rilovchi diodning teskari va to'g'ri qarshiliklari, U_{1max} – birinchi garmonikaning amplituda qiymati, $U_{to'g'}$ - to'g'rilangan kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi.

4.1. Aktiv, induktiv qarshilikli bir va uch fazali to'g'rilagich sxemalarini hisoblash.

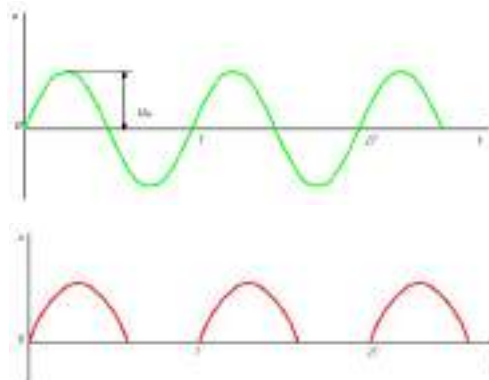
Asosiy tushunchalar.

Yarimo'tkazgich diodlar asosida tuzilgan to'g'rilagichlar, qurilmaning tarkibidagi diodlarning rusumi, soni va ulanish sxemalarining murakkablik darajasi bilan bir-birlaridan farq qiladi.

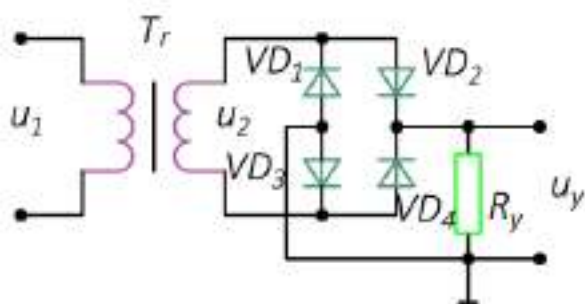
Elektronika sanoatida keng qo'llaniladigan yarimo'tkazgich diod asosidagi, aktiv yuklamaga ulangan, bir fazali, bir yarim davrli eng sodda elektron to'g'rilagich sxemasi 4.1.1-rasmda tasvirlangan.



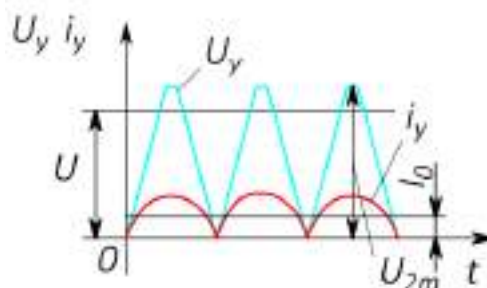
4.1.1-rasm. Bir fazali, yarim davrli to'g'rilagich sxemasi.



4.1.2-rasm. Bir fazali, yarim davrli to'g'rilagich kirishidagi (a) va chiqishidagi (b) kuchlanishlar diagrammasi.



4.1.3-rasm. Bir fazali, ikki yarim davrli to'g'rilagichning ko'prik sxemasi.



4.1.4-rasm. Bir fazali, ikki yarim davrli to'g'rilagich kirishidagi (a) va chiqishidagi (b) kuchlanishlar diagrammasi

Bir fazali yarim davrli to'g'rilagich uchun to'g'rilangan kuchlanish (4.1.1 - rasm) quyida keltirilgan (4.1.1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$U_0 = \frac{U_{2m}}{\pi} \quad (4.1.1),$$

bu yerda U_{2m} - transformatorni ikkilamchi chulg'amida kuchlanishning amplituda qiymati.

Ikki yarim davrli to'g'rilagich (o'rta nuqtali) va ko'priqli sxema (4.1.3-rasm) uchun to'g'rilangan kuchlanish quyida keltirilgan (4.1.2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$U_0 = \frac{2 \cdot U_{2m}}{\pi} \quad (4.1.2),$$

bu yerda U_{2m} - transformatorni ikkilamchi chulg'amida kuchlanishning amplituda qiymatini yarmiga teng kattalik.

Bir fazali yarim davrli va ikki yarim davrli ko'prik sxemali to'g'rilagich hamda o'rta nuqtaga ega bo'lgan ikki yarim davrli to'g'rilagichlarda diodga qo'yilgan eng

katta teskari kuchlanishning qiymati quyidagi (4.1.3), (4.1.4) tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$U_{tes} = U_{2m} \quad (4.1.3), \quad U_{tes} = 2 \cdot U_{2m} \quad (4.1.4).$$

To'g'rilangan kuchlanishning pulslanish koeffitsiyenti quyida keltirilgan (4.1.5) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_p = \frac{U_{1m}}{U_0} \quad (4.1.5),$$

bu yerda U_{1m} – kattalik yuklamadagi kuchlanish birinchi garmonikasining amplituda qiymati.

To'g'rilagich qurilmasining tekislash koeffitsiyenti (4.1.6) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_t = \frac{k_{p \text{ kir}}}{k_{p \text{ chiq}}} \quad (4.1.6),$$

bu yerda $k_{p \text{ kir}}$, $k_{p \text{ chiq}}$ – kattaliklar tekislovchi filtr kirishi va chiqishdagi pulslanish koeffitsiyentlari.

Masalalarni yechish namunalari.

Masala

Bir yarim davrli to'g'rilagich 1-rasmda tasvirlangan sxema asosida tarmoqqa ulangan. Agarda tarmoq kuchlanishi $U_1 = 220 \text{ V}$, o'zgarmas kuchlanish voltmetrining ko'rsatgichi $U_0 = 180 \text{ V}$, yuklama qarshiligi $R_y = 10 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi U_2 - kuchlanish, transformatorning k – transformatsiya koeffitsiyenti, kuchlanish va tok kuchining U_{2m} , I_{2m} - amplituda qiymatlari hamda ampermetr orqali o'tayotgan o'zgarmas I_0 - tok kuchi aniqlansin?

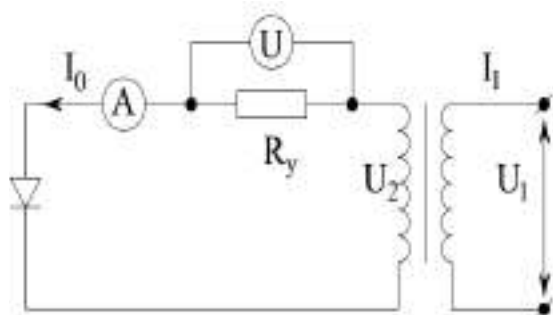
Berilgan:

$$U_1 = 220 \text{ V}, \quad U_0 = 180 \text{ V},$$

$$R_y = 10 \text{ k}\Omega.$$

Topish kerak:

$$U_2 = ?, \quad I_{2m} = ?, \quad k = ?$$



1-rasm

Yechish.

Ma'lumki, transformatroning ikkilamchi chulg'amida kuchlanishning haqiqiy qiymati (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$U_2 = \frac{\pi \cdot U_0}{\sqrt{2}} \quad (1).$$

Ushbu tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, U_2 - kuchlanishni quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_2 = \frac{\pi \cdot U_0}{\sqrt{2}} = \frac{3,14 \cdot 180}{\sqrt{2}} \approx 400 \text{ V}.$$

Ushbu holatda transformatorning ikkilamchi chulg'amida kuchlanishning amplituda qiymatini $U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_2$ (2) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_2 = \sqrt{2} \cdot 400 \text{ V} \approx 566 \text{ V}.$$

Transformatorning k – transformatsiya koeffitsiyentini $k = \frac{U_1}{U_2}$ (3) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan va hisoblab topilgan qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{400} \approx 0,55.$$

Ushbu holatda transformatorning ikkilamchi chulg'amida tok kuchining amplituda qiymatini $I_{2m} = \frac{U_{2m}}{R_y}$ (4) tenglamadan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$I_{2m} = \frac{U_{2m}}{R_y} = \frac{566}{10 \cdot 10^3} \approx 56,6 \text{ mA}.$$

Rasmda ko'rsatilgan sxemaga muvofiq to'g'rilangan, ya'ni ampermetr orqali oqib o'tuvchi o'zgarmas tok kuchi $I_2 = \frac{I_{2m}}{\pi}$ (5) tenglama bilan ifodalanadi. Ushbu holatda to'g'rilangan tok kuchining son qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I_2 = \frac{I_{2m}}{\pi} = \frac{56,6 \text{ mA}}{3,14} \approx 18 \text{ mA}.$$

Javob: $U_2 = 400 \text{ V}$, $U_{2m} = 566 \text{ V}$, $k = 0,55$,

$$I_{2m} \approx 56,6 \text{ mA}, I_2 \approx 18 \text{ mA}.$$

Masala.

Bir yarim davrli to'g'irlagich sxemasida (1-rasm) diod orqali $I_0 = 75 \text{ mA}$ to'g'rilangan tok oqib o'tadi.

Agarda transformatorning ikkilamchi chulg'amida kuchlanishning amplituda qiymati $U_{2m} = 220 \text{ V}$ bo'lsa, R_y - yuklama qarshiligi aniqlansin?

Berilgan.

$$I_0 = 75 \text{ mA} = 75 \cdot 10^{-3} \text{ A}, U_{2m} = 220 \text{ V}.$$

Topish kerak: $R_y = ?$

Yechish.

Masalaning shartida berilgan sxema bo'yicha R_y yuklama qarshiligida to'g'irlangan kuchlanish quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$U_0 = \frac{U_{2m}}{\pi} \quad (1).$$

Ushbu holatda yuklama qarshiligini ifodalovchi (2) tenglamaga (1) ifodani qo'yib, kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlari bo'yicha tegishli matematik amallarni bajarib, R_y yuklama qarshiligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$R_y = \frac{U_0}{I_0} \quad (2), R_y = \frac{U_{2m}}{\pi \cdot I_0} = \frac{220}{3,14 \cdot 75 \cdot 10^{-3}} \approx 934 \, \Omega.$$

Javob: $R_y \approx 934 \, \Omega$.

Masala.

Ikki yarim davrli to'g'irlagich 2-rasmda tasvirlangan sxema asosida elektr tarmoqqa ulangan.

Agarda to'g'rilangan kuchlanishning son qiymati $U_0 = 350 \text{ V}$, yuklama qarshiligi $R_y = 2 \text{ k}\Omega$, tarmoq kuchlanishi $U_1 = 127 \text{ V}$ bo'lsa, transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanishning haqiqiy U_2 va amplituda U_{2m} qiymatlari, transformatorning k – transformatsiya ko'effitsiyenti, tok kuchining I_2 – o'zgarmas tashkil etuvchisining son qiymatlari topilsin?

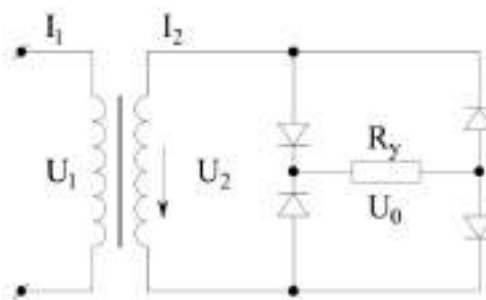
Berilgan:

$$U_0 = 350 \text{ V}, \quad U_1 = 127 \text{ V}.$$

$$R_y = 2 \text{ kV} = 2 \cdot 10^3 \text{ V},$$

Topish kerak:

$$U_2 = ?, k = ?, I_2 = ?$$



2- rasm

Yechish.

Yuqoridagi ikkinchi rasmda tasvirlangan sxema bo'yicha transformatorlarning ikkilamchi chulg'amida kuchlanishning oniy qiymati quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$U_2 = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot U_0 \quad (1).$$

Ushbu (1) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kuchlanishning U_2 - oniy qiymatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_2 = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot U_0 = \frac{3,14}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot 350 \approx 390 \text{ V}.$$

Ushbu holatda, transformatorning k – transformatsiya koeffitsiyenti:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{127}{390} \approx 0,33.$$

Transformatorning ikkilamchi chulg'amida kuchlanishning amplituda qiymatini ifodalovchi $U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_2$ (2) tenglamadagi U_2 – kattalikni hisoblab topilgan qiymatini qo'yib, quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_2 = \sqrt{2} \cdot 390 \text{ V} \approx 550 \text{ V}.$$

Ma'lumki, ko'prik sxemasi asosida tuzilgan to'g'rilagichda tok kuchining I_0 - o'zgarmas tashkil etuvchisi $I_0 = \frac{U_0}{R_y}$ (3) tenglama bilan ifodalanadi. Ushbu (3) tenglamadan I_0 – kattalikning son qiymatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$I_0 = \frac{U_0}{R_y} = \frac{350}{2 \cdot 10^3} \approx 0,18 \text{ A}.$$

Javob: $U_2 \approx 390 \text{ V}, U_{2m} \approx 550 \text{ V}, I_0 \approx 0,18 \text{ A}.$

Masala.

Quyidagi 3-rasmda tasvirlangan sxemada transformatorning birlamchi chulg'amida kuchlanishning qiymati $U_1 = 220 \text{ V}$, yuklama $R_y = 12 \text{ k}\Omega$ qarshiligiga ulangan voltmetrning ko'rsatkichi $U_0 = 120 \text{ V}$ bo'lsa, transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi U_2 – kuchlanish, k – transformatsiya koeffitsiyenti, ikkilamchi chulg'amda kuchlanish va tok kuchining U_{2m} , I_{2m} – effektiv qiymatlari, ampermetr orqali o'qib o'tuvchi I_A – tok kuchi topilsin?

Berilgan:

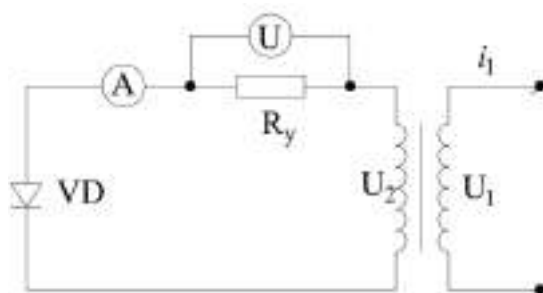
$$U_1 = 220 \text{ V}, U_0 = 120 \text{ V},$$

$$R_y = 12 \text{ k}\Omega = 12 \cdot 10^3 \Omega.$$

Topish kerak:

$$U_2 = ?, k = ?, U_{2m} = ?,$$

$$I_{2m} = ?, I_A = ?$$



3-rasm

Yechish.

Transformatorning ikkilamchi chulg'amida kuchlanishni ifodalovchi (1) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, masalaning shartida aniqlanishi talab etilgan U_2 - kattalikning son qiymatini quyidagicha topishimiz mumkin:

$$U_2 = \frac{\pi U_0}{\sqrt{2}} \quad (1), U_2 = \frac{3,14 \cdot 170}{\sqrt{2}} \approx 378 \text{ V}.$$

Ushbu holatda transformatorning ikkilamchi chulg'amida kuchlanishning U_{2m} - effektiv qiymati quyidagi (2) tenglamaga asosan:

$$U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_2 \quad (2), U_{2m} = \sqrt{2} \cdot 378 \approx 534 \text{ V}.$$

Transformatorning k – transformatsiya koeffitsiyentini umumiy holda ifodalovchi (3) tenglamadagi kattaliklarning hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$k = \frac{U_1}{U_2} \quad (3), k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{378} \approx 0,58.$$

Masalaning shartida aniqlanishi talab etilgan transformatorning ikkilamchi chulg'amida tok kuchining I_{2m} – effektiv qiymatini va ampermetr orqali oqib o'tuvchi to'g'rilangan tok kuchining son qiymatlarini quyida keltirilgan (4) va (5) tenglamalardagi kattaliklarning hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$I_{2m} = \frac{U_{2m}}{R_y} \quad (4), \quad I_A = \frac{I_{2m}}{\pi} \quad (5), \quad I_{2m} = \frac{534}{12 \cdot 10^3} \approx 44,5 \text{ mA}.$$

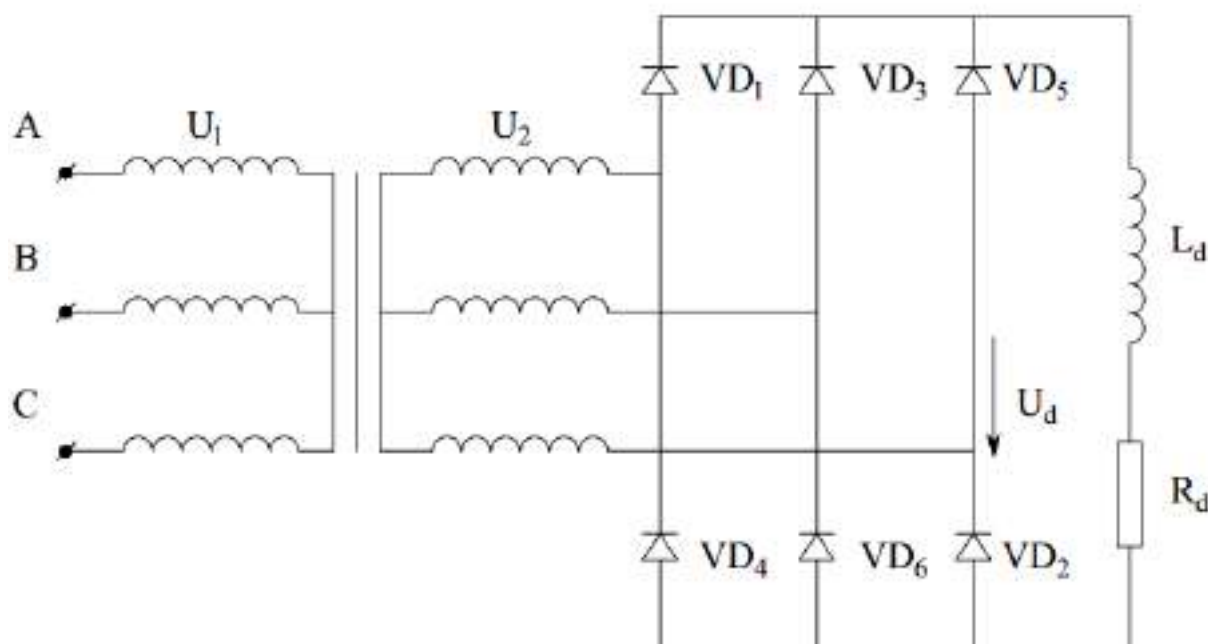
$$I_A = \frac{44,5}{3,14} \approx 14,2 \text{ mA}.$$

$$\text{Javob: } U_2 \approx 378 \text{ V}, U_{2m} \approx 534 \text{ V}, k \approx 0,58,$$

$$I_{2m} \approx 44,5 \text{ mA}, I_A \approx 14,2 \text{ mA}.$$

Masala

Uch fazali elektr tarmoqqa ko'prik sxemasi asosida ulangan elektron to'g'rilagich qurilmasi $R_y = 30 \Omega$ aktiv-induktiv qarshilikli yuklamada ishlaydi (4-rasm). Transformator chulg'ami yulduz-yulduz sxema bo'yicha elektr zanjiriga ulangan holatda birlamchi chulg'amda faza kuchlanishi $U_f = 220 \text{ V}$, yuklamadagi kuchlanish tushuvi $U_y = 100 \text{ V}$ bo'lsa, transformatorning birlamchi chulg'amidagi tok kuchi aniqlansin?



4-rasm.

Berilgan.

$$R_y = 30 \, \Omega, U_f = 220 \, V, U_y = 100 \, V.$$

Topish kerak:

$$I_1 = ?$$

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra transformatorning birlamchi chulg'amida tok kuchini aniqlash uchun avvalo yuklama qarshiligidagi tok kuchini (1) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$I_y = \frac{U_y}{R_y} \quad (1), \quad I_y = \frac{U_y}{R_y} = \frac{100}{30} \approx 3,3 \, A.$$

Aktiv-induktiv yuklamada ishlayotgan uch fazali ko'prik sxema asosidagi to'g'rilagich uchun jadval ma'lumotlariga asosan transformatorning ikkilamchi chulg'amida I_2 - tok kuchi va U_2 - kuchlanishni quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_2 = 0,43 \cdot U_y = 0,43 \cdot 100 \, V = 43 \, V; \quad I_2 = 0,82 \cdot I_y = 0,82 \cdot 3,3 \approx 2,7 \, A.$$

Transformatorning umumiy holatda transformatsiya koeffitsiyentini ifodalovchi (2) tenglamasidan, transformatorning birlamchi chulg'amidagi tok kuchini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$k_t = \frac{U_1}{U_2} \quad (2), \quad k_t = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{43} \approx 5,1.$$

$$I_1 = \frac{I_2}{k_t} = \frac{2,7}{5,1} \approx 0,53 \, A.$$

Javob: $I_1 \approx 0,53 \, A$.

Masala.

Quyida keltirilgan 5-rasmda ballast qarshilikka ketma-ket stabilitron ulangan elektr zanjiri tasvirlangan.

Agarda stabilitronning differensial qarshiligi $R_d = 15 \, \Omega$, stabilitron orqali oqib o'tayotgan tok kuchi $I_{st} = 8 \, mA$, qarshilikdagi kuchlanish tushuvi $U_{st} = 15 \, V$, kirish kuchlanishi $U_k = 20 \, V$ bo'lsa, qurilmaning k_s - stabilizatsiya va η - foydali ish koeffitsiyentlari topilsin?

Berilgan:

$$R_d = 15 \Omega, U_k = 20 V,$$

$$I_y = 2 \text{ mA} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ A}.$$

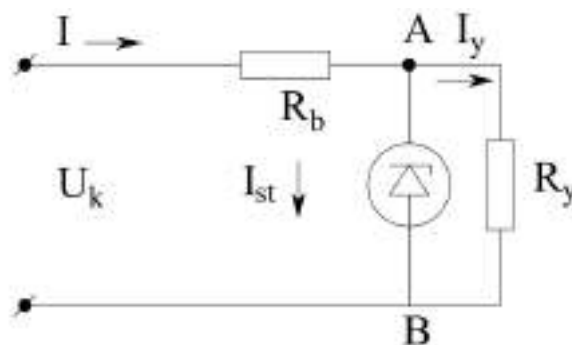
$$I_{st} = 8 \text{ mA} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ A},$$

$$U_{st} = 15 V.$$

Topish kerak:

$$k_s = ?, \eta = ?$$

Yechish.



5- rasm

Rasmda ko'rsatilgan sxemada elektr zanjiridagi ikkilamchi kuchlanish ballast qarshiligidagi $I_b \cdot R_b$ - kuchlanish tushuvi va U_{ch} - chiqish kuchlanishlarining algebraik yig'indisidan iborat bo'lib, quyidagi (1), elektr zanjir orqali oqib o'tayotgan umumiy tok kuchi (2) tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$U_k = I_b \cdot R_b + U_{ch} \quad (1), \quad I_b = I_{st} + I_y \quad (2).$$

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamaga (2) ifodani qo'yib, R_b - ballast qarshiligini ifodalovchi quyidagi (3) tenglamani hosil qilamiz:

$$R_b = \frac{U_k - U_{ch}}{I_b} = \frac{U_k - U_{ch}}{I_{st} + I_y} \quad (3).$$

Tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, R_b - ballast qarshilikni quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_b = \frac{U_k - U_{ch}}{I_{st} + I_y} = \frac{20 - 15}{8 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3}} = 500 \Omega.$$

Ma'lumki, stabilizatorning k_s - stabilizatsiya va η - foydali ish koeffitsiyentlari umumiy holda quyidagi (4) va (5) tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$k_s = \frac{R_b \cdot U_{st}}{R_d \cdot U_k} \quad (4), \quad \eta = \frac{I_y \cdot U_y}{I_k \cdot U_k} \quad (5).$$

Yuqorida keltirilgan (4) va (5) tenglamalardagi kattaliklarni hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, k_s va η kattaliklarni quyidagicha aniqlaymiz:

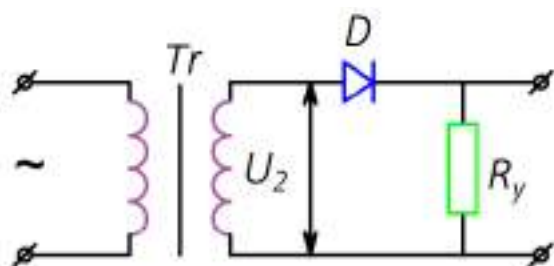
$$k_s = \frac{R_b \cdot U_{st}}{R_d \cdot U_k} = \frac{500 \cdot 15}{15 \cdot 20} = 25.$$

$$\eta = \frac{I_y \cdot U_y}{I_k \cdot U_k} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 15}{(8 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3}) \cdot 20} = \frac{30}{200} \approx 0,15.$$

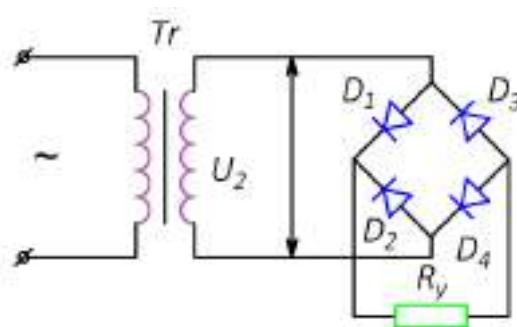
Javob: $k_s = 25$, $\eta \approx 0,15$.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Bir yarim davrli to'g'irlagich sxemasi uchun (6-rasm) to'g'irlangan U_0 - kuchlanishning qiymati aniqlansin? Hisob ishlarini bajarishda transformator birlamchi chulg'amidagi kuchlanishning amplituda qiymati $U_{1m} = 220 V$, transformatsiya koeffitsienti $k = 1,52$ deb hisoblansin.



6- rasm



7-rasm.

2. Transformator ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanishning amplituda qiymati $U_{2m} = 250 V$ bo'lsa, bir yarim davrli to'g'irlagich sxemasi (6-rasm) uchun yuklamadagi o'zgarmas kuchlanish aniqlansin?

3. To'g'irlagichning ikki yarim davrli ko'prik sxemasida (2-rasm) diodlardagi teskari kuchlanish $U_{tes} = 235 V$, yuklama qarshiligi $R_{yuk} = 360 \Omega$ bo'lsa, har bir dioddan o'tuvchi tok kuchi aniqlansin?

4. Yuqoridagi 7 - rasmda tasvirlangan sxemada har bir dioddan o'tuvchi to'g'irlangan tok kuchi $I_0 = 50 mA$, yuklama qarshiligi $R_{yuk} = 40 \Omega$ bo'lsa, ikki yarim davrli to'g'irlagich sxemasida yuklamadagi o'zgaruvchan kuchlanish amplitudasi aniqlansin?

5. Transformator birlamchi chulg'amidagi kuchlanishning amplituda qiymati $U_{1m} = 160 V$ va transformatsiya koeffitsienti $k = 2$ bo'lsa, ikki yarim davrli ko'prik sxemasida (7-rasm) yuklamadagi to'g'irlangan kuchlanish aniqlansin?

6. Ikki yarim davrli ko'prik sxema asosida tuzilgan to'g'irlagichning har bir diodda to'g'irlangan tok kuchi $I_0 = 60 mA$, yuklama qarshiligi $R_{yuk} = 400 \Omega$

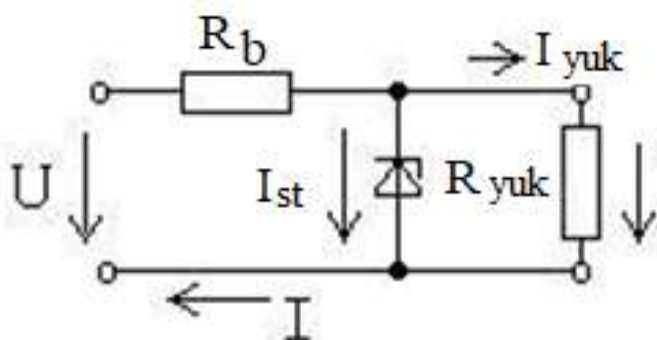
bo'lsa, yuklanishga berilgan o'zgaruvchan kuchlanishning amplituda qiymati topilsin?

7. Ikki yarim davrli to'g'rilagich transformatorning ikkilamchi chulg'am kuchlanishining amplituda qiymati $U_{2m} = 220\text{ V}$, yuklama qarshiligi $R_{yuk} = 520\ \Omega$ bo'lsa, har bir dioddan oqib o'tayotgan tok kuchi aniqlansin?

8. Uch fazali bir yarim davrli to'g'rilagichda transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanishning amaliy qiymati $U_2 = 180\text{ V}$ bo'lsa, teskari va to'g'rilangan kuchlanishlarning qiymatlari topilsin?

9. Yuqorida tasvirlangan 5-rasmdagi stabilizatorga ketma-ket ulangan ballast qarshilik, stabilizatsiya koeffitsiyenti va stabilizatorning foydali ish koeffitsiyenti topilsin? Hisob ishlarini bajarishda stabilizatorning diffrensial qarshiligi $R_d = 20\ \Omega$, tok kuchi $I_{st} = I_{yuk} = 12\text{ mA}$ va kuchlanishlari $U_{st} = 20\text{ V}$, $U_{kir} = 25\text{ V}$ deb hisoblansin.

10. Yuklama qarshiligida $U_{yuk} = 15\text{ V}$ stabillashgan kuchlanishni olish uchun $R_{yuk} = 800\ \Omega$ yuklama qarshilik stabilitronga parallel ulangan (8-rasm). Ballast qarshilik topilsin?



8-rasm.

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Elektron to'g'rilagich qurilmalari elektronika sanoatida qanday maqsadlarda ishlatiladi?

2. To'g'rilagich qurilmalarini tavsiflovchi asosiy parametrlarining fizik mazmunini tushuntiring?

3. Elektron to'g'rilagich qurilmalarining qanday turlarini bilasiz?

4. To'g'rilagich qurilmalarida to'g'rilagich elementi sifatida qanday elektron asboblari ishlatiladi?
5. To'g'rilagich qurilmasida to'g'rilangan tok pulslanuvchi bo'lishining sabablarini tushuntiring?
6. To'g'rilagich qurilmasining pulslanish koeffitsiyenti asosan qaysi kattaliklarga bog'liqligini izohlang?
7. Bir va ikki yarim davrli to'g'rilagich qurilmalarining asosiy farqlarini tushuntiring?
8. Amaliyotda uch fazali to'g'rilagichlar qanday quvvatli qurilmalarda ishlatiladi?
9. Stabilizator qurilmasining asosiy ishchi elementi sifatida qanday elektron asboblari ishlatiladi?
10. Stabilizatorlarning ishlash prinsipini tushuntiring?

4.2. Tekislovchi filtrlar.

Asosiy tushunchalar.

To'g'rilangan tokning shaklini o'zgarmas tok shakliga yaqinlashtirish va pulsatsiyalanishni kamaytirish yoki butunlay yo'qotish maqsadida to'g'rilagichning chiqishiga iste'molchidan oldin tekislovchi filtrlar o'rnatiladi.

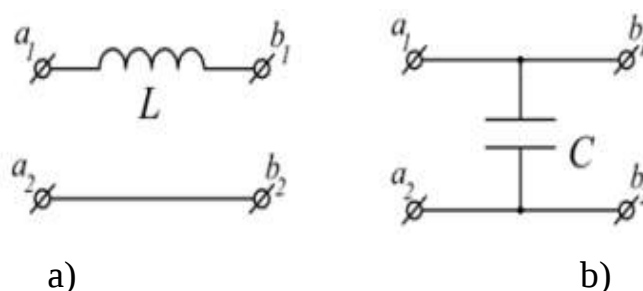
Tekislovchi filtrlarga qo'yiladigan talablar asosan quyidagilardan iborat:

- to'g'rilangan tokda kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisini kamaytirish;
- to'g'rilangan tok kuchlanishining o'zgarmas tashkil etuvchisini minimal qiymatigacha kamaytirish.

Amalda yuklama qarshiligidan tok oqib o'tishini ta'minlash maqsadida tekislovchi filtrlar to'g'rilagich elementi bilan yuklama orasiga ulanadi. Bunday holatlarda o'zgaruvchan tashkil etuvchining qiymati kamayishi bilan bir vaqtda filtrdagi yo'qotishlar hisobiga to'g'rilangan kuchlanishning o'zgarmas tashkil etuvchisi ham miqdor jihatidan kamayadi.

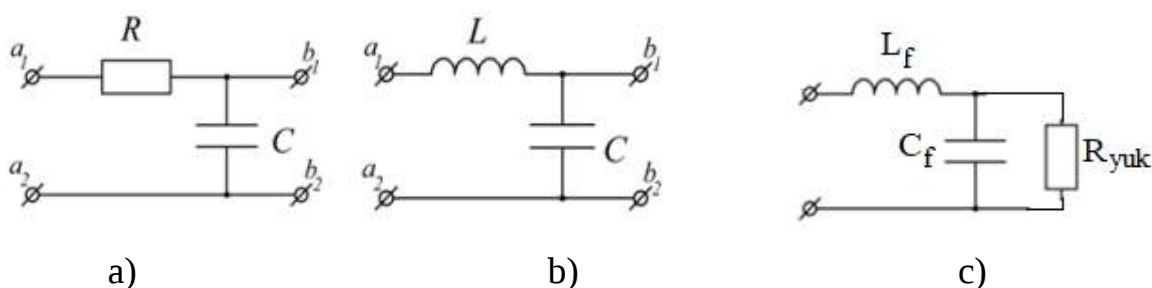
Tekislovchi filtrlarning turlari: Tekislovchi filtrlarni elektr tarmog'iga ulanishi sxemasiga ko'ra shartli ravishda 3 guruhga ajratish mumkin.

I-guruh – faqat induktiv g‘altak yoki kondensatordan iborat bo‘lgan filtrlar (1- a) va b) rasmlar).



1-rasm. Silliqlovchi filtrlar.

II-guruh – ikkita ishchi elementidan iborat Γ -simon filtrlar (2 - a) va b) rasmlar).



2-rasm. Γ -simon tekislovchi filtrlar.

Ishchi elementlari induktiv g‘altak va kondensatordan iborat Γ -simon LC tekislovchi filtrlar amalda kichik qiymatdagi to‘g‘rilangan toklarda ($I = 15 \div 20 \text{ mA}$) ishlatiladi va nisbatan katta bo‘lmagan tekislash ko‘effitsiyentiga ega bo‘ladi.

III-guruh – birinchi va ikkinchi guruh elementlarining turli xildagi kombinatsiyasidan iborat murakkab filtrlar hisoblanib, Π -simon va ko‘p zvenoli deb yuritiladi.

IV-guruh – ketma-ket va parallel ulangan rezonans konturli tekislovchi filtrlar.

V-guruh – chiqishida kuchlanishning o‘zgaruvchan tashkil etuvchisi kompensatsiyalangan tekislovchi filtrlar.

VI-guruh – faol (aktiv) filtrlar.

Tekislovchi filtrlarni tavsiflovchi asosiy kattaliklari:

Tekislash ko‘effitsiyenti - filtrlar kirishidagi $k_{p,k}$ - pulsatsiyalanish ko‘effitsiyentining chiqishidagi $k_{p,ch}$ - pulsatsiyalanish ko‘effitsiyentiga nisbati bilan aniqlanib, quyidagi (4.2.1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_s = \frac{k_{p,k}}{k_{p,ch}} \quad (4.2.1).$$

Tekislovchi filtrlarning k_s – tekislash koefitsiyenti bir necha parametrlarga bog‘liq bo‘lib, turli xil filtrlar uchun quyidagi 4.2.1-jadvalda keltirilgan tenglamalar bilan ifodalanadi:

4.2.1-jadval

Filtrlarning turlari	Tekislash koefitsiyentining ifodasi
Oddiy sig‘imli filtr	$k_{s,C} = m\omega CR_y$
Oddiy induktiv g‘altakli filtr	$k_{s,L} = \frac{m\omega L}{R_y}$
Γ -simon LC - filtr	$k_{s,\Gamma} = m^2 \cdot \omega^2 \cdot L \cdot C$
Γ -simon RC - filtr	$k_{s,\Gamma(RC)} = (0,5 \div 0,9) \cdot m\omega CR_f$

Tekislash sifati yaxshi bo‘lishi uchun yuklama qarshiligiga ketma-ket ulangan filtrning $X_{L,f}$ - induktiv qarshiligi ω_0 - pulsatsiyalanish chastotasida R_y - yuklama qarshiligidan bir necha marta katta bo‘lishi shart, ya’ni:

$$X_{L,f} = \omega_0 \cdot L_f \gg R_y \quad (4.2.2).$$

Kondensator R_y - yuklama qarshiligiga parallel ulangan holatda tekislash sifati yaxshi bo‘lishi uchun $X_{C,f}$ - sig‘im qarshiligi R_y - yuklama qarshiligidan bir necha marta kichik bo‘lishi shart, ya’ni:

$$X_{C,f} = \frac{1}{\omega_0 \cdot C_f} \ll R_y \quad (4.2.3).$$

Amaliyotda qo‘llaniladigan Γ – simon filtrlar $X_{C,f} \ll R_y \ll X_{L,f}$ (4.2.4) shart bajarilganda nisbatan yuqori tekislash koefitsiyentiga ega bo‘ladi.

Filtrlar bir necha qismlardan iborat bo‘lgan holatlarda filtrning umumiy tekislash koefitsiyenti har bir qismni tekislash koefitsiyentlarining ko‘paytmasiga teng bo‘ladi, ya’ni:

$$k_s = k_{s1} \cdot k_{s2} \cdots k_{sn} \quad (4.2.5).$$

To‘g‘rilagich qurilmalarida tekislovchi filtrlarni ishlatish jarayonida transformatorning tavsiflovchi parametrlariga tanlangan to‘g‘rilagich diodlarning

tavsiflovchi parametrlarining o'zaro mosligini ta'minlash maqsadida quyidagi 4.2.2-jadvalda keltirilgan ma'lumotlardan foydalaniladi.

4.2.2-jadval.

To'g'rilagich sxemasi	Transformator va diodning tavsiflovchi parametrlarini mosligi				Pulsatsiya koefitsiyenti
	Diodlar		Transformatorlar		k_p
	$\frac{U_{tes.max}}{U_{yuk.oirt}}$	$\frac{I_d}{I_{yuk.oirt}}$	$\frac{U_{2f}}{U_{yuk.oirt}}$	$\frac{P_t}{P_{yuk}}$	
Bir yarim davrli (m = 1)	3,14	1	2,22	3,0.....3,5	1,57
Bir fazalik ko'priksimon (m=2)	1,57	$\frac{1}{2}$	1,11	1,23	0,667
Ikki yarim davrli transformatoridan nol chiqishli (m=2)	3,14	$\frac{1}{2}$	1,11	1,48	0,667
Uch fazali ko'priksimon (m=6)	1,045	$\frac{1}{3}$	0,427	1,045	0,057
Uch fazali transformatoridan nol chiqishli (m=3)	2,09	$\frac{1}{3}$	0,855	1,34	0,25

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

Quyidagi 1-rasmda tasvirlangan elektr sxemaning yuklama qarshiligida pulsatsiya koefitsiyenti $k_{p2} = 0,02$ bo'lsa, to'g'rilagich qurilmasiga ulangan filtrning tekislash koefitsiyenti kondensatorning C - sig'imi, induktiv g'altakning L_f - induktivligi, R_y - yuklama qarshiligining $R_{y1} = 10 \Omega$, $R_{y2} = 2 k\Omega$ qiymatlarida aniqlansin?. Hisob ishlarini bajarishda elektr ta'minoti tarmog'ida kuchlanish chastota $f = 50 Hz$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$k_{p2} = 0,02, R_{y1} = 10 \Omega,$$

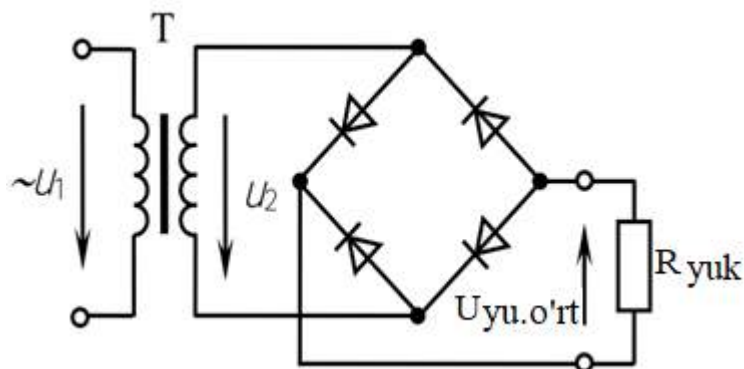
$$R_{y2} = 2 k\Omega = 2 \cdot 10^3 \Omega,$$

$$f = 50 \text{ Hz}.$$

Topish kerak:

$$k_s = ? \quad C_{f1} = ? \quad C_{f2} = ?$$

$$L_{f1} = ? \quad L_{f2} = ?$$



1- rasm.

Yechish.

To'g'rilagich qurilmasi elektr zanjiriga bir fazali ko'prik sxema asosida ulanganligi sababli $m=2$, $k_{p1} = 0,667$ [1-jadval] ekanligini e'tiborga olsak, u holda masalaning shartiga ko'ra to'g'rilangan kuchlanishni k_s - tekislash koeffitsiyenti (1) tenglamaga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$k_s = \frac{k_{p1}}{k_{p2}} \quad (1). \quad k_s = \frac{k_{p1}}{k_{p2}} = \frac{0,667}{0,02} \approx 33,5.$$

Ushbu holatda masalaning birinchi shartiga ko'ra $R_{y1} = 10 \Omega$ yuklama qarshiligida kondensatorning C_{f1} - sig'imi va g'altakning L_{f1} - indkutivligini (2) va (3) tenglamalardan, masalaning ikkinchi shartiga ko'ra $R_y = 2 \cdot 10^3 \Omega$ yuklama qarshiligida kondensatorning C_{f2} - sig'imi va g'altakning L_{f2} - indkutivligini (4) va (5) tenglamalardan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$C_{f1} = \frac{k_s}{m \cdot \omega \cdot R_{y1}} \quad (2), \quad C_{f1} = \frac{33,5}{2 \cdot 314 \cdot 10} = 5334 \mu kF.$$

$$L_{f1} = \frac{k_s \cdot R_y}{m \cdot \omega} \quad (3), \quad L_{f1} = \frac{33,5 \cdot 10}{2 \cdot 314} \approx 0,53 \text{ Gn}.$$

$$C_{f2} = \frac{k_s}{m \cdot \omega \cdot R_{y2}} \quad (4), \quad C_{f2} = \frac{33,5}{2 \cdot 314 \cdot 2 \cdot 10^3} \approx 26,7 \mu kF.$$

$$L_{f2} = \frac{k_s \cdot R_y}{m \cdot \omega} \quad (5), \quad L_{f2} = \frac{33,5 \cdot 2 \cdot 10^3}{2 \cdot 314} \approx 106,7 \text{ Gn}.$$

Javob: $k_s = 33,5$, $C_{f1} = 5334 \mu kF$, $L_{f1} \approx 0,53 \text{ Gn}$, $C_{f2} \approx 26,7 \mu kF$,

$L_{f2} \approx 106,7 \text{ Gn}$.

Masala.

Bir fazali elektr tarmoqqa elektron to'g'rilagich qurilmasi ko'prik sxemasi orqali Π - simon LC - filtr 2-rasmda tasvirlangan sxema asosida ulangan. Agarda yuklama qarshiligi $R_y = 200 \Omega$, tarmoq kuchlanishi chastotasi $f = 50 \text{ Hz}$, kirish va chiqish kuchlanishlarining pulsatsiya koeffitsiyentlari mos ravishda $k_{p,k} = 0,65$, $k_{p,ch} = 0,01$, kondensatorlarning sig'implari $C_1 = C_2 = 200 \mu\text{kF}$ bo'lsa, Π - simon filtrning $k_{s,\Pi}$ - tekislash koeffitsiyenti, g'altakning L - induktivligi topilsin?

Berilgan:

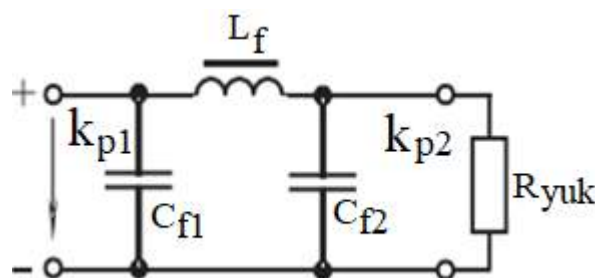
$$R_y = 200 \Omega, f = 50 \text{ Hz}, m = 2,$$

$$k_{p,k} = 0,65, k_{p,ch} = 0,01,$$

$$C_1 = C_2 = 200 \mu\text{kF} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ F}.$$

Topish kerak:

$$k_{s,\Pi} = ?, L = ?$$



2- rasm.

Yechish.

Masalaning shartida keltirilgan ma'lumotlarga asosan 2-rasmda tasvirlangan sxema asosida tuzilgan Π - simon tekislovchi LC - filtr, ko'p zvenoli bo'lib, $k_{s,\Pi}$ - tekislash koeffitsiyenti har bir zvenoning tekislash koeffitsiyentlarining ko'paytmasidan iborat bo'lib, quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_{s,\Pi} = k_{s,C} \cdot k_{s,\Gamma} \quad (1).$$

Masalaning shartida berilgan kattaliklar asosida C sig'imli filtrning tekislash koeffitsiyentini pulsatsiyalar sonini $m = 2$, kuchlanish o'zgarishining siklik chastotasini $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ s}^{-1}$ ekanligini hisobga olgan holda (2) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$k_{s,C} = m\omega C_1 R_y \quad (2),$$

$$k_{s,C} = m\omega C_1 R_y = 2 \cdot 314 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 200 \approx 25.$$

Ushbu holatda Π -simon tekislovchi filtrning tekislash koeffitsiyenti kirish va chiqishdagi pulsatsiya koeffitsiyentlarining nisbati orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$k_{s,\Pi} = \frac{k_{p,k}}{k_{p,ch}} = \frac{0,65}{0,01} = 65.$$

Rasmda tasvirlangan sxemadan ko‘rinib turibdiki, Γ -simon filtrning tekislash koeffitsiyenti, quyidagi (3) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_{s,\Gamma} = \frac{k_{s,\Pi}}{k_{s,C}} \quad (3).$$

Induktiv g‘altakning induktivligini son qiymatini topish uchun avvalo yuqorida keltirilgan (3) tenglamadagi kattaliklarning hisoblab topilgan son qiymatlarini qo‘yib, tegishli matematik amallarni bajarib, Γ -simon filtrning $k_{s,\Gamma}$ - tekislash koeffitsiyentini quyidagicha aniqlaymiz:

$$k_{s,\Gamma} = \frac{k_{s,\Pi}}{k_{s,C}} = \frac{65}{25} \approx 2,6.$$

Ma’lumki, Γ - simon tekislovchi filtrning $k_{s,\Gamma}$ - tekislash koeffitsiyenti g‘altakning L - induktivligi va kondensatorning C_2 – sig‘imi orqali quyidagi (4) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_{s,\Gamma} = m^2 \cdot \omega^2 \cdot L \cdot C_2 \quad (4).$$

Tenglamadagi kattaliklarning hisoblab topilgan son qiymatlarini qo‘yib, tegishli matematik amallarni bajarib, g‘altakning induktivligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$L = \frac{k_{s,\Gamma}}{m^2 \cdot \omega^2 \cdot C_2} = \frac{2,6}{2^2 \cdot 314^2 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \approx 32 \text{ mGn}.$$

$$\text{Javob: } k_{s,\Pi} = 65, \quad L \approx 32 \text{ mGn}.$$

Masala.

Ikki yarim davrli to‘g‘rilagich sxemasi yuklama qarshiligiga tekislovchi filtr ulanganda, zanjiridagi transformatorning ikkilamchi chulg‘amida kuchlanishning amplituda qiymati $U_{2m} = 280 \text{ V}$, yuklama qarshiligi orqali oqib o‘tayotgan tok kuchi $I_y = 250 \text{ mA}$, g‘altakning induktivligi $L = 10 \text{ Gn}$, tarmoq kuchlanishining chastotasi $f = 50 \text{ Hz}$ bo‘lsa, filtrning k_t - tekislash koeffitsiyenti topilsin?

Berilgan.

$$U_{2m} = 280 \text{ V}, \quad I_y = 250 \text{ mA} = 0,25 \text{ A}, \quad L = 10 \text{ Gn}, \quad f = 50 \text{ Hz}.$$

Topish kerak: $k_t = ?$

Yechish.

Tekislovchi filtrlarning k_t - tekislash ko'effitsiyenti, induktiv g'altak ulangan holatda quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_t = \frac{k_{p.kir}}{k_{p.chiq}} = \frac{X_{L.f}}{R_{yuk}} \quad (1).$$

Ushbu (1) tenglamadan filtrning tekislash ko'effitsiyentini aniqlashimiz uchun avvalo masalaning shartida berilgan kattaliklar orqali R_{yuk} - yuklama qarshiligi va $X_{L.f}$ - filtrning induktiv qarshiligini topish talab etiladi.

Ma'lumki, $X_{L.f}$ - induktiv qarshilik va R_{yuk} - yuklama qarshiliklar umumiy holatda quyidagi (2) va (3) tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$X_{L.f} = 2\pi \cdot f \cdot L \quad (2), \quad R_{yuk} = \frac{U_0}{I_y} = \frac{2 \cdot U_{2max}}{\pi \cdot I_y} \quad (3).$$

Yuqorida keltirilgan (2) va (3) ifodalarni (1) tenglamaga qo'yib, filtrni k_t - tekislash ko'effitsiyentini ifodalovchi (4) tenglamani hosil qilishimiz va undan filtrning k_t - tekislash ko'effitsiyentini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$k_t = \frac{X_{L.f}}{R_{yuk}} = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{\frac{2 \cdot U_{2max}}{\pi \cdot I_y}} = \frac{\pi^2 \cdot f \cdot L \cdot I_y}{U_{2max}} \quad (4).$$
$$k_t = \frac{\pi^2 \cdot f \cdot L \cdot I_y}{U_{2max}} = \frac{3,14^2 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 0,25}{280} \approx 4,4.$$

Javob: $k_t \approx 4,4$.

Masala.

Ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasining chiqishiga ulangan RL - aktiv-induktiv qarshilikli tekislovchi filtrning k_t - tekislash ko'effitsiyenti topilsin? Hisob ishlarini bajarishda yuklama qarshiligi $R_{yuk} = 20 \Omega$, induktiv g'altak chulg'ami o'ramlari soni $n = 350$ ta, chulg'am o'ralgan po'lat o'zakning magnit singdiruvchanligi $\mu = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Gn/m}$, kesim yuzasi $S = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, o'rtacha uzunligi $l_{ort} = 0,2 \text{ m}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$R_y = 20 \Omega, n = 350, \mu = 4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Gn}}{\text{m}}, S = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, l_{ort} = 0,2 \text{ m}.$$

Topish kerak: $k_t = ?$

Yechish.

Ma'lumki, $L \cdot R$ - aktiv-induktiv qarshilikli tekislovchi filtrlarning k_t - tekislash ko'effitsiyenti umumiy holatda quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_t = \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi \cdot f \cdot L}{R_{yuk}} \right)^2} \quad (1).$$

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamadan filtrning k_t - tekislash ko'effitsiyentini aniqlashimiz uchun avvalo g'altakning L - induktivligini topishimiz lozim. Buning uchun L - induktivlikni ifodalovchi quyidagi (2) tenglamadan foydalanamiz:

$$L = \frac{n^2}{R_\mu} = \frac{n^2 \cdot \mu \cdot S}{l_{ort}} \quad (2),$$

bu yerda μ - kattalik moddaning mutloq magnit singdiruvchanligi. Masalaning shartiga ko'ra aniqlanishi talab etilgan filtrning k_t - tekislash ko'effitsiyentini (2) ifodani (1) tenglamaga qo'yib, quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\begin{aligned} k_t &= \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi \cdot f}{R_y} \cdot \frac{n^2 \cdot \mu \cdot S}{l_{ort}} \right)^2} = \\ &= \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{20} \cdot \frac{350^2 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{0,2} \right)^2} \approx 1,26. \end{aligned}$$

Javob: $k_t \approx 1,26$.

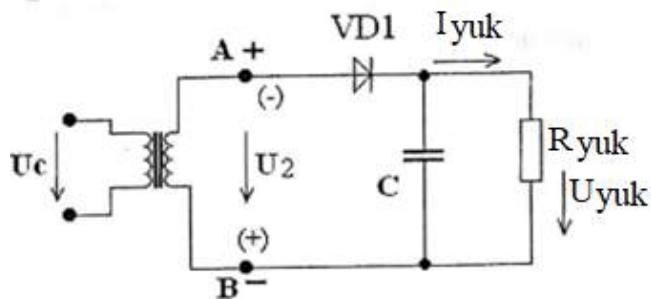
Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Bir yarim davrli to'g'irlagich sxemasida sig'imli tekislovchi filtr ulangan. Agar yuklama qarshiligi $R_y = 800 \Omega$, tarmoq chastotasi $f = 50 \text{ Hz}$, tekislash ko'effitsiyenti $k_t = 10$ bo'lsa, tekislovchi filtr kondensatorining sig'imi aniqlansin?

2. Transformator ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanishning amplituda qiymati $U_{2m} = 300 \text{ V}$, yuklama orqali oqib o'tuvchi to'g'rilangan tok kuchi $I_y = 250 \text{ mA}$, tarmoq chastotasi $f = 50 \text{ Hz}$, g'altakning induktivligi $L = 20 \text{ Gn}$ bo'lsa, induktiv tekislovchi filtrli ikki yarim davrli to'g'irlagich sxemasi uchun k_t -tekislash ko'effitsiyenti aniqlansin?

3. Bir yarim davrli to'g'irlagich sxemasida sig'imli tekislovchi filtr ulangan. Agarda yuklama qarshiligi $R_y = 700 \Omega$, tarmoq chastotasi $f = 50 \text{ Hz}$, tekislash ko'effitsiyenti $k_t = 20$ bo'lsa, tekislovchi filtr kondensatorining sig'imi aniqlansin?

5. Quyidagi 3-rasmda keltirilgan sxemada to'g'irlagichning pulslanish ko'effitsiyenti $k_{tp} = 1,8$, filtrning tekislash ko'effitsiyenti $k_t = 150$ bo'lsa, tekislovchi filtrning k_p – pulslanish ko'effitsiyenti topilsin?



3-rasm.

6. Tok manbasida ishlatilgan ko'prik sxemasi bo'yicha tuzilgan to'g'irlagich qurilmasiga ulangan filtrning chiqishida kuchlanish $U_0 = 20 \text{ V}$, tekislash ko'effitsiyenti $k_t = 500$ bo'lsa, tekislovchi filtrning chiqishidagi kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi topilsin?

7. Bir yarim davrli to'g'irlagichga ulangan Γ - simon LC - filtrning tavsiflovchi asosiy parametrlari aniqlansin?

Hisob ishlarini bajarishda yuklamadagi kuchlanishni pulslanish ko'effitsiyenti $k_p = 0,02$, tarmoq kuchlanishi chastotasi $f = 50 \text{ Hz}$ deb hisoblansin.

8. Ikki yarim davrli to'g'irlagichga tekislovchi filtr ulangan. Agarda transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanishning amplituda qiymati $U_{2m} = 290 \text{ V}$, yuklamadagi tok kuchi $I_y = 250 \text{ mA}$ bo'lsa, R_y - yuklama qarshiligi topilsin?

9. Ikki yarim davrli to'g'irlagichning chiqishiga ulangan RL – tekislovchi filtrning tekislash ko'effitsiyenti $k_t = 6,8$, yuklama qarshiligi $R_y = 25 \Omega$ bo'lsa, g'altakning induktivligi topilsin?

10. Ikki yarim davrli to'g'irlagichga ulangan RL – tekislovchi filtrning tekislash ko'effitsiyenti $k_t = 7,5$ g'altakning induktivligi $L = 20 \text{ Gn}$ bo'lsa, R_y - yuklama qarshiligi topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Tekislovchi filtrlarni ishlash prinsipini tushuntiring?
2. Tekislovchi filtrlarning qanday turlarini bilasiz va ular elektronika sanoatida qanday maqsadlarda ishlatiladi?
3. Tekislovchi filtrlar qanday kattaliklar bilan tavsiflanadi?
4. Kondensatorli filtrlar qanday holatlarda qo'llaniladi va ularning ishlash prinsipi qanday fizik jarayonlarga asoslangan?
5. Kondensatorli filtrlarning asosiy kamchiliklari nimalardan iborat?
6. Induktiv g'altakli (Drosselli) filtrlar qanday holatlarda ishlatiladi?
7. Induktiv g'altakli (Drosselli) filtrlarning ishlash prinsipini tushuntiring?
8. To'g'rilangan kuchlanish pulslanishini talab etilgan darajada tekislash uchun qanday turdagi filtrlar ishlatiladi?
9. Induktiv g'altakli (Drosselli) filtrlar nima sababdan bitta yarim davrli to'g'rilagich qurilmalarida ishlatilish uchun tavsiya etilmaydi?
10. Induktiv qarshilikning ta'sirini fizik mohiyatini tushuntiring?

4.3. Kuchlanish va tok stabilizatorlarining tasvsiflovchi parametrlarini hisoblash.

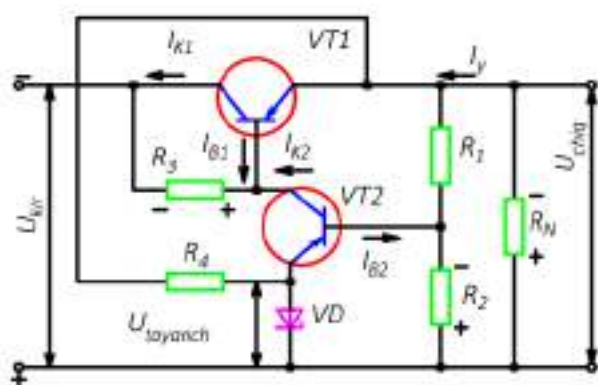
Asosiy tushunchalar

Sanoat elektronikasida elektr energiyasi ta'minoti manbasining chiqish kuchlanishi pulslanishiga qat'iy talablar qo'yilgan holatlarda kuchlanish stabilizatorlari ishlatiladi.

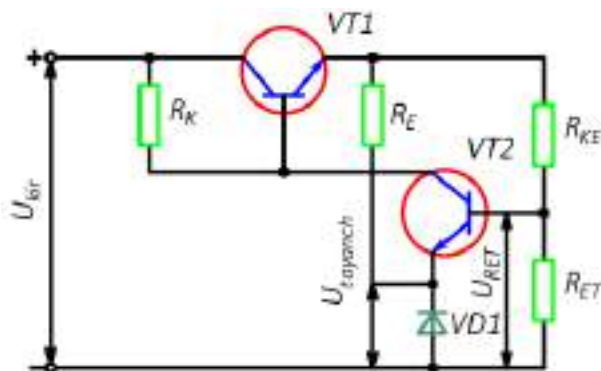
O'zgarmas kuchlanish stabilizatorlari parametrli va kompensatsion turlariga bo'linadi.

Parametrli kuchlanish stabilizatorlarining tavsiflovchi parametrlari kuchlanish o'zgarishi bilan shunday o'zgaradiki, natijada yuklamadagi kuchlanishning qiymati deyarli o'zgarmaydi.

Kompensatsion stabilizatorlar ancha yuqori texnik ko'rsatkichlarga ega bo'lib, ularning ishlashi haqiqiy chiqish kuchlanishini talab etilgani bilan solishtirishga asoslangan.



4.3.1 - rasm. Kompensatsion stabilizatorning prinsipial sxemasi.



4.3.2-rasm. O'zgaras tok stabilizatori

Stabillashtirish koeffitsiyenti va chiqish qarshiligi stabilizatorlarni tavsiflovchi asosiy parametrlaridan hisoblanadi va quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$k_{st} = \frac{\Delta U_{kir}/U_{kir}}{\Delta U_{chiq}/U_{chiq}} \quad (4.3.1),$$

tenglamadagi ΔU_{kir} va ΔU_{chiq} – kattaliklar stabilizator kirish va chiqish kuchlanishlarining o'zgarishi, U_{kir} va U_{chiq} - kattaliklar stabilizatorning kirish va chiqishidagi nominal kuchlanishlarning qiymatlari.

Stabilizatorning R_{chiq} - chiqish qarshiligi, chiqish kuchlanishi ΔU_{chiq} – o'zgarishining yuklamadagi tok kuchi ΔI_{yuk} – o'zgarishiga nisbati bilan aniqlanadi va quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_{chiq} = \frac{\Delta U_{chiq}}{\Delta I_{yuk}} \quad (4.3.2)$$

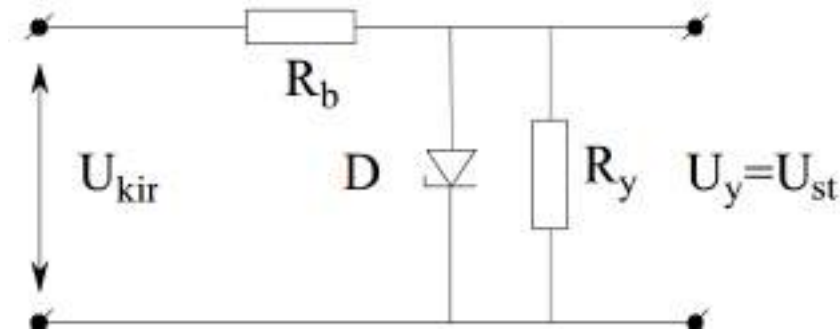
Tok stabilizatorlari har bir muayyan holatda talab etiladigan aniqlik darajasida yuklamadagi tok kuchining qiymatini o'zgaras tutib turishni avtomatik ravishda ta'minlash maqsadida ishlatiladi. Tok stabilizatorlari ham parametrli va kompensatsion turlariga bo'linadi. Parametrli tok stabilizatorlarida boshqaruvchi elementlar yuklamaga ketma-ket ulanadi.

O'zgaras tok stabilizatorlarini sifati jihatidan tavsiflovchi parametri tok bo'yicha stabillash koeffitsiyenti bo'lib, quyidagi (4.3.3) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_{st.I} = \frac{\Delta U_{kir}/U_{kir}}{\Delta I_{yuk}/I_{yuk}} \quad (4.3.3),$$

bu yerda $\Delta U_{kir}/U_{kir}$ – kattalik kirish kuchlanishining nisbiy o‘zgarishi, $\Delta I_{yuk}/I_{yuk}$ – kattalik yuklamadagi tok kuchining nisbiy o‘zgarishi.

Quyidagi 4.3.3-rasmda eng sodda parametrli kuchlanish stabilizatori sxemasi tasvirlangan.



4.3.3-rasm.

Kuchlanish stabilizatorining asosiy tavsiflovchi kattalik η – foydali ish ko'effitsiyenti bo'lib, yuklamadagi P_{yuk} - quvvatni, kirishdagi P_{kir} - quvvatga nisbati bilan aniqlanadi va quyidagi (4.4) tenglama bilan ifodalanadi:

$$\eta = \frac{P_{yuk}}{P_{kir}} = \frac{U_y \cdot I_y}{U_{kir} \cdot I_{kir}} \quad (4.3.4).$$

Parametrik kuchlanish stabilizatorida R_{ch} - chiqish qarshiligi stabilitronning R_d – differensial qarshiligi bilan aniqlanadi va quyidagi (4.3.5) tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_{ch} = R_d = \frac{\Delta U_{st}}{\Delta I_{st}} = \frac{U_{st.max} - U_{st.min}}{I_{st.max} - I_{st.min}} \quad (4.3.5).$$

Agarda 4.3.3 - rasmda tasvirlangan parametrli kuchlanish stabilizatori sxemasida $U_y = U_{st}$, $\Delta I_y = \Delta I_{st}$, $\Delta U_{st} = \Delta I_{st} \cdot R_d$ ekanligi hisobga olinsa, u holda stabilizatorning k_{st} – stabillash ko'effitsiyenti va R_b – ballast qarshilikni ifodalovchi tenglamalarni quyidagi shaklda yozish mumkin:

$$k_{st} = \frac{\Delta I_{st} \cdot R_b}{U_{kir}} = \frac{\Delta I_{st} \cdot R_d}{U_y} = \frac{U_y \cdot R_b}{U_{kir} \cdot R_d} \quad (4.3.6)$$

$$R_b = \frac{U_{kir} - U_y}{I_y + I_{st.nom}} \quad (4.3.7) \quad I_{st.nom} = \frac{I_{st.max} - I_{st.min}}{2} \quad (4.3.8)$$

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

Quyidagi 1-rasmda keltirilgan sxemada stabilitronning differensial qarshiligi $R_d = 20 \Omega$, stabilitron orqali oqib o'tuvchi tok kuchi $I_{st} = I_y = 5 \text{ mA}$, U_{kir} - kirish va U_{st} - stabillashgan kuchlanishlari $U_{kir} = 30 \text{ V}$, $U_{st} = 25 \text{ V}$ bo'lsa, parametrlari kuchlanish stabilizatorining k_{st} - stabillash ko'effitsiyenti, η - foydali ish ko'effitsiyenti, R_b - ballast qarshilikning qiymatlari topilsin?

Berilgan.

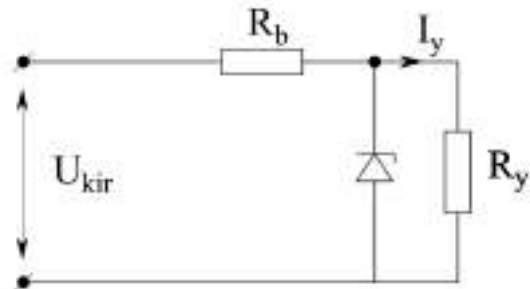
$$R_d = 20 \Omega,$$

$$I_{st} = I_y = 5 \text{ mA} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ A},$$

$$U_{kir} = 30 \text{ V}, U_{st} = 25 \text{ V}.$$

Topish kerak.

$$k_{st} = ?, \eta = ?, R_b = ?$$



1- rasm

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra 1-rasmda tasvirlangan sxemada U_{kir} - kirish kuchlanishi, elektr zanjirining yuklamasidagi U_{ch} - chiqish va ballast qarshiligidagi $I_b \cdot R_b$ - kuchlanishlarining yig'indisidan ballast qarshiligi orqali oqib o'tuvchi I_b - umumiy tok kuchi, I_{st} - stabilitron orqali oqib o'tuvchi va I_y - yuklama orqali oqib o'tuvchi tok kuchlarining algebraik yig'indisidan iborat bo'lib, quyidagi (2) va (3) tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$U_{kir} = U_{ch} + I_b \cdot R_b \quad (2), \quad I_b = I_{st} + I_y \quad (3).$$

Yuklamadagi 1-rasmda tasvirlangan sxema bo'yicha R_b - ballast qarshiligini ifodalovchi (6) tenglamani quyidagicha keltirib chiqarishimiz va (6) tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli amallarni bajarib, R_b - ballast qarshiligini aniqlashimiz mumkin:

$$U_{kir} = U_b + U_{st} \quad (4) \quad U_{kir} - U_{st} = U_b = I_b \cdot R_b \quad (5)$$

$$R_b = \frac{U_{kir} - U_{st}}{I_b} = \frac{U_{kir} - U_{st}}{I_{st} + I_y} \quad (6)$$

$$R_b = \frac{U_{kir} - U_{st}}{I_{st} + I_y} = \frac{30 - 25}{5 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3}} \approx 500 \Omega.$$

Ushbu holatda stabilizatorning k_{st} – stabilizatsiya koeffitsiyentini (7) va η – foydali ish koeffitsiyentini (8) tenglamalardagi kattaliklarning hisoblab topilgan son qiymatlarini qo‘yib, tegishli amallarni bajarib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$k_{st} = \frac{R_b \cdot U_{st}}{R_d \cdot U_{kir}} \quad (7), \quad k_{st} = \frac{500 \cdot 25}{20 \cdot 30} \approx 20,8$$

$$\eta = \frac{I_y \cdot U_0}{I_{kir} \cdot U_{kir}} \quad (8) \quad \eta = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 25}{(5 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3}) \cdot 30} \approx 0,42.$$

Javob: $R_b \approx 500 \Omega$, $k_{st} \approx 20,8$, $\eta \approx 0,42$.

Masala.

Parametrli kuchlanish stabilizatori sxemasi tasvirlangan 1-rasmda ballast qarshiligi $R_b = 30 \Omega$, kirish kuchlanishi $U_{kir} = 40 V$, stabilizatorning differensial qarshiligi $R_d = 10 \Omega$, stabillashgan kuchlanishning son qiymati $U_{st} = 32 V$, yuklama qarshiligi $R_y = 250 \Omega$ bo‘lsa, stabilizatorning k_{st} - stabilizatsiya va foydali ish koeffitsiyentlari aniqlansin?

Berilgan:

$R_b = 30 \Omega$, $U_{kir} = 40 V$, $R_d = 10 \Omega$, $U_{st} = 32 V$, $R_y = 250 \Omega$.

Topish kerak: $k_{st} = ?$, $\eta = ?$

Yechish.

Masalaning shartiga ko‘ra 1-rasmdagi sxema bo‘yicha parametrli stabilizatorning k_{st} - stabilizatsiya koeffitsiyenti quyidagi (1) tengalama bilan ifodalanadi:

$$k_{st} = \frac{R_b}{R_d} \cdot \frac{U_{st}}{U_{kir}} \quad (1).$$

Ushbu (1) tenglamadan parametrli stabilizatorning k_{st} - koeffitsiyentini quyidagicha aniqlaymiz:

$$k_{st} = \frac{30 \cdot 32}{10 \cdot 40} \approx 2,4.$$

Masalaning shartida berilgan kattaliklarni son qiymatlarini stabilizatorni η - foydali ish ko'effitsiyentini ifodalovchi (2) tenglamaga qo'yib, tegishli amallarni bajarib, η - foydali ish ko'effitsiyentini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\eta = \frac{P_{yuk}}{P_{kir}} = \frac{U_y \cdot I_y}{U_{kir} \cdot I_{kir}} = \frac{U_y \cdot I_y}{\frac{U_{kir} - U_{st}}{R_b} \cdot U_{kir}} = \frac{R_b \cdot U_{st} \cdot U_y}{R_y (U_{kir} - U_{st}) \cdot U_{kir}} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{30 \cdot 32 \cdot 32}{250(40 - 32) \cdot 40} \approx 0,38.$$

Javob: $k_{st} \approx 2,4$; $\eta \approx 0,38$.

Masala.

Parametrli stabilizator ulangan elektr zanjirida stabillashgan kuchlanishning $U_{st.min} = 28 \text{ V}$, $U_{st.max} = 28,4 \text{ V}$ o'zgarishida tok kuchi $I_{st.min} = 24 \text{ mA}$, $I_{st.max} = 30 \text{ mA}$ oraliqda o'zgargan bo'lsa, stabilitronning differensial qarshiligi va parametrli stabilizatorning k_{st} - stabilizatsiya ko'effitsiyenti topilsin?

Hisob ishlarini bajarishda U_{kir} - kirish kuchlanishi $U_{kir} = 30 \text{ V}$, R_b - ballast qarshiligi $R_b = 500 \Omega$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$U_{st.min} = 28 \text{ V}, \quad U_{st.max} = 28,4 \text{ V}, \quad I_{st.min} = 24 \text{ mA} = 24 \cdot 10^{-3} \text{ A},$$

$$I_{st.max} = 30 \text{ mA} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ A}, \quad U_{kir} = 30 \text{ V}, \quad R_b = 500 \Omega.$$

Topish kerak: $k_{st} = ?$, $\eta = ?$

Yechish.

Stabilitronning differensial qarshiligi umumiy holda quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_d = \frac{\Delta U_{st}}{\Delta I_{st}} \quad (1)$$

bu yerda ΔU_{st} va ΔI_{st} - kattaliklar stabillashgan kuchlanish, tok kuchining o'zgarishlarini ifodalaydi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U_{st} = U_{st.max} - U_{st.min} = 28,4 - 28 = 0,4 \text{ V}.$$

$$\Delta I_{st} = I_{st.max} - I_{st.min} = 30 \cdot 10^{-3} - 24 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

Ushbu holatda stabilizatorning differensial qarshiligini (1) tenglamadan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$R_d = \frac{\Delta U_{st}}{\Delta I_{st}} = \frac{0,4 V}{6 \cdot 10^{-3} A} \approx 67 \Omega.$$

Parametrli stabilizatorning k_{st} - stabillash koeffitsiyentini ifodalovchi (2) tenglamasidagi kattaliklarni hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$k_{st} = \frac{U_{st} \cdot R_b}{U_{kir} \cdot R_d} \quad (2), \quad k_{st} = \frac{28 \cdot 500}{30 \cdot 67} \approx 6,96.$$

Javob: $R_d \approx 67 \Omega, k_{st} \approx 6,96$.

Masala.

Kirish kuchlanishi $U_{kir} = -30 V$, kirish kuchlanishining noturg'unligi $\Delta U_{kir} = \pm 2 V$, yuklamadagi tok kuchining maksimal qiymati $I_{y.max} = 2 A$, stabillash koeffitsiyenti $k_{st} = 10^3$, boshqariladigan tranzistor zanjiridagi kuchlanish stabillash koeffitsiyenti $U_0 = -35 V$ bo'lgan kompensatsion stabilizatorni tavsiflovchi parametrlari hisoblansin?

Hisoblash ishlari chiqish kuchlanishining $-14 \div -26 V$ oralig'ida bajarilsin.

Berilgan:

$U_{kir} = -30 V, \quad \Delta U_{kir} = \pm 2 V, \quad I_{y.max} = 2 A, \quad k_{st} = 10^3, \quad U_0 = -35 V,$
 $U_y = -26 V.$

Topish kerak:

$U_{kE1max} = ?, \quad P_{k1max} = ?, \quad R_1 = ?, \quad R_2 = ?,$

$U_{kE2max} = ?, \quad R_b = ?, \quad R_3 = ?.$

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra kompensatsion stabilizatorni tavsiflovchi parametrlarini hisoblashni quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiramiz.

1. Kompensatsion stabilizator sxemasida ko'rsatilgan T_1 - tranzistorda kollektor-emitter kuchlanishining qiymatini quyidagi tenglamadan aniqlaymiz:

$$U_{kE1max} = U_{kir} + \Delta U_{kir} - U_y = -30 V + 16 V = -14 V$$

2. T_1 - tranzistorda maksimal quvvatni quyidagi tenglamadan aniqlaymiz:

$$P_{k1max} = U_{kE1max} \cdot I_{y.max} = 14 \cdot 2 = 28 \text{ W}.$$

3. Yuqorida bajarilgan hisob natijalariga asosan T_1 – tranzistor tavsiflovchi parametrlariga ko‘ra quyidagi shartlarga javob berishi lozim bo‘ladi.

$$U_{kEmax} < U_{kmaxrux.et}; \quad I_{k1} \approx I_{y.max} < I_{k.rux.et}.$$

Yuqorida keltirilgan shartlarni qanoatlantiruvchi tranzistor sifatida П216 B rusumli tranzistorni tanlasak, u holda ushbu tranzistorni tavsiflovchi parametrlari quyidagicha ekanligini keltirib o‘tishimiz mumkin. Kollektor kuchlanishi, tok kuchi va quvvatining ruxsat etilgan maksimal qiymatlari:

$$U_{kmaxrux.et} = -35 \text{ V}, I_{k.rux.et} = 7,5 \text{ A}, P_{kmaxrux.et} = 24 \text{ W}, \beta \leq 30, r_{k1} = 6 \text{ k}\Omega.$$

4. Stabillashgan kuchlanishni talab etilgan nominal qiymatini hosil qilish uchun Д814 A rusumli stabilitronni tanlasak, ushbu stabilitronni tavsiflovchi kattaliklari $U_{st} = -8 \text{ V}$, $R_d = 6 \text{ }\Omega$, $I_{st} = 20 \text{ mA}$.

5. Quyidagi (3) tenglamadan kuchaytiruvchi T_2 tranzistorning kollektor-emitter kuchlanishining maksimal qiymatini quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_{kE2max} \approx U_{y.max} - U_{st} \approx -26 + 8 = -18 \text{ V}.$$

6. $U_{kEmax} < U_{kmaxrux.et}$ shartni bajarilishini ta‘minlash maqsadida kuchaytiruvchi element sifatida П416 rusumli tranzistorni tanlashimiz mumkin, chunki ushbu rusumli tranzistorning tok bo‘yicha kuchaytirish koeffitsiyenti yuqoridagi parametrlarga mos bo‘lib, son qiymati $\beta_2 = 90 \div 250$.

7. Kattaliklarning yuqorida hisoblab topilgan son qiymatlarini (4) tenglamaga qo‘yib, R_b – ballast qarshilikni quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_b = \frac{|U_{y.ort} - U_{st}|}{I_{st.nom} - I_{E2}} (4) R_b = \frac{|-18 + 8|}{(20 - 10) \cdot 10^{-3}} \approx 1 \text{ k}\Omega.$$

8. Ushbu holatda:

$$I_{Rk} = I_{k2} + I_{b1max}, I_{b1max} = \frac{I_{y.max}}{\beta_1 + 1} \approx \frac{2 \text{ A}}{30 + 1} \approx 64,5 \text{ mA}.$$

U holda, sxemaning meyorda ishlashini ta‘minlash uchun talab etilgan R_k – qarshilikning qiymatini (5) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_k = \frac{|E_0 - U_{y.max}|}{I_{b1max} + I_{k2}} (5), R_k = \frac{|-35 + 226|}{(64,5 + 10) \cdot 10^{-3}} \approx 121 \Omega.$$

9. Kattaliklarning yuqorida hisoblab topilgan son qiymatlariga asoslanib, 1-rasmda tasvirlangan sxemadagi R_1 , R_2 va R_3 qarshiliklarni quyidagicha aniqlaymiz. Agarda R_2 - qarshilikda kuchlanish tushuvi maksimal qiymatida bo'lsa, stabilizator chiqishida kuchlanish $U_{y.min}$ - minimal qiymatiga erishadi. Ushbu holatda qarshilikarda kuchlanish tushuvini quyidagi tenglamalar bilan ifodalash mumkin:

$$|U_{y.min} - U_{st}| = I_d \cdot R_1 (6), \quad |U_{st}| = I_d \cdot R_3 (7),$$

$$|U_{y.max} - U_{st}| = I_d \cdot (R_1 + R_2) (8).$$

(6), (7), (8) tenglamalar sistemasini birgalikda yechib, I_d - kattalikni topamiz:

$$I_d = 20 I_{b2} = 20 \frac{I_{k2}}{\beta_2} \approx 20 \cdot \frac{10}{160} \approx 1,25 \text{ mA}.$$

(6), (7) va (8) tenglamalardan R_1 , R_2 va R_3 qarshiliklarni aniqlaymiz:

$$R_1 = \frac{|U_{y.min} - U_{st}|}{I_d} = \frac{|-14 + 8|}{1,25} \approx 4,8 \text{ k}\Omega.$$

$$R_2 = \frac{|U_{y.max} - U_{st}|}{I_d} - R_1 = \frac{|-26 + 8|}{1,25} - 4,8 \approx 9,6 \text{ k}\Omega.$$

$$R_3 = \frac{|U_{st}|}{I_d} = \frac{8}{1,25} \approx 6,4 \text{ k}\Omega.$$

Javob: $U_{kE1max} \approx -14 \text{ V}$; $P_{k1max} = 28 \text{ W}$; $U_{kE2max} = -18 \text{ V}$;

$$R_b = 1 \text{ k}\Omega; R_1 \approx 4,8 \text{ k}\Omega; R_2 \approx 9,6 \text{ k}\Omega; R_3 \approx 6,4 \text{ k}\Omega.$$

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Parametrli kuchlanish stabilizatoriga ulangan stabilitronda stabillashgan kuchlanishning son qiymati $U_{st} = 20 \text{ V}$, tok kuchining maksimal va minimal qiymatlari $I_{st.max} = 90 \text{ mA}$, $I_{st.min} = 5 \text{ mA}$, yuklama qarshiligi $R_y = 800 \Omega$, ballast qarshiligi $R_b = 600 \Omega$ bo'lsa, ta'minot kuchlanishining o'zgarishi oralig'i topilsin?

2. Kuchlanish stabilizatorida stabillashgan kuchlanish $U_{st} = 15 \text{ V}$, tok kuchi $I_{st} = 2 \text{ A}$, yuklama qarshiligi $R_y = 20 \Omega$, ballast qarshiligi $R_b = 10 \Omega$ bo'lsa, stabilizatorning η - foydali ish ko'effitsiyenti topilsin?

3. Kremniy monokristali asosida tayyorlangan (1-rasm) Д809 rusumli stabilitron ulangan stabilizatorida R_b – ballast qarshilik topilsin?

Hisob ishlarini bajarishda yuklama qarshiligi $R_y = 1,2 \text{ k}\Omega$, stabillashgan kuchlanish $U_{st} = 10 \text{ V}$, stabillashgan tok kuchining minimal va maksimal qiymatlari $I_{st.max} = 26 \text{ mA}$, $I_{st.min} = 8 \text{ mA}$, manba kuchlanishining o'zgarishi oralig'i $U_{max} = 16 \text{ V}$, $U_{min} = 12 \text{ V}$, deb hisoblansin.

4. Parametrli kuchlanish stabilizatorida kirish kuchlanishining ruxsat etilgan o'zgarishi oralig'i U_{min} , U_{max} topilsin?

Hisob ishlarini bajarishda kuchlanishning stabillashgan qiymati $U_{st} = 8 \text{ V}$, tok kuchining minimal va maksimal qiymatlari $I_{st.max} = 20 \text{ mA}$, $I_{st.min} = 5 \text{ mA}$, ballast qarshiligi $R_b = 200 \Omega$, yuklama qarshiligi $R_y = 2 \text{ k}\Omega$ deb hisoblansin.

5. Parametrli kuchlanish stabilizatorida stabillashgan kuchlanish $U_{st} = 20 \text{ V}$, tok kuchining o'zgarishi oralig'i $I_{st.max} = 9 \text{ mA}$, $I_{st.min} = 2 \text{ mA}$, manba kuchlanishining o'zgarishi oralig'i $U_{max} = 30 \text{ V}$, $U_{min} = 20 \text{ V}$, yuklama qarshiligining o'zgarishi $R_{y.max} = 8 \text{ k}\Omega$, $R_{y.min} = 6 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, R_b - ballast qarshiligi topilsin?

6. Kuchlanish stabilizatorida ballast qarshiligi $R_b = 200 \Omega$, kirish kuchlanishining maksimal qiymati $U_{kir.max} = 20 \text{ V}$, stabillashgan tok kuchining maksimal qiymati $I_{st.max} = 500 \text{ mA}$, yuklamadagi tok kuchi $I_y = 400 \text{ mA}$ bo'lsa, U_{st} - stabillashgan kuchlanishning qiymati topilsin?

7. Parametrli kuchlanish stabilizatorida kirish kuchlanishining minimal qiymati $U_{kir.min} = 28 \text{ V}$, stabillashgan kuchlanish $U_{st} = 20 \text{ V}$, ballast qarshiligi $R_b = 600 \Omega$, stabillashgan tok kuchining minimal qiymati $I_{st.min} = 4 \text{ mA}$ bo'lsa, yuklamadagi tok kuchi I_y - topilsin?

8. Parametrli kuchlanish stabilizatorida kirish kuchlanishi o'zgarishi oralig'i $U_{kir.max} = 21 \text{ V}$, $U_{kir.min} = 17 \text{ V}$, yuklamadagi kuchlanish $U_y = 14 \text{ V}$, yuklama qarshiligi $R_y = 750 \Omega$ bo'lsa, ballast qarshiligi hisoblansin va stabilizatorni yuqorida keltirilgan tavsiflovchi parametrlarini qanoatlantiruvchi stabilitronning turi tanlansin?

9. Kirish kuchlanishi $U_{kir} = 30 V$, yuklamadagi tok kuchining maksimal qiymati $I_{y.max} = 2 A$, kirish kuchlanishining o'zgarishi oralig'i $\Delta U_{kir} = \pm 3 V$, stabillash koefitsiyenti $k_{st} = 800$, boshqariluvchi tranzistordagi kuchlanishning qiymati $U_0 = 32 V$ bo'lgan kompensatsion stabilizatorni tavsiflovchi parametrlari hisoblansin?

10. Kuchlanish stabilizatorida manba kuchlanishi $U = 200 V$, stabillashgan kuchlanish $U_{st} = 50 V$, tok kuchining maksimal va minimal qiymatlari $I_{st.max} = 40 mA$, $I_{st.min} = 10 mA$ bo'lsa, yuklamadagi tokning maksimal qiymati topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Zamonaviy sanoat elektronikasida kuchlanish va tok sabilizatorlari qanday maqsadlarda qo'llaniladi?

2. Kuchlanish va tok stabilizatorlarining qanday turlarini bilasiz va ularning ishlash prinsipini tushuntiring?

3. Parametrli kuchlanish stabilizatorlarining asosiy afzallik va kamchiliklari nialardan iborat ekanligini tushuntiring?

4. Kompensatsion kuchlanish stabilizatorlarining ishlash prinsipi qanday hodisaga asoslangan?

5. Parametrli va kompensatsion kuchlanish stabilizatorlarining asosiy farqlovchi xususiyatlarini tushuntiring?

6. Parametrli kuchlanish stabilizatorlarining tavsiflovchi asosiy kattaliklarining fizik mohiyatini tushuntiring?

7. Kompensatsion kuchlanish stabilizatorlarining tavsiflovchi kattaliklarining fizik mohiyatini tushuntiring?

8. Parametrli tok stabilizatorlarida nochiziqli element sifatida qanday elektron asboblari ishlatiladi?

9. Kuchlanish va tok stabilizatorlarining nochiziqli elementi sifatida qo'llaniladigan elektron asboblarga asosan qanday talablar qo'yiladi?

10. Kuchlanish va tok stabilizatorlarini stabilizatsiya koefitsiyenti stabilizatorning asosan qaysi parametrlariga bog'liqligini tushuntiring?

V. Bob. Bir kaskadli va ko‘p kaskadli elektron kuchaytirgichlar.

Elektr signallarini kuchlanish, toki kuchi va quvvati bo‘yicha kuchaytirish uchun mo‘ljallangan elektron qurilmalar, elektron kuchaytirgichlar deb yuritiladi.

Sanoat elektronikasida hozirgi vaqtda qo‘llanilayotgan zamonaviy elektron kuchaytirgichlarning asosiy ishchi jismi sifatida tranzistorlardan tuzilgan integral mikrosxemalardan foydalanilmoqda.

Integral mikrosxemalar asosida tuzilgan elektron kuchaytirgichlarning asosiy afzalliklari va yutuqlari, ularning yuqori ishonchliligi, tejamkorligi, tezkorligi, juda kichik o‘lcham va massaga ega ekanligi bilan uzviy bog‘liq.

5.1. Bir kaskadli bipolyar tranzistorli elektron kuchaytirgichlarni hisoblash.

Asosiy tushunchalar.

Kuchaytirgichning kuchlanish bo‘yicha k_u - kuchaytirish ko‘effitsiyenti, chiqish U_{chiq} - kuchlanishining kirish U_{kir} - kuchlanishiga nisbati bilan aniqlanib quyidagi (5.1.1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_u = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} \quad (5.1.1).$$

Kuchaytirgichning tok bo‘yicha k_I - kuchaytirish ko‘effitsiyenti, chiqish I_{chiq} - tok kuchining kirish I_{kir} - tok kuchiga nisbati bilan aniqlanib quyidagi (5.1.2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_I = \frac{I_{chiq}}{I_{kir}} \quad (5.1.2).$$

Kuchaytirgichning quvvat bo‘yicha k_P - kuchaytirish ko‘effitsiyenti, elektr signalining chiqishdagi P_{chiq} - quvvatining kirishdagi P_{kir} - quvvatiga nisbati bilan aniqlanib quyidagi (5.1.3) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_P = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}} = \frac{U_{chiq} \cdot I_{chiq}}{U_{kir} \cdot I_{kir}} = k_u \cdot k_I \quad (5.1.3).$$

Zamonaviy elektron kuchaytirgichlarda kuchaytirish ko‘effitsiyentining son qiymati juda katta qiymatlarda bo‘lganligi sababli logorifmik qiymatda va dB

(detsibell) birlikda kuchlanish, tok kuchi va quvvat bo'yicha quyidagi shaklda ifodalanadi:

$$k_u = 20 \lg \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} \quad (5.1.4), \quad k_I = 20 \lg \frac{I_{chiq}}{I_{kir}} \quad (5.1.5), \quad k_P = 10 \lg \frac{P_{chiq}}{P_{kir}} \quad (5.1.6).$$

Elektron kuchaytirgichlarning elektr signallarini kuchaytirish ko'effitsiyenti signalning chastotasiga bog'liq bo'lib, turli chastotali signallarni turli darajada kuchaytiradi. Shu sababli elektron kuchaytirgichlarning kuchaytirish ko'effitsiyentini signalning chastotasiga bog'liqligini tavsiflovchi kattalik sifatida kuchaytirgichning chastotali og'ish ko'effitsiyenti degan kattalik kiritilib, quyidagi (5.1.7) tenglama bilan ifodalanadi:

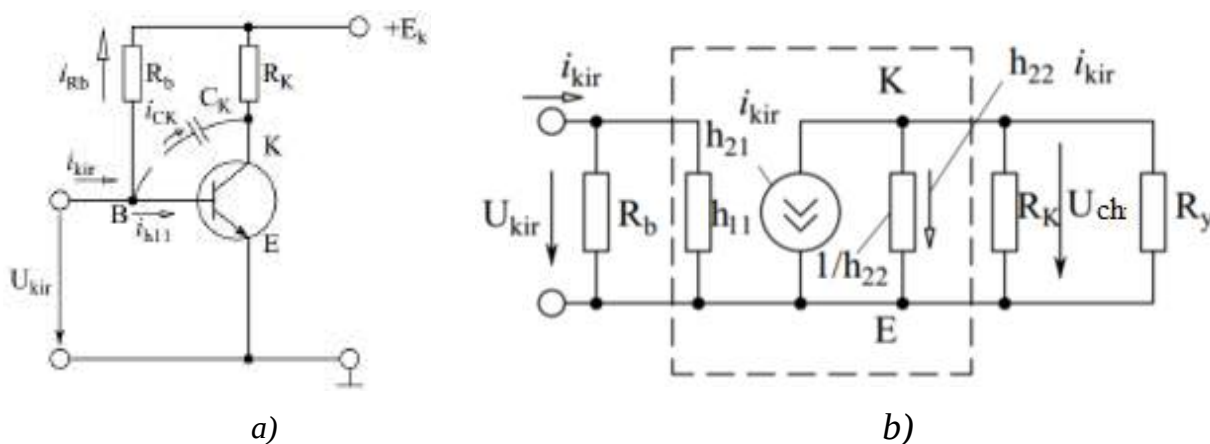
$$M = \frac{k_0}{k} \quad (5.1.7)$$

bu yerda k_0 – kattalik elektron kuchaytirgichning o'rta chastotalardagi, k – kattalik esa biror-bir chastotali ishchi diapazondagi kuchaytirish ko'effitsiyentlari.

Elektron kuchaytirgichlarning detsibellarda ifodalangan chastotalar og'ish ko'effitsiyenti quyidagi (5.8) tenglama bilan ifodalanadi:

$$M_{dB} = 20 \lg M \quad (5.1.8).$$

Sanoat elektronikasida kuchaytirgichlarning asosiy ishchi elementi hisoblangan tranzistorlar elektr zanjiriga umumiy emitterli, umumiy bazali va umumiy kollektorli shakllarida ulanadi. Quyidagi 5.1.1-rasmda umumiy emitterli sxema asosida ulangan bir kaskadli elektron kuchaytirgichning sxematik ko'rinishi va ekvivalent sxemasi tasvirlangan.



5.1 – rasm. Umumiy emitterli bir kaskadli kuchaytirgichning a) prinsipial, b) ekvivalent sxemalari.

Umumiy emitterli bir kasadli kuchaytirgichlarda $E_k = U_k + I_k \cdot R_k$ (5.1.9) ifoda o‘rinli bo‘lib, manbaning elektr yurituvchi kuchi, kollektor zanjiridagi R_k - yuklamada hosil bo‘lgan $I_k \cdot R_k$ kuchlanish tushuvi va kollektordagi U_k - kuchlanishlarning algebraik yig‘indisidan iborat bo‘ladi.

Kuchaytirgich chiqishida U_{ch} - kuchlanishning amplituda qiymati kollektor zanjiriga ulangan R_k - rezistorning son qiymatiga bog‘liq bo‘lib, amalda uning qiymati bir necha kOm kattalikda tanlanadi.

Baza zanjiriga ulangan R_b - rezistori kuchaytirgichga kirish signali berilmayotgan holatda ish nuqtasini va kuchaytirgichda ishchi jism sifatida ishlatilayotgan tranzistorning baza toki va baza-emitter kuchlanishlarining optimal qiymatlarini belgilaydi. Baza zanjiriga ulangan R_b - rezistorning qiymati quyidagi (5.1.10) tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_b = \frac{(E_k - U_{BE})}{I_B} \quad (5.1.10),$$

bu yerda U_{BE} - baza emitter kuchlanishi va I_B - baza toklarining qiymatlari.

Kuchaytirgichning kirish va chiqish kuchlanishlari mos ravishda quyidagi (5.1.11) va (5.1.12) tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$U_{kir} = R_{kir} \cdot I_{kir} \quad (5.1.11), \quad U_{ch} = R_k \cdot I_k \quad (5.1.12).$$

Yuqoridagi 5.1-rasmda keltirilgan ekvivalent sxema bo‘yicha kuchaytirgichning k - kuchaytirish ko‘effitsiyenti, U_{kir} – kirish va U_{ch} - chiqish kuchlanishlari orqali quyidagicha aniqlanadi:

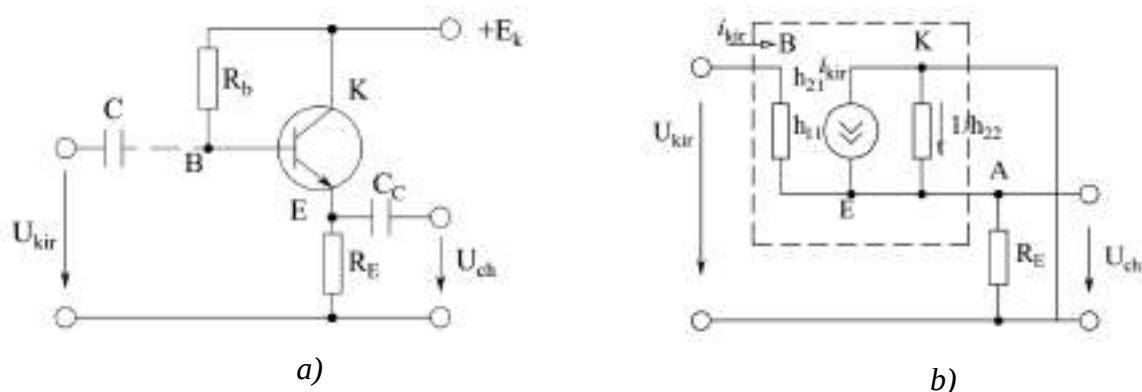
$$U_{kir} = \frac{h_{11} \cdot R_b}{h_{11} + R_b} \cdot I_{kir} \quad (5.1.12), \quad h_{21} \cdot I_b + h_{22} \cdot U_{ch} + \frac{U_{ch}}{R_k} + \frac{U_{ch}}{R_{yu}} = 0 \quad (5.1.13),$$

tenglamada $R_b \gg h_{11}$; $I_{kir} \approx I_b$; $R_{yu} \gg R_k$; $U_{kir} \approx h_{11} \cdot I_{kir}$ ekanligi hisobga olinsa, chiqish kuchlanishini quyidagi (5.14) tenglama orqali ifodalash mumkin:

$$U_{ch} = \frac{U_{kir}}{h_{11}} - \frac{h_{21}}{h_{22} + \frac{1}{R_k}} \quad (5.1.14).$$

Ushbu holatda kuchaytirgichning kuchlanish bo‘yicha k_u -kuchaytirish ko‘effitsiyenti quyidagi (5.1.15) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_u = \frac{h_{21} \cdot R_k}{h_{11}} \quad (5.15).$$



5.2 – rasm. Umumiy kollektorli bir kaskadli kuchaytirgichning a) prinsipial, b) ekvivalent sxemalari.

Elektron kuchaytirgich kaskadida tranzistor umumiy sxema asosida ulanganda kuchaytirgichning parametrlari quyida keltirilgan tenglamalar bilan ifodalanadi.

Kirish va chiqish kuchlanishlari:

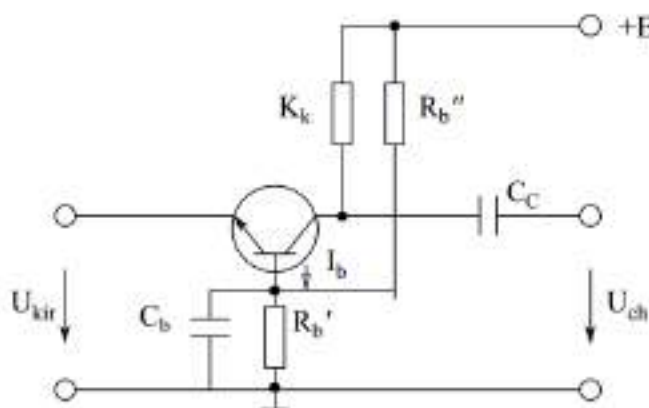
$$U_{ch} = \frac{U_{kir} \left(\frac{1}{h_{11}} + \frac{h_{21}}{h_{11}} \right)}{\frac{1}{h_{11}} + \frac{h_{21}}{h_{11}} + \frac{1}{R_E} + h_{22}} = \frac{U_{kir}}{1 + h_{11} \cdot \frac{1 + h_{22} \cdot R_E}{(1 + h_{21}) \cdot R_E}} \quad (5.1.16).$$

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti:

$$k_U = \frac{U_{ch}}{U_{kir}} = \frac{1}{1 + h_{11} \cdot \frac{1 + h_{22} \cdot R_E}{(1 + h_{21}) \cdot R_E}} \quad (5.1.17).$$

Emetter qaytargichning kirish va chiqish qarshiliklari:

$$R_{kir} = \frac{U_{kir}}{I_{kir}} = \frac{U_{kir} \cdot h_{11}}{U_{kir} - U_{ch}} = \frac{h_{11}}{1 - k_U} \quad (5.1.18), R_{ch} = \frac{h_{11}}{1 + h_{21}} \quad (5.1.19).$$



5.1.3 – rasm. Umumiy bazali bir kaskadli kuchaytirgichning prinsipial sxemasi.

Elektron kuchaytirgich kaskadida tranzistor umumiy bazali sxema asosida ulanganda kuchaytirgichning quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti quyida keltirilgan (5.20) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_P = k_U \cdot k_I \quad (5.1.20).$$

Umumiy bazali sxema asosida tuzilgan kuchaytirgichning quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti umumiy emitterli kuchaytirgichga nisbatan juda kichik bo'ladi, shu sababli bu turdagi kuchaytirgichlar amaliyotda deyarli qo'llanilmaydi.

Masalalarni yechish namunalari.

Masala

Bipolyar tranzistor kuchaytirgich kaskadiga 1-rasmda tasvirlanganidek umumiy emitterli sxema asosida ulangan bo'lib, tranzistorni tavsiflovchi kattaliklari va elektr zanjirining parametrlari quyidagicha: $h_{11E} = 800 \, \Omega$, $h_{12E} = 5 \cdot 10^{-4}$, $h_{21E} = 48$, $h_{22E} = 80 \, \mu k Sm$, $R_t = 1 \, k\Omega$, $R_e = 0,51 \, k\Omega$, $R_k = 5,1 \, k\Omega$, $R_n = 10 \, k\Omega$ bo'lsa, kuchaytirgich kaskadining kuchlanish va tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentlari topilsin?

Berilgan:

$$h_{11E} = 800 \, \Omega, h_{12E} = 5 \cdot 10^{-4},$$

$$R_t = 1 \, k\Omega = 10^3 \, \Omega, h_{21E} = 48,$$

$$h_{22E} = 80 \, \mu k Sm = 8 \cdot 10^{-5} Sm,$$

$$R_e = 0,51 \, k\Omega = 510 \, \Omega,$$

$$R_k = 5,1 \, k\Omega = 5,1 \cdot 10^3 \, \Omega,$$

$$R_n = 10 \, k\Omega = 10^4 \, \Omega.$$

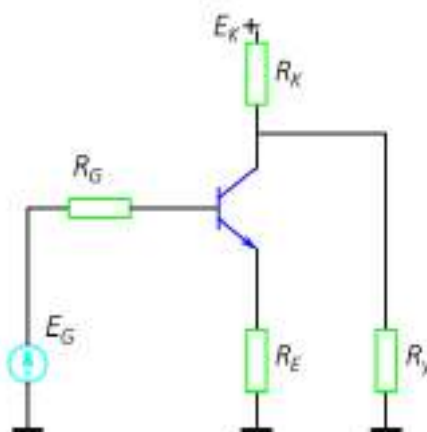
Topish kerak: $k_u = ?$, $k_I = ?$

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra 1-rasmda tasvirlangan elektr zanjirining kirish qarshiligini quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanishi e'tiborga olinsa:

$$R_{kir} = R_B + r_E(1 + h_{21E}) + R_E(1 + h_{21E}) \quad (1),$$

ushbu holatda $h_{11E} = r_B + r_E(1 + h_{12E})$ (2) ifodani (1) tenglamaga qo'yib, kuchaytirgich kaskadining R_{kir} - kirish qarshiligini ifodalovchi quyidagi (3) tenglikni hosil qilamiz:



1- rasm

$$R_{kir} = h_{11E} + (1 + h_{21E}) \cdot R_E \quad (3).$$

Yuqorida keltirib chiqarilgan (3) tenglamadan kuchaytirgich kaskadining R_{kir} – kirish qarshiligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_{kir} = 800 + (1 + 48) \cdot 0,51 \cdot 10^3 \approx 25,8 \text{ k}\Omega.$$

Kuchaytirish kaskadining kuchlanish bo'yicha k_u - kuchaytirish ko'effitsiyentini aniqlash uchun quyidagi (4) tenglamadan foydalanamiz:

$$k_u = \frac{\beta \cdot R_{Kn}}{(R_G + R_{kir})} \quad (4),$$

bu yerda β - kattalik $\beta = h_{21E}$ - baza tokining uzatish ko'effitsiyentini, $R_{K,n}$ -kattalik:

$$R_{K,n} = \frac{R_K \cdot R_n}{R_K + R_n} \quad (5),$$

kollektor zanjirining ekvivalent qarshiligini ifodalaydi. Yuqorida keltirilgan (5) tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kuchaytirgich kaskadining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentini quyidagicha aniqlaymiz:

$$k_u = \frac{-48 \cdot \frac{5,1 \cdot 10}{5,1 + 10} \cdot 10^3}{(1 + 25,8) \cdot 10^3} \approx -6,05,$$

bu yerda minus ishora elektr signalini inverslashni anglatadi.

Kuchaytirgich kaskadining tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentini ifodalovchi (6) tenglamadan k_I - kuchaytirish ko'effitsiyentini quyidagicha aniqlaymiz:

$$k_I = \beta \cdot \frac{R_G}{R_G + R_{kir}} \cdot \frac{R_k}{R_k \cdot R_n} = 48 \cdot \frac{10^3}{(1 + 25,8) \cdot 10^3} \cdot \frac{5,1 \cdot 10^3}{(5,1 + 10) \cdot 10^3} \approx 0,6.$$

Masalaning shartida kattaliklarning berilgan son qiymatlari bo'yicha hisobiy ishlar shuni ko'rsatdiki, 1-rasmdagi sxema bo'yicha ulangan kuchaytirgich kaskadida tok bo'yicha kuchaytirish amalga oshirilmaydi.

Javob: $k_u \approx -6,05$, $k_I \approx 0,6$.

Masala

Bipolyar tranzistor asosida tuzilgan kuchaytirish kaskadida (2 - rasm) kirish tok kuchi $I_{kir} = 500 \mu\text{kA}$ bo'lganida, kirish signalining quvvati $P_{kir} = 0,2 \text{ mW}$,

kollektor zanjiriga ulangan rezistor qarshiligi $R_k = 4500 \Omega$, yuklama qarshiligi $R_y = 350 \Omega$, statik kuchaytirish ko'effitsiyenti (baza tokini) $h_{21} = 40$ bo'lsa, kuchaytirgich kaskadining kuchlanish bo'yicha k_u - kuchaytirish ko'effitsiyenti topilsin?

Berilgan:

$$I_{kir} = 500 \mu A = 5 \cdot 10^{-4} A,$$

$$P_{kir} = 0,2 mW = 2 \cdot 10^{-4} W,$$

$$R_k = 4500 \Omega, R_y = 350 \Omega, h_{21} = 40.$$

Topish kerak:

$$k_u = ?$$

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra 2-rasmda tasvirlangan sxema asosida ulangan kuchaytirgich kaskadining kirish qarshiligini ifodalovchi (1) tenglamadan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$R_{kir} = \frac{P_{kir}}{I_{kir}^2} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{(5 \cdot 10^{-4})^2} \approx 800 \Omega.$$

Ushbu holatda kuchaytirgich kaskadining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentini aniqlash uchun avvalo kollektor zanjirining ekvivalent yuklama qarshiligini quyidagi (2) tenglamadan aniqlashimiz lozim:

$$R_{y.ekv} = \frac{R_k \cdot R_y}{R_k + R_y} \quad (2), \quad R_{y.ekv} = \frac{R_k \cdot R_y}{R_k + R_y} = \frac{4500 \cdot 350}{4500 + 350} \approx 325 \Omega.$$

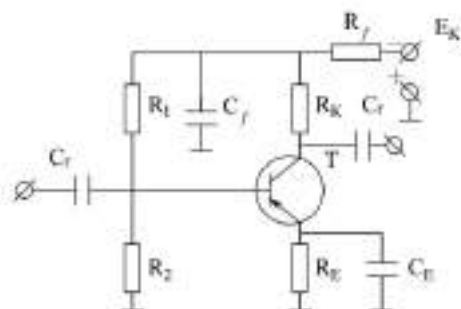
Masalaning shartiga ko'ra aniqlanishi talab etilgan kuchaytirgich kaskadining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentini (3) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$k_u = \frac{h_{21} \cdot R_{y.ekv}}{R_{kir}} = \frac{40 \cdot 325}{800} \approx 16,25.$$

Javob: $k_u \approx 16,25$.

Masala.

Bipolyar tranzistor asosida tuzilgan kuchaytirgich kaskadining prinsipial sxemasi 3-rasmda tasvirlangan. Agarda tranzistorni tavsiflovchi asosiy parametrlari



2- rasm

$h_{11} = 800 \Omega, h_{21} = 60, h_{22} = 12 \cdot 10^{-5} \text{ Sm}$ bo'lsa, kuchaytirgich kaskadining U_{kir} – kirish kuchlanishi va chiqish qarshiligi topilsin?

Hisob ishlarini bajarishda kirish signali manbasining elektr yurituvchi kuchi $E_{kir} = 8 \text{ mV}$, ichki qarshiligi $r = 200 \Omega$, kollektor zanjiriga ulangan rezistor qarshiligi $R_k = 3,5 \text{ k}\Omega$ va $R_b \gg h_{11}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$h_{11} = 800 \Omega, h_{21} = 60,$$

$$h_{22} = 12 \cdot 10^{-5} \text{ Sm},$$

$$E_{kir} = 8 \text{ mV} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ V},$$

$$r = 200 \Omega, R_b \gg h_{11}$$

$$R_k = 3,5 \text{ k}\Omega = 3,5 \cdot 10^3 \Omega.$$

Topish kerak:

$$U_{kir} = ? \quad R_{ch} = ?$$

Yechish.

Bipolyar tranzistor asosida tuzilgan elektron kuchaytirgich kaskadiga kirish U_{kir} – kuchlanishi va chiqish R_{ch} – qarshiliklari quyidagi (1), (2) tenglamalar bilan ifodalanadi:

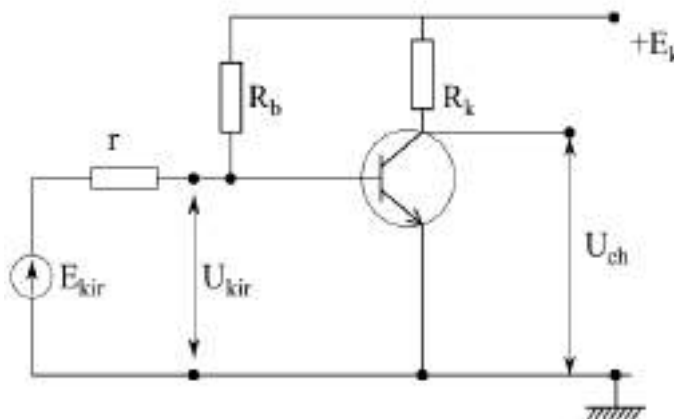
$$U_{kir} = \frac{E_{kir} \cdot h_{11}}{r + h_{11}} \quad (1).$$

$$R_{ch} = \frac{\frac{R_k}{h_{22}}}{R_k + \frac{1}{h_{22}}} = \frac{\frac{R_k}{h_{22}}}{\frac{R_k \cdot h_{22} + 1}{h_{22}}} = \frac{R_k}{R_k \cdot h_{22} + 1} \quad (2).$$

Yuqorida keltirilgan (1) va (2) tenglamalardagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, kirish U_{kir} – kuchlanishi va chiqish R_{ch} – qarshiligi kuyida ayniqchani aniqlaymiz:

$$U_{kir} = \frac{E_{kir} \cdot h_{11}}{r + h_{11}} = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 800}{200 + 800} \approx 6,4 \text{ mV}.$$

$$R_{ch} = \frac{R_k}{R_k \cdot h_{22} + 1} \approx \frac{3,5 \cdot 10^3}{3,5 \cdot 10^3 \cdot 12 \cdot 10^{-5} + 1} \approx 2,46 \cdot 10^3 \Omega.$$



3- rasm

Elektron kuchaytirgich kaskadining kuchlanish bo'yicha k_u - kuchaytirish ko'effitsiyentini chiqish va kirish kuchlanishlarining nisbati bilan ifodalovchi (3) tenglamadan U_{ch} - chiqish kuchlanishini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$k_u = \frac{U_{ch}}{U_{kir}} \quad (3).$$

$$U_{ch} = k_u \cdot U_{kir} = \frac{h_{21} \cdot R_k \cdot U_{kir}}{h_{11}(1 + R_k \cdot h_{22})} = \frac{60 \cdot 3,5 \cdot 10^3 \cdot 6,4 \cdot 10^{-3}}{800 \cdot (1 + 3,5 \cdot 10^3 \cdot 12 \cdot 10^{-5})} \approx 1,2 \text{ V}.$$

$$\text{Javob: } U_{kir} \approx 6,4 \text{ mV}, R_{ch} \approx 2,46 \cdot 10^3 \Omega, U_{ch} \approx 1,2 \text{ V}.$$

Masala.

Bipolyar tranzistor asosida tuzilgan, umumiy kollektor sxemasi bo'yicha ulangan kuchaytirgich kaskadining kuchlanish va tok kuchi bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentlari, kirish va chiqish qarshiliklari topilsin?. Hisob ishlarini bajarishda kuchaytirgich qurilmasiga ulangan bipolyar tranzistorning tavsiflovchi asosiy parametrlari $h_{11} = 350 \Omega$, $h_{21} = 60$, $h_{22} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}$, emitter zanjiriga ulangan rezistorning elektr qarshiligi $R_E = 2 \text{ k}\Omega$ deb hisoblansin (2-rasm).

Berilgan:

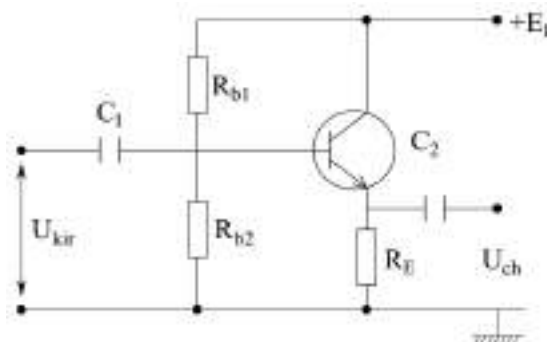
$$h_{11} = 350 \Omega, h_{21} = 60,$$

$$h_{22} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ Sm},$$

$$R_E = 2 \text{ k}\Omega = 2 \cdot 10^3 \Omega.$$

Topish kerak:

$$k_u = ? \quad k_I = ? \quad R_{ch} = ?$$



2- rasm

Yechish.

Kuchaytirgich kaskadiga tranzistor umumiy kollektorli sxema asosida ulangan kaskadning k_u - kuchlanish, k_I - tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentlari va R_{kir} - kirish, R_{ch} - chiqish qarshiliklari quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$k_u = \frac{1}{1 + h_{11} \cdot \frac{1 + h_{22} \cdot R_E}{R_E(1 + h_{21})}} \quad (1), \quad k_I = k_u \cdot \frac{h_{11}}{R_E(1 - k_u)} \quad (2)$$

$$R_{kir} = \frac{h_{11}}{1 - k_u} \quad (3), \quad R_{ch} = \frac{h_{11}}{1 + h_{21}} \quad (4)$$

Yuqorida keltirilgan (1), (2), (3) va (4) tenglamalardagi kattaliklarning masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, son qiymatlari aniqlanishi talab etilgan kattaliklarni quyidagicha topishimiz mumkin:

$$k_u = \frac{1}{1 + h_{11} \cdot \frac{1 + h_{22} \cdot R_E}{R_E(1 + h_{21})}} = \frac{1}{1 + 350 \cdot \frac{1 + 50 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3(1 + 60)}} \approx 0,97.$$

$$k_I = k_u \cdot \frac{h_{11}}{R_E(1 - k_u)} = \frac{0,97 \cdot 350}{2 \cdot 10^3(1 - 0,97)} \approx 5,66.$$

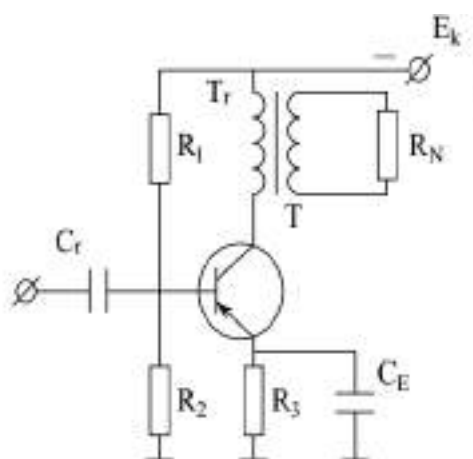
$$R_{kir} = \frac{h_{11}}{1 - k_u} = \frac{350}{1 - 0,97} \approx 11,7 \text{ k}\Omega.$$

$$R_{ch} = \frac{h_{11}}{1 + h_{21}} = \frac{350}{1 + 60} \approx 5,74 \Omega.$$

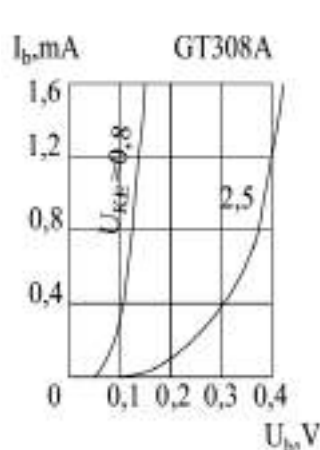
Javob: $k_u \approx 0,97$, $k_I \approx 5,66$, $R_{kir} \approx 11,7 \text{ k}\Omega$, $R_{ch} \approx 5,74 \Omega$.

Masala.

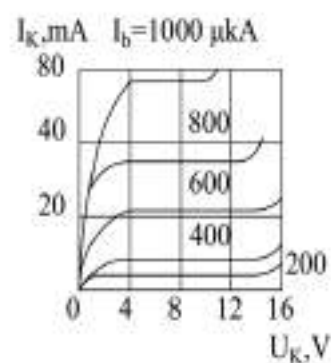
Kuchaytirgich kaskadi GT308A rusumli tranzistor asosida 3 - rasmda tasvirlangan prinsipial sxema bo'yicha tuzilgan. Agarda $R_K = 240 \Omega$, $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \Omega$, $E_K = 10 \text{ V}$ bo'lsa, 4 - (a, b) rasmlarda keltirilgan GT308A tranzistorning kirish va chiqish xarakteristikalaridan foydalanib A ishchi nuqtaning holati aniqlansin?



3 - rasm



a)



b)

4 - rasm

Yechish:

Masalaning shartiga ko'ra aniqlanishi talab etilgan ishchi nuqtani topish uchun avvalo baza siljish kuchlanishini (1) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$E_b = \frac{E_k \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (1),$$
$$E_b = \frac{E_k \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \cdot 100}{3000 + 100} \approx 0,32 \text{ V}.$$

Tranzistorning kirish xarakteristikasidan $U_k = 2,5 \text{ V}$ kuchlanishda ishchi nuqtadagi baza tokini $I_b = 0,6 \text{ mA}$ ekanligini aniqlaymiz. Shundan so'ng tranzistorning chiqish xarakteristikasidan yuklamali to'g'ri chiziqni nuqtalar bo'yicha quramiz, ya'ni xarakteristikani ifodalovchi kattaliklari $I_k = 0, U_k = E_k = 10 \text{ V}$ son qiymatida:

$$I_k = \frac{E_k}{R_k} = \frac{10}{240} = 42 \text{ mA},$$

$E_k = 0$ son qiymatida $I_{b0} = 0,6 \text{ mA}$ uchun ishchi nuqta A yuklamali to'g'ri chiziqni chiqish xarakteristikasi bilan kesishish nuqtasi bo'ladi. Ishchi A nuqtaga tok kuchi va kuchlanishning $I_{k0} = 21 \text{ mA}, U_k = 4,7 \text{ V}$ son qiymatlari mos keladi.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Kuchaytirgich kaskadining kirishida kuchlanishi $U = 8 \text{ mV}$ bo'lgan signal mavjud. Kuchaytirgich kaskadining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti $k_u = 60 \text{ dB}$ bo'lsa, kuchaytirgichning chiqishidagi kuchlanish aniqlansin?

2. Kuchaytirgich kaskadining quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti $k_p = 250$, tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti $k_i = 30 \text{ dB}$ bo'lsa, kaskadning kuchlanish bo'yicha k_u - kuchaytirish ko'effitsiyenti topilsin?

3. Kuchaytirish ko'effitsiyenti $k = 25$ bo'lgan bir kaskadli elektron kuchaytirgichning kuchaytirish ko'effitsiyentini detsebel birlikda ifodalang?

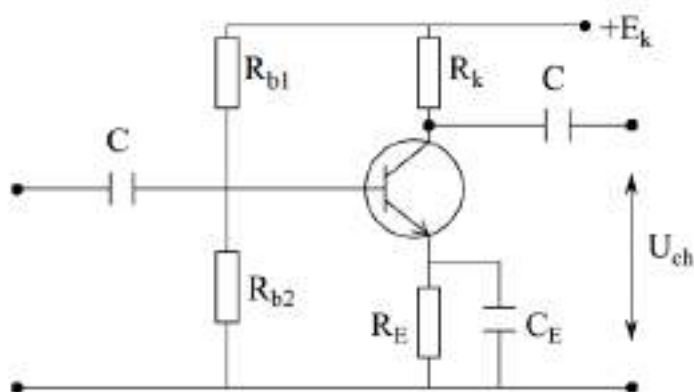
4. Bir kaskadli kuchaytirgichning chiqishida ulangan yuklama qarshiligi $R_y = 2,5 \text{ k}\Omega$, chiqishdagi quvvat $P_{ch} = 20 \text{ W}$ bo'lsa, kuchaytirgichning chiqish kuchlanishi topilsin?

5. Bir kaskadli bipolyar transistor asosida tuzilgan kuchaytirgichning chiqish kuchlanish $U_{ch} = 60 V$, yuklama qarshiligi $R_y = 50 \Omega$ bo'lsa, kuchaytirgichning chiqish quvvati aniqlansin?

6. Kuchaytirgich kaskadining kirishida tok kuchi $I_{kir} = 5 mA$, kirish quvvati $P_{kir} = 100 mW$, chiqishdagi kuchlanish $U_{ch} = 50 V$, chiqish quvvati $P_{ch} = 30 W$ bo'lsa, kuchaytirgichning tok kuchi, kuchlanish va quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentlari topilsin?

7. Kuchaytirgichning elektr kuchlanishi bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti $k_u = 80$, kaskadning kirish zanjiridagi quvvat $P_{kir} = 30 mW$, yuklamada tok kuchi $I_y = 60 mA$ bo'lsa, yuklama qarshiligi topilsin?

8. Quyidagi 5-rasmda tasvirlangan kaskadli to'g'rilagich sxemasida C_3 – kondensatorning sig'imi aniqlansin? Hisob ishlarini bajarishda emitter zanjiriga ulangan rezistor qarshiligi $R_E = 2 k\Omega$, kuchaytirilgan signalning o'zgarishi chastotasi $f = 50 Gts$ deb hisoblansin.



5-rasm

9. Kaskadli kuchaytirgichning chiqishiga ulangan $R_y = 50 \Omega$ yuklama qarshiligida tok kuchi $I_y = 30 mA$, kirish kuchlanishi $U_{kir} = 0,5 V$ bo'lsa, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti topilsin?

10. Prinsipial sxemasi 5.1.2-rasmda tasvirlangan kuchaytirish kaskadining kuchlanish va quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti topilsin? Hisob ishlarini bajarishda $R_{kir} = 2 k\Omega$, $R_b = 4 k\Omega$, $R_k = 3 k\Omega$, $h_{11} = 1,5 k\Omega$, $h_{21} = 30$, $h_{22} = 4 \cdot 10^{-5} S$ deb hisoblansin.

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Kuchaytirgich kaskadi deb nimaga aytiladi?
2. Kuchaytirgich kaskadlarining qanday turlarini bilasiz?
3. Kuchaytirgichlarni tavsiflovchi asosiy kattaliklarning fizik mohiyatini tushuntiring?
4. Kuchaytirgich kaskadining chastotaviy buzilishi koefitsiyentini fizik ma'nosini tushuntiring?
5. Kuchaytirgich kaskadining kuchaytirish koefitsiyentini elektr signalining chastotasiga bog'liqligining fizik mexanizmini qanday izohlaysiz?
6. Kuchaytirgich kaskadining quvvat bo'yicha kuchaytirish koefitsiyenti qanday fizik kattaliklarga bog'liqligini tushuntiring?
7. Kuchaytirgichning foydali ish koefitsiyenti qanday kattaliklarga bog'liq?
8. Tranzistor haroratini kuchaytirgich qurilmasining ish rejimiga ta'sirining fizik mexanizmini tushuntiring?
9. Kuchaytirilgan elektr signalining buzilishini qanday turlarini bilasiz?
10. Kuchaytirilgan elektr signalining amplitudaviy buzilishini sodir etilishi jarayonining fizik mexanizmini tushuntiring?

5.2. Ko'p kaskadli tranzistorli kuchaytirgichlarni hisoblash.

Asosiy tushunchalar

Amaliyotda elektr signallarini tok kuchi va kuchlanish bo'yicha bir necha yuz ming yoki million martagacha kuchaytirish talab etilgan hollarda ko'p kaskadli kuchaytirgichlardan foydalaniladi.

Bunday kuchaytirgichlarda talab etiladigan o'ta yuqori kuchaytirish koefitsiyenti bir necha kuchaytirgich kaskadlarining yig'indisidan hosil qilinadi.

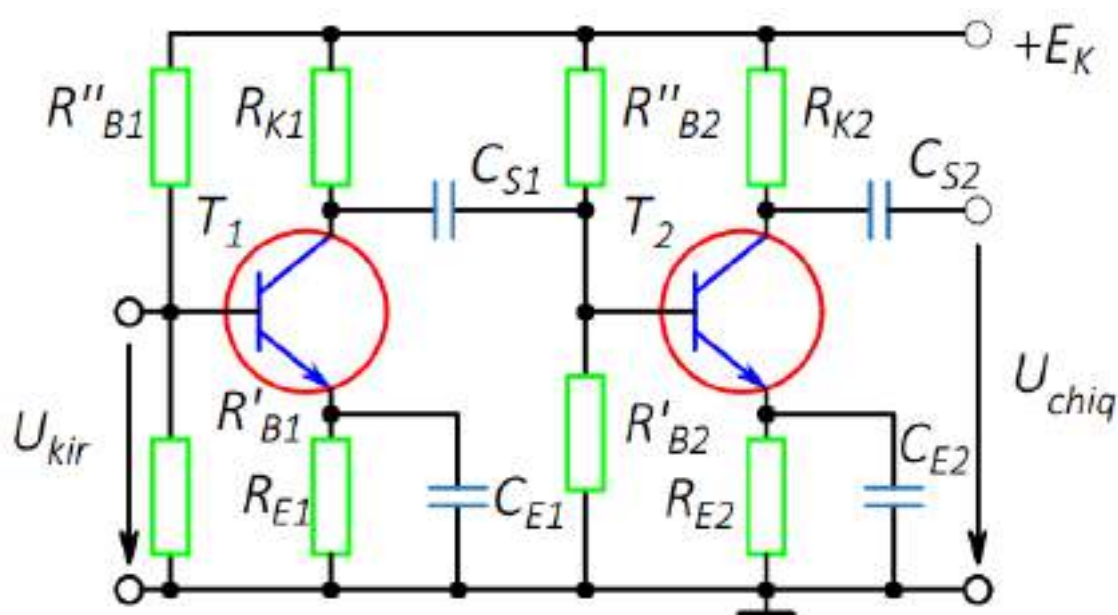
Ko'p kaskadli kuchaytirgichning kuchaytirish koefitsiyenti quyidagi (5.2.1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n \text{ yoki } k_{dB} = k_{dB1} + k_{dB2} + \dots + k_{dBn} \quad (5.2.1),$$

bu yerda $k_1, k_2, \dots, k_n$ - alohida kuchaytirgich kaskadlarining kuchaytirish koefitsiyentlari.

Ko'p kaskadli kuchaytirgichning chastotaviy og'ish koeffitsiyenti:

$$M_{um} = M_1 \cdot M_2 \dots M_n \quad (5.2.2) \quad \text{ёки} \quad M_{umdB} = M_{1dB} \cdot M_{2dB} + \dots + M_{ndB} \quad (5.2.3).$$



5.2.1-rasm. Umumiy emitterli sxema asosida n-p-n rusumli tranzistor asosida tuzilgan ikki kaskadli rezistor-sig'im bog'lanishli kuchaytirgich

Signalning chastotasi ortishi bilan tranzistorning kuchaytirish xususiyati yomonlashib boradi, shu sababli kuchaytirish koeffitsiyenti elektr signalining chastotasiga bog'liq bo'lib, quyidagi (6) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k(f) = \frac{k_0}{M_q \cdot M_y} \quad (5.2.4)$$

tenglamadagi k_0 – kattalik kuchaytirgichning o'rta chastota diapazonida kuchaytirish koeffitsiyenti, M_q va M_y – kattaliklar quyi va yuqori chastotalar diapazonida chastotaviy og'ish koeffitsiyentlari.

Chastotaviy og'ish koeffitsiyentlari quyi va yuqori chastotalarda vaqt doimiysi bilan aniqlanib, quyidagi (5.2.5) tenglama bilan ifodalanadi:

$$M_q = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega \cdot \tau_q}\right)^2}, \quad M_y = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega \cdot \tau_y}\right)^2} \quad (5.2.5),$$

tenglamadagi τ_q va τ_y – kattaliklar quyi va yuqori chastota diapazonida vaqt doimiylari.

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

Quyida sxemasi tasvirlangan ikki kaskadli kuchaytirgich sxemasidagi kondensatorlarning elektr sig'implari, kuchaytirilgan signal chastotasining $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 500 \text{ kHz}$ oralig'ida kuchaytirish koeffitsiyenti topilsin?

Berilgan:

$$f_{min} = 100 \text{ Hz}, f_{max} = 500 \text{ kHz}.$$

Topish kerak:

$$C_1 = ?, C_2 = ?, C_3 = ?, k = ?$$

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra $f_{min} = 100 \text{ Hz}$ chastotada kuchaytirilgan signal chastotasining buzilishi $M_{p.ch} = 1,41$ bo'lib, sxemada tasvirlangan C_1, C_2, C_3 - sig'imli kondensatorlarda teng taqsimlanadi, ya'ni: $M_{p.ch.1} = M_{p.ch.2} = M_{p.ch.3} = 1,02$

Chastotaning yuqori chegarasida kuchaytirgich qurilmasini meyorida ishlashini ta'minlash maqsadida yuqori chastotali $\Gamma T305 \text{ A}$ rusumli tranzistor tanlansa, tranzistorning $E_k = -10 \text{ V}$, $U_{kE} = 6 \text{ V}$, $I_E = 5 \text{ mA}$, $I_b = 200 \mu\text{kA}$ chiqish xarakteristikasini qiymatlariga mos keluvchi ish rejimida $\Gamma T305 \text{ A}$ rusumli tranzistorni tavsiflovchi asosiy parametrlari quyidagi tartibda bo'ladi: $\beta = 25$, $f_t = 140 \text{ MHz}$, $C_k = 7 \text{ pF}$, $r_b = 70 \Omega$, $r_k = 200 \text{ k}\Omega$.

Kondensatorlarni C_1, C_2, C_3 - sig'imlarini topish uchun avvalo R_{kir1} - kirish qarshiligini (1) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_{kir1} = R_{kir2} \approx r_b + r_E(1 + \beta) = r_b + \frac{\varphi_t}{I_E}(1 + \beta)(1).$$

$$R_{kir1} = 70 + \frac{25}{5} \cdot (1 + 25) \approx 200 \Omega,$$

bu yerda $\varphi_t = 25 \text{ mV}$ - kattaligi $t=20^\circ\text{C}$ atrof-muhit haroratidagi harorat potentsiali, $I_E = 5 \text{ mA}$ emitter toki. Agarda baza qarshiligini kichikligi e'tiborga olinsa, u holda $R_b = R_1, R_2 = R_3, R_4 \gg R_{kir1} = R_{kir2}$ shart o'rinli bo'lib, kondensatorlarning

C_1, C_2, C_3 – elektr sig‘imlarini (2), (3) va (4) tenglamalarda quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot f_y (R_y + R_{kir1}) \sqrt{M_{y.c1}^2 - 1}} (1).$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot f_y (R_k + R_{kir2}) \sqrt{M_{y.c2}^2 - 1}} (3).$$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi \cdot f_y (R_{k2} + R_y) \sqrt{M_{y.c3}^2 - 1}} (4).$$

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 100(5000 + 200) \cdot \sqrt{1,02^2 - 1}} \approx 11 \mu kF .$$

$$C_2 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 100(1000 + 200) \cdot \sqrt{1,02^2 - 1}} \approx 7 \mu kF .$$

$$C_3 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 100(1000 + 1000) \cdot \sqrt{1,02^2 - 1}} \approx 4 \mu kF .$$

Blokirovkalovchi kondensatorlarning C_{E1} va C_{E2} sig‘imlarini topish uchun avvalo $R_{chiq.E}$ - chiqish qarshiligini $\beta_E = \beta$ shart asosida (5) va (6) tenglamalardan quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_{chiq.E1} = r_{E1} + \frac{R_y + r_{b1}}{1 + \beta_1} (5)$$

$$R_{chiq.E2} = r_{E2} + \frac{R_{k1} + r_{b2}}{1 + \beta_2} (6)$$

$$R_{chiq.E1} = 5 + \frac{500 + 70}{1 + 25} \approx 27 \Omega,$$

$$R_{chiq.E2} = 5 + \frac{1000 + 70}{1 + 25} \approx 46 \Omega.$$

Ushbu holatda kondensatorlarning C_{E1} va C_{E2} - sig‘imlari quyidagi (7), (8) tenglamalardan aniqlanadi:

$$C_{E1} = \frac{1}{2\pi \cdot f_y \cdot R_{chiq.E1} \cdot \sqrt{M_{y.cE}^2 - 1}} (7),$$

$$C_{E2} = \frac{1}{2\pi \cdot f_y \cdot R_{chiq.E2} \cdot \sqrt{M_{y.cE}^2 - 1}} \quad (8)$$

$$C_{E1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 27 \cdot \sqrt{1,15^2 - 1}} \approx 100 \mu kF,$$

$$C_{E2} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 46 \cdot \sqrt{1,15^2 - 1}} \approx 62 \mu kF$$

Yuqorida kattaliklarning hisoblab topilgan va masalaning shartida berilgan son qiymatlari asosida kuchaytirgichning kuchlanish bo'yicha k_u – kuchaytirish koefitsiyentini (9) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$k_u = k_{u1} \cdot k_{u2} = \frac{\beta_1 \cdot \frac{R_{k1} \cdot R_{kir2}}{R_{k1} + R_{kir2}}}{R_g + R_{kir1}} \cdot \frac{\beta_2 \cdot \frac{R_{k2} \cdot R_y}{R_{k2} + R_y}}{R_{kir2}} \quad (9)$$

$$k_u = \frac{25 \cdot \frac{1 \cdot 0,2}{1 + 0,2}}{0,5 + 0,2} \cdot \frac{25 \cdot \frac{1 \cdot 1}{1 + 1}}{0,2} \approx 370.$$

Javob: $C_1 \approx 11 \mu kF, C_2 \approx 7 \mu kF, C_3 \approx 4 \mu kF, k_u \approx 370$.

Masala

Bipolyar tranzistor asosida tuzilgan ikki kaskadli kuchaytirgich sxemasi quyidagi 1-rasmda tasvirlangan. Kuchaytirgichning birinchi kaskadining o'rta chastotalar diapazonida k_D - kuchaytirish koefitsiyenti kuchaytirilgan signalning f_q - quyi va f_y - yuqori chegaraviy qiymatlari, topilsin?.

Hisob ishlarini bajarishda birinchi kaskadning kuchaytirish koefitsiyenti $k_1 = \frac{k_0}{2}$, $k_{ox} = 180$, $R_{chiq1} = 1,2 k\Omega$, C_1 va C_2 - kondensatorlarning elektr sig'implari $C_1 = 2 \mu kF$, $C_2 = 0,02 \mu kF$, ikkinchi kaskadning kirish qarshiligi $R_{kir2} = 350 \Omega$ deb hisoblansin.

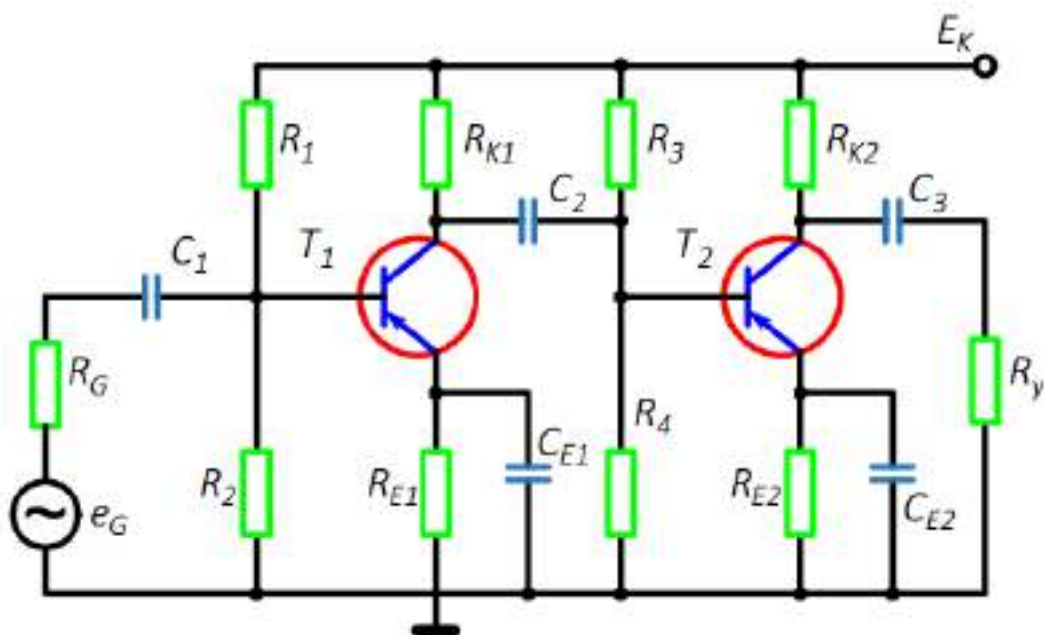
Berilgan:

$$k_1 = \frac{k_0}{2}, k_{ox} = 180, R_{chiq1} = 1,2 k\Omega = 1,2 \cdot 10^3 \Omega, C_1 = 2 \mu kF = 2 \cdot 10^{-6} F,$$

$$C_2 = 0,02 \mu kF = 2 \cdot 10^{-8} F, R_{kir2} = 350 \Omega.$$

Topish kerak:

$$k_0 = ?, f_q = ?, f_y = ?$$



1-rasm

Yechish.

Kuchaytirgich kaskadlarining oʻrta chastotalar diapazonida k_0 - kuchaytirish koefitsiyenti U_{chiq} - chiqish, U_{kir} - kirish kuchlanishlarining nisbati bilan aniqlanadi va quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$k_0 = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} \quad (1).$$

Ushbu holatda, 2-rasmdagi sxema asosida k_0 - kuchaytirish koefitsiyentini ifodalovchi (1) tenglamani quyidagi shaklda oʻzgartirishimiz mumkin:

$$\begin{aligned} k_0 = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} &= \frac{U_{chiq1} \cdot R_{kir2}}{(R_{chiq1} + R_{kir2}) \cdot U_{kir}} = \frac{k_{ox} \cdot U_{kir} \cdot R_{kir2}}{(R_{chiq1} + R_{kir2}) \cdot U_{kir}} = \\ &= \frac{k_{ox} \cdot R_{kir2}}{R_{chiq1} + R_{kir2}} \quad (2). \end{aligned}$$

Yuqorida keltirilgan (2) tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qoʻyib, tegishli matematik amallarni bajarib, k_0 - kattalikni quyidagicha aniqlaymiz:

$$k_0 = \frac{k_{ox} \cdot R_{kir2}}{R_{chiq1} + R_{kir2}} = \frac{180 \cdot 350}{1,2 \cdot 10^3 + 350} \approx 40,6.$$

Masalaning shartida aniqlanishi talab etilgan signal chastotasining f_q - quyi va f_y - yuqori chegaraviy qiymatlarini (3), (4) tenglamalardan quyidagicha topishimiz mumkin:

$$f_y = \frac{1}{2\pi \cdot C_2 \cdot \frac{R_{chiq1} \cdot R_{kir2}}{R_{chiq1} + R_{kir2}}} \quad (3), \quad f_q = \frac{1}{2\pi \cdot C_1 \cdot R_{chiq1} + R_{kir2}} \quad (4).$$

$$f_y = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1,2 \cdot 10^3 \cdot 350}{1,2 \cdot 10^3 + 350}} \approx 23,4 \text{ kHz}.$$

$$f_q = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot (1,2 \cdot 10^3 + 350)} \approx 51,4 \text{ Hz}.$$

Javob: $f_y \approx 23,4 \text{ kHz}$, $f_q \approx 51,4 \text{ Hz}$.

Masala.

Kuchaytirilgan signal chastotasining f_y - yuqori, f_q - quyi chegaraviy qiymatlarida τ_y va τ_q - vaqt doimiylari mos ravishda $\tau_y = 0,4 \mu\text{ks}$, $\tau_q = 5 \text{ ms}$ bo'lsa, signal chastotasi aniqlansin?

Berilgan:

$$\tau_y = 0,4 \mu\text{ks} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ s}, \quad \tau_q = 5 \text{ ms} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ s}.$$

Topish kerak:

$$f = ?$$

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra o'rta chastotalar diapazonida kuchaytirgichning maksimal kuchaytirish koeffitsiyentiga mos keluvchi kuchaytirilgan signal f_0 - chastotasi quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{\tau_y \cdot \tau_q}} \quad (1).$$

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamadagi kattaliklarni masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, masalaning shartiga muvofiq son qiymati aniqlanishi talab etilgan f_0 - signal chastotasini quyidagicha aniqlaymiz:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{\tau_y \cdot \tau_q}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{4 \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-3}}} \approx 3,56 \text{ kHz}.$$

Javob: $f_0 \approx 3,56 \text{ kHz}$.

Masala

Chastotalar og‘ishini umumiy ko‘effitsiyentining $M_n = 1,5$ qiymatida ikki kaskadli kuchaytirgichning quyi chegarali chastotada ikkinchi kaskadining chastotalar og‘ish ko‘effitsiyenti $M_{n2} = 1,2$. O‘rta chastotalarda kuchaytirgichning kuchaytirish ko‘effitsiyenti $k_0 = 250$ va ikkinchi kaskadning kuchaytirishi $k_{02} = 20$, kirish kuchlanishi barcha chastotalar uchun bir xil $U_{kir} = 50 \text{ mV}$ bo‘lsa, quyi chegarali chastotada birinchi kaskadning chiqishidagi $U_{chiq.q1}$ - kuchlanish aniqlansin?

Berilgan:

$M_n = 1,5, M_{n2} = 1,2, k_0 = 250, k_{02} = 20, U_{kir} = 50 \text{ mV}$.

Topish kerak:

$U_{chiq.q1} = ?$

Yechish.

O‘rta chastotalarda birinchi kaskadning chiqishidagi kuchlanishni ifodalovchi (1) tenglamadan U_{chiq} – chiqish kuchlanishini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$U_{chiq} = U_{kir} \cdot k_{01} = U_{kir} \cdot \frac{k_0}{k_{02}} \quad (1), U_{chiq} = 50 \cdot \frac{250}{20} \approx 0,63 \text{ V}.$$

Ushbu holatda quyi chegarali chastotalarda birinchi kaskadning chiqishdagi kuchlanish (2) tenglamadan quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{chiq.q1} = \frac{U_{chiq}}{M_{n1}} = \frac{U_{chiq} \cdot M_n}{M_{n2}} \quad (2), U_{chiq.q1} = \frac{0,63 \cdot 1,5}{1,2} \approx 0,8 \text{ V}.$$

Javob: $U_{chiq.q1} \approx 0,8 \text{ V}$.

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Kuchaytirgich qurilmasini kuchaytirilgan signal chastotasining f_q - quyi chegaraviy qiymatida kuchaytirish ko‘effitsiyenti $k_q = 25$, o‘rta chastota diapazonida $k_0 = 30$ bo‘lsa, kuchaytirilgan signalning chastotaviy M - og‘ishi topilsin?

2. Kuchaytirgich qurilmasining kuchaytirilgan signal chastotasining f_y - yuqori chegaraviy qiymatida kuchaytirish ko'effitsiyenti $k_y = 40$, chastotaviy og'ishi $M_y = 1,4$ bo'lsa, o'rta chastota diapazonida k_0 - kuchaytirish ko'effitsiyenti topilsin?

3. Bipolyar tranzistorlar asosida tuzilgan uch kaskadli kuchaytirgichning o'rta chastotalar diapazonida kuchlanishi bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti topilsin? Hisob ishlari quyidagi shartlar bo'yicha bajarilsin:

$$R_k \gg R_{kir}, R_g = 4 \text{ k}\Omega, R_y = 1,2 \text{ k}\Omega, \beta = 12, r_b = 250 \Omega, R_E = 30 \Omega.$$

4. Uch kaskadli kuchaytirgichning kuchlanish bo'yicha kuchaytirishi 1000 ga teng. Agar birinchi kaskadning kuchaytirishi 25 dB, uchinchisidiki 10 dBni tashkil etgan bo'lsa, ikkinchi kaskadni kuchaytirishi aniqlansin?

5. Uch kaskadli kuchaytirgichda kaskadlarning kuchaytirishi mos ravishda 30, 20 va 10 dB bo'lsa kuchaytirgichning umumiy kuchaytirishi aniqlansin?

6. Ikki kaskadli kuchaytirgichda kaskadning chastotaviy og'ishining quyi, yuqori chegaraviy qiymatlari ravishda $M_q = 1,3$ va $M_y = 1,4$ bo'lsa, Kuchaytirgichning chastotaviy og'ish ko'effitsiyenti aniqlansin?

7. Bipolyar tranzistor asosida tuzilgan ikki kaskadli kuchaytirgichning o'rta chastotalar diapazonida kuchaytirish ko'effitsiyenti topilsin? Hisob ishlari quyidagi shartlar bo'yicha bajarilsin:

$$R_k \gg R_{kir}, R_g = 2 \text{ k}\Omega, R_y = 1,6 \text{ k}\Omega, \beta = 8, r_b = 160 \Omega, R_E = 20 \Omega.$$

8. Har bir kaskadning kuchaytirish ko'effitsiyenti 8 ga teng bo'lgan to'rt kaskadli kuchaytirgichning kuchaytirish ko'effitsiyenti topilsin?

9. To'rt kaskadli kuchaytirgich kaskadlarining kuchaytirish ko'effitsiyentlari $k_1 = 10$, $k_2 = 30$, $k_3 = 20$, $k_4 = 15$ kirish toki $I_{kir} = 4 \mu\text{A}$ bo'lsa, kuchaytirgichning umumiy kuchaytirish ko'effitsiyenti va chiqish tok kuchi topilsin?

10. Agarda kuchaytirgichning kirishi va chiqishidagi tok kuchi, quvvati va kuchlanishi mos ravishda $I_{kir} = 2 \text{ mA}$, $P_{kir} = 16 \text{ mW}$, $U_{chiq} = 40 \text{ V}$, $P_{chiq} = 60 \text{ W}$ bo'lsa, kuchaytirgich qurilmasining kuchlanish, tok kuchi va quvvat bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyentlari topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Ko'p kaskadli kuchaytirgichlar sanoat elektronikasida qanday maqsadlarda ishlatilishini tushuntiring?
2. Ko'p kaskadli kuchaytirgichlarni tavsiflovchi asosiy kattaliklarning fizik mohiyatini tushuntiring?
3. Nochiziqli buzilish ko'effitsiyentining amaliy ahamiyati nimalardan iboratligini izohlang?
4. Ko'p kaskadli kuchaytirgich qurilmasining umumiy kuchaytirish ko'effitsiyenti asosan qaysi kattaliklarga bog'liq?
5. Kuchaytirgich kaskadlarining kirish va chiqish xarakteristikalarini deganda nimani tushundingiz?
6. Kuchaytirgich kaskadlarining kirish xarakteristikasini tavsiflovchi kattaliklarning fizik mohiyatini tushuntiring?
7. Kuchaytirgich kaskadlarining chiqish xarakteristikasini tavsiflovchi kattaliklarning fizik mohiyatini tushuntiring?
8. Kuchaytirgichlarda teskari bog'lanish deganda nimani tushundingiz?
9. Kuchaytirgichlarda teskari bog'lanishning amaliy ahamiyatini tushuntiring?
10. Ko'p kaskadli kuchaytirgichlarning foydali ish ko'effitsiyenti asosan qanday parametrlariga bog'liq?

5.3. Maydon tranzistorli kuchaytirgichlarni hisoblash.

Asosiy tushunchalar.

Maydon tranzistorli kuchaytirgichlarda tranzistor ochiq holatida stok orqali oqib o'tuvchi tok kuchi (5.3.1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$I_S = I_{so} \left(1 - \frac{U_{z.I}}{U_{ot.}}\right)^2 \quad (5.3.1).$$

Maydonli tranzistorlarni asosiy tavsiflovchi kattaliklaridan biri bu - Volt-Amper xarakteristikasining S - tikligi hisoblanib, p yoki n - kanalli tranzistorlar uchun (5.3.2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$S = \frac{2I_{so}}{U_{ot.}^2} (U_{z.I} - U_{ot.}) = \frac{2}{|U_{ot.}|} \cdot \sqrt{I_S \cdot I_{so}} \quad (5.3.2).$$

Maydonli tranzistorlarda $U_{Z.I} = 0$ holatda xarakteristikaning S - tikligi o'zining maksimal qiymatiga erishadi va (3) tenglama bilan ifodalanadi:

$$I_{S.max} = I_{so}, \quad S_{max} = \frac{2I_{so}}{|U_{ot.}|} \quad (5.3.3).$$

Kuchaytirgich sxemasida $p-n$ o'tishli, n - kanalli maydon tranzistorni ishchi element sifatida qo'llanilganda tavsiflovchi kattaliklari quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

Stok tok kuchining ΔI_S - o'zgarishi:

$$\Delta I_S = S \cdot \Delta U_{Z.I} \quad (5.3.4)$$

Chiqish kuchlanishining ΔU_{chiq} - o'zgarishi:

$$\Delta U_{chiq} = - \left(\frac{R_S \cdot r_{S.I}}{R_S + r_{S.I}} \right) \cdot \Delta I_S \quad (5.3.5)$$

Kuchlanish bo'yicha k_u - kuchaytirish koeffitsiyenti:

$$k_u = S \cdot R_S \quad (5.3.6),$$

tenglamalardagi kattaliklar $r_{S.I}$ - kanalning differensial qarshiligi, R_S - stok zanjirining qarshiligi.

Masalalarni yechish namunalari.

Masala.

Maydonli tranzistor asosida tuzilgan kuchaytirgich kaskadi 1-rasmda tasvirlangan. Agarda tranzistor elektr zanjiriga umumiy istokli sxema asosida ulangan bo'lib, stokka berilgan elektr yurituvchi kuchi $E_S = 12 V$, stok orqali oqib o'tuvchi tok kuchi $I_S = 6 mA$, stok-istok va zatvor-istok orasidagi potensial farqlari mos ravishda $U_{S.I} = -6 V$, $U_{Z.I} = 3 V$ bo'lsa, rezistorlarning elektr qarshiligi topilsin?

Berilgan.

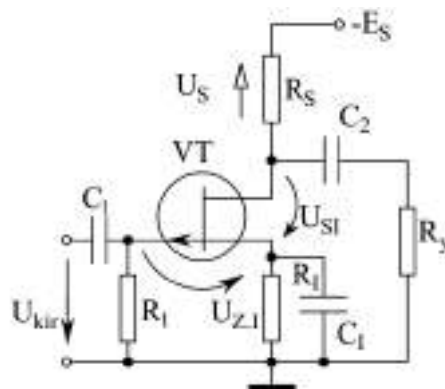
$$E_S = 12 V, I_S = 6 mA,$$

$$U_{S.I} = -6 V,$$

$$U_{Z.I} = 3 V.$$

Topish kerak.

$$R_1 = ?, R_2 = ?, R_S = ?$$



1-rasm

Yechish.

Ma'lumki, tranzistorning statik ish rejimida kondensatorning X_c - qarshiligi $X_c \rightarrow \infty$ bo'lib, uni elektr zanjiridan uzilgan holatda deb hisoblashimiz mumkin.

Ushbu holatda E_S, R_S, V_T, R_I - elementlardan iborat kontur uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan quyidagi (1) tenglikni hosil qilamiz:

$$E_S = R_S \cdot I_S + U_{I.S.} + R_I \cdot I_S = (R_S + R_I) \cdot I_S + U_{I.S.} \quad (1)$$

Ushbu (1) tenglamadan $R_S + R_I$ - kattalikni quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_S + R_I = \frac{E_S - U_{I.S.}}{I_S} = \frac{12 - 6}{6 \cdot 10^{-3}} = 1 \text{ k}\Omega.$$

Kuchaytirgich sxemasida maydonli tranzistor zatvori shinaga R_1 - qarshilik orqali ulanganligi sababli, zatvor-istok orasidagi kuchlanishni quyidagi (2) tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$U_{Z.I} = R_I \cdot I_I = R_I \cdot I_S \quad (2).$$

Yuqorida keltirib chiqarilgan (2) tenglamadan R_I - istok qarshilikni quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_I = \frac{U_{Z.I}}{I_S} = \frac{3}{6 \cdot 10^{-3}} = 500 \Omega.$$

Ushbu holatda $R_S + R_I = 1 \text{ k}\Omega$ tenglikdan R_S - kattalikni aniqlasak:

$$R_S = 1 \text{ k}\Omega - R_I = 1 \text{ k}\Omega - 500 \Omega = 500 \Omega.$$

Maydonli tranzistor asosida tuzilgan kuchaytirgich kaskadi sxemasidagi elementlarni yuqorida hisoblab topilgan son qiymatlarini qat'iy e'tiborga olgan holda R_1 - qarshilikni kuchaytirgich kaskadining chiqish qarshiligi stabillash maqsadida ishlatilishi sababli uning son qiymatini $R_1 = 1,2 \div 1,5 \text{ k}\Omega$ oralig'ida tanlash mumkin.

Javob: $R_1 = 1,2 \div 1,5 \text{ k}\Omega, R_I = 0,5 \text{ k}\Omega, R_S = 0,5 \text{ k}\Omega.$

Masala.

Maydonli tranzistor asosida tuzilgan kuchaytirgich sxemasida maydonli tranzistor umumiy istokli sxema bo'yicha ulangan bo'lib (2-rasm), yuklama qarshiligi $R_y = 25 \text{ k}\Omega$, tranzistorning effektiv kirish qarshiligi $R_{kir} = 20 \text{ k}\Omega$, ishchi xarakteristikaning tikligi $S = 3 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$ bo'lsa, kaskadning kuchaytirish koeffitsiyenti topilsin?

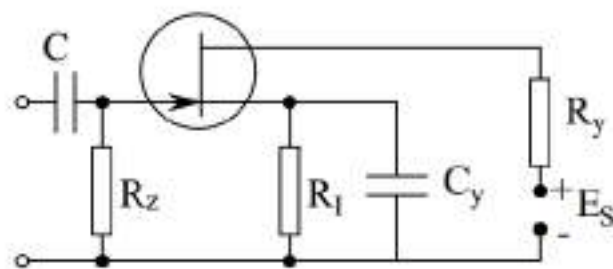
Berilgan.

$$R_y = 25 \text{ k}\Omega, R_{kir} = 20 \text{ k}\Omega,$$

$$S = 3 \frac{\text{mA}}{\text{V}}.$$

Topish kerak.

$$k_u = ?$$



2-rasm

Yechish.

Masalaning shartiga ko‘ra 2-rasmدا tasvirlangan kuchaytirgich sxemasida $R_{n.y}$ - natijaviy yuklama qarshiligi quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_{n.y} = \frac{R_y \cdot R_{kir}}{R_y + R_{kir}} \quad (1).$$

Yuklama qarshiligining natijaviy qiymatini (1) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_{n.y} = \frac{25 \cdot 20}{25 + 20} \approx 11 \text{ k}\Omega.$$

Kuchaytirgich kaskadining kuchaytirish koefitsiyentini ifodalovchi (3) tenglamadagi kattaliklarning hisoblab topilgan va masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo‘yib tegishli matematik amallarni bajarib, kuchaytirish koefitsiyentini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$k_u = S \cdot k_{n.y} \quad (3), k_u = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 11 \cdot 10^3 \approx 33.$$

Javob: $k_u \approx 33$.

Masala.

Maydonni tranzistor asosida tuzilgan kuchaytirgich kaskadi sxemasida $U_{Z.I}$ - zatvor-istok orasidagi kuchlanish $U_{Z.I} = 3 \text{ V}$ bo‘lganda (3-rasm), stok orqali oqib o‘tayotgan tok kuchi $I_S = 2 \text{ mA}$ bo‘lsa, R_I - rezistor qarshiligi, E_g - elektr yurituvchi kuchi topilsin?

Hisob ishlarini bajarishda R_Z - qarshilikdagi $R_Z I_Z$ - kuchlanish tushuvi hisobga olmaslik darajasida kichik, $R_y = 12 \text{ k}\Omega$, $U_{S.I} = 6 \text{ V}$ deb hisoblansin.

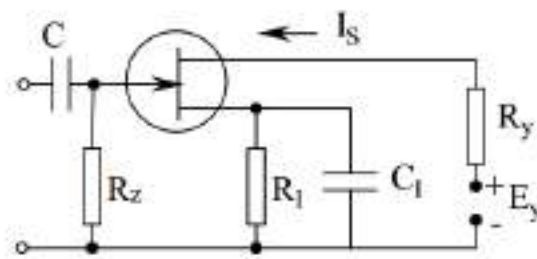
Berilgan.

$$I_S = 2 \text{ mA}, U_{Z.I} = 3 \text{ V},$$

$$R_y = 12 \text{ k}\Omega, U_{S.I} = 6 \text{ V}$$

Topish kerak:

$$R_I = ?, E_g = ?$$



3-rasm

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra 3-rasmdagi sxema bo'yicha maydonli tranzistor asosida tuzilgan kuchaytirgich kaskadida:

$$R_I = \frac{U_{Z.I}}{I_S} \quad (1), R_I = \frac{3}{2 \cdot 10^{-3}} = 1,5 \text{ k}\Omega.$$

Manbaning E_G - elektr yurituvchi kuchi ushbu holatda Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan quyidagi (2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$E_G = I_S \cdot R_y + U_{S.I} + I_S \cdot R_I \quad (2).$$

Yuqorida keltirilgan (2) tenglamadagi kattaliklarning masalani shartida berilgan va hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, E_G - kattalikni quyidagicha aniqlaymiz:

$$E_G = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^3 + 6 + 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \approx 33 \text{ V}.$$

$$\text{Javob: } R_I = 1,5 \text{ k}\Omega, E_G \approx 33 \text{ V}.$$

Masala.

Kuchaytirgich kaskadi $p-n$ o'tishli, n - kanalli maydonli tranzistor asosida tuzilgan bo'lib (4-rasm), tranzistorning kesish kuchlanishi $U_{ot.} = -4 \text{ V}$, stok orqali oqib o'tayotgan tok kuchining maksimal qiymati $I_{S.max} = 2,8 \text{ mA}$, kuchaytirgichning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti $k_u = 20$ bo'lsa, $U_{Z.I}$ - zatvor-istok orasidagi kuchlaish, tranzistor xarakteristikasining S - tikligi, istok zanjiridagi R_I - rezistor qarshiligi, stok zanjiridagi R_y - yuklama qarshiligi topilsin? Hisob ishlarini bajarishda tok manbai elektr yurituvchi kuchining $E_g = 25 \text{ V}$ qiymatida stok orqali oqib o'tuvchi tok kuchi $I_S = 1,2 \text{ mA}$, tranzistorning ichki qarshiligi $R_i \gg R_S$, kondensatorning sig'im X_c - qarshiligi cheksiz darajada kichik deb hisoblansin.

Berilgan:

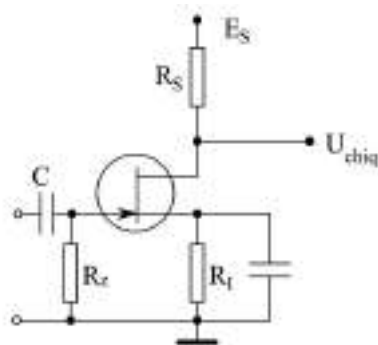
$$U_{ot.} = -4 \text{ V}, k_u = 20,$$

$$I_{S.max} = 2,8 \text{ mA},$$

$$E_g = 25 \text{ V}, I_S = 1,2 \text{ mA}.$$

Topish kerak.

$$U_{Z.I} = ?, S = ?, R_I = ?, R_y = ?$$



4-rasm

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra zatvor-istok orasidagi kuchlanishni quyidagi (1) tenglamadan aniqlaymiz:

$$I_S = I_{S.max} \left(1 - \frac{U_{Z.I}}{U_{ot.}}\right)^2 \quad (1). \quad U_{Z.I} = U_{ot.} \left(1 - \sqrt{\frac{I_S}{I_{S.max}}}\right) = 4 \left(1 - \sqrt{\frac{1,2}{2,8}}\right) \approx 1,4 \text{ V}.$$

Kuchaytirgichni ishchi nuqtasida xarakteristikasining S_{max} - maksimal tikligini (2) tenglamadan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$S_{max} = \frac{2I_{S.max}}{U_{ot.}} \quad (2), \quad S_{max} = \frac{2 \cdot 2,8 \cdot 10^{-3}}{4 \text{ V}} = 1,4 \frac{\text{mA}}{\text{V}},$$

Ushbu holatda kuchaytirgichni ishchi nuqtasida xarakteristikasining S - tikligi (3) tenglama bilan ifodalanib, quyidagicha aniqlanadi:

$$S = S_{max} \left(1 - \frac{U_{Z.I}}{U_{ot.}}\right) \quad (3), \quad S = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{1,4}{4}\right) \approx 0,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}}.$$

Istok zanjiridagi rezistorning R_I - qarshiligini (4) tenglamadan kattaliklarni hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_I = \frac{U_{Z.I}}{I_S} \quad (4), \quad R_I = \frac{1,4}{1,2 \cdot 10^{-3}} \approx 1,17 \text{ k}\Omega.$$

Masalaning shartiga ko'ra, stok zanjiridagi rezistorning R_y - qarshiligini $R_i \gg R_S$ shart bajarilgan holatda (5) tenglamadan aniqlashimiz mumkin:

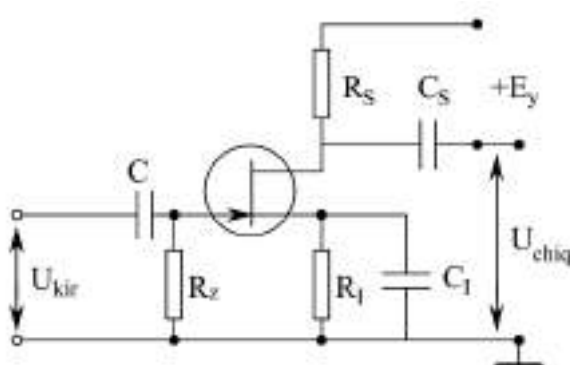
$$k_u = S \cdot R_y \quad (5), \quad R_y = \frac{k_u}{S} = \frac{20}{0,5 \cdot 10^{-3}} \approx 40 \text{ k}\Omega.$$

$$\text{Javob: } U_{Z.I} \approx 1,4 \text{ V}, S \approx 0,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}}, R_I \approx 1,17 \text{ k}\Omega, R_y \approx 40 \text{ k}\Omega.$$

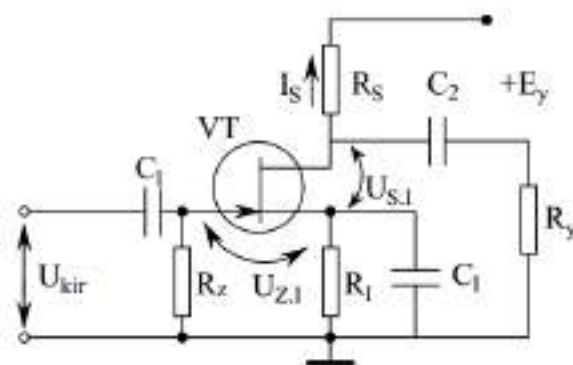
Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Kuchaytirgich sxemasida ulangan maydon tranzistori zatvorida kuchlanish o'zgarishi $\Delta U_z = 2,5 V$ bo'lganda stok orqali oqib o'tuvchi tok kuchi o'zgarishi $\Delta I_S = 2,85$ bo'lsa, ishchi nuqtada xarakteristikaning S - tikligi topilsin?

2. Sxemasi quyidagi 1-rasmda tasvirlangan maydon tranzistorli kuchaytirgichning k_u - kuchaytirish koeffitsiyenti topilsin?. Hisob ishlarini bajarishda $R_S = 5 k\Omega$, xarakteristikaning tikligi $S = 3 \frac{mA}{V}$ deb hisoblansin.



1-rasm



2-rasm

3. Maydon tranzistor asosida tuzilgan kuchaytirgich sxemasidagi rezistrolarning elektr qarshiliklari topilsin?. Hisob ishlarini bajarishda tok manbaining elektr yurituvchi kuchi $E_y = 12 V$, stok tok kuchi $I_S = 5 mA$, stok-istok va zatvor-istok orasidagi kuchlanishlar $U_{S,I} = -6 V$, $U_{Z,I} = 3 V$ deb hisoblansin.

4. Kuchaytirgich kaskadi sxemasiga ulangan maydon tranzistori statik chiqish xarakteristikasining $U_{S,I} = 8 V$, $U_{Z,I} = 5 V$ qiymatlarida tranzistorning R_1 , S - tikligi topilsin?

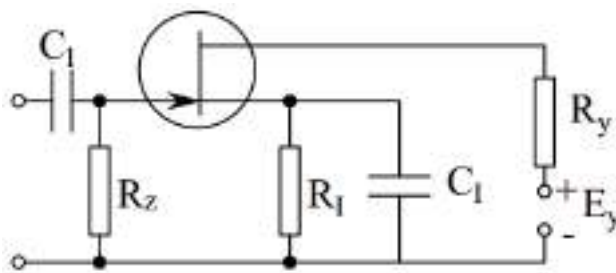
5. Kuchaytirgich kaskadi maydon tranzistori ichki qarshiligi $R_1 = 240 k\Omega$, ishchi nuqtada xarakteristikaning tikligi $S = 3 \frac{mA}{V}$ bo'lsa, stok-istok orasidagi kuchlanish $\Delta U_{S,I}$ - o'zgarishi topilsin?. Hisob ishlarini bajarishda $I_S = const$, $\Delta U_{Z,I} = 0,06 V$ deb hisoblansin.

6. Maydon tranzistorli kuchaytirgich sxemasida (2-rasm) ko'rsatilgan elementlarning $R_S = 2 M\Omega$, $R_1 = 1,2 M\Omega$, $R_y = 25 k\Omega$, $R_L = 160 k\Omega$, $S = 3 \frac{mA}{V}$ qiymatlarida xarakteristikaning dinamik parametrlari aniqlansin?

7. Kuchaytirgich sxemasiga ulangan $p - n$ o'tishli maydon tranzistorida stok orqali oqib o'tuvchi tok kuchining maksimal qiymati $I_{S.max} = 2 \text{ mA}$, kesish kuchlanishi $U_{ot.} = -5 \text{ V}$ bo'lsa, zatvor-istok orasidagi teskari kuchlanishning $U_{Z.I} = 3 \text{ V}$ qiymatida oqib o'tuvchi tok kuchi va xarakteristikaning S - tikligi topilsin?

8. Kuchaytirgich kaskadiga umumiy istok sxemasi bo'yicha ulangan (3-rasm) maydon tranzistorining effektiv kirish qarshiligi $R_1 = 16 \text{ k}\Omega$, ishchi nuqtasida xarakteristikaning tikligi $S = 4 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$, yuklama qarshiligi $R_y = 30 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, kaskadning kuchaytirish ko'effitsiyenti topilsin?

9. Kuchaytirgich kaskadiga maydon tranzistori umumiy istok sxemasi asosida ulanganda (3-rasm) maydon tranzistorining effektiv qarshiligi $R_1 = 30 \text{ k}\Omega$, ishchi nuqtada xarakteristikaning tikligi $S = 1,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti $k_u = 35$ bo'lsa, R_y - yuklama qarshiligi topilsin?



3-rasm

10. Kuchaytirgich kaskadiga umumiy istok sxemasi bo'yicha ulangan $p-n$ umumiy maydon tranzistori istok orqali oqib o'tuvchi tok kuchining maksimal qiymati $I_{S.max} = 4 \text{ mA}$, ishchi nuqtada xarakteristikani tikligining maksimal qiymati $S_{max} = 4 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$, yuklama qarshiligi $R_y = 20 \text{ k}\Omega$, zatvor-istok orasidagi kuchlanish $U_{Z.I} = -2 \text{ V}$ bo'lsa, kaskadning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Maydon tranzistorlarli kuchaytirgichlarni bipolyar tranzistorli kuchaytirgichlarga nisbatan afzalliklarini tushuntiring?

2. Amaliyotda umumiy istok sxemasi asosida ulangan maydon tranzistorli kuchaytirgichlarni keng qo'llanilishini sabablarini izohlang?

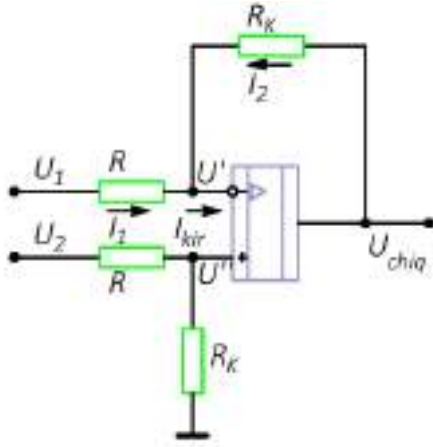
3. Maydon tranzistorli kuchaytirgichlarning tavsiflovchi asosiy kattaliklarini fizik mohiyatini tushuntiring?
4. Maydon tranzistorlarining volt-amper xarakteristikasidan kuchaytirgich sxemasiga tegishli qanday kattaliklar aniqlanadi?
5. Maydon tranzistorli kuchaytirgich kaskadining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti qanday kattaliklarga bog'liqligini tushuntiring?
6. Umumiy istokli sxema asosida ulangan maydon tranzistorli kuchaytirgichning kirishiga o'zgaruvchan signalning musbat yarim davri berilganda, chiqishida qanday signal hosil bo'ladi?
7. Kuchaytirgich sxemasi kirishiga berilgan signalni inverslash deganda nimani tushundingiz va inverslash jarayonini sodir etilishining fizik mexanizmini batafsil izohlab bering?
8. Kuchaytirgich kaskadiga ulangan maydon tranzistori xarakteristikasining tikligi deganda nimani tushundingiz?
9. Ishchi nuqtasida xarakteristikaning tikligini amaliy ahamiyatini tushuntiring?
10. Amalda kuchlanish bo'yicha katta kuchaytirish koeffitsiyentini olish uchun qanday tardagi kuchaytirgichlar qo'llaniladi?

5.4. Operatsion kuchaytirgichlarni tavsiflovchi parametrlarini aniqlash.

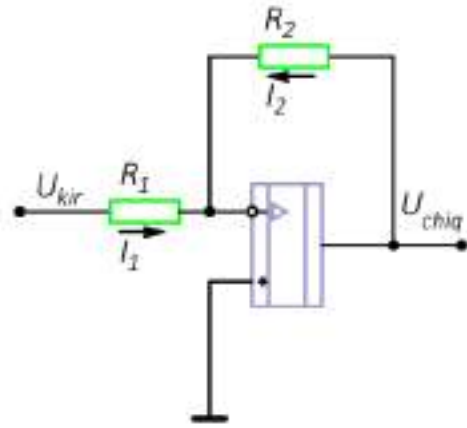
Asosiy tushunchalar

Operatsion kuchaytirgich – kuchlanish bo'yicha yuqori kuchaytirish koeffitsiyentiga ($k_U = 10^4 \div 10^6$), yuqori kirish ($R_{kir} = 10^4 \div 10^7 \Omega$) va kichik chiqish ($R_{chiq} = 0,1 \div 1 k\Omega$) qarshiliklariga ega bo'lgan o'zgarmas tok kuchaytirgichidir.

Operatsion kuchaytirgichlar ikkita kirish va bitta chiqishga ega bo'lib, kirish va chiqish signallarining qutbiga ko'ra kirishlarning biri inverslaydigan (sxemada “-” ishorasi bilan belgilanadi), ikkinchisi inverslamaydigan (sxemada “+” ishorasi bilan belgilanadi) deb yuritiladi. Amalda operatsion kuchaytirgichlarning diffrensial, inverslaydigan va inverslamaydigan ulanish sxemalari qo'llaniladi.



5.4.1-rasm



5.4.2-rasm

Diffrential ulanish sxemasida (5.4.1-rasm) operatsion kuchaytirgichni tavsiflovchi asosiy kattaliklari quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$I_1 + I_2 = I_{kir} \quad (5.4.1), I_{kir} = 0 \text{ holda } I_1 + I_2 = 0 \quad (5.4.2).$$

$$I_1 = \frac{U_1 - U_3}{R} \quad (5.4.3), I_2 = \frac{U_{chiq} - U_4}{kR} \quad (5.4.4), \quad \frac{U_1 - U_3}{R} = \frac{U_{chiq} - U_4}{kR} \quad (5.4.5).$$

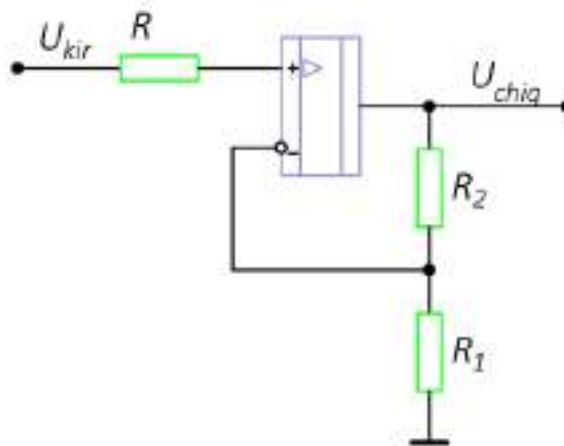
$$U_{chiq} = U_4(k + 1) - kU_1 \quad (5.4.6) \text{ agarda } U_3 = U_4 \text{ bo'lsa,}$$

$$U_{chiq} = k(U_2 - U_1) \quad (5.4.7).$$

Invers ulanish sxemasida (5.4.2-rasm) operatsion kuchaytirgichni tavsiflovchi asosiy kattaliklari quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$I_1 + I_2 = 0 \quad (5.4.8), I_1 = \frac{U_{kir}}{R_1} \quad (5.4.9),$$

$$I_2 = \frac{U_{chiq}}{R_2} \quad (5.4.10), k = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (5.4.11).$$



5.4.3-rasm

Inverslamaydigan ulanish sxemasida (5.4.3-rasm) operatsion kuchaytirgichni tavsiflovchi asosiy kattaliklari quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$\frac{U_{kir} - U_3}{R} = 0 \quad (5.4.12), U_3 = U_4 = U_{chiq} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (5.4.13),$$

$$U_{chiq} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{kir} \quad (5.4.14), k = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (5.4.15).$$

Mustaqil yechish uchun masalalar.

Masala.

Operatsion kuchaytirgich asosida tuzilgan inverslovchi kuchaytirgich sxemasi 1-rasmda tasvirlangan. Agarda operatsion kuchaytirgichning tavsiflovchi asosiy parametrlari $E_t = \pm 15 \text{ V}$, $k_{u.ok.} = 25000$, $U_{chiq.max} = \pm 11 \text{ V}$, $R_{kir.ok.} = 300 \Omega$, $R_{chiq} = 200 \Omega$, kirish tok kuchlarining farqi $\Delta I_{kir} = 0,4 \mu\text{A}$, $I_{kir} = 0,6 \mu\text{A}$, kuchaytirgich qurilmasining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti $k_u = -20$, kirish kuchlanishining minimal qiymati $U_{kir.min} = 12 \text{ mV}$ bo'lsa, kuchaytirgich sxemasida R_{kir} kirish va R_{chiq} - chiqish qarshiliklari, $U_{kir.max}$ - kirish kuchlanishining maksimal qiymati topilsin?

Berilgan:

$$E_t = \pm 15 \text{ V}, k_{u.ok.} = 25000,$$

$$U_{chiq.max} = \pm 11 \text{ V}, R_{kir.ok.} = 300 \Omega,$$

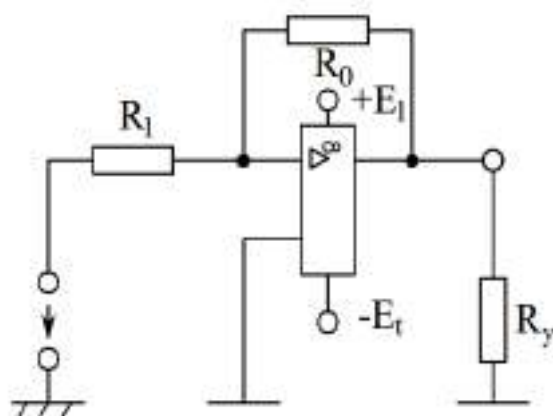
$$R_{chiq} = 200 \Omega, \Delta I_{kir} = 0,4 \mu\text{A},$$

$$I_{kir} = 0,6 \mu\text{A}, k_u = -20,$$

$$U_{kir.min} = 12 \text{ mV}$$

Topish kerak:

$$R_{kir} = ?, R_{chiq} = ?, U_{kir.max} = ?$$



1-rasm

Yechish.

Hisob ishlarini soddalashtirish maqsadida operatsion kuchaytirgichni ideal deb hisoblaymiz, ya'ni $k_{u.ok.} = \infty$, $R_{kir.ok.} = \infty$ shart bajarilgan holatda $R_{kir} = R_1$ bo'ladi, ammo ΔI_{kir} - kirish tok kuchi farqi kuchaytirgichning kirishida hosil qilgan $R_1 \Delta I_{kir}$ - kuchlanish tushuvini kuchaytirgich qurilmasi signal sifatida qabul qiladi.

Ushbu signal kuchaytirgichning ish sifatida ta'sir etmasligi uchun $R_1 \Delta I_{kir} \ll U_{kir.min}$ shart bajarilishi, ya'ni operatsion kuchaytirgich kirish kuchlanishining minimal qiymatiga nisbatan $R_1 \Delta I_{kir}$ - kuchlanish tushuvi hisobga olinmas darajada kichik bo'lishi lozim. U holda, R_1 - qarshilikning son qiymati quyidagicha aniqlanishi mumkin:

$$R_1 \ll \frac{U_{kir.min}}{\Delta I_{kir}} = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-7}} \approx 30 \text{ k}\Omega.$$

Operatsion kuchaytirgichning k_u - kuchaytirish ko'effitsiyentini ifodalovchi $k_u = \frac{-R_{TA}}{R_1}$ (1) tenglamadan R_{TA} - teskari aloqa qarshiligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_{TA} = -k_u \cdot R_1 = 20 \cdot 30 \approx 600 \text{ k}\Omega.$$

Kuchaytirgichning sxemasidan ko'rinib turganidek, dreyf tokini pasaytirish maqsadida kirish R_2 - rezistor orqali zaminlangan bo'lib, ushbu holatda R_2 - qarshilik quyidagi (2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_2 = \frac{R_{TA} \cdot R_1}{R_{TA} + R_1} \quad (2). \quad R_2 = \frac{600 \cdot 30}{600 + 30} \approx 28,6 \text{ k}\Omega.$$

Kuchaytirgichning R_{kir} - kirish va R_{chiq} - chiqish qarshiliklarini ifodalovchi (3) va (4) tenglamalardagi kattaliklarning hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib R_{kir} , R_{chiq} - kattaliklarni quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$R_{kir} = R_1 + \frac{R_{kir.o.k.'} \cdot R_{oc}}{R_{kir.ok}(1 + k_{u.ok}) + R_{oc}} \quad (3)$$

$$R_{chiq} = R_{chiq.ok} \cdot \frac{1 + R_{oc}/R_1}{k_{u.ok}} \quad (4)$$

$$R_{kir} = 30 + \frac{300 \cdot 600}{300 \cdot (1 + 25000) + 600} \approx 52 \text{ k}\Omega.$$

$$R_{chiq} = 200 \cdot \frac{1 + \frac{600}{30}}{25000} \approx 0,17 \Omega.$$

Masalaning shartiga ko'ra, chiqish signalining amplituda qiymati $|U_{chiq.max}| \leq |\pm 11| \text{ V}$ bo'lib, kirish signalida sezilarli darajada o'zgarishlar

bo'lmaydi va kirish kuchlanishining $U_{kir.max}$ - maksimal qiymati (5) tenglamadan quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{kir.max} = \frac{U_{chiq.max}}{k_u} \quad (5), \quad U_{kir.max} = \frac{|\pm 11 V|}{(-20)} \approx \pm 0,55 V.$$

Javob: $R_{kir} \approx 52 k\Omega$, $R_{chiq} \approx 0,17 \Omega$, $U_{kir.max} \approx \pm 0,55 V$.

Masala.

Elektr sxemasi 2-rasmda tasvirlangan operatsion kuchaytirgichning kuchaytirish ko'effitsiyenti $k_u = 120$, yuklama qarshiligi $R_y = 20 k\Omega$, chiqish qarshiligi $R_{chiq} = 1 k\Omega$, $R = 40 k\Omega$, $R_g = 200 \Omega$ bo'lsa, R_1 , R_2 va R_3 - qarshiliklar topilsin?

Berilgan.

$$k_u = 120, R_y = 20 k\Omega,$$

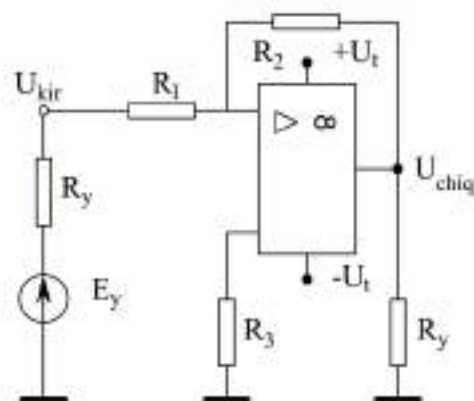
$$R_{chiq} = 1 k\Omega,$$

$$R = 40 k\Omega,$$

$$R_g = 200 \Omega.$$

Topish kerak.

$$R_1 = ?, R_2 = ?, R_3 = ?$$



2-rasm

Yechish.

Ma'lumki, yuqori stabillashgan kuchaytirish ko'effitsiyentini hosil qilish uchun 2-rasmda tasvirlangan sxema bo'yicha R_1 - qarshilik $R_g \ll R_1 \ll R_{kir}$ (1) shart asosida tanlanadi. Ushbu (1) shartga asosan $R_1 = 3 k\Omega$ qarshilikni tanlasak, u holda $R_2 \gg R_{chiq}$ shartga ko'ra R_2 - qarshilikni (2) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$k = \frac{R_2}{R_1} \quad (2), R_2 = k \cdot R_1 \quad (3). R_2 = k \cdot R_1 = 120 \cdot 3 \approx 360 k\Omega.$$

Umumiy holatda matematik jihatidan (4) tenglama bilan ifodalanuvchi yuklamaning ekvivalent qarshiligi:

$$R_{Ekv.y} = \frac{R_y \cdot R_2}{R_y + R_2} \quad (4),$$

R_{chiq} - chiqish qarshiligidan katta bo'lishi lozim, ya'ni $R_{Ekv.y} > R_{chiq}$.

Ushbu holatda (4) tenglamadan $R_{Ekv.y}$ - yuklamaning ekvivalent qarshiligini topsak:

$$R_{Ekv.y} = \frac{R_y \cdot R_2}{R_y + R_2} = \frac{20 \cdot 360}{20 + 360} \approx 19 \text{ k}\Omega.$$

Sxemada ko'rsatilgan R_3 - qarshilikni ifodalovchi (5) tenglamadagi kattaliklarni hisoblab topilgan qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, R_3 - qarshilikni quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_3 = \frac{(R_1 + R_g) \cdot R_2}{R_1 + R_g + R_2} \quad (5), \quad R_3 = \frac{(3 + 0,2) \cdot 360}{3 + 0,2 + 360} \approx 3,2 \text{ k}\Omega.$$

Javob: $R_1 \approx 3 \text{ k}\Omega, R_2 \approx 360 \text{ k}\Omega, R_3 \approx 3,2 \text{ k}\Omega$.

Masala.

Elektr sxemasi 3-rasmda tasvirlangan operatsion kuchaytirgichli sanoq qurilmasiga ishlatilgan rezistorlarning qarshiligi topilsin? Hisob ishlarini bajarishda operatsion kuchaytirgichning chiqish qarshiligi $R_{chiq} = 1,2 \text{ k}\Omega$, чиқиш кучланиши $U_{chiq} = 3(U_{kir2} - U_{kir})$, kuchaytirish koeffitsiyenti $k_u = 25$ deb hisoblansin.

Berilgan.

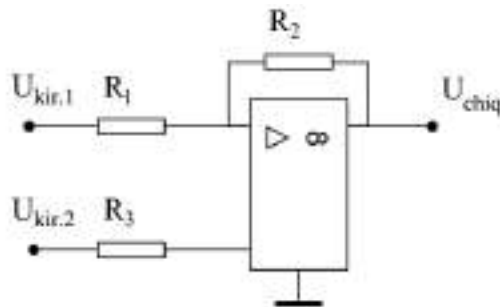
$$R_{chiq} = 1,2 \text{ k}\Omega,$$

$$k_u = 25$$

$$U_{chiq} = 3(U_{kir2} - U_{kir}).$$

Topish kerak.

$$R_1 = ?, R_2 = ?, R_3 = ?$$



3-rasm

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra, R_2 - qarshilikni $R_2 \gg R_{chiq}$ (1) shart asosida tanlasak, masalan $R_2 \approx 75 \text{ k}\Omega$, u holda R_1 - qarshilikni (2) tenglamadan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$R_1 = \frac{R_2}{k_u} \quad (2) \quad R_1 = \frac{75}{25} \approx 3 \text{ k}\Omega.$$

Kirish signali bo'lmagan holda operatsion kuchaytirgich balansda bo'lishi uchun R_3 - qarshilik (3) tenglama bilan ifodalanishini hisobga olgan holda,

tenglamadagi kattaliklarni hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematika amallarni bajarib, R_3 - qarshilikni quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (3) \quad R_3 = \frac{3 \cdot 75}{3 + 75} \approx 2,9 \text{ k}\Omega.$$

Javob: $R_1 \approx 3 \text{ k}\Omega$, $R_2 \approx 75 \text{ k}\Omega$, $R_3 \approx 2,9 \text{ k}\Omega$.

Masala.

Operatsion kuchaytirgich asosida tuzilgan inverslamaydigan kuchaytirgich sxemasi 4-rasmda tasvirlangan. Agarda operatsion kuchaytirgichni tavsiflovchi asosiy parametrlari $E_t = \pm 15 \text{ V}$, $k_{u.ok} = 25000$, $U_{chiq.max} = \pm 11 \text{ V}$, $R_{kir.ok} = 300 \Omega$, $R_{chiq.ok} = 200 \Omega$, kirish tok kuchlarini farqi $\Delta I_{kir} = 0,4 \mu\text{A}$, $I_{kir} = 0,6 \mu\text{A}$, kuchaytirgich qurilmasining kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti $k_u = 30$, minimal kirish kuchlanishi $U_{kir.min} = 25 \text{ mV}$ bo'lsa, $R_1, R_2, R_{TA}, R_{kir}, R_{chiq}$ qarshiliklari va kirish kuchlanishining maksimal qiymati $U_{kir.max}$, $I_{chiq.max}$ - chiqish tok kuchi topilsin? Hisob ishlarini bajarishda yuklama qarshiligi $R_y = 10 \text{ k}\Omega$ deb hisoblansin.

Berilgan:

$$E_t = \pm 15 \text{ V}, k_{u.ok} = 25000,$$

$$U_{chiq.max} = \pm 11 \text{ V}, R_{kir.ok} = 300 \Omega,$$

$$R_{chiq.ok} = 200 \Omega, \Delta I_{kir} = 0,4 \mu\text{A},$$

$$I_{kir} = 0,6 \mu\text{A}, k_u = 30,$$

$$U_{kir.min} = 25 \text{ mV}, R_y = 10 \text{ k}\Omega.$$

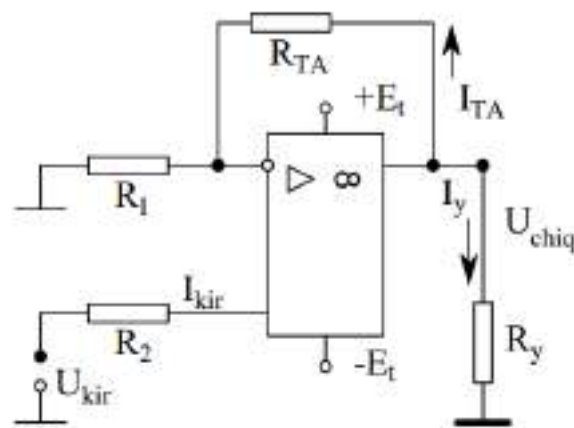
Topish kerak:

$$R_1 = ?, R_2 = ?, R_{TA} = ?, R_{kir} = ?,$$

$$R_{chiq} = ?, U_{kir.max} = ?, I_{chiq.max} = ?.$$

Yechish.

Sxemada ko'rsatilgan R_2 - qarshilikdagi kuchlanish tushuvi $R_2 \cdot \Delta I_{kir} \ll U_{kir.min}$ shart bajarilganda operatsion kuchaytirgich kirish signalini qabul qilmaydi. Ushbu holatda R_2 - qarshilikni (1) tenglamadan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:



4-rasm

$$R_2 \ll \frac{U_{kir.min}}{\Delta I_{kir}} \quad (1), \quad R_2 \ll \frac{U_{kir.min}}{\Delta I_{kir}} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-7}} \approx 62,5 \text{ k}\Omega.$$

$R_2 \ll \frac{U_{kir.min}}{\Delta I_{kir}} \approx 62,5 \text{ k}\Omega$ shartga asoslanib, $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$ qarshilikli rezistorni tanlasak, u holda $R_2 \cdot \Delta I_{kir} = 5 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \approx 2 \text{ mV} < U_{kir.min} = 25 \text{ mV}$.

Masalaning shartiga muvofiq inverslamaydigan kuchaytirgichning kuchaytirish koefitsiyentini ifodalovchi (2) tenglamadan R_{TA} - teskari aloqa qarshiligini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$k_u = \frac{R_{TA}}{R_2} \quad (2), \quad R_{TA} = k_u \cdot R_2 = 30 \cdot 5 \text{ k}\Omega = 150 \text{ k}\Omega.$$

Sxemada R_1 - qarshilik kirish signallarini tenglashtiruvchi element sifatida ishlatilib, uning son qiymati (3) tenglamadan quyidagicha aniqlanadi:

$$R_1 = \frac{R_{TA} \cdot R_2}{R_{TA} - R_2} \quad (3), \quad R_1 = \frac{150 \cdot 5}{150 - 5} \approx 5,2 \text{ k}\Omega.$$

Kuchaytirgichning kirish va chiqish qarshiligini ifodalovchi (4), (5) tenglamalardagi kattaliklarning hisoblab topilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, R_{kir}, R_{chiq} - qarshiliklarni quyidagicha aniqlaymiz:

$$R_{kir} = R_{kir.ok} \cdot \frac{k_{u.ok}}{k_u} \quad (4), \quad R_{chiq} = R_{chiq.ok} \cdot \frac{1 + R_{TA}/R_1}{k_{u.ok}} \quad (5).$$

$$R_{kir} = 300 \cdot \frac{25000}{30} = 250 \text{ k}\Omega.$$

$$R_{chiq} = 200 \cdot \frac{1+150/5,2}{25000} \approx 0,24 \Omega.$$

Masalaning shartida operatsion kuchaytirgichni chiqish kuchlanishining maksimal qiymati $U_{chiq.max} = \pm 11 \text{ V}$ ekanligini hisobga olgan holda (6) tenglamadan kirish kuchlanishining maksimal qiymatini aniqlaymiz:

$$k_u = \frac{U_{chiq.max}}{U_{kir.max}} \quad (6). \quad U_{kir.max} = \frac{U_{chiq.max}}{k_u} = \frac{11}{30} \approx 367 \text{ mV}.$$

Ushbu holatda chiqish tokining amplituda qiymati (7) tenglamaga asosan quyidagicha aniqlanadi:

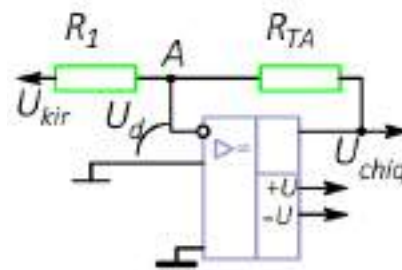
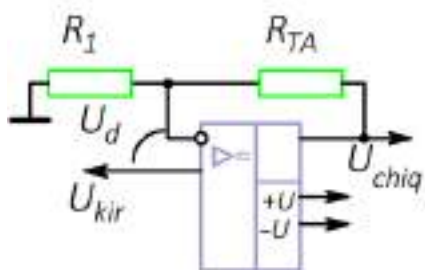
$$I_{chiq.max} = \frac{U_{chiq.max}}{R_y} + \frac{U_{chiq.max}}{R_{TA}} \quad (7)$$

$$I_{chiq.max} = \frac{11}{10 \cdot 10^3} + \frac{11}{150 \cdot 10^3} \approx 1,17 \text{ mA}.$$

Javob: $R_1 \approx 5,2 \text{ k}\Omega$, $R_2 \approx 5 \text{ k}\Omega$, $R_{TA} = 150 \text{ k}\Omega$, $I_{chiq.max} \approx 1,17 \text{ mA}$,
 $U_{kir.max} \approx 367 \text{ mV}$, $R_{kir} = 250 \text{ k}\Omega$, $R_{chiq} \approx 0,24 \Omega$.

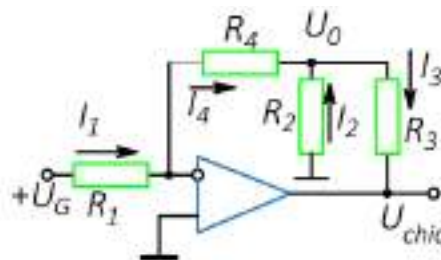
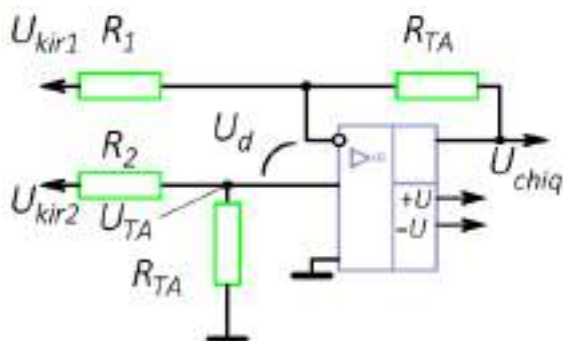
Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. K140YД7 rusumli operatsion kuchaytirgich asosida tuzilgan inverslamaydigan kuchaytirgich sxemasidagi (1-rasm) elementlarning son qiymatlari $R_1 = 12 \text{ k}\Omega$, $R_{TA} = 250 \text{ k}\Omega$, $U_{chiq} = 15 \text{ V}$ bo'lsa, operatsion kuchaytirgichning teskari aloqa kuchaytirish koeffitsiyenti, operatsion kuchaytirgich va chiqish sohasidagi ekvivalent qarshilik topilsin?



1-rasm. Inverslamaydigan kuchaytirgich sxemasi. 2-rasm. Inverslovchi kuchaytirgich sxemasi.

2. Operatsion kuchaytirgich asosida tuzilgan inverslovchi kuchaytirgich sxemasidagi (2-rasm) elementlarning son qiymatlari $R_1 = 25 \text{ k}\Omega$, $R_{TA} = 400 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, operatsion kuchaytirgichning teskari aloqa kuchaytirish koeffitsiyenti topilsin?



3-rasm. Diffrensial kuchaytirgich sxemasi.

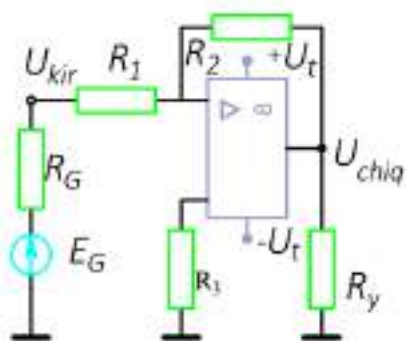
4-rasm. Inverslovchi kuchaytirgich sxemasi

3. Operatsion kuchaytirgich asosida tuzilgan diffrensial kuchaytirgich sxemasidagi (3-rasm) elementlarning son qiymatlari $R_1 = R_2 = 30 \text{ k}\Omega$, $R_{TA} =$

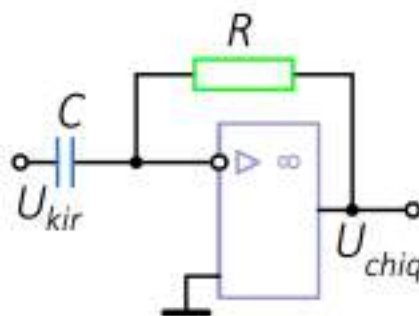
$R_{3.TA} = 150 \text{ k}\Omega$, $U_1 = 0,4 \text{ V}$, $U_2 = -0,6 \text{ V}$ bo'lsa, differensial kuchaytirgich sxemasida chiqish kuchlanishi topilsin?

4. Operatsion kuchaytirgich asosida tuzilgan inverslovchi kuchaytirgich sxemasidagi (4-rasm) elementlarning son qiymatlari $R_1 = R_2 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_3 = R_4 = 120 \text{ k}\Omega$, $U_G = 0,6 \text{ V}$ bo'lsa, inverslovchi kuchaytirgich sxemasidagi I_1 , I_2 , I_3 , I_4 tok kuchlari, U_0 va U_{chiq} - chiqish kuchlanishlari, kuchaytirgichning K - uzatish koefitsiyentlari topilsin?

5. Operatsion kuchaytirgich sxemasidagi (5-rasm) R_1, R_2, R_3 qarshiliklar topilsin? Hisob ishlarini bajarishda kuchaytirgichning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koefitsiyenti $k_U = 500$, yuklama qarshiligi $R_y = 4 \text{ k}\Omega$, chiqish qarshiligi $R_{chiq} = 1,2 \text{ k}\Omega$ va $R = 60 \text{ k}\Omega$ deb hisoblansin.

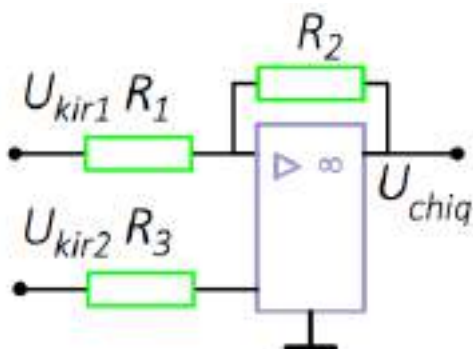


5-rasm. Differensial kuchaytirgich sxemasi.

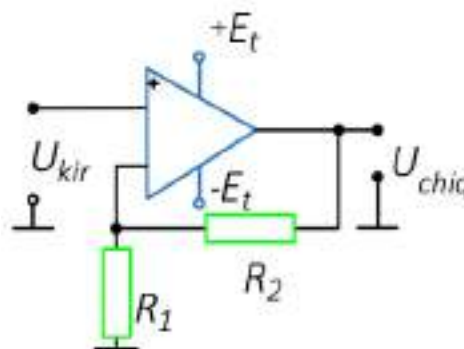


6-rasm. Inverslovchi kuchaytirgich sxemasi

6. Operatsion kuchaytirgich asosida tuzilgan differensiallovchi kuchaytirgich sxemasida (6-rasm) $R = 70 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, chiqish kuchlanishi, kirish kuchlanishining o'zgarish tezligiga to'g'ri proporsional deb hisoblab, vaqt doimiysining $\tau \leq 0,5 \text{ s}$ qiymatida kondensatorning sig'imi topilsin?



7-rasm. Sanoq qurilmasi sxemasi.

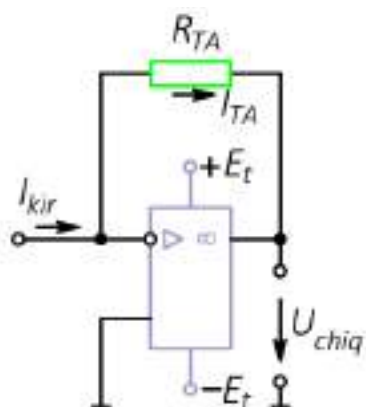


8-rasm. Kuchaytirgich sxemasi.

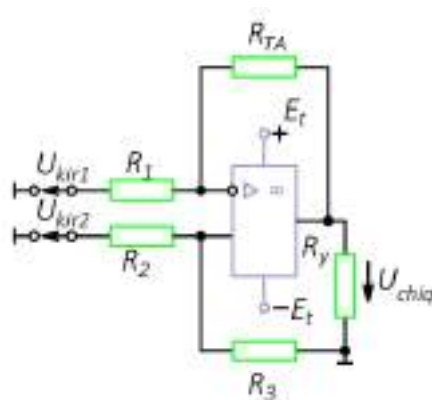
7. Operatsion kuchaytirgich asosida tuzilgan sanoq qurilmasi sxemasida (7-rasm) operatsion kuchaytirgichning chiqish qarshiligi $R_{chiq} = 1,5 \text{ k}\Omega$, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti $k_U = 400$, $R_2 = 70 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, R_1 va R_3 qarshiliklar topilsin?

8. K140YД6 rusumli operatsion kuchaytirgich asosida yig'ilgan sxemada (1-rasm) kuchaytirilgan signal chastotasining yuqori chegaraviy qiymati topilsin?.

Hisob ishlarini bajarishda sxemadagi elementlarning son qiymatlari $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 90 \text{ k}\Omega$, $U_{kir} = 20 \text{ mV}$, $U_{chiq} = 12 \text{ V}$, $k_{u.ok} = 30000$, $E_t = 15 \text{ V}$.



9-rasm. Kuchaytirgich sxemasi.



10-rasm. Kuchaytirgich sxemasi.

9. Operatsion kuchaytirgich asosida tuzilgan kuchaytirgich sxemasida (9-rasm) kirish tok kuchi $I_{kir} = 12 \mu\text{A}$, teskari aloqa qarshiligi $R_{TA} = 120 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, chiqish kuchlanishi topilsin?

10. Operatsion kuchaytirgich asosida tuzilgan kuchaytirgich sxemasidagi (10-rasm) elementlarning son qiymatlari $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_{TA} = 120 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 15 \text{ k}\Omega$, $U_{kir1} = 30 \text{ mV}$, $U_{kir2} = 90 \text{ mV}$ bo'lsa, kuchaytirgich sxemasida chiqish kuchlanishi topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Operatsion kuchaytirgichlarning boshqa turdagi kuchaytirgich qurilmalariga nisbatan farqlovchi asosiy xususiyatlari nimalardan iborat?

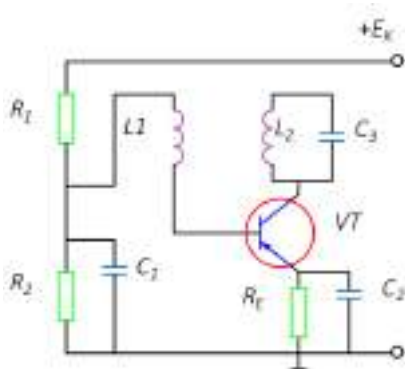
2. Kuchaytirgichlarni tavsiflovchi asosiy kattaliklarning fizik mohiyatini tushuntiring?

3. Operatsion kuchaytirgichlarda chiziqli xarakteristikani hosil qilish maqsadida qanday uslub qo'llaniladi?

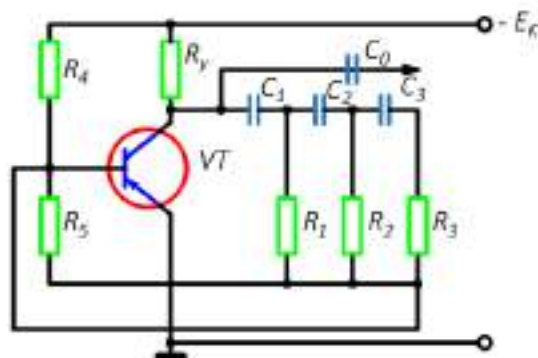
4. Operatsion kuchaytirgichlarda kirish va chiqish qarshiliklari orasidagi farqni muvofiqlashtirish maqsadida qanday uslub qo'llaniladi?
5. Operatsion kuchaytirgichlar amalda necha kaskadli sxemalar asosida tuziladi?
6. Uch kaskadli operatsion kuchaytirgichlarni qanday qismlar tashkil etadi va har bir tashkil etuvchi qismlarining funksional vazifalari nimalardan iborat ekanligini tushuntiring?
7. Operatsion kuchaytirgichlarni boshqa turdagi kuchaytirgich qurilmalariga nisbatan afzalliklari va kamchiliklari nimalardan iborat ekanligini tushuntiring?
8. Dastlab operatsion kuchaytirgichlar elektronika ishlab chiqarish sanoatida qanday maqsadlarda qo'llanilgan?
9. Operatsion kuchaytirgichlar hozirgi vaqtda zamonaviy elektronika sanoatida qanday maqsadlarda ishlatiladi?
10. Inverslovchi va inverslamaydigan operatsion kuchaytirgichlarning ishlash prinsipidagi farqlarni tushuntiring?

VI.Bob. Garmonik tebranishli generatorlar va elektron kalitlar.

Elektron generatorlar o'zgarmas kuchlanish (tok) manbaidan foydalanib, ma'lum chastota va shakldagi elektr tebranishlarni hosil qiladi. Ular tebranishlar shakliga, chastotasi va uyg'onish turiga qarab bir necha turga bo'linadi. LC va RC rusumli sinusoidal kuchlanish generatorlari amaliyotda eng ko'p tarqalgan turlaridan hisoblanadi.

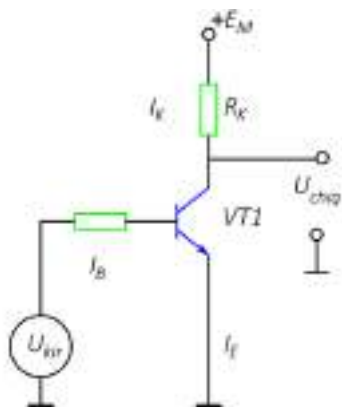


6.1-rasm. LC-rusumli sinusoidal kuchlanish generatori sxemasi.

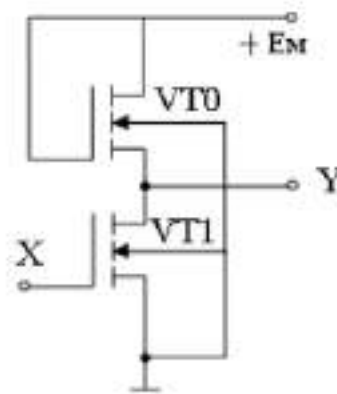


6.2-rasm. RC-rusumli sinusoidal kuchlanish generatori sxemasi.

Elektronika sanoatida tranzistor kalitlar elektron sxemalarning elektr zanjirlarini ulash va uzish (kommutatsiya) maqsadida ishlatiladi. Tranzistorli kalitlar yuqori uzib-ulash tezligiga ega bo'lib, uzmasdan turib turli zanjirlarni shu jumladan, katta quvvatli zanjirlarda tok yo'lini berkitadi. Tranzistor elektron kalit vazifasida ishlaganda to'liq ochiq yoki to'liq yopiq holatda ishlaydi. Tranzistorli kalitlarning eng muhim xususiyatlaridan biri – bu elektron kalitni bir holatdan ikkinchi holatga o'tish vaqtining juda kichikligidir. Quyidagi 6.3 va 6.4 rasmlarda bipolyar va maydon tranzistorlari asosida tuzilgan eng sodda elektron kalitlarning sxemalari tasvirlangan.



6.3-rasm. Bipolyar tranzistor asosida tuzilgan elektron kalit sxemasi.



6.3-rasm. Maydon tranzistor asosida tuzilgan elektron kalit sxemasi.

6.1. Garmonik tebranishli generatorlar.

Asosiy tushunchalar.

Kuchaytirish koeffitsiyenti va teskari bog'lanish k_{TB} - koeffitsiyentlarining ko'paytmasi $k \cdot k_{TB} = 1$ bo'lgan musbat teskari bog'lanishli kuchaytirgichlar RC - generator (6.2-rasm) sifatida amalda qo'llaniladi. Bunday generatorlarda natijaviy faza siljishi $\Delta\varphi_s = 0$ bo'lib, kuchaytirilmagan, kuchaytirilgan va teskari bog'lanish signallarida faza siljishlarining yig'indisi 2π ga karrali ravishda o'zgaradi va quyidagi (6.1.1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$\varphi_k + \varphi_{TB} = 2\pi \cdot n \quad (6.1.1).$$

RC - generatorlarida tebranish chastotasi (6.1.2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} \quad (6.1.2)$$

Amaliyotda qo'llaniladigan LC - generatorlarni chiqishidagi kuchlanish o'zgarishining garmonikasi sinusoidal tebranishlarga juda yaqin bo'ladi. Sinusoidal tebranishli generatorlarda transformatorli (6.1-rasm), kondensatorli sxemalar ishlatiladi va asosiy tavsiflovchi kattaliklari quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

Rezonans tebranish chastotasi:
$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (6.1.3).$$

To'lqin qarshiligi:
$$\rho_t = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6.1.4).$$

Asilligi:
$$Q = \frac{\rho_t}{R_L} \quad (6.1.5).$$

O'tkazish kengligi yoki polosasi:
$$f_d = f_{rez}/Q \quad (6.1.6).$$

Amaliyotda impulsli generatorlar ham keng qo'llaniladi. Bu turdagi generatorlardagi impulslar T - tebranish davri, f - tebranish chastotasi, γ - impuls oralg'i bilan tavsiflanadi va quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$T = \tau_p + \tau_{id} \quad (6.1.7), \quad f = \frac{1}{T} \quad (6.1.8), \quad \gamma_{id} = \frac{T}{\tau_{id}} \quad (6.1.9).$$

Bu yerda τ_p, τ_{id} - kattaliklar impuls oralg'idagi pauza va impulsning davomiyligi, γ_{id} - davr mobaynidagi impuls davomiyligi.

Masalalarni yechish namunalari.

Masala

Sig'im bog'lanishli LC -generatorda (1-rasm) generatsiyalangan tebranishlar chastotasi $f = 250 \text{ kHz}$, induktivliklari $L_1 = 2 \text{ mGn}$, $L_2 = 1,5 \text{ mGn}$ bo'lgan g'altaklar orasidagi bog'lanish koeffitsiyenti $k_{bog'} = 0,8$ bo'lsa, kondensatorning C –sig'im konturning elektr kuchlanishi va reaktiv quvvati topilsin?. Hisob ishlarini bajarishda konturdagi tok kuchi $I = 20 \text{ mA}$ deb hisoblansin

Berilgan:

$$f = 250 \text{ kHz} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Hz},$$

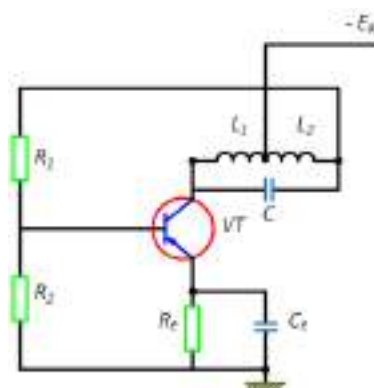
$$L_1 = 2 \text{ mGn} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Gn}$$

$$L_2 = 1,5 \text{ mGn} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Gn}$$

$$I = 20 \text{ mA}, k_{bog'} = 0,8$$

Topish kerak:

$$C = ?, \quad U = ?, \quad Q = ?$$



1-rasm

Yechish.

Masalaning shartiga ko'ra tasvirlangan sxemada konturning L_n –natijaviy induktivlik quyidagi (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$L_n = L_1 + L_2 + 2k_{bog'} \cdot k_{bog'} \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad (1).$$

Konturning L_n –natijaviy induktivligini (1) tenglamadagi kattaliklarni masalani shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$L_n = 2 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} \approx 6,27 \cdot 10^{-3} \text{ Gn}.$$

Kondensator sig'imini generatsiyalanayotgan signal chastotasi orqali bo'g'lanishni ifodalovchi (2) tenglamadan aniqlashimiz mumkin:

$$C = \frac{1}{L \cdot (2\pi f)^2} \quad (2), \quad C = \frac{1}{6,27 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \cdot 10^5)^2} \approx 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ F}.$$

Masalaning shartiga ko'ra konturning kuchlanishi va quvvatini topish uchun avvalo konturning reaktiv qarshiligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$X_L - X_C = 2\pi \cdot f \cdot L_n = 2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \cdot 10^5 \cdot 6,27 \cdot 10^{-3} \approx 9,8 \cdot 10^3 \Omega.$$

Ushbu holatda konturdagi kuchlanish va reaktiv quvvat yuqorida hisoblab topilgan kattaliklar asosida quyidagicha aniqlanadi:

$$U = I \cdot (X_L - X_C) = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 \cdot 10^3 \approx 196 \text{ V}.$$

$$Q = I \cdot U = 196 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \approx 3,92 \text{ Var}.$$

$$\text{Javob: } C = 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ F}, U \approx 196 \text{ V}, Q = 3,92 \text{ Var}.$$

Masala.

Sxemasi 2-rasmda tasvirlangan impuls generatori baza zanjirida rezistor qarshiliklari $R_3 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, birinchi va ikkinchi kondensatorlarning elektr sig'implari $C_1 = 60 \text{ pF}$, $C_2 = 15 \text{ pF}$ bo'lsa, kondensatorlarning zaryadlanishi vaqti doimiysi, 1 va 2 chiqishlardagi U_{ch1} , U_{ch2} - chiqish kuchlanishlari impulslarining τ_d - davomiyligi va impulsning γ_P - oraliqlari topilsin?

Berilgan:

$$R_3 = 20 \text{ k}\Omega = 20 \cdot 10^3 \Omega,$$

$$R_2 = 5 \text{ k}\Omega = 5 \cdot 10^3 \Omega,$$

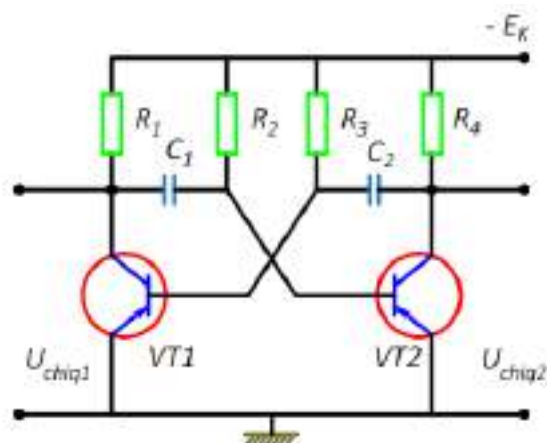
$$C_1 = 60 \text{ pF} = 60 \cdot 10^{-9} \text{ F},$$

$$C_2 = 15 \text{ pF} = 15 \cdot 10^{-9} \text{ F}.$$

Topish kerak:

$$\tau_1 = ?, \tau_2 = ?, \tau_{d1} = ?,$$

$$\tau_{d2} = ?, \gamma_{i1} = ?, \gamma_{i2} = ?$$



2-rasm

Yechish:

Ma'lumki, kondensatorning zaryadlanishi vaqt doimiysi kondensatorning elektr sig'imiga bog'liq bo'lib, kondensator C - sig'iminin R - qarshilikka ko'paytmasi orqali (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$\tau = C \cdot R \quad (1).$$

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamaga asosan birinchi va ikkinchi zanjirlar uchun kondensatorlarning razryadlanish vaqt doimiysini (2), (3) tenglamalardan quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\tau_1 = C_1 \cdot R = C_1 \cdot (R_3 - R_2) \quad (2)$$

$$\tau_2 = C_2 \cdot R = C_2 \cdot (R_3 - R_2) \quad (3)$$

$$\tau_1 = 60 \cdot 10^{-9} \cdot (20 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^3) \approx 0,9 \cdot 10^{-3} s = 0,9 \text{ ms}.$$

$$\tau_2 = 15 \cdot 10^{-9} \cdot (20 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^3) \approx 0,25 \cdot 10^{-3} s = 0,25 \text{ ms}.$$

Ushbu holatda signal impulsarlari τ_i – davomiyligi kondensatorning razryadlanish vaqti orqali bog'lanishini ifodalovchi (4) tenglamadan quyidagicha aniqlanadi:

$$\tau_i = 0,7\tau \text{ (4)}, \quad \tau_{i1} = 0,7\tau_1 \text{ (5)}, \quad \tau_{i2} = 0,7\tau_2 \text{ (6)},$$

$$\tau_{i1} = 0,7 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} \approx 0,63 \text{ ms},$$

$$\tau_{i2} = 0,7 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \approx 0,175 \text{ ms}.$$

Signal impulsarlari γ_{pi} - oralig'ini aniqlashimiz uchun avvalo T - tebranish davrini topish lozim. Buning uchun tebranish davrini sig'im va qarshilik orqali ifodalovchi (7) tenglamadan aniqlaymiz:

$$T = 0,7(C_2 \cdot R_3 + C_1 \cdot R_2) \quad (7)$$

$$T = 0,7(15 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 10^3 + 60 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^3) \approx 0,42 \text{ ms}.$$

Kattaliklarning yuqorida hisoblab topilgan qiymatlarini signal impulsarlari oralig'ini ifodalovchi (8) tenglamaga qo'yib, quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$\gamma_P = \frac{T}{\tau} \text{ (8)}, \quad \gamma_{P1} = \frac{T}{\tau_1}, \quad \gamma_{P2} = \frac{T}{\tau_2} \text{ (9)}.$$

$$\gamma_{P1} = \frac{0,42}{0,63} \approx 0,67, \quad \gamma_{P2} = \frac{0,42}{0,175} \approx 2,4.$$

$$\text{Javob: } \tau_1 = 0,9 \text{ ms}, \quad \tau_2 = 0,25 \text{ ms}, \quad \tau_{i1} \approx 0,63 \text{ ms}, \quad \tau_{i2} \approx 0,175 \text{ ms},$$

$$T = 0,42 \text{ ms}, \quad \gamma_{P1} = 0,67, \quad \gamma_{P2} = 2,4.$$

Masala.

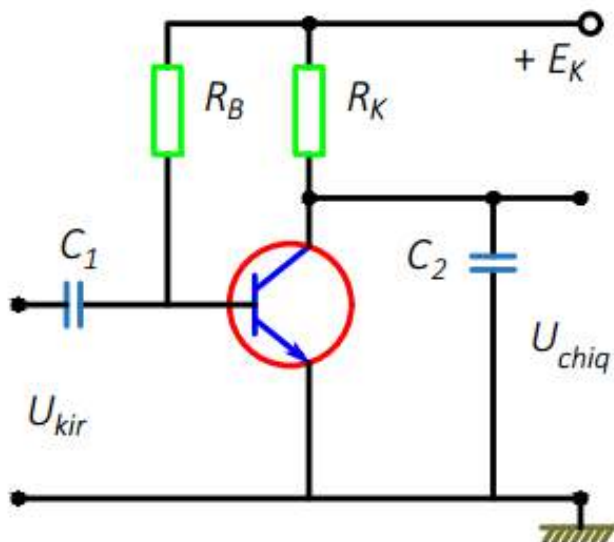
Sxemasi quyidagi 3-rasmda tasvirlangan sinusoidal impuls generatorni tashkil etuvchi elementlarining son qiymatlari $E_k = 12 \text{ V}$, $R_k = 40 \text{ k}\Omega$, $C_2 = 0,4 \text{ mkF}$, signal impulsini davomiyligi $\tau_i = 2 \text{ ms}$ bo'lsa, chiqish kuchlanishining U_0 - amplituda qiymati topilsin?

Berilgan:

$$E_k = 12 \text{ V}, \quad R_k = 40 \text{ k}\Omega = 4 \cdot 10^4 \Omega, \quad C_2 = 0,4 \text{ mkF} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ F},$$

$$\tau_i = 2 \text{ ms} = 2 \cdot 10^{-3}.$$

Topish kerak: $U_0 = ?$



3-rasm

Yechish.

Ma'lumki, kirish signal impulsi berilmagan holatda tranzistor to'yinish rejimida bo'lib, kollektor-emitter oralig'idagi potensiallar farqi $U_{kE} = 0$, chiqish kuchlanishi $U_{ch} = 0$ bo'ladi. Manfiy kuchlanish impulsi berila boshlagandan so'ng tranzistor kesish (отсечка) rejimiga o'tib, C_2 - kondensator zaryadlana boshlaydi. Ushbu holatda C_2 - kondensatorning zaryadlanishi, τ - vaqt doimiysi (1) tenglamadan quyidagicha aniqlanadi:

$$\tau = R_k \cdot C_2 \quad (1) \quad \tau = 4 \cdot 10^4 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \approx 16 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 16 \text{ ms}$$

Sxemaning kirish qismiga berilayotgan signal impulsi tugaganiga tranzistor to'yinish rejimiga qayta o'tadi va C_2 - kondensator qisqa vaqt davomida razryadlanadi. Agarda kirish signali impulsining τ_i - davomiyligi kondensatorning zaryadlanishi vaqtiga teng bo'lsa, ya'ni $\tau = \tau_i$, u holda chiqish kuchlanishining amplituda qiymati (2) tenglama bilan ifodalanadi va uning son qiymatini quyidagicha aniqlashimiz mumkin:

$$U_{ch_{max}} = \frac{E_k \cdot \tau_i}{R_k \cdot C_2} \quad (2), \quad U_{ch_{max}} = \frac{12 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^4 \cdot 4 \cdot 10^{-7}} \approx 1,5 \text{ V}.$$

Javob: $\tau = 16 \text{ ms}$, $U_{ch_{max}} \approx 1,5 \text{ V}$.

Masala.

Quyidagi 4-rasmda tasvirlangan sxemada tranzistorni to'yinish darajasi $s = 5$ bo'lishi uchun $U_{kir1} = 2\text{ V}$ bo'lsa, U_{kir2} - kuchlanishning amplituda qiymati qanday bo'lishi topilsin?. Hisob ishlarini bajarishda sxemadagi elementlarning son qiymatlari $E_k = 6\text{ V}$, $R_k = 3\text{ k}\Omega$, $E_3 = -2\text{ V}$, $R_1 = R_2 = 3\text{ k}\Omega$, $R_3 = 1\text{ k}\Omega$, $\beta_{min} = 30$, $U_{\beta E} = 0,8\text{ V}$ deb hisoblansin.

Berilgan:

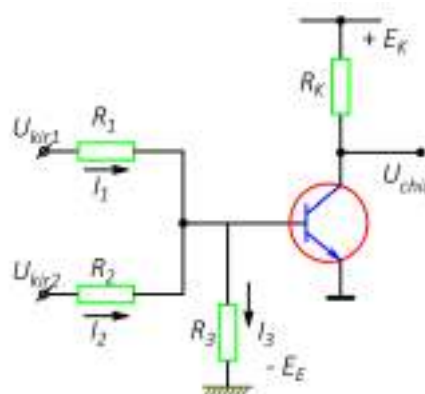
$s = 5$, $U_{kir1} = 2\text{ V}$, $E_k = 6\text{ V}$, $\beta_{min} = 30$,

$E_3 = -2\text{ V}$, $R_k = 3\text{ k}\Omega = 3 \cdot 10^3\ \Omega$,

$R_1 = R_2 = 3\text{ k}\Omega = 3 \cdot 10^3\ \Omega$,

$R_3 = 1\text{ k}\Omega = 1 \cdot 10^3\ \Omega$, $U_{\beta E} = 0,8\text{ V}$.

Topish kerak: $U_{kir2} = ?$



4-rasm

Yechish:

Tranzistorning to'yinish darajasi $s = 5$ bo'lishi uchun talab etiladigan baza tokini (1) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$I_B \approx \frac{E_k \cdot s}{R_k \cdot \beta_{min}} \quad (1), \quad I_B \approx \frac{6 \cdot 5}{3 \cdot 10^3 \cdot 30} \approx 0,33\text{ mA}.$$

Sxemada ko'rsatilgan konturda I_B - baza tok kuchi Kirxgof qonuniga asosan (2) tenglama bilan ifodalanadi:

$$I_B = I_1 + I_2 - I_3 = \frac{U_{kir1} - U_{\beta E}}{R_1} + \frac{U_{kir2} - U_{\beta E}}{R_2} - \frac{E_3 - U_{\beta E}}{R_3} \quad (2).$$

Ushbu (2) tenglamadan U_{kir2} - kuchlanishning amplituda qiymatini tenglamadagi kattaliklarning hisoblab topilgan va masalaning shartida berilgan son qiymatlarini qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, quyidagicha aniqlaymiz:

$$U_{kir2} = \left(I_B + \frac{E_3 + U_{\beta E}}{R_3} - \frac{U_{kir1} - U_{\beta E}}{R_1} \right) \cdot R_2 + U_{\beta E} \quad (3),$$

$$U_{kir2} = \left(0,33 \cdot 10^{-3} \frac{2 + 0,8}{10^3} - \frac{2 - 0,8}{3 \cdot 10^3} \right) \cdot 3 \cdot 10^3 + 0,8 \approx 9 \text{ V}.$$

Javob: $U_{kir2} \approx 9 \text{ V}$

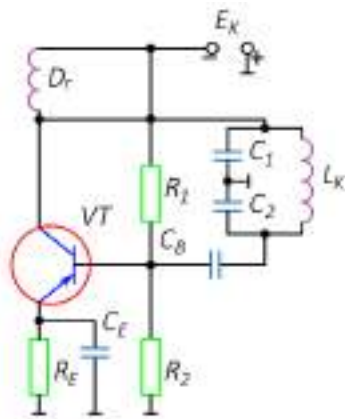
Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Tebranish konturidagi kondensator sig'imi $C = 5 \text{ mkF}$, konturda hosil qilingan tebranish chastotasi $f = 20 \text{ kHz}$ bo'lsa, L - induktivlik topilsin?

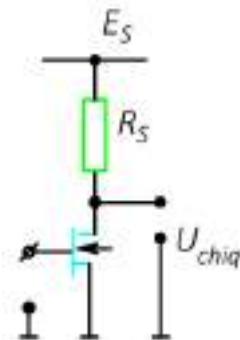
2. Generatorda hosil qilingan signal impuls chastotasi $f = 20 \text{ kHz}$, chuqurligi $Q = 12$ bo'lsa, signal impulsining tebranish T - davri, τ_i - davomiyligi va signal impulslari oralig'i γ_P - topilsin?

3. RC - zanjiriga ulangan bipolyar tranzistor asosida tuzilgan sxemada to'g'ri burchakli signal impulsi kuchlanishining o'zgarishi oralig'i $E_{g2} = -4 \text{ V}$, $E_{g1} = 2 \text{ V}$, generatorning ichki qarshiligi $R_g = 2 \text{ k}\Omega$, $E_k = 10 \text{ V}$, $R_y = R_k = 1 \text{ k}\Omega$, $C_y = 0,2 \text{ nF}$ bo'lsa, signal impulsining davomiyligi topilsin?

4. Garmonik tebranishli generator sxemasida (5-rasm) C_1 va C_2 kondensatorlarning elektr sig'implari $C_1 = 0,5 \text{ }\mu\text{kF}$, $C_2 = 0,9 \text{ }\mu\text{kF}$, generatsiyalangan signal chastotasi $f = 2,5 \text{ MHz}$ bo'lsa, konturning induktivligi topilsin?



5-rasm



6-rasm

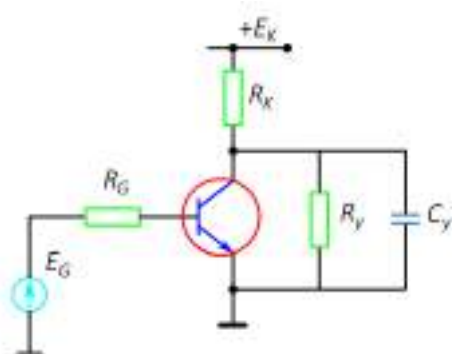
5. Sxemasi 6-rasmda tasvirlangan generator qurilmasida konturning rezonans qarshiligi $R_k = 25 \text{ k}\Omega$, kondensatorlarning elektr sig'implari $C_1 = C_2 = 0,6 \text{ }\mu\text{kF}$, kontur qarshiligi $r_k = 40 \text{ }\Omega$ bo'lsa, generatsiyalashgan signal chastotasi topilsin?

6. Sig'imli garmonik tebranishli generator sxemasida (6-rasm) kondensator sig'implari $C_1 = 1,6 \text{ }\mu\text{kF}$, $C_2 = 0,8 \text{ }\mu\text{kF}$, konturning induktivligi $l_k = 0,2 \text{ mGn}$ bo'lsa, generatsiyalashgan signal chastotasi topilsin?

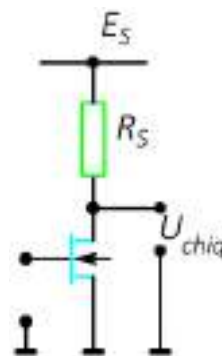
7. Quyidagi 7 - rasmda U - kuchlanish impulsining diagrammasi tasvirlangan. Agarda kuchlanish impulsi davomiyligi $\tau_d = 0,5 \text{ ms}$, impulslar oralig'idagi vaqt $t_0 = 2 \text{ ms}$, bo'lsa kuchlanish impulsining tebranish davri va chastotasi topilsin?

8. Sig'imli garmonik tebranishli generator sxemasida generatsiyalangan signal chastotasi $f_0 = 2 \text{ } \mu\text{kF}$, konturning induktivligi $L_k = 20 \text{ } \mu\text{kGn}$ bo'lsa, $C_1 = C_2$ shart asosida kondensatorlarning elektr sig'implari topilsin?

9. Multivibrator sxemasida (7-rasm) $R_{B1} = 12 \text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 20 \text{ k}\Omega$, kondensatorlarning sig'implari $C_{B1} = 0,6 \text{ } \mu\text{kF}$, $C_{B2} = 2 \text{ } \mu\text{kF}$ bo'lsa, signalning to'liq tebranishi davri topilsin?



7-rasm



8-rasm

10. Multivibrator sxemasida (8-rasm) signal chastotasi $f_0 = 4 \text{ kHz}$, $R_{B2} = 5 \text{ k}\Omega$, kondensator sig'implari $C_{B2} = 16 \text{ pF}$, $C_{B1} = 10 \text{ pF}$ bo'lsa R_{B1} - rezistorning qarshiligi topilsin?

Мавзуга оид назорат саволлари.

1. Elektron generatorlar amaliyotda qanday maqsadlarda ishlatiladi?
2. Elektron generatorlarining tashkil etuvchi elementlarining har birini funksional vazifasini tushuntiring?
3. Amaliyotda qo'llaniladigan RC va LC turdagi generatorlarni bir-biridan farqlovchi asosiy xususiyatlarini tushuntiring?
4. Elektron generatorlarni tavsiflovchi kattaliklarining fizik mohiyatini tushuntiring?
5. Garmonik tebranishli generatorlarning chiqish qismlari orasida sinusoidal o'zgaruvchan kuchlanish hosil bo'lishi jarayonining fizik mexanizmini tushuntiring?

6. Garmonik tebranishli generatorlari chiqishidagi sinusoidal o'zgaruvchan kuchlanish chastotasi asosan sxemaning qanday parametrlariga bog'liq bo'ladi?

7. LC turdagi generatorlarning asosiy afzallik va kamchiliklari nimalardan iboratligini tushuntiring?

8. RC turdagi generatorlarlar amaliyotda asosan qanday maqsadlarda ishlatilishining sabablarini tushuntiring?

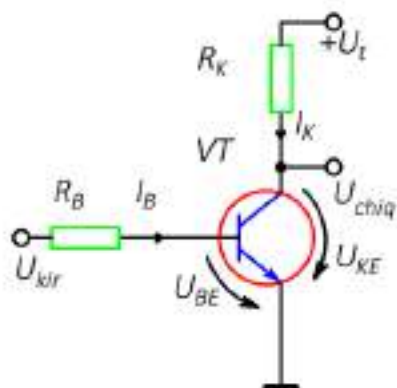
9. O'ta yuqori chastotalar diapazonida qaysi turdagi generatorlarni ishlatilishi maqbul hisoblanadi?

10. RC turdagi generatorlarning asosiy afzallik va kamchiliklari nimalardan iboratligini tushuntiring?

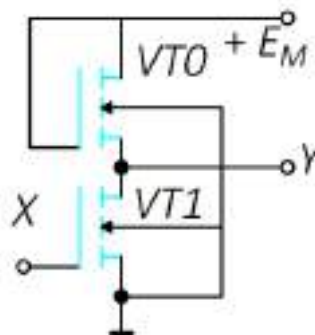
6.2. Elektron kalitlar.

Asosiy tushunchalar.

Tranzistorlar asosida tayyorlangan elektron kalitlar raqamli qurilmalarning asosiy elementlaridan bir bo'lib hisoblanadi va umumiy bazali, umumiy emitterli yoki umumiy kollektorli sxemalar asosida tuziladi. Amaliyotda eng keng tarqalgan turi umumiy emitterli sxema asosidagi tranzistorli elektron kalitlar (6.2.1-rasm).



6.2.1-rasm. Umumiy emitterli elektron kalit sxemasi.



6.2.2-rasm. n-kanalli MDYa tranzistorli elektron kalit sxemasi.

Tranzistor elektron kalit sxemasi bo'yicha ishlatilganda ish rejimi to'liq ochiq yoki to'liq yopiq holatiga mos keladi.

Tranzistorning to'liq yopiq holatidagi ish rejimi (otsechka) kesish, to'liq ochiq holatidagi ish rejimi to'yinish (tranzistor to'liq ochiq) ish rejimi deyiladi.

Agarda tranzistor bazasiga manfiy kuchlanish $U_{kir} < 0$ berilsa, tranzistor berk holatda bo'lib, tranzistordagi tok kuchlari quyidagicha bo'ladi:

$$I_E \cong 0, I_B = -U_K \quad (6.2.1).$$

Tranzistor kollektoridagi kuchlanish (6.2.2) tenglama bilan ifodalanib, yuklamani manbadan uzilgan holatiga mos keladi:

$$U_K = U_{chiq} = E_G - I_K \cdot R_K \approx E_G \quad (6.2.2).$$

Baza zanjirida R_B -rezistor ulangan holatda tranzistor baza kuchlanishi (6.2.3) tenglama bilan ifodalanadi:

$$U_B = U_{BE} = -U_{kir} + I_K \cdot R_B \quad (6.2.3).$$

Berkilish rejimija tranzistor normal ishlashi uchun quyidagi (6.2.4) tenglama bilan ifodalangan shart bajarilishi lozim bo'ladi:

$$-U_{kir} + I_K \cdot R_B \leq U_{bus} \quad (6.2.4),$$

bu yerda U_{bus} – kattalik emitter o'tishidagi musbat U_{BE} kuchlanish.

Kalit elementi sifatida maydon tranzistori qo'llanilganda, odatda kanali indukdiyalanuvchi MDYa – tranzistorlardan foydalaniladi, chunki ularda $U_{ZI} = 0$ bo'lganda tranzistorning berk kalit holati ta'minlanadi.

6.2.2-rsmda tasvirlangan sxema asosida ishlaydigan elektron kalitda VT1 tranzistor doimo ochiq holatda, ya'ni to'yinish rejimida bo'ladi va undagi stok tokining kattaligi quyidagi (6.2.4) tenglama bilan ifodalanadi:

$$I_{S1} = \frac{1}{2} \cdot B_1 \cdot (U_{SI} - U_{1.bus})^2 \quad (6.2.5),$$

Agarda elektron kalit kirishiga $U_{1.kir} \geq U_{1.bus}$ kuchlanish berilsa, VT2 tranzistor ochilib to'yinish rejimiga o'tadi va stok tok kuchi (6.2.6) tenglama bilan ifodalanadi:

$$I_{S2} = 1/2 \cdot B_2 \cdot (U_{SI} - U_{2.bus})^2 \quad (6.2.6).$$

VT2 tranzistorning to'yinish ish rejimida kanal qarshiligi va chiqish kuchlanishlar quyidagi (6.2.7) va (6.2.8) tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$R = \frac{1}{B_2(U_{ZI} - U_{2.bus})} = \frac{1}{B_2(U_{kir} - U_{2.bus})} \quad (6.2.7),$$

$$U_{chiq} = \frac{B_1 \cdot (E_G - U_{1.bus})^2}{2B_2 \cdot (U_{kir} - U_{2.bus})} = \frac{B_1 \cdot (E_G - U_{1.bus})^2}{2B_2(E_G - U_{2.bus})} \quad (6.2.8).$$

Masalalarni yechish namunalari.

Масала.

Quyidagi 1-rasmda tasvirlangan bipolyar tranzistor asosida tuzilgan elektron kalit sxemasida kirish signalini quyi va yuqori chegaraviy qiymatlari mos ravishda $E_{G2} = 2 V$, $E_{G1} = 4 V$ generating qarshiligi $R_k = 1,2 k\Omega$, tranzistorning to'yinish darajasi $s = 4$, $\beta_{min} = 70$, $E_k = 12 V$, kollektor toki $I_k = 3 mA$ bo'lsa, elektron kalitni asosiy parametrik kattaliklari topilsin?

Berilgan:

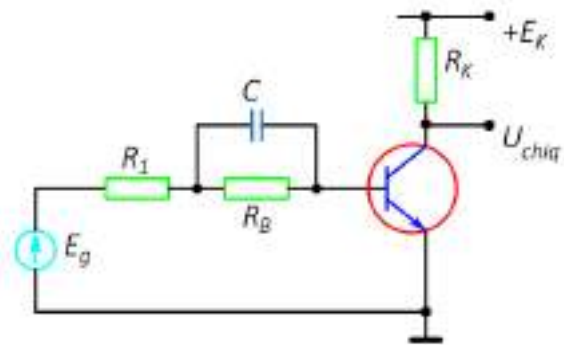
$$E_{G2} = 2 V, E_{G1} = 4 V, R_k = 1,2 k\Omega,$$

$$s = 4, E_k = 12 V, \beta_{min} = 70,$$

$$I_k = 3 mA = 3 \cdot 10^{-3} A,$$

Topish kerak:

$$R_K = ?, I_{B1} = ?, I_{B2} = ?, R_B = ?$$



1-rasm

Yechish:

Kollektor tokini elektr zanjirining bir qismi uchun G.Om qonuniga asosan (1) tenglamadan topishimiz mumkin:

$$I_K = \frac{E_k}{R_k} \quad (1), \quad I_K = \frac{E_k}{R_k} = \frac{12}{3 \cdot 10^{-3}} = 4 k\Omega.$$

Tranzistorni $S=4$ to'yinish darajasini ta'minlash uchun talab etiladigan I_{B1} - baza tokini (2) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$I_{B1} = \frac{s \cdot I_K}{\beta_{min}} \quad (2), \quad I_{B1} = \frac{4 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{70} = 0,17 mA.$$

Ushbu holatda baza zanjirida rezistor qarshiligi R_B (3) tenglama bilan ifodalanadi:

$$R_B = \frac{E_{g1}}{I_{B1}} - (R_1 + r_B) \quad (3),$$

bu yerdagi r_B - kattalik tranzistor bazasining omik qarshiligini ifodalaydi va son qiymati $r_B = 100 \div 150 \Omega$ oralig'ida tanlanadi.

U holda (3) tenglamadan R_B - kattalik quyidagicha aniqlanadi:

$$R_B = \frac{4}{0,17 \cdot 10^{-3}} - (1,2 \cdot 10^3 + 0,15 \cdot 10^3) \approx 22 k\Omega.$$

Generatoridan E_{G2} - kuchlanish impulsi tranzistorga berilganda I_{B2} – baza toki (4) tenglamadan aniqlanadi:

$$I_{B2} = \frac{E_{G2}}{R_k + r_B} \quad (4), \quad I_{B2} = \frac{2}{1,2 \cdot 10^3 + 0,15 \cdot 10^3} \approx 1,48 \text{ mA}.$$

Javob: $R_K = 4 \text{ k}\Omega$, $I_{B1} = 0,17 \text{ mA}$, $I_{B2} = 1,48 \text{ mA}$, $R_B = 22 \text{ k}\Omega$
Masala.

Maydon tranzistori asosida tuzilgan rezistiv qarshilikli elektron kalit sxemasida tavsiflovchi parametrlaridan qoldiq kuchlanish $U_{qold} = 0,2 \text{ V}$, $E_S = E_Z = 40 \text{ V}$, $R_S = 120 \text{ k}\Omega$, $U_0 = 10 \text{ V}$ bo'lsa, tranzistor xarakteristikasining tikligi topilsin?

Berilgan:

$$U_{qold} = 0,2 \text{ V}, \quad E_S = E_Z = 40 \text{ V}, \quad R_S = 120 \text{ k}\Omega, \quad U_0 = 10 \text{ V}.$$

Topish kerak: $S=?$

Yechish.

Ma'lumki, maydon tranzistorini quyi sohasida xarakteristikaning tikligi umumiy holatda (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$s = b \cdot (E_Z - U_0) \quad (1),$$

bu yerda b - kattalik xarakteristikasini solishtirma tikligi.

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamadan xarakteristikaning S -tikligini topish uchun avvalo b - kattalikni (2) tenglamadan quyidagicha aniqlaymiz:

$$b = \frac{E_S}{U_{qold} \cdot R_S (E_Z - U_0)} \quad (2), \quad b = \frac{40}{0,2 \cdot 1,2 \cdot 10^5 (40 - 10)} \approx 5,55 \cdot 10^{-4} \frac{\text{A}}{\text{V}^2}.$$

Kattaliklarni hisoblab topilgan va masalani shartida berilgan son qiymatlarini (1) tenglamaga qo'yib, tegishli matematik amallarni bajarib, xarakteristikasini S -tikligini quyidagicha aniqlaymiz:

$$s = b \cdot (E_Z - U_0) = 5,55 \cdot 10^{-4} \cdot (40 - 10) \approx 1,67 \frac{\text{mA}}{\text{V}}.$$

$$\text{Javob: } s \approx 1,67 \frac{\text{mA}}{\text{V}}.$$

Masala.

Quyidagi 2-rasmda tasvirlangan maydon tranzistori elektron kalit sxemasining parametrlari $E_S = 20 \text{ V}$, $R_S = 8 \text{ k}\Omega$, xarakteristikasini solishtirma

tikligi $b = 120 \frac{mkA}{V^2}$, $U_0 = 5 V$, $E_z = 15 V$ chuqurligi $Q = 3$ bo'lsa, istemol qilingan P quvvat topilsin?

Berilgan.

$$E_s = 20 V,$$

$$R_s = 8 k\Omega = 8 \cdot 10^3 \Omega,$$

$$b = 120 \frac{mkA}{V^2} = 1,2 \cdot 10^{-4} \frac{A}{V^2},$$

$$U_0 = 5 V, \quad E_z = 15 V, \quad Q = 3$$

Topish kerak:

$$P = ?$$

Yechish.

Ma'lumki, masalani shartida aniqlashi talab etilgan P - istemol qilingan quvvat (1) tenglama bilan ifodalanadi:

$$P = \frac{1}{Q} \cdot I_s \cdot E_s \quad (1).$$

Yuqorida keltirilgan (1) tenglamadan P - istemol qilingan quvvatni topishimiz uchun avvalo I_s - tokini aniqlashimiz talab etiladi. Buning uchun (2) va (3) tenglamalardan I_s - stok tokini va U_{qold} - qoldiq kuchlanishni quyidagicha aniqlaymiz:

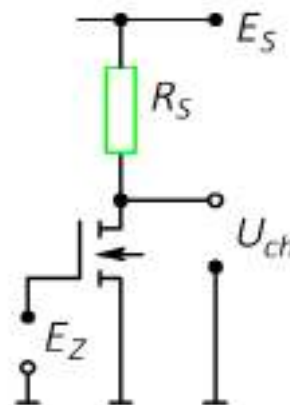
$$U_{qold} = \frac{E_s}{R_s \cdot b \cdot (E_z - U_0)} \quad (2), \quad I_s = \frac{E_s - U_{qold}}{R_s} \quad (3).$$

$$U_{qold} = \frac{20}{8 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} (15 - 5)} \approx 2,1 V. \quad I_s = \frac{20 - 2,1}{8 \cdot 10^3} \approx 2,24 mA.$$

Kattaliklarni hisoblab topilgan son qiymatlarini (1) tenglamaga quyib, tegishli matematik amallarni bajarib, maydon tranzistorni kalitda istemol qilingan quvvatni quyidagicha aniqlaymiz:

$$P = \frac{1}{Q} \cdot I_s \cdot E_s = \frac{1}{3} \cdot 2,24 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \approx 15 mW.$$

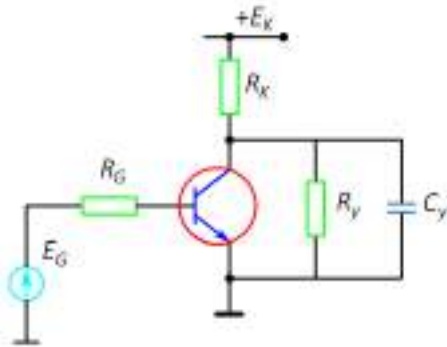
Javob: $P \approx 15 mW$.



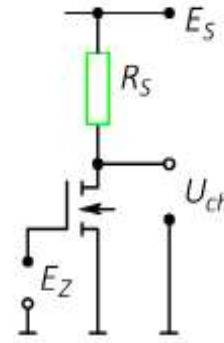
2-rasm

Mustaqil yechish uchun masalalar.

1. Quyidagi 3-rasmda tasvirlangan tranzistorni kalit sxemasida kalitning ochiq va yopiq holatlarida sarflanadigan quvvat topilsin? Tranzistorli kalitni tavsiflovchi parametrlari $E_k = 10\text{ V}$, $R_k = 1,8\text{ k}\Omega$, $U_k = 0,4\text{ V}$, $I_{kB} = 12\text{ }\mu\text{A}$ deb hisoblansin.



3-rasm



4-rasm

2. Maydon tranzistorli elektron kalit rezistiv qarshiligini sxemaga ulangan. Elektron kalitni qo'shish vaqti $\tau_2 \leq 2\text{ }\mu\text{ks}$, bo'lishi uchun tranzistor xarakteristikasining tikligi qanday bo'lishi kerak? Maydon tranzistorli elektron kalit sxemasini tashkil etuvchi elementlarning kattaliklari $E_S = 10\text{ V}$, $E_Z = 10\text{ V}$, $U_0 = 4\text{ V}$, $C_{ch} = 300\text{ pF}$ deb hisoblansin.

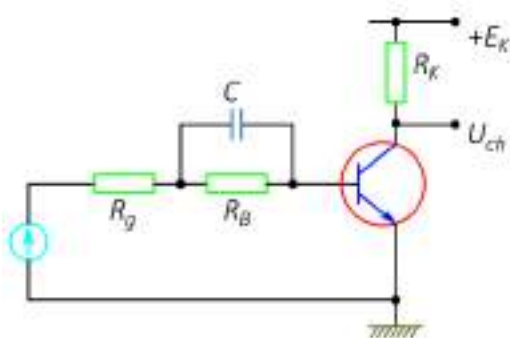
3. Quyidagi 4-rasmda tasvirlangan elektron kalit sxemasida R_S – qarshilik topilsin? Hisob ishlarini bajarishda elektron kalitni qo'shish vaqti $\tau_2 \leq 1\text{ }\mu\text{ks}$ chiqish kondensator sig'imi $C_Y = 250\text{ pF}$, tranzistor xarakteristikasining tikligi $s = 6\frac{\text{mA}}{\text{V}}$ deb hisoblansin.

4. Yuqorida keltirilgan 4-rasmda tasvirlangan tranzistorli elektron kalit sxemasida tashkil etuvchi elementlarining kattaliklari $E_k = 12\text{ V}$, $R_k = 4\text{ k}\Omega$, $U_{KB} = 1,2\text{ V}$, $I_{KB} = 15\text{ }\mu\text{A}$ bo'lsa, elektron kalitning ochish va yopish holatlarida sarflangan quvvat topilsin?

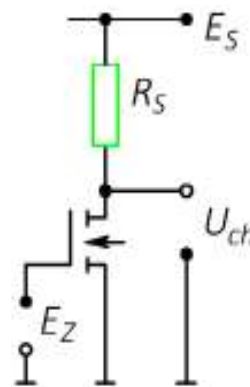
5. Tranzistorli elektron kalit sxemasi 5-rasmda tasvirlangan. Agarda $R_B = 3\text{ k}\Omega$ резисторга $C = 8\text{ }\mu\text{kF}$ sig'imli kodensator parallel ulansa, baza toki necha marta o'zgarishi topilsin? Hisob ishlarini bajarishda sxemasdagi elementlarning kattaliklari $E_{G1} = 3\text{ V}$ generator qarshiligi $R_G = 2\text{ k}\Omega$, $U_B = 0,6\text{ V}$ deb hisoblansin?

6. Maydonli tranzistor asosida tuzilgan va rezistiv yuklamaga ulangan elektron kalit sxemasida qoldiq kuchlanish $U_2 = 0,3 V$, $E_S = E_Z = 24 V$, $R_S = 120 k\Omega$, busag'aviy kuchlanish $U_0 = 6 V$ bo'lsa, tranzistor xarakteristikasining tikligi topilsin?

7. Rezistiv yuklamali elektron kalit sxemasida $E_S = 12 V$, $E_Z = 8 V$, qoldiq kuchlanish $U_0 = 6 V$, kondensator sig'imi $C_{ch} = 0,4 MkF$, kalitni qo'shish vaqti $t_q = 1,2 \mu kS$ bo'lsa, maydon tranzistori harakteristikasining tikligi topilsin?



5-rasm



6-rasm

8. Quyidagi 6-rasmda ta'svirlangan maydonli tranzistor asosida tuzilgan elektron kalit sxemasida tashkil etuvchi elementlarning kattaliklari $E_S = 20 V$, $R_S = 6 k\Omega$, maydon tranzistori harakteristikasining solishtirma tikligi $P = 120 \frac{\mu kA}{V^2}$, qoldiq kuchlanish $U_q = 5 V$, kalitni boshqaruvchi signal amplitudasi $E_Z = 15 V$ va chuqurligi $Q = 2$ bo'lsa, elektron kalitda sarflangan quvvat aniqlansin?

9. Maydonli tranzistor asosida tuzilgan elektron kalit sxemasida (7-rasm) kalitni qo'shish va ajratish vaqt oralig'i $t_q = 0,5 \mu ks$, kondensatorning chiqish sig'imi $C_{ch} = 50 pF$, tranzistor harakteristikasining tikligi $S = 6 \frac{mA}{V}$ bo'lsa, R_S - rezistor qarshiligi topilsin?

10. Maydonli tranzistor asosida tuzilgan va rezistiv qarshilikka ulangan elektron kalit sxemasida elementlarning kattaliklari $E_S = 20 V$, $R_S = 1,2 k\Omega$ MDYa tranzistorining halaqit beruvchi sig'implari $C_0 = C_{ZK} = C_{ZS} = C_{ZI} = 2,6 pF$, $E_Z = 15 V$, $U_0 = 3 V$, $D = 0,6 mA/V^2$ bo'lsa, elektron kalitni qo'shish va o'chirish vaqtlari nisbati topilsin?

Mavzuga oid nazorat savollari.

1. Elektron kalitlar amaliyotda qanday maqsadlarda ishlatiladi?
2. Elektron kalitlarni tavsiflovchi kattaliklarining fizik mohiyatini tushuntiring?
3. Bipolyar va maydon tranzistorli elektron kalitlarning farqlovchi asosiy xususiyatlari nimalardan iborat?
4. Elektron kalitlarni tashkil etuvchi har bir elementini vazifalarini tushuntiring?
5. Elektron kalit shartida tranzistorni qanday rejimda ishlashi talab etiladi?
6. Tranzistorli elektron kalit sxemasida qoldiq tok, qoldiq kuchlanish deganda nimani tushundingiz?
7. Tranzistorli elektron kalit sxemasida tranzistorning aktiv rejimida ishlashi nima sababdan maqbul deb hisoblanmaydi?
8. Bipolyar tranzistorning aktiv rejimda ishlashi elektron kalitning qaysi parametriga salbiy ta'sir ko'rsatadi?
9. Qanday kattaliklar tranzistorli elektron kalitlarning asosiy statik parametrlari bo'lib hisoblanadi?
10. Maydon tranzistorli elektron kalitlarning kamchiliklari nimalardan iborat?

GLOSSARIY

<i>Elektronika</i>	-	Fan va texnika sohasi bo'lib, axborot uzatish, qabul qilish, qayta ishlash va saqlash uchun ishlatiladigan elektron qurilmalar hamda asboblarni yaratish usullarini o'rganish, ishlab chiqish bilan shug'ullanadi.
<i>Elektr o'tkazuvchanlik</i>	-	Elektr kuchlanish ta'sirida moddalardan elektr toki o'tishi uning elektr maydonga nisbatan asosiy xususiyatini belgilaydi.
<i>Xususiy elektr o'tkazuvchanlik</i>	-	Yarimo'tkazgich materiallarida kirishma atomlarisiz faqat xususiy atomlarning ionlanishi hisobiga hosil bo'ladigan elektron va kovaklar bilan bog'liq elektr o'tkazuvchanlik.
<i>Kirishmali elektr o'tkazuvchanlik</i>	-	Yarimo'tkazgich materiallarida kirishma atomlarning ionlanishi hisobiga hosil bo'ladigan elektron va kovaklar bilan bog'liq elektr o'tkazuvchanlik.
<i>Sig'ım</i>	-	Moddaning bir-birlik elektr maydonida elektr zaryadini to'play olish qobiliyatini tavsiflovchi fizik kattalik.
<i>Induktivlik</i>	-	Moddaning o'zida magnit maydon energiyasini to'plash qobiliyatini tavsiflovchi fizik kattalik.
<i>n-xil elektr o'tkazuvchanlikli yarim o'tkazgich.</i>	-	Tarkibida donor kirishma atomlari kiritilgan, kirishma atomlari ionlashgan va asosiy zaryad tashuvchi zarrachalari elektronlar bo'lgan yarimo'tkazgich.
<i>p-xil elektr o'tkazuvchanlikli yarim o'tkazgich.</i>	-	Tarkibida akseptor kirishma atomlari kiritilgan, kirishma atomlari ionlashgan va asosiy zaryad tashuvchi zarrachalari kovaklar bo'lgan yarimo'tkazgich.
<i>Elektron-kovak (p-n) o'tish</i>	-	p-xil va n-xil elektr o'tkazuvchanlikli yarimo'tkazgich moddalarining kontakt sohalari orasidan elektr zaryadlari o'tishiga elektron-kovakli yoki p-n o'tish deyiladi.

<i>p-n o'tishning Volt-amper xarakteristikasi</i>	-	p-n o'tish orqali oqayotgan tok kuchining unga berilayotgan kuchlanishga bog'liqligini ifodalovchi $I=f(U)$ funksional bog'lanish.
<i>Differensial qarshilik</i>	-	p-n o'tishning kichik amplitudali o'zgaruvchan tokka ko'rsatgan aktiv qarshiligiga ekvivalent kattalik.
<i>p-n o'tishning baryer sig'imi.</i>	-	p-n o'tishdagi qo'sh elektr qatlam kontakt sohasida vujudga keladigan elektr sig'im.
<i>p-n o'tishning diffuziya sig'imi</i>	-	p va n - sohalarda nomuvozanatdagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar tomonidan vujudga keltiriladigan elektr sig'im.
<i>To'g'rilovchi kontakt</i>	-	To'g'ri yo'nalishdagi elektr qarshiligi teskari yo'nalishdagisidan kichik bo'lgan va nochiziqli VAXga ega bo'lgan kontakt.
<i>Shottki diodi</i>	-	Metall-yarimo'tkazgich kontakti asosida tuzilgan diod.
<i>Omik kontakt</i>	-	Elektron asboblarning p va n - sohalariga metall elektrodlar ulangan joylarda hosil qilingan kontakt.
<i>Geteroo'tishlar</i>	-	Taqiqlangan zona kengliklari turlicha bo'lgan yarimo'tkazgichlar tutashtirilganda hosil bo'luvchi elektr o'tishlar.
<i>Yarimo'tkazgichli diod</i>	-	Bir (yoki bir necha) elektr o'tishlarga ega bo'lgan ikki elektrodli elektron asbob.
<i>To'g'rilovchi diod</i>	-	O'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka o'zgartirish uchun mo'ljallangan yarimo'tkazgichli diod.
<i>Maxsus vazifalarni bajaruvchi diodlar</i>	-	O'zgarmas kuchlanishni barqarorlash, optik nurlanishni qayd etish, elektr sxemalarda signallarni shakllantirish va boshqa vazifalarni bajarish uchun mo'ljallangan diodlar.
<i>To'g'rilagich</i>	-	O'zgaruvchan kuchlanishni o'zgarmasga o'zgartiruvchi elektron qurilma.

<i>To'g'rilangan kuchlanish</i>	-	To'g'irlagich sxemasining chiqish qismlaridagi kuchlanishning qiymati.
<i>Stabilitron</i>	-	Sxemalarda kuchlanish qiymatini barqaror (stabil) saqlab turish uchun mo'ljallangan yarimo'tkazgichli asbob.
<i>Filtr</i>	-	To'g'rilangan kuchlanish tarkibidagi yuqori garmonikalarni bartaraf etadigan elektr zanjir elementi.
<i>Foton</i>	-	Nurlanish energiyasini tashuvchi zarracha bo'lib, uning tinchlikdagi massasi nolga teng.
<i>Fotoeffekt</i>		Yorug'lik nurlanishi ta'sirida moddadan elektronlarni uzib chiqarilishi hodisasi.
<i>Tashqi fotoeffekt</i>	-	Nurlanish ta'sirida jismning sirt yuzasidan elektronlarni uzib vakuumga uchib chiqarilishi hodisasi.
<i>Ichki fotoeffekt</i>	-	Yarimo'tkazgich materiallarida nurlanish ta'sirida bog'lanishdagi elektronlarni bog'langan holatdan uzilib erkin holatga o'tishi hodisasi.
<i>Fotorezistor</i>	-	Yorug'lik nuri ta'sirida o'zining solishtirma elektr qarshiligini o'zgartiruvchi elektron asbob.
<i>Fotodiod</i>	-	Bitta p-n o'tishga ega bo'lgan fotoelektr asbob.
<i>Fototranzistor</i>	-	Yorug'lik energiyasi ta'sirida fototokni kuchaytirish xususiyatiga ega bo'lgan uch qatlamli ikkita p-n o'tishli yarimo'tkazgichli elektron asbob.
<i>Nurlanuvchi diod</i>	-	Bitta p-n o'tishga ega bo'lgan, elektr energiyani nokogerent yorug'lik nuri energiyasiga o'zgartuvchi yarimo'tkazgichli elektron asbob.
<i>Kuchlanish stabilizatori</i>	-	To'g'rilagichning chiqishidagi kuchlanishni mutadillashtirish uchun mo'ljallangan elektron qurilma.
<i>Parametrik stabilizator</i>	-	Tok kuchining qiymati o'zgarishiga qaramasdan kuchlanishning qiymatini o'zgartirmasdan saqlash uchun mo'ljallangan elektron qurilma.

<i>Kompensatsion stabilizator</i>		Iste'molchiga berilayotgan kuchlanishni avtomatik rostlash printsipligiga asoslangan elektron qurilma.
<i>Stabillash koeffitsenti</i>		Kuchlanishni stabillashning sifat ko'rsatgichini tavsiflovchi fizik kattalik.
<i>Bipolyar tranzistor</i>	-	O'zaro ta'sirlashuvchi ikkita p-n o'tishdan tashkil topgan va signallarni tok, kuchlanish, quvvat bo'yicha kuchaytiruvchi uch elektrodli yarimo'tkazgichli elektron asbob.
<i>Emitter</i>	-	Asosga zaryad tashuvchi zarrachalarni kiritadigan elektrod.
<i>Kollektor</i>	-	Asosdan zaryad tashuvchi zarrachalarni tortadigan elektrod.
<i>Asos (Baza)</i>	-	p-n o'tishlar orasida qolgan yarimo'tkazgich moddasi kristali.
<i>Tranzistorning kirish xarakteristikasi</i>	-	Chiqish kuchlanishining berilgan va o'zgarmas qiymatlarida, kirish tokining kirish kuchlanishiga bog'liqligini ko'rsatuvchi grafik.
<i>Tranzistorning chiqish xarakteristikasi</i>	-	Kirish tokining berilgan, o'zgarmas qiymatlarida chiqish toki bilan chiqish kuchlanishi orasidagi bog'liqligini ko'rsatuvchi grafik.
<i>Maydon tranzistori</i>	-	Elektrod toklari asosiy zaryad tashuvchilarning kristall hajmidagi elektr maydon ta'sirida dreyf harakatlanishiga asoslangan uch elektrodli, kuchlanish bilan boshqariladigan yarim o'tkazgichli elektron asbob.
<i>Maydon tranzistori kanali</i>	-	Tok hosil qiluvchi, o'tkazgichi qatlam bo'lib, u n - kanalli yoki p - kanalli bo'lishi mumkin.
<i>Istok</i>	-	Zaryad tashuvchi zarrachalari kanalga tomon oqadigan elektrod.
<i>Stok</i>	-	Kanaldan oqib keluvchi zaryadli zarrachalarni o'ziga qabul qiluvchi elektrod.
<i>Zatvor</i>	-	Kanaldagi tok qiymatini ko'ndalang elektr maydon orqali boshqaruvchi elektrod.

<i>Maydon tranzistorining statik xarakteristikasi</i>	-	Zatvor-istok kuchlanishining o'zgarmas qiymatlarida stok I_S - tokining U_{S-I} - stok-istok kuchlanishiga bog'liqligini ifodalovchi $I_S = f(U_{S-I})$ grafik bog'lanish.
<i>Maydon tranzistorining o'tish xarakteristikasi</i>	-	Stok-istok kuchlanishining o'zgarmas qiymatlarida stok I_S - tokining U_{Z-I} - zatvor-istok kuchlanishiga bog'liqligini ifodalovchi $I_S = f(U_{Z-I})$ grafik bog'lanish.
<i>Inverslash</i>	-	Sirt qatlamida ortib boruvchi elektronlar zaryadini qolgan kovaklar zaryadidan ortishi natijasida elektr o'tkazuvchanlik turining o'zgarishi hodisasi.
<i>Kuchaytirgich</i>	-	Manba energiyasini kirish signali qonuniyatiga mos ravishda chiqish signali energiyasiga o'zgartiruvchi elektron qurilma.
<i>Kaskad</i>	-	Bitta kuchaytiruvchi elementi bo'lgan zanjir.
<i>Kuchlanish bo'yicha kuchaytirgich</i>	-	Kuchaytirgich kaskadi kuchlanish bilan boshqarilib, potentsialli chiqishga ega bo'ladi.
<i>Tok bo'yicha kuchaytirgich</i>	-	Kuchaytirgich kaskadi tok bilan boshqarilib, tokli chiqishga ega bo'ladi.
<i>Emitter takrorlagich</i>	-	Kaskadning yuqori chiqish qarshiligini kichik qarshilikli iste'molchi bilan moslashtirish uchun ishlatiladigan elektron qurilma.
<i>Differentsial kuchaytirgich</i>	-	Ikki signal farqini kuchaytirish uchun mo'ljallangan elektron qurilma.
<i>A sinf kuchaytirgichlar</i>	-	Bu turdagi kuchaytirgichlarda sokinlik rejimida ishchi nuqta uzatish xarakteristikaning kvazichiziqli sohasi o'rtasida joylashgan bo'ladi.
<i>B sinf kuchaytirgichlar</i>	-	Bu turdagi kuchaytirgichlarda tranzistorning berk rejimida ishchi nuqta kvazichiziqli soha chegarasida joylashgan bo'ladi.

<i>Kuchaytirgichlarda teskari aloqa</i>	-	Kuchaytirgich qurilmalari chiqish zanjiridan kirish zanjiriga energiya uzatishi hodisasi.
<i>Musbat teskari aloqa</i>	-	Kuchaytirgichning kirish signali va teskari aloqa signali fazalari bir xil.
<i>Manfiy teskari aloqa</i>	-	Kuchaytirgichning kirish signali va teskari aloqa signali fazalari teskai, ya'ni π - burchakka farq qiladi.
<i>Operatsion kuchaytirgich</i>	-	Analog signallar ustidan turli amallarni bajarishga mo'ljallangan, differensial kuchaytirish prinsipiga asoslangan, kuchlanish bo'yicha katta kuchaytirish koefitsientiga ($K_U = 10^4 \div 10^6$) ega bo'lgan integral o'zgaras tok kuchaytirgichi.
<i>Elektr impulsi</i>	-	Qisqa vaqt ichida o'zgaras qiymatlardan farq qiluvchi tok yoki kuchlanishdir.
<i>Elektron kalit</i>	-	Yuklama zanjiriga ulanib tashqi boshqaruv signali ta'sirida davriy ravishda ulash va uzishni amalga oshirish uchun mo'ljallangan elektron qurilma.
<i>Davriy ketma-ket impulslar</i>	-	Impulslarni bir xil vaqt ichida ketma-ket kelishi.
<i>Impuls chastotasi</i>	-	Bir birlik vaqt davomidagi impulslar soni.
<i>Impuls chuqurligi</i>	-	Impuls davrining impuls davomiyligiga nisbatini tavsiflovchi fizik kattalik.
<i>O'zgaruvchan tok</i>	-	Vaqt birligi ichida qiymat va yo'nalishi o'zgaradigan tokka aytiladi.
<i>Sinusoidal tok</i>	-	Tok kuchining qiymati vaqtga bog'liq holatda sinusoidal qonuniyat asosida garmonik o'zgaruvchan tok.
<i>Davr</i>	-	Sinusoidal tokning bir marta to'liq o'zgarishi uchun sarflangan vaqt.
<i>Chastota</i>	-	O'zgaruvchan tokning bir birlik vaqt davomida o'zgarishlar sonini tavsiflovchi kattalik.

Adabiyotlar ruyxati

1. X.K.Aripov, A.M. Abdullayev, N.B.Alimova, X.X.Bustanov, Y.V.Obyedkov, Sh.T.Toshmatov. Elektronika. O'zbekiston Faylasuflari Milliy Jamiyati Nashriyoti. T. 2012.
2. Ю.С. Забродин. Промышленная электроника: учебник для вузов. М.: ООО ИД «Альянс», 2008.
3. Г.Г. Шишкин. Электроника. Учебник для бакалавров. Москва. Издательство Юрайт, 2019.
4. И.И. Алиев. Электротехнический справочник. Издательство М: Радио Софт, 2011.
5. Рег Джеймс. Промышленная электроника. Издательство М: ДМК Пресс: 2011.
6. О.В. Миловзоров. Электроника. Учебник для бакалавров. Москва. Издательство Юрайт, 2019.
7. Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин. Промышленная электроника. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1988.
8. С.Б. Беневоленский, А. Л. Марченко. Основы электротехники: учеб. пособие для втузов. М. Издательство физико-математической литературы, 2006.
9. А.П. Епифанов. Электрические машины. Учебник. СПб.: Лань, 2006.
10. М.А. Жаворонков, А.В. Кузин. Электротехника и электроника: Учебное пособие. Издательство стер. М.: Академия, 2010.
11. В.А. Прянишников. Электроника. Полный курс лекций. Издательство СПб.; М.: КОРОНА принт: Бином-Пресс, 2006.
12. Ю.К. Розанов. Основы силовой электроники. М.: Энергоатом издат, 1992.
13. Г.С.Зиновьев. Основы силовой электроники. Новосибирск: Издательство НГТУ, 2003.
14. Thomas G. Wilson. The evolution of power electronics // IEEE Trans. Power. Electron. 2000. Vol. 15. № 3.
15. П.А. Воронин. Силовые полупроводниковые ключи. М.: Додэка, 2001.

16. Б. Уильямс. Силовая электроника: приборы, применение, управление: пер. с англ. М.: Энергоатом издат, 1993.
17. D. Czarkovski. Resonant converters. The Power electronics: Handbook Ed. T.L. Skvorenina. USA: CRC Press, 2002.
18. Е.И. Беркович, Г.В. Ивенский, Ю.С. Иоффе и др. Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок. Л.: Энергоатомиздат, 1986.
19. У. Титце, К. Шенк. Полупроводниковая схемотехника. пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008.
20. В.И. Галкин, А.Л. Булычев, В.А. Прохоренко. Полупроводниковые приборы. Справочник. Минск: Беларусь, 1987.
21. Steven W.Blume. Electric Power System Basics. USA.: Wiley – Interscience A John Wiley&Sous, INC Publication, 2007.
22. Ю.И. Блинов, А.С. Васильев, А.Н. Никаноров и др. Современные энергосберегающие электротехнологии. Учебное пособие. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009.
23. В.И.Лачин, Н.С.Савёлов. Электроника. Учебное пособие. Ростов-на-Дону. Феникс, 2007.
24. Ф.И. Вайсбурд. « Электронные приборы и усилители». М. Высшая школа. М. 2004.
25. И.С. Андреев, Х.К. Арипов, Ж.Т. Махсудов, Ш.Б. Рахматов. Полупроводниковые приборы многослойной структуры. Транзисторы и тиристоры. Част 1. Учебное пособие. Т.: ТЭИС, 1994. 164 с.
26. Х.К. Aripov, А.М. Abdullayev, Н.В. Alimova. Elektronika. Oquv qo'llanma. T.: TATU, 2009.
27. Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров. Аналоговая и цифровая электроника: Учебник для вузов. М.: Горячая линия. Телеком, 2003.
28. И.С. Андреев, Х.К. Арипов, Ж.Т. Махсудов, Ш.Б. Рахматов. Полупроводниковые приборы многослойной структуры. Транзисторы и тиристоры. Част 2: Учебное пособие. — Т.: ТЭИС, 1994.

29. Д.А. Кушнер. Основы промышленной электроники. Учебное пособие. Минск. РИПО, 2020.
30. В.И. Галкин. Промышленная электроника и микроэлектроника. М: Высшая школа, 2006.
31. В.А. Терехов. Задачник по электронным приборам. Учебное пособие. Издательство «Лань». 2016.
32. Ю.К. Розанов. Силовая электроника. Учебник и практикум для бакалавров. Москва. Издательство Юрайт, 2019.
33. Ю.В. Бладыко. Электроника практикум: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования. Минск: ИВЦ Минфина, 2016.
34. А. А. Щука. Электроника: Учебное пособие. Под ред. А.С.Сигова. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
35. П.А. Воронин. Силовые полупроводниковые ключи. Семейства, характеристики, применение. М.: Додека - XXI. 2001.
36. О.К. Berezin, V.G. Kostikov, E.M. Parfenov. Proektirovanie istochnik ov ehlektropitaniya ehlektronnoj apparatury [The design of the power supplies of electronic equipment], Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2005, (In Russian)
37. Е.А. Москатов. Силовая электроника. Теория и конструирование. К: МК-Пресс; СПб.: Корона - Век, 2013.
1. www.polpred.com
 2. www.hitech.compulenta.ru
 3. www.solar.newtel.ru
 4. www.intechopen.com
 5. www.energystar.gov
 6. www.offshorewindfarms.co.uk
- www.energystrategy.ru

ILOVA.
Birliklarga o'nli old qo'shimchalar.

1-jadval

№	Harfiy belgilanishi	O'qilishi	Son qiymati
1.	G	giga	10^9
2.	M	mega	10^6
3.	k	kilo	10^3
4.	g	gekto	10^2
5.	d	detsi	10^{-1}
6.	s	santi	10^{-2}
7.	m	milli	10^{-3}
8.	μ k	mikro	10^{-6}
9.	n	nano	10^{-9}
10.	p	piko	10^{-12}

Ba'zi moddalarning dielektrik singdiruvchanligi.

2-jadval

№	Moddoning nomi	Son qiymati.
1.	Suv	81
2.	Moy (transformator moyi)	2,2
3.	Shisha	7
4.	Ebonit	3
5.	Parafin	2

O'tkazgichlarning ρ -solishtirma qarshiligi va α -harorat koeffitsienti.

3-jadval

№	Moddoning nomi	20 °C haroratdagi ρ -solishtirma qarshiligi ($nOmm$).	α -harorat koeffitsienti ($^{\circ}C^{-1}$).
1.	Temir	98	$6,2 \cdot 10^{-3}$
2.	Mis	17	$4,2 \cdot 10^{-3}$
3.	Alyuminiy	26	$3,6 \cdot 10^{-3}$

Ba'zi doimiylar.

4-jadval

№	Kattaliklarning nomi	Harfiy belgilanishi	Son qiymati
1.	Elektr doimiysi	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m
2.	Magnit doimiy	μ_0	$12,56 \cdot 10^{-12}$ Gn/m
3.	Elementar (elektron) zaryadi	e	$-1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl

Ba'zi moddalarning zichligi.

(Normal sharoitlarda)

5-jadval

№	Qattiq modda	$\rho \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$	Suyuqlik	$\rho \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$	Gaz	$\rho \cdot 10^{-3} \frac{kg}{m^3}$
1.	Volfram	19,3	Atseton	0,79	Azot	1,25
2.	Alyuminiy	2,7	Suv	1,00	Havo	1,29
3.	Temir	7,8	Glitserin	1,26	Kislorod	1,43
4.	Po'lat	7,8	Moy	0,90	Karbonat angidrid	1,98
5.	Mis	8,9	Kerosin	0,80	Geliy	0,18
6.	Nikel	8,8	Simob	13,6	Vodorod	0,09
7.	Qo'rg'oshin	11,3	Spirt	0,8		

Ba'zi sof toza metallarning fizik parametrlari .

(Normal sharoitlarda)

6-jadval

№	Metallar nomlari	Zichligi $\rho \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$	Erish harorati T, °C	Chiziqli kengayishining harorat koeffitsiyenti $\alpha_{ch} \cdot 10^{-6}, K^{-1}$	Solishtirma elektr qarshiligi $\rho \cdot 10^{-8} \Omega mm$	Solishtirma qarshilikning harorat koeffitsiyenti $\alpha \cdot 10^{-6}, K^{-1}$
1.	Volfram	19,3	3400	4,4	5,5	5,0
2.	Alyuminiy	2,7	660	21	2,7	4,1
3.	Temir	7,87	1540	10,7	9,7	6,3
4.	Mis	8,9	1083	16,6	1,7	4,3
5.	Nikel	8,8	1453	13,2	6,8	6,7
6.	Qo'rg'oshin	11,3	327	28,3	19	4,2
7.	Oltin	19,3	1063	14	2,3	3,9
8.	Rux	7,14	419	30	5,9	4,1
9.	Platina	21,4	1770	9,5	9,8	3,9
10.	Kumush	10,5	961	18,6	1,5	4,1
11.	Kobalt	8,85	1500	13,5	6,4	6,0
12.	Molibden	10,2	2620	5,3	5	4,3
13.	Natriy	0,97	98	72	4,2	5,5
14.	Qalay	7,29	232	23	11,3	4,5
15.	Tantal	16,6	3000	6,6	12,4	3,8
16.	Xrom	7,19	1900	6,2	13	2,4

Kattaliklarning nomlari va harfiy belgilanishi

7-jadval

№	Kattalikning harfiy belgilanishi	Kattalikning o'qilishi	Xalqaro birliklar tizimida o'lchov birligi
1.	l	Uzunlik	Metr
2.	d	O'tkazgich kesimining diametri	Metr
3.	s	Kesim yuzasi	Metr kvadrat
4.	m	Massa	Kilogramm
5.	ρ_z	Moddaning zichligi	Kilogram/metr kub
6.	q	Zaryad miqdori	Kulon
7.	C	Elektr sig'im	Farada
8.	W	Energiya	Joul
9.	I	Tok kuchi	Amper
10.	I_{ef}	Tok kuchining effektiv qiymati	Amper
11.	U	Elektr kuchlanish	Volt
12.	U_{ef}	Elektr kuchlanishning effektiv qiymati	Volt
13.	R	Elektr qarshilik	Om
14.	ρ	Solishtirma elektr qarshilik	Ommetr
15.	L	Induktivlik	Genri
16.	X_C	Sig'im qarshilik	Om
17.	X_L	Induktiv qarshilik	Om
18.	σ	Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik	Siyemenis
19.	T	Mutloq harorat	Kelvin
20.	E_g	Taqiqlangan zona kengligi	Elektronvolt
21.	μ	Zaryad tashuvchi zarralarning harakatchanligi	Metr kvadrat/volt·sekund
22.	μ_n	Elektronlarning harakatchanligi	Metr kvadrat/volt·sekund
23.	μ_p	Kovaklarning harakatchanligi	Metr kvadrat/volt·sekund
24.	n	Zaryad tashuvchi zarralar konsentratsiyasi	Metr kub
25.	n_n	Elektronlarning konsentratsiyasi	Metr kub
26.	p_p	Kovaklarning konsentratsiyasi	Metr kub
27.	$\Delta\varphi$	Potensiallar farqi	Volt
28.	φ_k	Kontakt potensiallari farqi	Volt
29.	k_U	Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti	-
30.	f	Tebranish chastotasi	Gers

Mundarija.

Kirish.....	3
I.Bob. Elektr zanjirlarining asosiy elementlari.....	4
1.1. Elektr qarshilik. Qarshilikli elektr zanjirlarini hisoblash.....	6
1.2. Elektr sig‘im. Kondensatorli elektr zanjirlarini hisoblash.....	17
1.3. Induktivlik. Induktiv g‘altakli elektr zanjirlarini hisoblash.....	28
1.4. Rezistor, kondensator va induktiv g‘altaklar ulangan o‘zgaruvchan tok elektr zanjirlarini hisoblash.....	35
II.Bob. Yarimo‘tkazgichli elektron asboblari.....	45
2.1. Yarimo‘tkazgich materiallarining elektr o‘tkazuvchanlik xususiyatlari.....	45
2.2. To‘g‘rilovchi diodlarning tavsiflovchi parametrlarini hisoblash....	53
2.3. Stabilizatorlarning tavsiflovchi parametrlarini hisoblash.....	73
2.4. Bipolyar tranzistorlarning parametrlarini hisoblash.....	80
2.5. Maydon (unipolyar) tranzistorlar.....	88
III.Bob. Yarimo‘tkazgichli fotoelektron asboblari.....	94
3.1. Yarimo‘tkazgichlarda fotoeffekt hodisasi.....	94
3.2. Fotorezistorlar.....	100
3.3. p-n o‘tishda fotoeffekt hodisasi.....	106
3.4. Yarimo‘tkazgichli fotoelementlar.....	114
IV.Bob. Elektron to‘g‘rilagichlar va stabilizatorlar.....	123
4.1. Aktiv, induktiv qarshilikli bir va uch fazali to‘g‘rilagich sxemalarini hisoblash.....	123
4.2. Tekislovchi filtrlar.....	135
4.3. Kuchlanish va tok stabilizatorlarining tavsiflovchi parametrlarini hisoblash.....	145
V. Bob. Bir kaskadli va ko‘p kaskadli elektron kuchaytirgichlar.....	156
5.1. Bir kaskadli bipolyar tranzistorli elektron kuchaytirgichlarni hisoblash.....	156
5.2. Ko‘p kaskadli tranzistorli kuchaytirgichlarni hisoblash.....	168

5.3.	Maydon tranzistorli kuchaytirgichlarni hisoblash.....	177
5.4.	Operatsion kuchaytirgichlarni tavsiflovchi parametrlarini aniqlash.....	185
VI.Bob.	Garmonik tebranishli generatorlar va elektron kalitlar.....	197
6.1.	Garmonik tebranishli generatorlar.....	198
6.2.	Elektron kalitlar.....	205
	G L O S S A R I Y.....	212
	Adabiyotlar ruyxati.....	218
	ILOVA.....	221

Содержание.

	Введение.....	3
I.Глава	Основные элементы электрических цепей.....	4
1.1.	Электрическое сопротивление. Расчет электрических цепей с сопротивлением.....	6
1.2.	Электрическая мощность. Расчет электрических цепей с конденсаторами.....	17
1.3.	Индуктивность. Расчет электрических цепей с катушками индуктивности.....	28
1.4.	Расчет электрических цепей переменного тока с присоединенными резисторами, конденсаторами и катушками индуктивности.....	35
II. Глава	Полупроводниковые электронные устройства.....	45
2.1.	Электропроводные свойства полупроводниковых материалов.....	45
2.2.	Расчет характеристических параметров выпрямительных диодов.....	53
2.3.	Расчет характеризующих параметров стабилитронов.....	73
2.4.	Расчет параметров биполярных транзисторов.....	80
2.5.	Полевые (униполярные) транзисторы.....	88
III.Глава	Полупроводниковые фотоэлектронные устройства.....	94
3.1.	Фотоэлектрический эффект в полупроводниках.....	94
3.2.	Фоторезисторы.....	100
3.3.	Фотоэлектрические эффект в р-п переходе.....	106
3.4.	Полупроводниковые фотоэлементы.....	114
IV.Глава	Электронные выпрямители и стабилизаторы.....	123
4.1.	Расчет цепей одно- и трехфазных выпрямителей с активным, индуктивным сопротивлением.....	123
4.2.	Сглаживающие фильтры.....	135

4.3.	Расчет характеризующих параметров стабилизаторов напряжения и тока.....	145
V.Глава	Однокаскадные и многокаскадные электронные усилители.....	156
5.1	Расчет однокаскадных электронных усилителей на биполярных транзисторах.....	156
5.2	Расчет многокаскадных усилителей на транзисторах.....	168
5.3.	Расчет усилителей на полевых транзисторах.....	177
5.4.	Определение характеризующих параметров операцион- ных усилителей.....	185
VI.Глава	Генераторы гармонических колебаний и электронные ключи.....	197
6.1.	Генераторы с гармоническими колебаниями.....	198
6.2.	Электронные ключи.....	205
	ГЛОССАРИЙ	212
	Список литературы.....	218
	ПРИЛОЖЕНИЕ.....	221

Content.

	Introduction.....	3
I.Chapter	The main elements of electrical circuits.....	4
1.1.	Electrical resistance. Calculation of electrical circuits with resistance.....	6
1.2.	Electric power. Calculation of electrical circuits with capacitors.....	17
1.3.	Inductance. Calculation of electrical circuits with inductors.....	28
1.4.	Calculation of electrical circuits of alternating current with connected resistors, capacitors and inductors.....	35
II.Chapter	Semiconductor electronic devices.....	45
2.1.	Electrical conductive properties of semiconductor materials.....	45
2.2.	Calculation of the characteristic parameters of rectifier diodes.....	53
2.3.	Calculation of the characterizing parameters of zener diodes.....	73
2.4.	Calculation of parameters of bipolar transistors.....	80
2.5.	Field-effect (unipolar) transistors.....	88
III.Chapter	Semiconductor photoelectronic devices.....	94
3.1.	Photoelectric effect in semiconductors.....	94
3.2.	Photoresistors.....	100
3.3.	Photoelectric effect in p-n junction.....	106
3.4.	Semiconductor photocells.....	114
IV.Chapter	Electronic rectifiers and stabilizers.....	123
4.1.	Calculation of circuits of single- and three-phase rectifiers with active, inductive resistance.....	123
4.2.	Smoothing filters.....	135

4.3.	Calculation of the characterizing parameters of voltage and current stabilizers.....	145
V.Chapter	Single-stage and multi-stage electronic amplifiers.....	156
5.1	Calculation of single-stage electronic amplifiers on bipolar transistors.....	156
5.2	Calculation of multistage transistor amplifiers.....	168
5.3.	Calculation of amplifiers on field-effect transistors.....	177
5.4.	Determination of the characterizing parameters of operational amplifiers.....	185
VI.Chapter	Generators of harmonic oscillations and electronic keys.....	197
6.1.	Generators with harmonic oscillations.....	198
6.2.	Electronic keys.....	205
	GLOSSARY.....	212
	Bibliography	218
	APPENDIX.....	221

