

4-mavzu. p-n o'tish. Elektron kovak o'tish.

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

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

Bipolyar tranzistor ixtiro qilindan (1948-yil) buyon yarimo'tkazgichlar elektronikasi deb ataluvchi soha tez sur'atlar bilan rivojlana boshladi. Issiqlik ta'sirida yarimo'tkazgichdagi valent elektronlarning ma'lum qismi erkin zaryad tashuvchilarni yuzaga keltirishi mumkin. Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi yorug'lik oqimi, zarralar oqimi, kiritmalar konsentratsiyasi gradiyenti, elektr maydon va boshqalar ta'sirida ham o'zgarishi mumkin.

- Yarimo'tkazgichlarning bu xossasidan turli vazifalarni bajaruvchi diodlar, tranzistorlar, termistorlar, fotorezistorlar, varikap va boshqa yarimo'tkazgich asboblarning tayyorlashda foydalaniladi.

- **Elektr o'tkazuvchanlik**, ya'ni elektr kuchlanish ta'sirida moddalardan elektr toki o'tishi uning elektr maydonga nisbatan asosiy xususiyatini belgilaydi. Bu kattalik qiymat jihatdan Om qonunining differensial ko'rinishi bo'lib, solishtirma elektr o'tkazuvchanlik bilan baholanadi:

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

1948 y. D.Bardin va V. Bratteyn nuqtali n-p o'tishlar bilan ishlab turib, ikki n-p o'tishli qurilma quvvati bo'yicha elektr tebranishlarni kuchaytirish qobiliyatiga egaligini guvohi bo'lishdi. Bu qurilmani ular tranzistor deb atashdi ("Transfer" - o'zgartiruvchi va "resistor" - qarshilik – ingliz so'zlaridan olingan). Bugungi kunda bir yoki bir nechta n-p o'tishli va uch yoki undan ko'p uchlari bo'lgan elektr o'zgartiruvchi yarim o'tkazgichli asbob tranzistor deb nomlanadi.

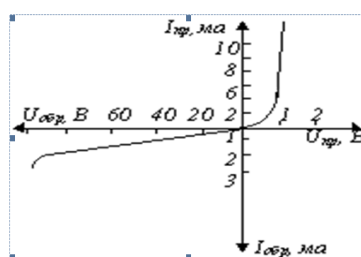
Agar emitter o'tish teskari yo'nalishda, kollektor o'tish esa to'g'ri yo'nalishda siljigan bo'lsa, u holda bu tranzistor **invers** yoki teskari ulangan deb ataladi. Tranzistor raqamli sxemalarda qo'llanilganda u **to'yinish** rejimida (ikkala o'tish ham to'g'ri yo'nalishda siljigan), yoki **berk** rejimda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

Turli yarimo'tkazgichlar uchun, kiritmalar konsentratsiyasi taxminan 10^{16} sm^{-3} bo'lganda, elektronlar va kovaklarning xona temperaturasidagi harakatchanligi va effektiv massalari qiymatlari kritik maydon qiymatidan kichik ($E \leq E_{KR}$) bo'lsa, u holda zaryad tashuvchilar $v_{DR} = \mu E$ dreyf tezlikka erishadilar.

2.1-jadval

Yarimo'tkazgich turi	Elektronlarning effektiv massasi, m_n/m_0	Kovaklarning effektiv massasi, m_p/m_0	Harakatchanligi, $\text{sm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	
			μ_n	μ_p
Germaniy	0,22	0,39	3900	1900
Kremniy	0,33	0,55	1500	450
Arsenid galliy	0,07	0,5	8500	400

Rasmda kremniy diodining tipik noxhiziqli tavsifi ko'rsatilgan.(2.1.1-rasm) Uning volt-amper tavsifi $I=I_0(e^{u/\varphi}-1)$ nisbati bilan ta'riflanadi, bu yerda, I_0 – p-n o'tishni teskari toki, u – berilgan kuchlanish, φ -xaroratli potensial, 30 OK bo'lganda 26 mV ga teng. Yaxshi ko'rinishi uchun to'g'ri tokning egri chizig'i (chizmani o'ng qismi) va teskari tokning egri chizig'i (chizmani chap qismi) xar hil masshtablarda qurilgan. Yarim o'tkazgichni metall bilan kontakti – shotki diodlar ham o'xshash xususiyatlarga ega.



2.1.1-rasm. Kremniy diodining tipik noxhiziqli tavsifi.

Germaniy diodning to'g'ri yo'nalishda tushishi 0,5 vol'tga yaqin bo'ladi.

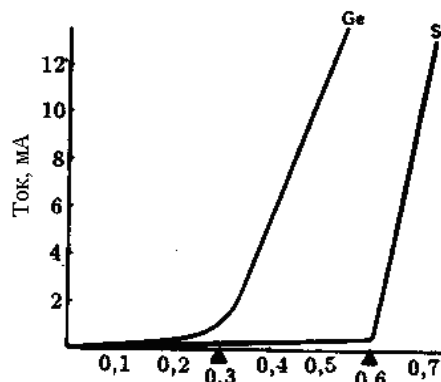
Zichlikning kamayishi **kontsentratsiya gradienti** deb ataladi. Gradient qancha katta bo'lsa, tok ham shuncha katta bo'ladi. Bu vaqtda bazadan injektsiyalanyotgan elektronlarning bir qismi kovaklar bilan bazaga ekstraktsiyalanishini ham hisobga olish kerak. Rekombinatsiya jarayoni bazaning elektr neytrallik shartini tiklash uchun talab qilinadigan kovaklarning kamchiligini yuzaga keltiradi.

Yarim o'tkazgichli diodlarning turlari.

Diod bir tomonlama o'tkazuvchanlikki ega va asosan o'zgaruvchan tokni to'g'rilash uchun ishlatiladi. To'g'ri yo'nalishda ulangan diodda o'zgarmas kuchlanish tushish mavjud bo'ladi, uning qiymati germaniyli diodlar uchun 0,3 V va kremniyli diodlar uchun 0,6 V. Ushbu kuchlanish tushish diod to'g'ri yo'nalishda ulangandagi kuchlanish tushish yoki diodning to'g'ri kuchlanish deb ataladi.

Diodning elektr sxemalarda ishlashi uning volt-amper xarakteristikasi (VAX) bilan aniqlanadi.

To'g'ri yo'nalishda ulangan yassi diodning volt-amper xarakteristikalari 2.1.2-rasmda ko'rsatilgan.

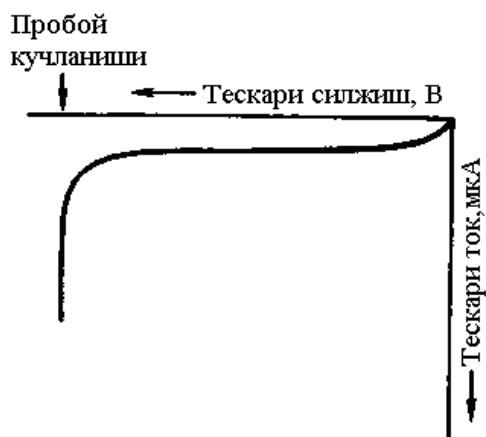


То'g'ri yo'nalishdagi siljish, V.

2.1.2-rasm. То'g'ri yo'nalishda ulangan germaniyli va kremniyli diodlarning xarakteristikalari.

Siljitish kuchlanish potentsial to'siqning qiymatidan katta bo'lganda dioddan o'tayotgan tok keskin ortadi. Bunda siljitish kuchlanishning kichik o'zgarish ham dioddan o'tayotgan tokning katta o'zgarishga olib keladi. Diodning to'g'ri kuchlanishdan kichik bo'lgan kuchlanishlarda dioddan, odatda hisobga olinmaydigan juda kichik (mikroamperlar) tok o'tadi.

Teskari yo'nalishda ulangan yassi diodning xarakteristikasi 2.1.3-rasmda ko'rsatilgan. Teskari ulangan dioddan asosiy bo'lmagan tashuvchilar hosil qiladigan juda kichik teskari tok o'tadi (mikroamperlar).



2.1.3-rasm. Teskari yo'nalishda ulangan yassi diodning xarakteristikasi

Teskari tokning qiymati, kuchlanish p-n o'tishning probay kuchlanish deb ataluvchi maksimal qiymatga yetguncha amalda o'zgarishsiz qoladi. Kuchlanish probay kuchlanishdan katta bo'lsa probay yuz beradi va teskari tok keskin ortib diodning ishdan chiqishga olib keladi. Shuning uchun diod ulanayotgan sxemada diodga qo'yilish

mumkin bo'lgan teskari kuchlanish diodning probay kuchlanishdan ortib ketmasligi kerak. Teskari ulangan germaniyli diodlarning qarshiligi kremniyli diodlarnikiga nisbatan kachikroq, teskari (silqish) toklari esa kattaroq bo'ladi.

Keling oddiy misol ko'rinishida shu ishni Electronics Workbench dasturidan foydalanib bajarib ko'raylik:

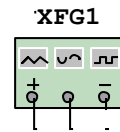
Demak, ishni bajarishda kerak bo'ladigan Electronics Workbench dasturining komponentlari.

Ishni bajarishda quyidagi komponentlardan foydalaniladi:

- sinusoidal, arrasimon va impuls kuchlanishlar generatori;
- kalit;
- voltmetr va ampermetr;
- vaqt relesi;
- ostsillograf;
- rezistorlar;

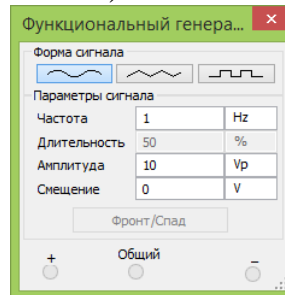
- tok bilan boshqariluvchi kuchlanish generatori.

Sinusoidal, arrasimon va impuls kuchlanishlar generatori (2.1.4-rasm) uchta chiqishga ega: umumiy (er), musbat (+), manfiy (-).



2.1.4-rasm. Sinusoidal, arrasimon va impuls kuchlanishlar generatori

Generatorning tasviri ustida sichqonchanning chap tugmasi to'xtovsiz ikki marta bosilsa uning oynasi ochiladi (2.1.5-rasm).



2.1.5-rasm. Kuchlanishlar generatorining oynasi

Ochilgan oynaning yuqori qismida kerakli shakldagi signalning tasviri bosiladi va uning quyidagi parametrlari o'rnatiladi:

1. Chastota *Frequency* maydonida Hz, kHz yoki MHz larda o'rnatiladi;
2. Signal shaklining simmetrikligi *Duty cycle* parametri orqali beriladi;
3. Signal o'zgaruvchan tashkil etuvchisining amplitudasi μV , mV, V yoki kV larda *Amplitude* maydonida ko'rsatiladi;
4. Agar zarur bo'lsa signal o'zgarmas tashkil etuvchisining amplitudasi *Offset* maydonida ko'rsatiladi.

Kalitning tasviri 2.1.6-rasmda ko'rsatilgan.



Кл = Space

2.1.6-rasm. Kalit

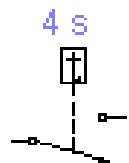
Kalitni almashtirib ulash uchun kvadrat qavs ichida ko'rsatilgan klavisha bosiladi, masalan [probel].

Voltmetr va ampermetr 2.1.7-rasmda ko'rsatilgan. Ularning ichki qarshiliklari xossalarida beriladi.



2.1.8-rasm. Voltmetr va ampermetr

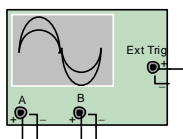
Vaqt relesi (2.1.9-rasm) ulanish vaqti (on) va uzilish vaqti (off) parametrlariga ega.



2.1.9-rasm. Vaqt relezi

Ostsillograf (2.1.10-rasm) ikkita kanalga va to'rtta kirishga ega.

xsc1

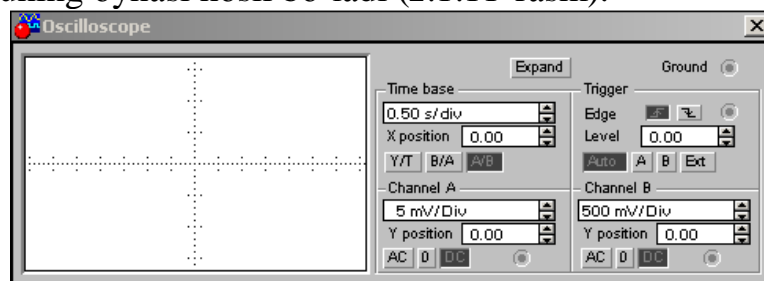


2.1.10-rasm. Ostsillograf

Uning kirishlari quyidagilar:

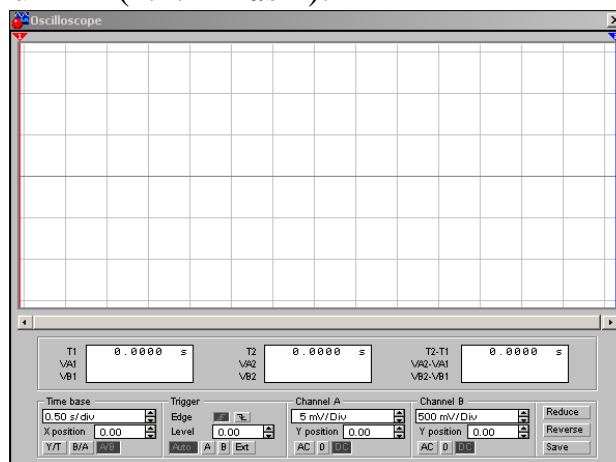
- Umumiy (yer);
- Tashqi sinxronizatsiya ;
- A kanal;
- B kanal.

Ostsillografning tasviri ustida sichqonchani chap tugmasi to'xtovsiz ikki marta bosilganda uning oynasi hosil bo'ladi (2.1.11-rasm).



2.1.11-rasm. Ostsillografning oynasi

Oynadagi Expand tugmasini bosish yo'li ostsillografni kattalashtirilgan ko'rinishga o'tkazish mumkin (2.1.12-rasm).

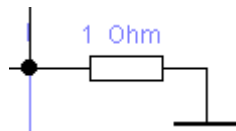


2.1.12-rasm. Ostsillografni kattalashtirilgan ko'rinishdagi oynasi

Ostsillografning Time base qismida uning ishlash rejimini beruvchi Y/T, B/A, A/B ulab-uzgichlar joylashgan. Y/T rejimida kirishlar A va B, abstsissa o'qi vaqt bo'ladi, vaqtning qadami beriladi. B/A yoki A/B rejimida ostsillografning og'diruvchi plastinalariga A va V kirish kanallaridan kuchlanish beriladi.

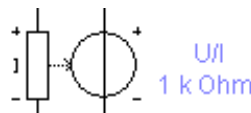
Kuchlanish bo'yicha masshtablar Channel A va Channel V sohalarida o'rnatiladi. Pastda kirish ulab-uzgichlari AC(o'zgaruvchan)/0(nol)/DC(o'zgarmas) joylashgan.

Bir omli rezistorlar (2.1.13-rasm) sxema tarmoqlarida qiymati tokka teng bo'lgan kuchlanish olish uchun ishlatiladi.



2.1.13-rasm. Bir omli qarshilik

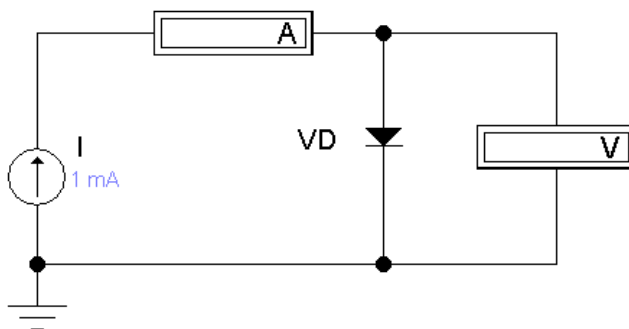
Tok bilan boshqariluvchi kuchlanish generatori (2.1.14-rasm) qiymati tokka teng yoki proporsional bo'lgan kuchlanish olish uchun foydalaniladi. Bunda, bir omli qarshilikdan farqli ravishda tadqiq qilinayotgan zanjirga qo'shimcha qarshilik kiritilmaydi.




2.1.14-rasm. Tok bilan boshqariluvchi kuchlanish generatori

Ishni bajarish tartibi

1. Electronics Workbench dasturini ishga tushiring. Diod volt-amper xarakteristikasining to'g'ri tarmog'ini olish uchun 2.1.15-rasmda ko'rsatilgan sxemani yig'ing. U tok manbasi I, ampermetr A (ampermetrning bo'lish shart emas, chunki, o'lchanayotgan tok berilayotgan tokka teng), tadqiq qilinayotgan diod VD va dioddagi kuchlanishni o'lchash uchun voltmetr V dan tashkil topgan.



2.1.15-rasm. Diod volt-amper xarakteristikasining to'g'ri tarmog'ini tadqiq qilish uchun sxema.

2. Sxemani ishga tushirish uchun Electronics Workbench dasturining o'ng yuqori burchagidagi ishga tushirish - to'xtatish  tugmasini bosing.

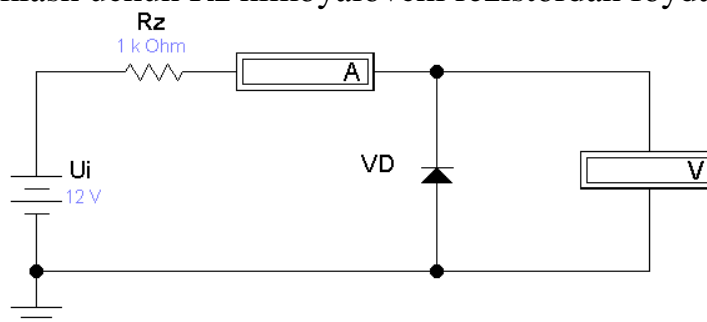
3. Tok manbasining tokini 0 dan boshlab 10 mA gacha o'zgartirib stabilitrondagi kuchlanish va tokni voltmetr va ampermetrlarning ko'rsatishlari bo'yicha yozib oling. Olingan natijalarni 2.1.1-jadvalda keltiring (ampermetr mikroamperlarni ko'rsatganda milliamperlarga aylantirib olishni unutmang).

2.1.1-jadval

Tok $I_{to'g'ri}$, mA	0,00001	0,001	0,01	0,1	0,5	1	2	4	6	8	10
Kuchlanish $U_{to'g'ri}$, V											

4. Olingan natijalarga asosan diod volt-amper xarakteristikasining to'g'ri tarmog'ini quring.

5. Diod volt-amper xarakteristikasining teskari tarmog'ini qurish olish uchun 2.1.15-rasmda ko'rsatilgan sxemalarni yig'ing va rasmda ko'rsatilgan sxema elementlarining parametrlarini o'rnating. Unda kuchlanish manbasi U_i va proboy bo'lganda tokni cheklash uchun R_z himoyalovchi rezistordan foydalanilgan.



2.1.16-rasm. Diod volt-amper xarakteristikasining teskari tarmog'ini tadqiq qilish uchun sxema

6. Shift klavishasi bosilgan holda R klavishasini bosish yo'li bilan ta'minlash manbasining kuchlanishni 0 dan boshlab 60 V gacha o'zgartirib, dioddagi kuchlanish va tokni volmetr PV va ampermetr PA larning ko'rsatishlari bo'yicha yozib oling. Olingan natijalarni 2.1.2-jadvalda keltiring.

2.1.2-jadval

Kuchlanish $U_{\text{teskari}}, \text{V}$	1	5	10	20	30	40	47	48	49	50	51	52
Tok $I_{\text{teskari}}, \text{mA}$												

7. Olingan natijalarga asosan diod volt-amper xarakteristikasining teskari tarmog'ini quring.

8. Sxemadagi diodni KS-133A stabilitronga almashtiring.

9. Ta'minlash manbasining kuchlanishni 0 dan boshlab 0,5 V qadam bilan 5,5 V gacha o'zgartirib, manbadagi va stabilitrondagi kuchlanishlarni PV1 va PV volmetrlarning ko'rsatishlari bo'yicha yozib oling. Olingan natijalarni 2.1.3-jadvalda keltiring.

2.1.3-jadval

Manba kuchlanish, U_{e1}, V	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
Kuchlanish $U_{\text{teskari}}, \text{V}$												

10. Olingan natijalarga asosan stabilitrondagi kuchlanish va manba kuchlanishlari orasidagi bog'lanishning grafigini quring.

11. Stabilitrondagi kuchlanish va manba kuchlanishlari orasidagi bog'lanishning grafigini R qarshilikning qiymati 10 kOm va 100 kOm bo'lgan hollar uchun quring. Qarshilikning o'zgarish stabilitronning ishlashiga qanday ta'sir ko'rsatishga e'tibor bering.

Electronics Workbench Multisim dasturida modellash va natijalarni olish o'zining tezkorligi va qulayligi bilan ajralib turadi. Lekin to'g'ri natijalar olish uchun foydalanuvchi dastur bilan ishlash qoidalari va usullarini o'zlashtirgan va ularni elektron sxemalardagi jarayonlarni o'rganish va tadqiq qilish uchun qo'llash ko'nikmalariga ega bo'lishi kerak.

MUHOKAMA UCHUN SAVOLLAR.

1. p-n o'tish deb nimaga aytiladi?
2. Yarimo'tkazgichlarning o'ziga xos xususiyatlarini aytib bering.
3. Yarimo'tkazgichli diodlarning qanday turlarini bilasiz?
4. Diod yordamida to'g'rilash effekti nimadan iborat?
5. Electronics Workbench dasturining komponentlarini sanab bering.