O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

A.M.Safarov

ELEKTRONIKA ASOSLARI

O'zbekiston respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi 5310200 – "Elektrenergetika" ta'lim yo'nalishi talabalari uchun o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etgan

«Adabiyot uchqunlari»
Toshkent – 2014

UDK: 621.38 (075.8)
BBK: 32.8 S-20

Safarov A.M.
Elektronika asoslari: o'quv qo'llanma / A.M.Safarov
O'zbekiston respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi.
Toshkent: «**Adabiyot uchqunlari**». 2015-380 b.

KBK 32.8

Taqrizchilar:
A.Buzrukxonov – Toshkent temir yol muhandislari instituti "Elektr aloqa va radio" kafedrasi katta o'qituvchisi;
A.K.Kasimov – Toshkent kimyo- texnologiya instituti "Fizika va elektronika" kafedrasi mudiri texnika fanlari nomzodi, dotsent.

O'quv qo'llanmada electron asboblarning asosi bo'lgan yarimo'tkazgich materiallar elektr o'tkazuvchanligi, elektron-kovak o'tish nazariyasi asoslari, kuchli elektronikaning turli yarimo'tkazgich asboblari ishlash asoslari, parametrlari, xarakteristikalari, konstruktsiyalari va ulanish sxemalari bayon etilgan.

O'quv qo'llanma «Elektrenergetika» va «Elektr texnika, elektr mexanika va elektr texnologiyalar» ta'lim yo'nalishlari talabalari uchun mo'ljallangan bo'lib, undan «Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish hamda boshqarish», «Telekommunikatsiya» ta'lim yo'nalishlari talabalari, shuningdek, ishlab chiqarish sohalari electron qurilmalar bilan bog'liq bo'lgan mutaxassislar foydalanishlari mumkin.

ISBN 978-9943-987-74-6

Kirish

Elektronika–zamonaviy texnikaning o'lchash va nazorat qilish, avtomat-lashtirilgan boshqaruv hamda rostlash, releli himoya va avtomatika sohalarida, elektr energiyani ishlab chiqarish hamda uni o'zgartirishda, axborotni yig'ish, qayta ishlash va uzatish jarayonlarida eng universal hamda samarali vositadir.

Elektronika sohasidagi bilimlarga ega bo'lishni taqozo etuvchi mutaxassis-liklar doirasi kengayib bormoqda.

Hozirgi paytda elektronikanig roli yanada ortganligini axborot signallarini qayta ishlash uchun mikroprotsessorli texnika va elektr energiyani o'zgartirish uchun kuchli yarimo'tkazgich asboblarining keng qo'llanilishi bilan izohlash mumkin.

Elektron qurilmalar va asboblarning takomillashish darajasi ko'rsatkichi sifatida 1sm^3 hajmdagi elementlar soni (joylashish zichligi) olingan. Elektron qurilmaning asosiy elementi lampalardan iborat bo'lgan paytlarda ularning zichligi 0,3 el/sm^3 ni tashkil yetar edi. Buni zamonaviy EHM bilan taqqoslasak, uning hajmi bir necha ming kub metr bo'lib, uni oziqlantirish uchun esa katta quvvatli energiya manbayi zarur bo'lar edi.

1940-yillarning oxirida yarimo'tkazgich elementlar (diod va tranzistor-lar)ning yaratilishi elektron qurilmalarni loyihalashning modullar ko'rinishidagi yangi yo'nalishiga asos bo'ldi. Modul – elementar yacheyka bo'lib, uning o'lchamlari, elementlarni yig'ish va montaj qilish standart ko'rinishda bo'ladi. Bunda elementlar zichligi 2,5 el/sm^3 gacha ortgan.

Yarimo'tkazgich asboblar, rezistorlar, kondensatorlar va boshqa elementlarning keyingi takomillashuvi, ularning o'lchamlari kichrayishi mikromodullarni yaratish imkonini berdi. Bunda elementlar zichligi 10 el/sm^3 dan ortdi. Mikromodullar tranzistorli elektronikaning davrini nihoyasiga yetkazdi va integral elektronika yoki mikroelektronika davrini boshladi.

Sxemotexnika nuqtayi nazaridan integral elektronika tranzistorli elektronika-dan deyarli farq qilmasada, elementlar o'lchamlari juda kichik (taxminan 0,5–1 mkm).

Integral sxemalarni tayyorlash texnologiyasi elementlar zichligini keskin oshirdi va u 1sm^3 da mingga yaqin elementni tashkil etdi.

Mazkur o'quv qo'llanmada yarimo'tkazgich asboblar asosi bo'lgan yarimo'tkazgich materiallarning elektr o'tkazuvchanligi, elektron-kovak o'tish nazariyasi asoslari, kuchli elektronikaning turli yarimo'tkazgich asboblari ishlash asoslari, parametrlari, xarakteristikalari, konstruktsiyalari va ulanish sxemalari bayon etilgan.

Bunday asboblar qatoriga an'anaviy diodlar, bipolyar va maydonli tranzistorlar, oddiy (berkilmas) tiristorlar bilan birga yaqinda yaratilgan berkiluvchi tiristorlar (berkiluvchi ikki operatsiyali tiristor GTO – Gate Turn-Off Thyristor va tezkor ulanuvchi berkiluvchi tiristor GCT – Gate Commutated Turn-Off Thyristor va tiristor IGCT – Integrated Qate Commutated Turn-Off Thyristor) va metall-oksid-yarimo'tkazgich (metall-dielektrik-yarimo'tkazgich) strukturasi orqali boshqariluvchi izolyatsiyalangan tambali bipolyar tranzistorlar (IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistor) kiradi.

O'quv qo'llanma «Elektr energetikasi» va «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari» ta'lim yo'nalishlari talabalari uchun mo'ljallangan bo'lib, undan «Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish», «Telekommunikatsiya» ta'lim yo'nalishlari talabalari, shuningdek, ishlab chiqarish sohalarining electron qurilmalar bilan bog'liq bo'lgan mutaxassislari hamda elektro-radio-texnika sohalari bo'yicha ta'lim olayotgan kasb-xunar kollejlari o'quvchilari ham foydalanishlari mumkin.

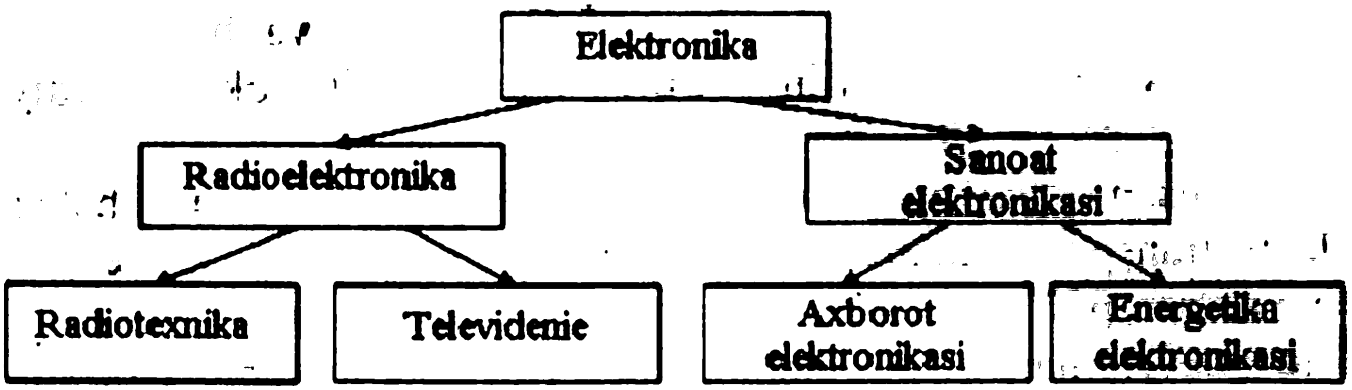
1.Elektronika predmeti, uning fan va texnikadagi roli

Zamonaviy fan va texnikaning rivojlanishini belgilovchi xususiyatlardan biri elektronikaning jadal rivojlanishidir. Hozirgi paytda sanoat, transport, aloqa va boshqa sohalarni elektron qurilmalarsiz tasavvur etib bo'lmaydi. Elektronikaning keng rivojlanishi va uni qo'llash hayot taqozosiga aylandi. Elektronika yutuqlari jamiyatni iqtisodiy rivojlantirishdan tashqari, ishchi kuchini taqsimlash, ta'lim kabi ijtimoiy sohalarda ham o'z ta'sirini ko'rsatmoqda.

Elektronika-ishlash asosi qattiq jism (yarimo'tkazgich asboblar) lardan, vakuum (elektron asboblar) lardan va gazdan (ion asboblar) elektr tokining oqib o'tishiga asoslangan asboblarning ishlash asoslarini o'rganish, tadqiq qilish, ishlab chiqarish va qo'llash bilan shug'ullanuvchi fan va texnika sohasi. Ular orasida yarimo'tkazgich asboblar asosiy o'rinni egallaydi. Elektronika ikki yirik ilmiy yo'nalishga bo'linadi (1.1-rasm):

1.Radioelektronika (RE)–elektronikaning radiotexnika va televideniyada qo'llanilishi;

2.Sanoat elektronikasi (SE)–elektronikaning transport, sanoat va energetikada qo'llanilishi.



1.1- rasm. Elektronikaning ilmiy yo'nalishlari

Sanoat elektronikasi o'z navbatida axborot va energetika elektronikasiga ajraladi.

Axborot elektronikasiga sanoat ob'yektlari va texnologik jarayonlarda o'lchash, nazorat qilish, boshqarishni amalga

oshirish bilan bog'liq bo'lgan elektron tizimlar va qurilmalar kiradi. Bundan tashqari, axborotni uzatish, qayta ishlash va ko'rsatish qurilmalari (signal kuchaytirgichlar, kuchlanish generatorlari, mantiqiy sxemalar, hisoblagichlar, indikator, EHM displeyi va boshqalar) ham shular qatoriga kiradi.

Energetik elektronika (o'zgartgich texnikasi) bir turdagi elektr energiyani boshqa tur energiyaga aylantirish (elektr yuritma, elektr tortish, elektr energe-tika, elektrotermiya, elektrotexnalogiya va h.k) bilan shug'illanadi.

"Elektr energetikasi" yo'nalishi bo'yicha bakalavrlar tayyorlash o'quv jarayonida asosiy yo'nalishni energetik elektronika egallaydi.

Ma'lumki, deyarli barcha elektr energiya iste'mol qilinuvchi joylarga o'zga-ruvchan tokda ishlab chiqariladi va uzatiladi. Chunki, o'zgaruvchan tok elektr energiyani transformatsiya qilish imkonini beradi va uni ortiqcha isrofsiz uzoq masofalarga uzatish mumkin.

Ammo bir qator elektr energiya iste'molchilari o'zgarmas tokda ishlashga mo'ljallangan. Ba'zi bir iste'molchilar (elektroximiya, rentgen texnikasi) uchun o'zgarmas tok yagona tok turi bo'lsa, boshqa turdagi iste'molchilar (elektr transport yük ko'tarish qurilmalari, releli himoya, avtomatika va h.k) uchun o'zgarmas tok elektr qurilmalarining qator texnik yoki iqtisodiy afzalliklarini ta'minlaydi.

Xususan, magistral elektr temir yo'l harakat tarkibida, shahar elektr transporti (tramvay, trolleybus), metropoliten, karyer va shaxta transportlarida o'zgarmas tok elektr manbalari qo'llaniladi. Shu bois manba – elektr energiya iste'molchi tizimida o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka o'zgartiruvchi qurilmalar bo'lishi kerak.

Iste'mol qilinuvchi va ishlab chiqariluvchi elektr energiya turli ko'rinishda bo'lishi uni o'zgartirishni taqozo yetadi. Elektr energiyani bir turdan ikkinchi turga aylantirib beruvchi qurilmalar o'zgartgichlar deyiladi.

Elektr energiyani o'zgartirishning asosiy turlari:

a) to'g'rilash – o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirish;

b) inverslash – o'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokka aylantirish;

c) chastotani o'zgartirish.

Elektr energiyani o'zgartirish turli usullar bilan amalga oshiriladi. Ulardan keng qo'llaniladiganlari:

1) elektr mashinali (aylanuvchi) o'zgartgichlar;

2) energiya isrofi kam bo'lgan kalit(rele) tipdagi volt-amper xarakteristikaga ega nochiziqli elementlarga asoslangan statik o'zgartgichlar.

Elektr energiyani o'zgartirishning birinchi usuliga ko'ra, elektr motorga biror - bir elektr energiya turi beriladi va motor elektr energiyaning yangi turini ishlab chiqaruvchi generatorni harakatga keltiradi.

Bu usulning kamchiliklari :

- qo'zg'aluvchi qismlarning mavjudligi;
- o'lchamlari katta, og'ir, shovqinli, vibratsiyaga ega;
- f.i.k. past, narxi qimmat va h.k.

Zamonaviy elektr energiya o'zgartgichlarini ikkinchi usul asosida ishlab chiqarishga katta e'tibor berilmoqda.

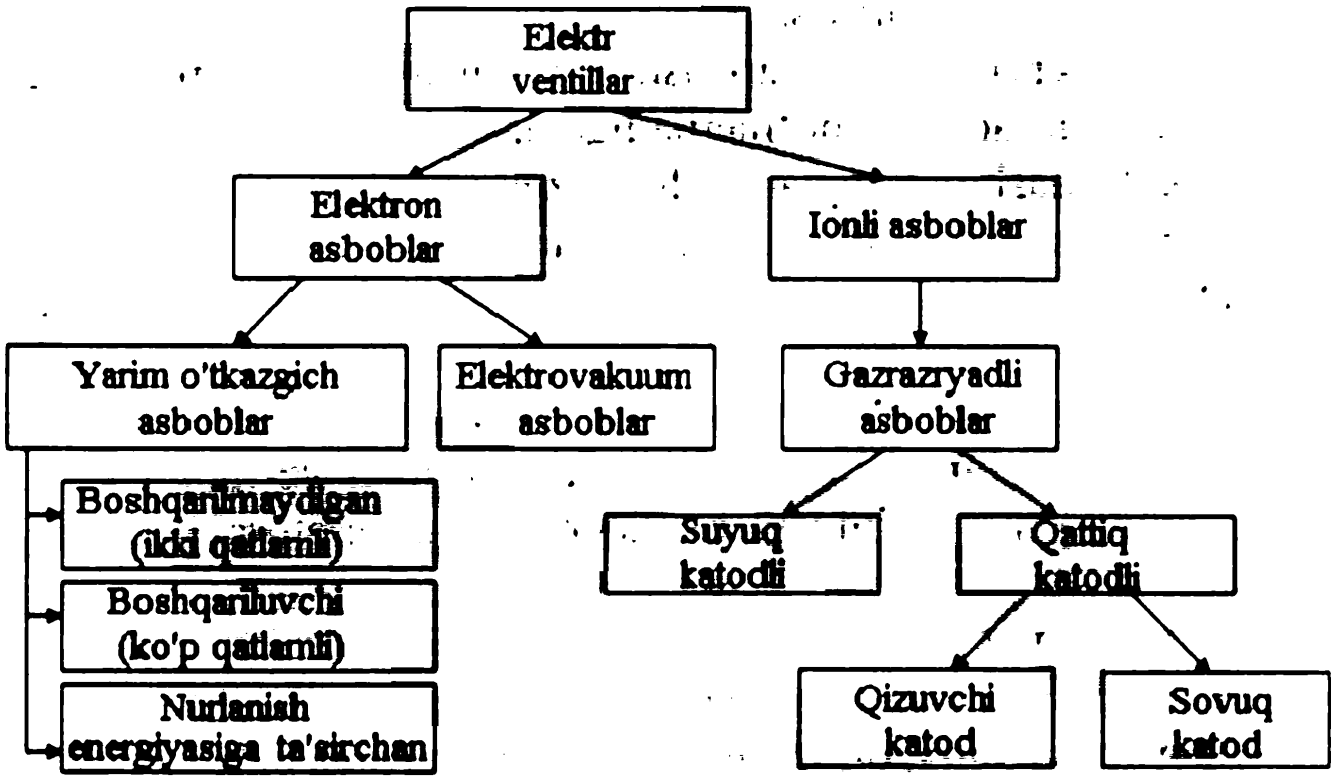
Statik o'zgartgichlarning asosiy elementlari bir tomonlama o'tkazuvchanlik (elektr ventil) xususiyatiga ega bo'lgan boshqarilmas va boshqariluvchi elektron asboblardir.

Elektr ventillarning bir nechta xili bo'lib, ularni tok o'tkazuvchi muhitga, ventil (bir tomonlama) o'tkazuvchanlikni amalga oshirish usuliga ko'ra va asboblarning xususiyatlari bo'yicha sinflash mumkin (1.2 - rasm).

Elektr vakuumli asboblar elektron lampalar deb, gaz razryadli asboblar esa ularning ish jarayonida gaz ionlari yoki simob bug'lari qatnashganligi uchun ionli asboblar deyiladi.

Tarixda birinchi bo'lib elektr vakuumli asboblar (ikki elektrodli – 1904-yil, uch elektrodli – 1907-yil) ixtiro etildi. Elektr

vakuumli ventillarning xususiyat-lari – ventil ballonidagi bosim 10^{-6} – 10^{-7} mm sim. ustuniga qadar kamaytirilish imkoni bo'lib, bu darajada siyraklashgan havoda elektronlar deyarli to'qnashmasdan siljiydi.



1.2-rasm. Elektr ventillar klassifikatsiyasi

Elektr vakuumli asboblarning afzalliklari: o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka va o'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokka aylantirib beradi.

Elektr vakuumli asboblarning kamchiliklari: quvvati katta emas, katoddan chiquvchi elektronlar emissiyasi cheklanganligi tufayli tok kam (1 A ga teng yoki undan kichik), ichki qarshiligi katta, yuqori darajadagi vakuumni doimiy tarzda ushlab turish zarurati mavjud.

Gaz razryadli asboblar o'tgan asrning 20- yillarida ishlab chiqarila boshlandi. 30- yillarda esa suyuq simob katodli ion ventillari keng qo'llanila boshlandi.

60- yillarga qadar sanoat chastotali bir fazali va uch fazali toklarning katta quvvatli to'g'rilagichlarida qo'llanilgan.

Temir yo'lni elektrlashtirishda tortuvchi nimstantsiyalar va elektr harakat tarkibida o'zgartgich sifatida qo'llanilib katta vazifani bajaradi.

Gaz razryadli asboblarning afzalliklari:

- toklari bir necha yuz (ming) amper;
- kuchlanish 15 kV gacha.

Gaz razryadli asboblarning kamchiliklari:

- korpusda yuqori vakuumni (0,1 – 0,5mm sim. ust.) ushlab turish zarurati;
- simob bug'i zichligining optimalligini saqlash uchun korpus temperaturasini doimiy (T_k = 37–40 ^{0} C) tarzda suyuqlik bilan sovitish orqali ushlab turish zarurati;
- katta miqdorda quvvat iste'mol qilinadi va o'zgartgich f.i.k. past (simobli ventilda kuchlanish pasayishi 20 V ga yaqin bo'ladi).

Elektronikaning *birinchi avlod* element bazasi - aktiv element sifatida qo'llanilgan elektr vakuum asboblar (EVA) hisoblanadi. Ingliz olimi O.U.Richadson tomonidan termoelektron emissiya hodisasini chuqur tadqiq qilish natijasida EVA yaratish imkoni ochildi. Bu ilmiy tadqiqot ishlari uchun olimga 1928- yilda Nobel mukofoti berildi. Ingliz olimi A.Fleming 1904-yilda birinchi bo'lib amalda yuqori chastotali tebranishlar hosil qilish uchun ikki elektrodli lampa (diod)dan foydalandi. 1907-yilda Amerikalik muhandis L.D.Forest tomonidan ixtiro qilingan vakuum triodi elektr signallarni hosil qilish bilan birga ularni kuchaytirish imkonini ham yaratdi.

O'zgartirish texnikasining rivojlanishidagi yangi bosqich, o'tgan asrning 50- yillaridan boshlandi. Yarimo'tkazgich asboblar–diod va tiristorlar ishlab chiqarila boshlandi. Bu asboblar kremniy asosida tayyorlangan bo'lib, elektr vakuum va gaz razryadli asboblarga nisbatan quyidagi afzalliklarg ega:

- bir xil qiymatdagi toklarda kichik o'lcham va vaznga ega, ya'ni ixcham;

- kuchlanish pasayishi tokka juda kam bog'liq (0,5 – 1,8 V), bu o'z navbatida

yuqori f.i.k. ni ta'minlaydi;

- havo yordamida sovitish imkoni mavjud;
- temperaturaning katta o'zgarish oralig'ida (- 60^0 C dan + 140^0 C gacha)

ishlash paytidagi tezkorligi va ishonchliligi yuqori.

Yarimo'tkazgich asboblarning kamchiliklari:

- ortiqcha yuklamaga chiday olmaslik;
- o'ta kuchlanishga sezgirligi juda yuqori.

Elektronikaning *ikkinchi avlod* element bazasi – diskret yarimo'tkazgich asboblar (diod,transistor va boshqalar) hisoblanadi. Amerikalik olimlar U.Shokli, J.Bardin va U.Bratteyn 1948-yilda bipolyar tranzistorni ixtiro qilishdi va buning uchun ularga 1956-yilda Nobel mukofoti berildi.

XX– asrning 80-yillaridan boshlab elektronikaning intensiv rivojlanishi yangi avloddagi quyidagi kuchli elektron asboblarning yaratilishiga olib keldi:

1) Berkiluvchi tiristorlar (berkiluvchi ikki operatsiyali tiristor GTO – Gate turn – off tiristor, tezkor uzulishli berkiluvchi tiristor GCT – Gate Commutated turn off tyristor va boshqaruvchi impulslar hosil qilish bloklari berkiluvchi tiristor – IGST– Integrated Gate Commutated turn off tyristor). Bu kuchli elektron asboblarni "Motorolla", "Semikron", "Mitsubishi Elektrik" "Infeneon texnologies" "Elektrovipryamitel" kabi dunyodagi yetakchi firmalar ishlab chiqaradi.

2) MOP (MDP) tranzistorlar: maydonli (MOS – Metall Oxide semisondustor transistor) va metal–oksid–yarimo'tkazgich (metall–dielektrik–yarimo'tkaz-gich) strukturali boshqarishli izolyatsiyalangan tambali bipolyar tranzistorlar (IGBT–Insulated Gate bipolar transistor). Bunday asboblarni "Xitachi", "Moto-rolla", "Simens", "Vestingxouse korp." ,"Elektrovipryamitel" kabi firmalar ishlab chiqaradi.

MOP (MDP) asboblarning afzalliklari:

- kommutatsiya toklarini 2500 A gacha ta'minlaydi;
- kuchlanish 3,5 kV gacha ;
- tezkorligi yuqori (IGBT tranzistorda $t_{q.ul}$ = 200 – 400 nc);
- chastotasi 10 kHz gacha bo'lgan oraliqda ishlay oladi.

MOP(MDP) asboblarni quvvati 1 MW va kuchlanishi 3,5 kV gacha bo'lgan qurilmalarda qo'llanib kelayotgan berkiluvchi tiristorlar siqib chiqarmoqda.

An'anaviy tiristorlar (oddiy berkilmas p–n –p–n qayta ulovchi SCR - Silison Conntroled Restefier) va berkiluvchi (GTO, GST va IGST) – tiristorlar quvvatlari 1 MW dan va kommutatsiya kuchlanishi 4,5 kV dan yuqori bo'lgan hollarda qo'llanilishda davom etmoqda. Berkiluvchi tiristorlarning maydonli boshqarilishi MCT(Most Sontrolled Tyristor) turlarini yaratish ustida qizg'in izlanishlar olib borilmoqda. Agar bunday turdagi tiristorlarni yaratish bo'yicha ishlar ijobiy yakun topsa, klassik kuchli yarimo'tkazgich asboblar hisoblangan tiristor va bipolyar tranzistorlar davri yakuniga yyetadi.

O'zgartgich sxemalari uchun kuchli elektronikaning kelajagi porloq asboblari deb IGST va MCT larni aytish mumkin.

Elektronikaning *uchinchi avlod* element bazasi – 1958-yilda Robert Noys va Jek Kilbi tomonidan taklif qilingan integral mikrosxemalar(IMS)dir. Bu elektronikaning yangi tarixiy bosqichi bo'lgan mikroelektronikaga asos bo'ldi. Integral mikrosxemani ixtiro qilgan Jek Kilbi 2000-yilda Nobel mukofotiga sazovor bo'ldi.

Kuchli elektronika asboblari uchun qo'llanilishi mumkin bo'lgan yangi materiallar (galliy arsenidi, kremniy karbidi va boshqalar) ustida izlanishlar olib borilmoqda, shunga qaramasdan yaqin 10 yillarda asosiy yarimo'tkazgich material sifatida kremniy qolaveradi.

Elektron texnikaning yarimo'tkazgichli asboblari va boshqa mahsulotlari xarakteristikalari ular tayyorlanadigan materiallarning elektrofizik xususiyatlari bilan aniqlanadi.

Turli xildagi asboblarning ishlash asoslarini tushunish uchun shu asbobda tashqi elektr va magnit maydonlar, yorug'lik nurlanishi va boshqa omillar ta'sirida yuzaga keluvchi muhim jarayonlar haqida tasavvurga ega bo'lish lozim.

Shu bois fanning boshlanishida yarimo'tkazgich asboblarning ishlash asosini yuzaga keltiruvchi xususiyatlari haqida asosiy ma'lumotlar keltirilgan. So'ngra yarimo'tkazgichli diodlar, tranzistorlar va ular asosida yaratilgan qurilmalar xarakteristikalari va parametrlari ko'rib o'tilgan.

2. Yarimo'tkazgich materiallarning asosiy xossalari

2.1. Yarimo'tkazgich materiallarning elektr xususiyatlari

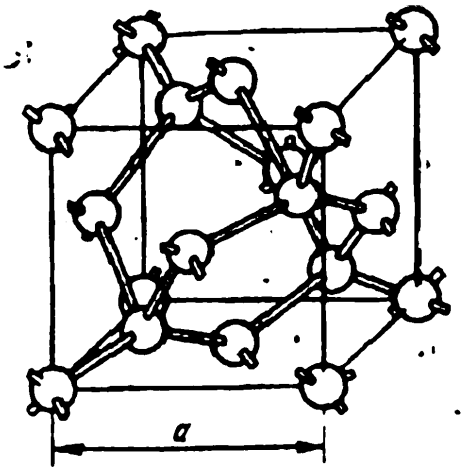
Barcha qattiq jismlar o'zlarining solishtirma o'tkazuvchanliklariga ko'ra metallar, dielektriklar (izolyatorlar) va yarimo'tkazgichlarga bo'linadi. Metallarning solishtirma o'tkazuvchanligi 10^2 dan 10^4 sm gacha bo'lgan oraliqda o'zgaradi, dielektriklar uchun bu oraliq 10^{-24}dan 10^{-12}gacha bo'lsa, yarimo'tkazgichlarda 10^{-11}dan 10^{-1} sm gacha qiymatlarni tashkil,yetadi. Yarimo'tkazgichlarning eng xarakterli jihatlaridan biri ularning solishtirma o'tkazuvchanliklari temperatura ko'tarilishiga bog'liq holda ortishida namoyon bo'ladi. Ammo bu xususiyat temperatura o'zgarishining har qanday oralig'ida ham yuzaga kelavermaydi yoki har qanday yarimo'tkazgichda ham kuzatilavermaydi.

Yarimo'tkazgichlarning xususiyati ularning o'tkazuvchanligini tashqi ta'sirlar (temperatura, yoritilganlik, radioaktiv nurlanish) ostida, shuningdek uncha katta bo'lmagan miqdorda aralashma atom kiritish (legirlash) natijasida o'zgartirish imkonining mavjudligidadir. Ularning bu xususiyatlaridan qattiq jism elektronikasida yarim o't-kazgichlardan amalda foydalanish asosini tashkil yetadi.

Kimyoviy tarkibiga ko'ra, yarimo'tkazgichlar faqat bitta kimyoviy element atomidan iborat elementar, ikki va undan ko'proq kimyoviy elementlar atomlaridan iborat bo'lgan kompozitsion, yoki murakkab holda bo'ladi. Ulardan birinchisiga davriy sistemaning *IV* guruh elementlari germaniy va kremniy, ikkinchi guruhiga *III* va *V* hamda *II* va *VI* guruhlar elementlarining mos holda A^{III} B^{V} va A^{II} B^{VI} ko'rinishdagi shartli belgilar bilan ifodalanuvchi aralashmalari kiradi.

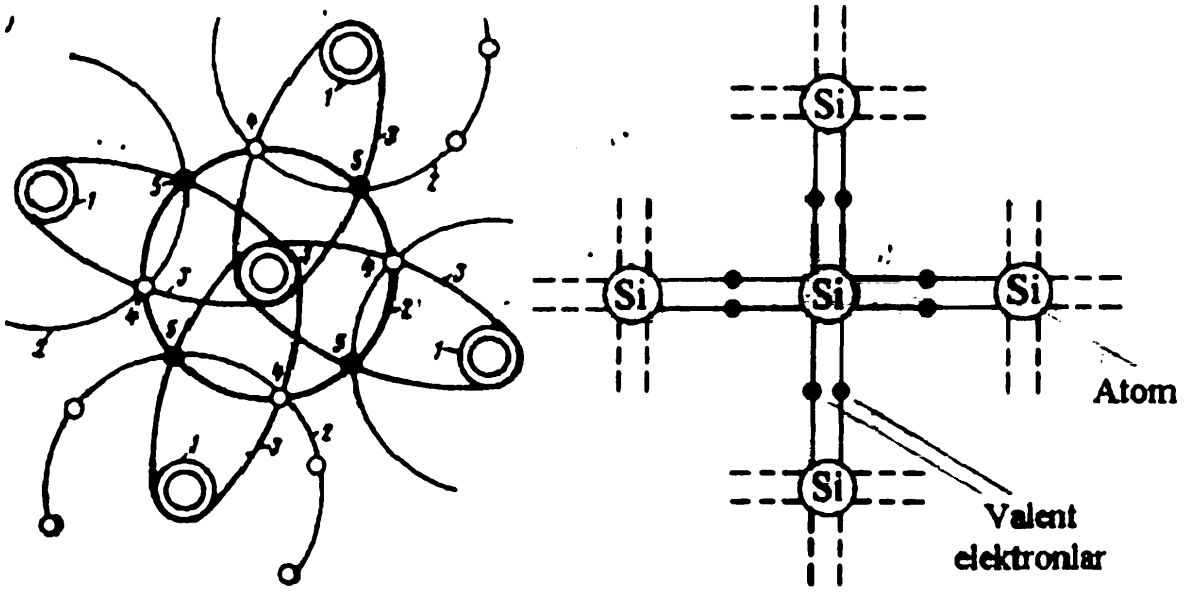
Yarimo'tkazgich elementlarning ko'pchiligi kristall strukturaga ega. Kremniy va germaniy olmos tipidagi kubsimon

kristall panjaraga ega bo'lib, atomlar uning tugunlarida ma'lum shaklda joylashgan bo'ladi (2.1-rasm).



2.1- rasm. Yarimo'tkazgich elementlarning kubsimon kristall panjarasi

Germaniy va kremniy atomlari to'rttadan valent elektronlarga ega bo'lganligi uchun ularning elementar yacheykalarida har bir atom yaqin turgan to'rtta qo'shni atomlar bilan kovalent bog'lanishlarni, ya'ni ikkita qo'shni atom o'zaro umumiy ikkita valent elektronga ega bo'lgan bog'lanishni (2.2,a-rasm) hosil qiladi.



a) b)

2.2- rasm. To'rt valentli kremniy kristallida atomlarning elektronlar orqali kovalent bog'lanishlari

2.2-rasmda kremniy kristallining sxemasi ko'rsatilgan bo'lib unda:

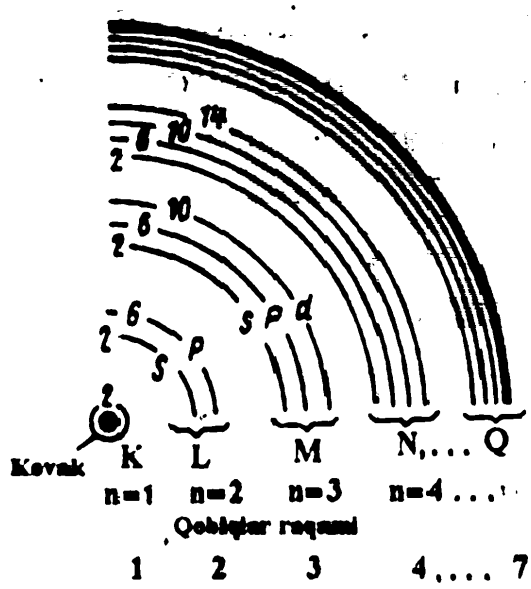
a) kovalent bog'lanishlarni; b) kristall panjaraning yassi sxemasini ifodalaydi; bunda 1– yadro; 2– kovalent bog'lanishlar; 3– kovalent bog'lanishlar orbitalari; 4– "o'z" atom elektronlari; 5– qo'shni atom elektronlari. Bunday elementar panjaraga deyarli barcha yarimo'tkazgichlar ega. Yarimo'tkazgichning to'g'ri kristallini elementar yacheykani barcha yo'nalishlar bo'yicha yassi parrallel holda siljitish bilan hosil qilinadi (2.2,b-rasm). Bunday struktura monokristall deb ataladi. Olmos tipidagi panjarali kristallar anizotropiya, ya'ni turli koordinata yo'nalishlarida xususiyatlarning bir jinsli bo'lmasligi bilan ajralib turadi. Yarimo'tkazgichlar kristall panjaralarning muhim parametrlaridan biri–uning doimiysi a-kub uchlarida joylashgan qo'shni atomlar orasidagi masofadir (2.1 - rasmda ko'rsatilgan).

Kimyoviy elementlar atomlari yadro va uning atrofida elliptik orbitalar bo'yicha aylanuvchi elektronlardan iborat. Kremniyda bu elektronlar soni–14 ta, germaniyda–32 tani tashkil qiladi. Elektronlar orbita elektronlari guruhlaridan tashkil topgan qobiqlarda joylashadi (2.3-rasm). Qobiqlar K, L, M,..., Q harflari yoki n=1 dan n=7 gacha bo'lgan raqamlar orqali belgilanadi. Birinchi qobiq bitta orbitadan iborat bo'lib, ikkinchi va qolgan qobiqlar bir nechta orbitalar nimguruhidan iborat va 2(s, p); 3(s, p, d) va h.k. harflar bilan belgilanadi. Har bir qobiqdagi elektronlar soni $N_E = 2n^2$ ko'paytma bilan aniqlanadi. Masalan, K qobiqdagi elektronlar soni $N_E = 2 \cdot 1^2 = 2$, qobiq N dagi elektronlar soni $N_E = 2 \cdot 4^2 = 32$ ga teng. Kremniy va germaniyning tashqi qobiqlarida to'rtta-dan elektron mavjud.

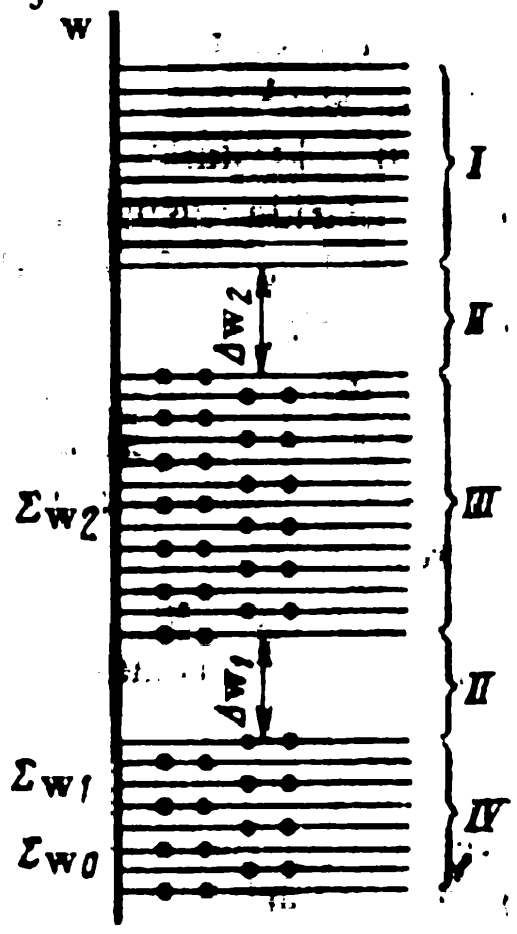
Bitta qobiqda joylashgan elektronlar bir xil energiyaga ega. Yadrodan uzoqroqda joylashgan elektronlar ko'proq potensial energiyaga ega bo'ladi. Elektronni yadrodan uzoqroq orbitaga o'tkazish uchun unga qo'shimcha energiya berish lozim, yadroga

yaqinroq orbitaga o'tish chog'ida elektron o'zidan to'lqin nurlanish kvanti ko'rinishida chiquvchi energiyani yo'qotadi.

Kvant fizikasi qoidalariga ko'ra mikrozarralar energiyasi muayan diskret qiymatlarnigina qabul qiladi. Shunga ko'ra ma'lum diskret qiymatli energiyaga ega bo'lgan elektronlar mos holda ma'lum energetik sathda joylashadi. Pauli prinsipiga ko'ra, bitta energetik sathda bir xil energiyali faqat ikkitagina elektron bo'lishi mumkin. Har bir energetik sath kristallda nechta atom bo'lishiga qarab shuncha nim sathlarga ajraladi.



2.3- rasm.
Elektronlarning orbita qobiqlarda joylashuvi



2.4 - rasm. Elektronlarning diskret energetik sathlari to'plami

Kristall panjaradagi qo'shni atomlar orasidagi masofa juda kichik bo'lib, taxminan nanometrning o'ndan bir ulushiga teng. Atomlar yaqinlashtirilganda mos qobiqlar elektronlarining energetik sathlari suriladi, natijada ularning uzliksiz spektri hosil

bo'ladi. Qattiq jism bir jinsli atomlari elektronlarning yaqin joylashgan diskret energetik sathlari to'plami energetik zonalarni (2.4- rasm) tashkil yetadi.

Kremniy kristallida quyidagi asosiy zonalarni ajratish mumkin: o'tkazuvchanlik *I*, ta'qiqlangan *II*, valent *III* va to'ldirilgan *IV*. Elektr o'tkazuv-chanlik nuqtayi nazaridan valent zona *III*, ya'ni valent elektronlar $\sum W_2$ ener-getik sathalari zonasi muhim ahamiyatga ega. Atomning tashqi elektron qobig'i tarkibiga kiruvchi valent elektronlar qolgan boshqa elektronlarga nisbatan eng katta energiyaga ega va tashqi omillar (temperatura, yorug'lik) ta'sirida o'tkazuvchanlik zonasi *I* ga mos keluvchi yanada yuqoriroq energetik sathga o'tishi mumkin. O'tkazuvchanlik zonasi energiyasiga ega bo'lgan elektronlar yadro bilan o'zaro bog'lanishini yo'qotadi va erkin elektronlarga aylanadi. Ta'qiqilangan zona *II* ni yengib o'tishi uchun, ya'ni yarimo'tkazgichlarda elektronlar valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishi uchun xona temperaturasi yyetarli bo'ladi.

Barcha modda atomlari yadro va uning atrofida berk orbitalar bo'yicha harakatlanuvchi elektronlardan iborat elektronlar yadro atrofida qat'iy aniq (ruxsat etilgan) orbitalarda harakatlanishi mumkin.

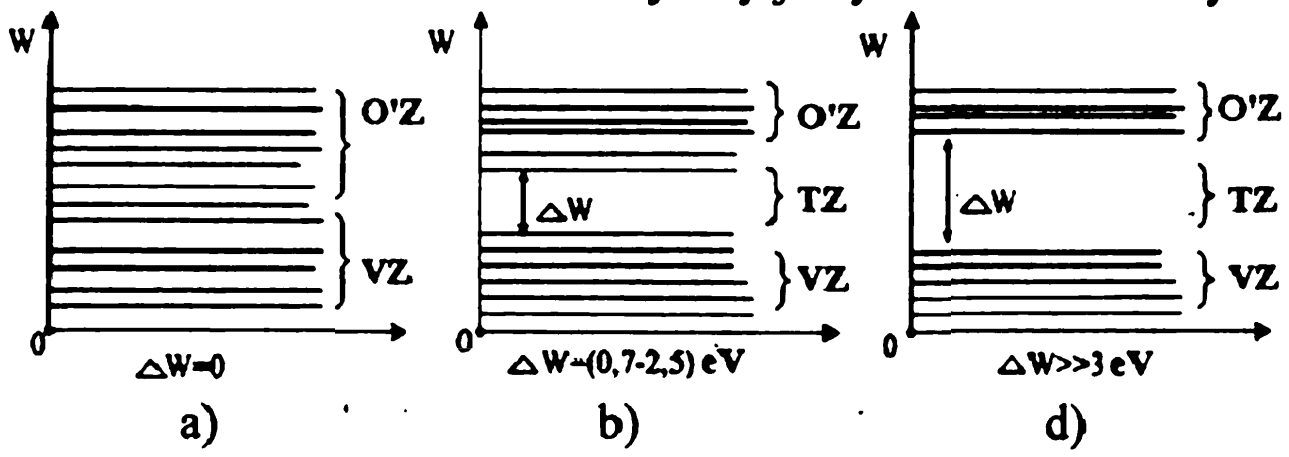
Har bir orbita elektronlari mu'ayan qiymatdagi energiyaga ega bo'lib, bu energiya qiymatlari energetik sathlar deb ataladi.

Elektronning bir orbitadan boshqasiga o'tishi uning energetik sathi o'zgarishi bilan bog'liq. Elektronni yuqori energiyali sathga o'tkazish (yadrodan ajratish) uchun biror energiya miqdori (kvant yoki foton) sarf qilish zarur. Elektron yadrodan uzoqroq orbitadan yaqinroq orbitaga o'tganda uning energiyasi kvant ko'rinishida nurlanadi.

Elektronlarning energetik sathlari bo'yicha taqsimlanishini energetik diagramma ko'rinishida tasvirlash mumkin (2.5-rasm).

Qattiq jism zonalari nazariyasiga ko'ra energetik sathlar zonalarga bo'lingan. Atom tashqi qobiqlari elektronlari valent

zona (VZ) ni tashkil etuvchi energetik sathlar qatorini to'ldiradi. Valent elektronlar elektr va kimyoviy jarayonlarda ishtirok yetadi.



2.5-rasm. Zonali energetik diagrammalar:
a)–o'tkazgich; b)–yarimo'tkazgich; d)–dielektrik.

Metallar va yarimo'tkazgichlarda ko'p sondagi elektronlar yuqoriroq energetik sathli elektr o'tkazuvchanlik zonasi (O'Z) da joylashgan. Bu zona elektronlari jismdagi tartibsiz harakatlari bilan bir atomdan boshqasiga o'tib yuradilar.O'Z dagi elektronlar o'tkazgich (metal)larda yuqori elektr o'tkazuvchanlikni ta'minlaydi.

O'tkazgich (metal)larda valent zona (VZ) o'tkazuvchanlik zonasi (O'Z) ga tutashib ketadi (2.5,a-rasm)..

Yarimo'tkazgichlarda valent zona o'tkazuvchanlik zonasidan ta'qiqlangan zona (TZ), ya'ni elektronlar mavjud bo'lmagan energetik sath bilan ajralib turadi (2.5,b-rasm).

Ta'qiqlangan sath kengligi ΔW elektronni ruxsat etilgan past energetik sathdan yuqorisiga o'tkazish uchun zarur bo'lgan energiya bilan aniqlanadi va elektron-volt (eV) da o'lchanadi. 1 eV-nuqtalari orasidagi potensiallari farqi
1 Volt bo'lgan elektr maydonda elektronni ko'chirish uchun zarur bo'lgan energiya.

Rusiy zabon adabiyotlarda zonali diagrammalar sathlari va bu sathlar farqlari potensiallar yoki potensiallar farqi bilan xarakterlanadi va voltlarda o'lchanadi. Masalan, kremniy uchun ta'qiqlangan zona kengligi 1,11 V deb belgilanadi.

Elektronikaga oid chet el adabiyotlarida energiya sathlari va ularning farqlari elektron-volt (eV) larda ifodalanadi. Masalan, kremniyli diodning ta'qiqlangan zonasi kengligi 1,11 eV deb belgilangan.

Mazkur o'quv qo'llanmada ham rusiy zabon, ham chet el adabiyotlaridagi belgilashlardan foydalanilgan.

U yoki bu qattiq jism elektr o'tkazuvchanligi ta'qiqlangan zona kengligi bilan aniqlanadi.

O'tkazuvchanlik zonasida elektronlar atom yadrolari bilan bog'lanishni yo'qotadi va tashqi elektr maydon ta'sirida modda atomlari orasida siljiy oluvchi erkin elektronlarga aylanadi.

O'tkazgichlarda ($\Delta W=0$) o'tkazuvchanlik zonasi va valent zona o'zaro tutashib ketgan. Oddiy temperaturalarda elektronlar bir zonadan boshqasiga oson o'tib, o'tkazuvchanlik zonasida ularning soni keskin ortib kyetadi. Bu elektronlar byetartib harakatlanadi. Potensiallar farqi ta'siri ostida ularni tartibli harakatlantirilsa tok yuzaga keladi.

Yarimo'tkazgichda ($\Delta W=0,7-2,5eV$) elektr o'tkazuvchanlik metallardagidan kam, lekin dielektriklardan ko'p. Oddiy sharoitda yarimo'tkazgichlarda mavjud bo'lgan erkin elektronlar ularni metallarga o'xshatib qo'yadi. Agar yarimo'tkazgich yetarli darajada sovitilsa u dielektrikga aylanadi, isitilsa yoki yoritilsa o'tkazgichga aylanadi.

Dielektrikda ($\Delta W \gg 3$ eV) ta'qiqlangan zona juda keng bo'lib, 8 eV ga yetishi mumkin(2.5,d-rasm). Elektronni ta'qiqlangan zonadan o'tkazish uchun unga sezilarli darajada katta energiya berish kerak. Ammo bunday katta energiyaning berilishi dielektrikning teshilishiga, ya'ni kristall panjaraning buzilishiga olib keladi. Dielektrikda o'tkazuvchanlik zonasida elektronlar juda kam.

Yarimo'tkazgichlarning o'tkazuvchanliklari aralashmaning mavjudligiga qattiq bog'liq bo'ladi.

Metallarda ta'qiqlangan zona bo'lmaganligi uchun ular yaxshi o'tkazuvchanlikka ega. Aksincha, dielektriklarda ta'qiqlangan

zona kengligi katta bo'lganligi sababli elektronlar valent zonalardan o'tkazuvchanlik zonasiga o'ta olmaydi va shuning uchun bunday moddalar elektr tokini o'tkazmaydi.

Yarimo'tkazgich materiallarning elektron texnikada ko'p qo'llaniluvchi turlari germaniy va kremniydir. Sof germaniy uchun ta'qiqlangan zona kengligi 300°K da 0,67 eV, erkin elektronlar kontsentrasiyasi $2{,}5 \cdot 10^{13} sm^{-3}$, solishtirma o'tkazuvchanligi 2,1 sm/m ga teng. Sof kremniy uchun ta'qiqlangan zona kengligi 300°K da 1,12 eV, erkin elektronlar konsentratsiyasi $6{,}8 \cdot 10^{10} sm^{-3}$, solishtirma o'tkazuvchanligi $1{,}6 \cdot 10^{-3} sm/m$ ga teng.

2.2. Aralashmasiz (xususiy) elektr o'tkazuvchanlik

Qattiq jismlar (o'tkazgich, yarimo'tkazgich va dielektriklar) odatda, kristall strukturaga ega. Har bir modda uchun kristall struktura ma'lum shakldagi, o'ziga xos bo'lgan fazoviy panjara ko'rinishida bo'ladi. Tugunlarida qanday zarralar joylashuviga qarab kristall panjaralar quyidagi turlarda bo'ladi:

1) ionli;
2) metalli;
3) molekulali;
4) atomli.

Ionli kristall panjaralar ishoralari qrama-qarshi bo'lgan va panjara tugunlarida navbatma-navbat joylashgan ionlardan tashkil topadi (masalan, osh tuzi).

Metalli panjara tugunlarida metallning faqat musbat ionlari joylashgan. Bunday kristallarda mavjud bo'lgan erkin elektronlar ionlar bilan ta'sirlashib, panjaraning barqarorligini ta'minlaydi (masalan, Mendeleyev davriy sistemasidagi birinchi guruh elementlar atomlari).

Molekulali panjaralar tugunlarida o'zaro kichik kuch bilan o'zaro bog'langan molekulalar joylashgan (masalan: muz).

Atomli kristall panjaralar tugunlarida atomlar joylashgan bo'lib, ular orasida kovalent yoki elektron juftli bog'lanishni hosil qiluvchi valent elektronlar uzluksiz siljishda bo'ladi.

Hozirgi paytda yarimo'tkazgich asboblarni tayyorlashda kremniy Si (Mendeleyev davriy sistemasi to'rtinchi guruh elementi) keng qo'llaniladi. Kremniy atomlari tashqi qobiqlarida to'rtta valent elektronlarga ega.

Murakkabroq moddalar ham qo'llanila boshlandi, masalan, kremniy karbidi SiC, galliy antimonidi GaSv, galliy arsenidi GaAs, galliy fosfidi GaP, indiy antimonidi InSv, indiy arsenidi InAs, indiy fosfidi InP va h.k.

Zonalar nazariyasidan foydalangan holda aralashmasiz va aralashmali yarimo'tkazgichlarning xususiyatlari va xossalarini kremniy misolida ko'rib chiqaylik. Elektr o'tkazuvchanligiga ta'sir etuvchi aralashmasi bo'lmagan yarimo'tkazgichlar aralashmasiz yoki xususiy yarimo'tkazgichlar deb ataladi. O'tkazuvchanligi aralashmalar tufayli yuzaga keluvchi yarimo'tkazgichlar aralashmali deyiladi.

Kremniyning elektr xususiyatlari va ularning aralashma atomlarga bog'liqligini xarakterlash uchun ikki o'lchovli kristall panjara tushunchasi kiritiladi. Kremniyning har bir atomi to'rtta qo'shni atomlar bilan kovalent bog'lanishiga ega bo'lganligi uchun bu bog'lanishni tekislikda ham tasvirlash mumkin.

Valent bog'lanishlarning to'yinishi, ya'ni ularning valent elektronlar bilan to'lishi faqat kristallga tashqi ta'sir ko'rsatilmagan holdagina bo'lishi mumkin. Tashqi ta'sirlar ichida issiqlik energiyasi jiddiy omillardan bo'lganligi uchun elektronlarning to'liq to'yingan bog'lanishlarda bo'lishi faqat absolyut nol temperatura (T= -273° C) da mavjud deb hisoblanadi. Kremniy kristalliga issiqlik energiyasi berish tufayli uning atomlari orasidagi valent bog'lanishlar buziladi, natijada elektronlar o'tkazuvchanlik zonasiga o'tish uchun yyetarli bo'lgan energiyani oladi. Bunday jarayon valent bog'lanishlar ionizatsiyasi deb ataladi.

Valent zonadagi bo'sh energetik sathlar, ya'ni ionlashgan valent bog'lanishlar o'tkazuvchanlik kovagi deb ataladi. Kovak musbat ishorali harakatchan zaryad tashuvchi bo'lib, uning valent zona sathlari bo'yicha siljishiga valent elektronlarining qarama-qarshi siljishi mos keladi.

Harakatchan va qarama-qarshi zaryadlangan elektron hamda kovak juftligining hosil bo'lishi elektron - kovak jufti generatsiyasi deb ataladi. Ko'rilayotgan holda harakatchan zaryad tashuvchilar juftligi issiqlik energiya . ta'siri ostida amalga oshganligi uchun bu jarayon termogeneratsiya deb ataladi.

Shunday qilib, termogeneratsiya natijasida aralashmasiz (xususiy) yarimo'tkazgichda ikki tipdagi zaryad tashuvchilar: konsentratsiyasi n_i bo'lgan elektronlar va konsentratsiyasi p_i bo'lgan kovaklar hosil bo'ladi.

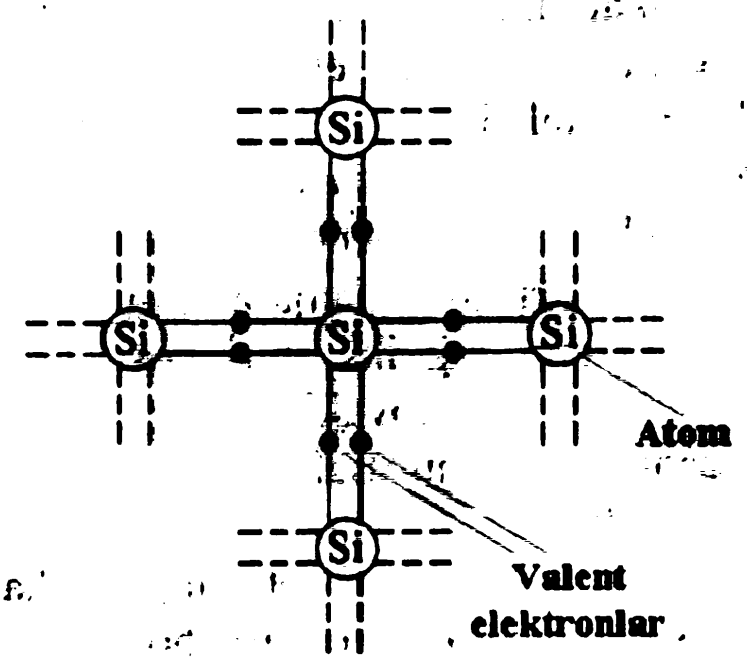
i -tipli deb ataluvchi xususiy yarimo'tkazgichlarda harakatchan elektron va kovak konsentratsiyalari teng, ya'ni $n_i = p_i$. Bunday zaryad tashuvchilar xususiy deb ataladi va ular xususiy elektr o'tkazuvchanlik hosil qiladi.

Xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi yarimo'tkazgich material-larning muhim parametrlaridan biri bo'lib, u yarimo'tkazgichning ta'qiqlangan zonasi kengligiga va temperaturaga bog'liq bo'ladi.Ta'qiqlangan zona qanchalik keng bo'lsa, xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi shuncha kam bo'ladi. Xona temperaturasi T = 27° C (300 K) bo'lganda kremniy, germaniy va arsenid galliyda hususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi mos holda 10^{13}, 10^{10} va 10^{8} sm^{-3} ga teng.

Kremniy kristall panjarasi asosida fazoviy shakl–tetraedr yotadi. Bunday kristall panjaralar "olmos" tipdagi panjaralar deb ataladi. Tetraedrning xarakterli jihati–markaziy atomning to'rtta burchakdagi atomlardan bir xil masofalarda joylashganidadir. Eslatib o'tamiz, tetraedr to'rtta uchburchakli yoqlarga ega bo'lgan to'g'ri ko'p yoqlik.

Panjara atomlari o'zaro tashqi (valent) elektronlar bilan bog'langan bo'lib, bu elektronlar o'z atomlari yadrosi bilan bir qatorda qo'shni atomlar yadrolari bilan ham ta'sirlashadi.

Kremniy kristallarida ikki qo'shni atomlar orasidagi bog'lanish har bir atomning bittadan elektroni, ya'ni ikki valent elektronlar bilan amalga oshadi. Buni 2.6-rasmda keltirilgan kristall panjaraning tekislikdagi sxemasida yaqqol ko'rish mumkin.



2.6-rasm. Kremniy kristall panjarasining tekislikdagi kesimi sxemasi

Absolyut nul temperatura (-273,16^{0}C) da sof kremniy kristallida erkin elektronlar bo'lmaydi, ya'ni yarimo'tkazgich dielektrik xususiyatiga ega. Temperatura absolyut nuldan yuqori bo'lganda (yoki qizdirilganda, yoritilganda, nurlatilganda va h.k.) kristall panjara mustahkamligi buziladi va erkin elektronlar yuzaga keladi. Bu elektronlar elektron juftlik bog'lanishidan uzilib, elektron o'tkazuvchanlikni hosil qiladi (erkin elektronlar soni unchalik ko'p bo'lmaydi masalan kremniyda normal sharoitda ularning soni taxminan
$1 \cdot 10^{-10}$ % ni tashkil yetadi).

Shunday qilib, yarimo'tkazgichlar metallar kabi elektron o'tkazuvchanlikka ega. Ammo yarimo'tkazgich metalldan farqli

holda kovak o'tkazuvchanlikga ham ega.Kristall panjaraning elektronlari chiqib ketgan joylarida zaryadi qiymati elektronnikiga teng bo'lgan musbat zaryadli atomlardan iborat kovaklar hosil bo'ladi.Bunday atomni shartli holda musbat ion deb atasa ham bo'ladi.Ammo shu narsani unutmaslik kerakki, masalan, elektrolitlardagi ionli elektr o'tkazuvchanlik ionlar ("sayohatchi ion") harakatidan iborat bo'lsa, kovakli o'tkazuvchanlikda kristall panjara ionlari harakat qilmaydi va o'z joyida qoladi.

Yarimo'tkazgich atomida elektronning yo'qligi shartli ravishda kovak deb ataladi. Bu shuni bildiradiki, atomda bitta elektron yetishmaydi, ya'ni bo'sh o'rin yuzaga keldi. Kovaklar o'zini musbat zaryadlangan elementar zarra sifatida tutadi.

Yarimo'tkazgich kristall panjarasidan elektron chiqishi chog'ida elektr zaryadlarning ikki turi hosil bo'ladi-elektronlar (manfiy elektr zaryadlar va kovaklar (musbat elektr zaryadlar), ya'ni zaryad tashuvchilar juftligi generatsiya (hosil bo'lish) jarayoni yuzaga keladi.

Elektron va kovaklar xaotik (byetartib) harakatda bo'lganligi sababli generatsiya jarayoniga teskari bo'lgan rekombinatsiya jarayoni ham yuzaga keladi, ya'ni elektronlar valent zonadagi bo'sh joylarni yana qayta egallaydi.

Agar elektr maydon mavjud bo'lsa, u holda zaryad tashuvchilarning xaotik harakati tartibli ko'rinishda amalga oshar edi. Bunda elektronlar musbat qutbga qarab harakat qilgan holda tokni yuzaga keltirsa, kovaklar elektron harakatiga qarama - qarshi yo'nalishda harakatlanadi, ya'ni kovaklar " dreyf" lanadi.

Yarimo'tkazgich elektr o'tkazuvchanligini uning energetik strukturasi yordamida batafsil tushintirish mumkin. Ma'lumki, yarimo'tkazgichlarda ta'qiqlangan zona kengligi ΔW nisbatan katta emas (germaniy uchun (ΔW=0,72 eV, kremniy uchun ΔW=1,12 eV). Absolyut nul temperatura (-273,16^{0}C) da yarimo'tkazgichlarda elektron va kovaklar bo'lmaydi, ya'ni u dielektrik hisoblanadi. Temperatura ortishi bilan yarimo'tkazgich elektr o'tkazuvchanligi ortadi, chunki qizish tufayli valent zonadagi elektronlar

qo'shimcha energiya oladi va o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi. O'tkazuvchanlik zonasiga o'tgan har bir elektron valent zonada bo'sh o'rin–kovak qoldiradi. Elektronlar soni kovaklar soniga teng.

Kovak–shartli tushuncha. Yarimo'tkazgichlarda elektr toki ikki turdagi, ya'ni erkin va valent elektronlar harakati tufayli yuzaga keladi.

Sof kremniy yoki germaniy kristallida elektron (kovalent) bog'lanishlar uzilgan vaqtda bir vaqtning o'zida elektron va kovak yuzaga keladi. Shu bilan bir vaqtda ular hosil bo'lgan zahotiyoq ularning rekombinatsiyasi yuz beradi.

Ortiqcha musbat yoki manfiy zaryadlar bo'lmagan o'tkazuvchanlik xususiy o'tkazuvchanlik deyiladi. Xususiy o'tkazuvchanlik uncha katta emas va sezilarli tokni yuzaga keltirmaydi. Aralashmasiz yarimo'tkazgich xususiy yoki i-tipdagi (inglizcha so'z "intrinsic" – tabiiy, xususiy) yarimo'tkazgich deb ataladi.

2. 3. Aralashmali elektr o'tkazuvchanlik

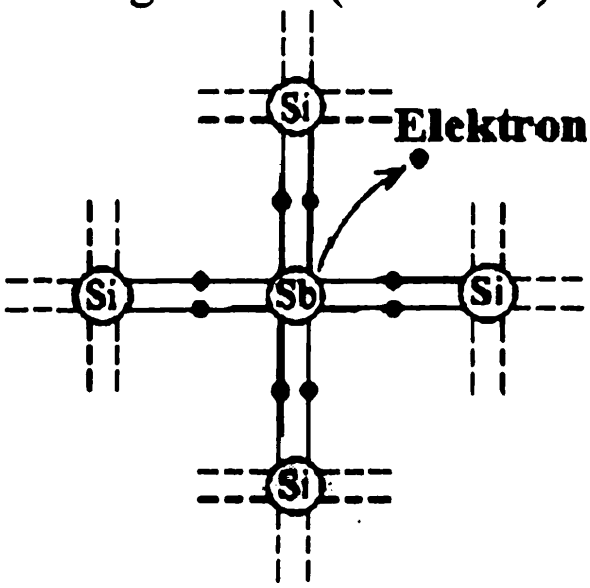
Yarimo'tkazgich o'tkazuvchanligi maxsus aralashmadan ma'lum miqdorda qo'shilganda, ya'ni legirlash chog'ida keskin ortadi.

Yarimo'tkazgichga besh valentli element (masalan, fosfor, surma yoki mishyak) atomi kiritilsa, uning to'rtta valent elektroni kremniyning qo'shni to'rtta atomi bilan valent bog'lanishlar hosil qiladi. Beshinchi valent elektron "ortiqcha" bo'lib qoladi, juda kuchsiz bog'lanishli bu elektronga ozgina issiqlik energiyasi berish bilan uni erkin zaryad tashuvchiga aylantirish mumkin.

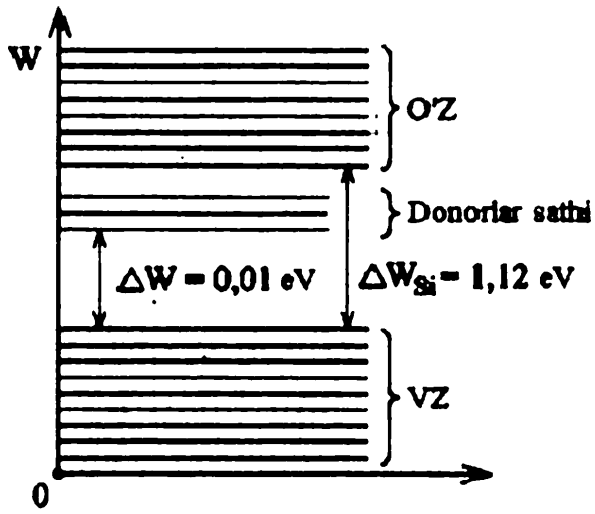
Mendeleyev davriy sistemasidagi beshinchi guruh kimyoviy elementlari tashqi qobig'ida beshta valent elektronga ega (masalan,surma Sb, mishyak As, fosfor P).

Faraz qilaylik, kremniyga besh valentli surma qo'shilgan bo'lsin. Surma atomlari kremniy atomlari bilan to'rtta elektronlari

orqali o'zaro ta'sirlashadi, beshinchi elektronni o'tkazuvchanlik zonasiga beradi (2.7- rasm).



2.7-rasm. Aralashmali elektron yuzaga kelishi o'tkazuvchanlikning



2.8-rasm. n-tipdagi yarimo'tkazgichning zonali diagrammasi

Atomlari elektronlarini beruvchi aralashmalar donorlar ("donor"–beruvchi) deb ataladi. Donorlar atomlari elektronlarini yo'qotgach, o'zi musbat zaryad-lanadi. Elektr o'tkazuvchanligi ortgan yarimo'tkazgich elektron yoki n-tipdagi yarimo'tkazgich deyiladi ("negative" – manfiy so'zining birinchi harfidan olingan). Bunda besh valentli elementning neytral atomi zaryadi valent elektron yo'qligi bilan belgilanuvchi musbat zaryadlangan ionga aylanadi. "Ortiqcha" elektronning valent bog'lanishini uzish va ion hosil qilish uchun zarur energiya aralashmaning ionlashishi energiyasi deb ataladi. Hosil bo'lgan musbat ion valent elektronlari bilan kremniy atomlariga mahkam bog'langan va shuning uchun kovaklar kabi siljiy olmaydi. Shunday qilib, yarimo'tkazgichga besh valentli aralashma atomi kiritilsa, harakatchan elektron va harakatsiz musbat zaryadlangan ion hosil bo'ladi. Bunda musbat zaryadlangan harakatchan kovaklar hosil bo'lmaydi.

n-tipdagi yarimo'tkazgichning zona diagrammasida (2.8-rasm) donor atomlarining energetik sathlari asosiy yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanlik zonasidan pastroqda

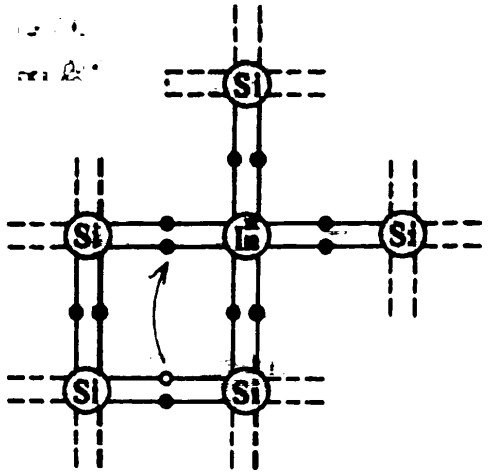
bo'ladi, shuning uchun donorning har bir atomidan elektron osongina o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi. Shunday qilib, elektronlarning qo'shimcha soni donor atomlari soniga teng.

Donor atomlarida kovaklar hosil bo'lmaydi. Shuni ta'kidlash kerakki, sof kremniy uchun ta'qiqlangan zona kengligi $\Delta W=1,12$ eV bo'lsa, surma qo'shil-gandan keyin taqiqlangan zona kengligi $\Delta W=0,01$ eV ga qadar kamayadi.

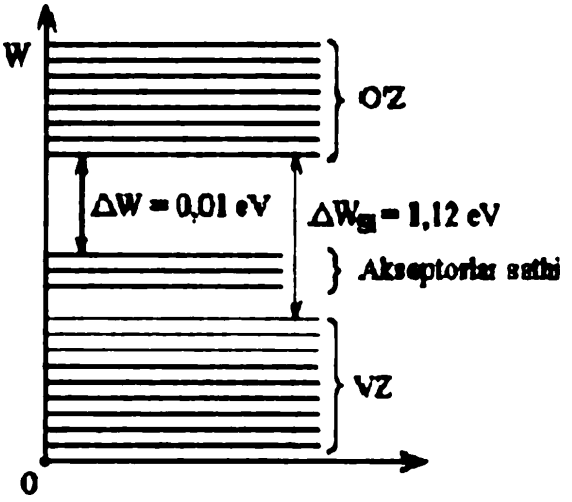
Yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligini, unga valent elektronlari soni kam bo'lgan kimyoviy element kiritish bilan ham orttirsa bo'ladi.

Mendeleyev davriy sistemasidagi uchinchi guruh kimyoviy elementlari tashqi qobig'ida uchta valent elektronga ega (masalan, indiy In, bor V, alumin Al, galliy Ga).

Faraz qilaylik, kremniyga uch valentli indiy qo'shilgan bo'lsin. Indiy aralashma atomlari kremniy atomlaridan elektronlarni tortib oladi va kremniy atomlarida kovaklar hosil bo'ladi (2.9-rasm).



2.9-rasm. Aralashmali kovak o'tkazuvchanlikning yuzaga kelishi



2.10-rasm. p-tipdagi yarim o'tkazgichning zonali diagrammasi

Elektronlarni tortib oluvchi va aralashmali kovak elektr o'tkazuvchanlikni yuzaga keltiruvchi moddalar akseptorlar (akseptor-qabul qiluvchi) deb ataladi. Akseptor atomlari elektronlarni egallagach o'zlari manfiy zaryadlanadi.

Indiy qo'shilganda ham taqiqlangan zona kengligi $\Delta W=0,01$ eV ga qadar kamayadi (2.10-rasm).

Kovak elektr o'tkazuvchanligi ortgan yarimo'tkazgich kovakli yoki
p-tipdagi yarimo'tkazgich deyiladi ("positive"–musbat so'zining birinchi harfidan olingan).

Akseptor atomlarining energetik sathlari valent zonadan yuqoriroqda joyla-shadi. Bu sathlarga valent zona elektronlari osongina o'tib kyetadi va valent zonada kovaklar hosil bo'ladi.

Aralashmalar konsentratsiyasi odatda juda kam bo'ladi. Aralashmaning bitta atomiga yarimo'tkazgichning taxminan 10 mln atomi to'g'ri keladi, natijada uning kristall panjarasi strukturasi o'zgarmasdan saqlanadi. Ammo sof yarim-o'tkazgichga juda oz miqdorda qo'shilgan donorli yoki akseptorli aralashma uning o'tkazuvchanligini yuz ming–million marta oshirib yuborishi mumkin.

Aralashmali elektr o'tkazuvchanlik xususiy elektr o'tkazuvchanlikdan katta bo'lishi uchun donorli N_d yoki akseptorli N_a atomlar konsentratsiyalari xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi ($n_i = p_i$) dan katta bo'lishi kerak. Amalda aralashmali yarimo'tkazgich tayyorlashda N_d yoki N_a miqdorlari n_i yoki p_i ga qaraganda bir necha marta katta bo'ladi. Masalan, xona temperaturasida $n_i=p_i=10^3$ sm^{-3} konsentratsiyaga ega bo'lgan germaniy uchun N_d va N_a larning har biri qiymati 10^{15}–10^{18} sm^{-3}, ya'ni xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasidan 10^2 -10^5 marta katta bo'lishi mumkin.

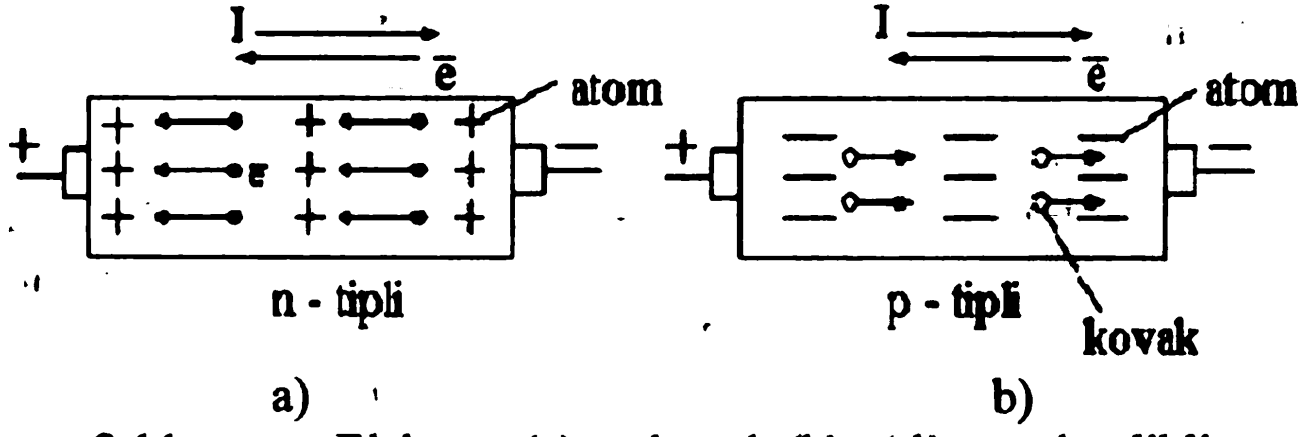
Mu'ayan yarimo'tkazgichda konsentratsiyasi ko'p bo'lgan zaryad tashuvchilar asosiy zaryad tashuvchilar deb ataladi (n-tipdagi yarimo'tkazgichda elektronlar, p- tipdagi yarimo'tkazgichda kovaklar). Konsentratsiyasi asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasidan kam bo'lgan zaryad tashuvchilar asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar deb ataladi (n-tipdagi yarimo'tkazgichda kovaklar, p-tipdagi yarimo'tkazgichda elektronlar).

Aralashmali yarimo'tkazgichda asosiy bo'lgan zaryad tashuvchilar konsen-tratsiyasi necha marta ortsa, asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentrat-siyasi shuncha marta kamayadi.

Turli tipdagi elektr elektr o'tkazuvchanlikli yarimo'tkazgich orqali tok o'ti-shini asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni hisobga olmagan holda ko'rib o'taylik.

2.11-rasmda kovaklar yorug', elektronlar qora aylanalar bilan ko'rsatilgan. Kristall panjaraning zaryadlangan atomlari mos holda "+" yoki "–" ishoralar bilan belgilangan.

n-tipdagi yarimo'tkazgichda manba elektr yurituvchi kuchi ostida yarim-o'tkazgichni manba bilan ulovchi simlarda va yarimo'tkazgichning o'zida elektronlar harakatlanadi. p-tipdagi yarimo'tkazgichda ulovchi simlarda yana elektronlar harakatlanadi, yarimo'tkazgichning o'zida kovaklar harakati tokni yuzaga keltaradi. Manfiy qutbdan kelgan elektronlar yarimo'tkazgichga o'tadi va unga keluvchi kovaklarni to'ldiradi. Musbat qutbga yarimo'tkazgich qo'shni qismlaridan elektronlar oqib keladi va bu qismlarda chap chet qismdan o'ng chet qismga siljuvchi kovaklar hosil bo'ladi.



2.11-rasm. Elektron (a) va kovak (b) o'tkazuvchanlikli yarimo'tkazgichlarda toklar yo'nalishi

Elektrotexnikada tok yo'nalishi shartli ravishda "musbat"dan "manfiy"ga qarab qabul qilingan. 2.11-rasmda elektronlarning haqiqiy yo'nalishi ko'rsatilgan.

Yarimo'tkazgichda o'tkazuvchanlik tokidan tashqari (zaryad tashuvchilar dreyfi) zaryad tashuvchilar konsentratsiyalari farqi tufayli yuzaga keluvchi diffuziya toki ham bo'lishi mumkin.

Agar zaryad tashuvchilar yarimo'tkazgich bo'yicha tekis taqsimlangan bo'lsa, ularning konsentratsiyasi muvozanatlangan deyiladi. Tashqi ta'sirlar ostida yarimo'tkazgichning turli qismlarida konsentratsiya muvozanatlashmagan bo'lib qolishi ham mumkin.

Zaryad tashuvchilar xususiy kinetik energiyaga ega bo'lib, ular katta konsen-tratsiyali joydan kichik konsentratsiyali joyga o'tadi, ya'ni bir tekis taqsimla-nishga harakat qilishadi. Natijada diffuziya toki J_{dif} yuzaga keladi. Bu tok ham o'tkazuvchanlik toki kabi elektronli yoki kovakli bo'lishi mumkin. Bu toklar-ning zichliklari quyidagicha aniqlanadi:

$$J_{n\,dif} = qD_n \frac{\Delta n}{\Delta x}, \qquad (2.1)$$

$$J_{p\,dif} = qD_p \frac{\Delta p}{\Delta x}, \qquad (2.2)$$

bunda q– elektron zaryadi;

D_n, D_p – diffuziya koeffitsiyentlari;

$\frac{\Delta n}{\Delta x}, \frac{\Delta p}{\Delta x}$ – elektronlar va kovaklar konsentratsiyalari gradiyenti.

Konsentratsiya gradiyenti birlik uzunlikda elektron va kovaklar konsent-ratsiyalarining qanchaga o'zgarishini xarakterlaydi. Agar konsentratsiyalar farqi bo'lmasa, ya'ni $\Delta n = 0$ va $\Delta p = 0$ bo'lsa, diffuziya toki ham bo'lmaydi.Berilgan Δx masofada konsentratsiyalar o'zgarishlari Δn va Δp qancha katta bo'lsa, diffuziya toki ham shuncha katta bo'ladi.

Diffuziya koeffitsiyenti diffuziya jarayoni jadalligini xarakterlaydi.U zaryad tashuvchilar ildamligiga to'g'ri mutanosib, turli moddalar uchun turlicha va temperaturaga bog'liq. Uning o'lchov-birligi sekundiga santimetr kvadratda. Diffuziya koefitsiyenti elektronlar uchun kovaklarga qaraganda doim katta. Masalan, xona temperaturasida germaniy uchun D_n=98 va D_p =47 sm^2 /s, kremniy uchun esa D_n=34 va D_p =12 sm^2 /s . Kovak

diffuziya toki zichligi formulasidagi "minus" ishora kovak tokining kovak konsentratsiyasi kamayishi tomonga yo'nalishini ko'rsatadi.

2.4. Elektron - kovak o'tish va uning xususiyatlari

Amalda birida elektron o'tkazuvchanlik, ikkinchisida kovakli o'tkazuv-chanlik kuchli bo'lgan ikki yarimo'tkazgich tutashtirilgan holda kontakt hosil qilinganda yuzaga keluvchi jarayonlar ko'plab yarimo'tkazgich va mikroelek-tron asboblarning ishlash asosini tashkil yetadi. Chegara qatlamning elektr xususiyatlari, tashqaridan beriluvchi kuchlanishning qiymatiga hamda uning qutbiga bog'liq. Agar chegara qatlamlar nochizig'iy volt-amper xarakteristika (VAX) ga ega bo'lsa, ya'ni ularning elektr qarshiligi kuchlanishning bir qutbida boshqa qutbisiga qaraganda katta bo'lsa, bunday qutblar to'g'rilovchi o'tishlar deb ataladi. O'tishlarning nochizig'iy xususiyatlaridan elektr tokini to'g'rilash, elektr signallarini hosil qilish, o'zgartirish, kuchaytirish va h. k. lar uchun qo'llaniladi.

Turli tipdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan ikki yarimo'tkazgich tutashuvi chog'ida n - tipli yarimo'tkazgichdagi me'yeoridan ko'p elektronlar p-tipdagi yarimo'tkazgichga, p-tipli yarimo'tkazgichdagi me'yeoridan ko'p kovaklar n-tipdagi yarimo'tkazgichga o'tadi va bu jarayon p–n o'tish yoki elektron-kovak o'tish deyiladi.Turli yarimo'tkazgich plastinkalarini oddiy tekkizish bilan elektron-kovak o'tishni amalga oshirib bo'lmaydi, chunki plastinkalar orasida havo qatlami yoki ularda yuza plyonkalar bo'lishi mumkin.

Elektron-kovak o'tishni bitta monokristallning qo'shni sohalariga turli aralashmalarni eritish, diffuziya, diffuziya-eritish va boshqa texnologik usullardan foydalanib kiritish orqali olinadi.

Masalan, kremniyli elektron-kovak o'tishni tayyorlash uchun dastlabki material sifatida solishtirma qarshiligi 1,0–1,2 Om.m

bo'lgan elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan o'ta sof kremniy monokristali qo'llaniladi.

Tutashuv xususiyatlarini xarakterlash uchun Fermi sathi tushunchasi kiritiladi.

Fermi sathi E_F deganda atomning tashqi qobig'ida joylashgan elektronlarning o'rtacha energiyasiga mos keluvchi energiya sathi tushuniladi. Bu sath yarimo'tkazgichning ta'qiqlangan zonasi ichida, shuningdek o'tkazuvchan zona tubidan yuqori yoki valent zona yuqori qismidan pastda joylashishi mumkin. Fermi sathining nisbiy holatini energetik sathi E_i bo'lgan ta'qiqlangan zonaning o'rtasidan hisoblash qulay. Fermi sathining zona diagrammasidagi holati yarimo'tkazgichlardagi harakatchan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga va temperaturaga bog'liq.

Ma'lumki, n-tipli yarimo'tkazgichda asosiy zaryad tashuvchilar elektronlar bo'lib, ular $E_Д$ sathdan yuqorida joylashgan energetik sathlarni egallagan va tashqi qobiqlardagi valent elektronlar energiyasiga nisbatan birmuncha kattaroq energiyaga ega. Shuning uchun Fermi sathi E_V sathdan yuqori holatni egallagan.

p-tipli yarimo'tkazgichda asosiy zaryad tashuvchilar kovaklar bo'lib, o'tkazuvchanlik zonasi sathlarida elektronlar soni uncha ko'p emas va ularni valent zonadan olib tashlash uchun ta'qiqlangan zona kengligidan kattaroq energiya sarf qilinadi.

p-tipli o'tkazgichda elektronlarning E_A energetik sathdan pastda joylashgani uchun Fermi sathi E_i sathdan pastki holatda bo'ladi.

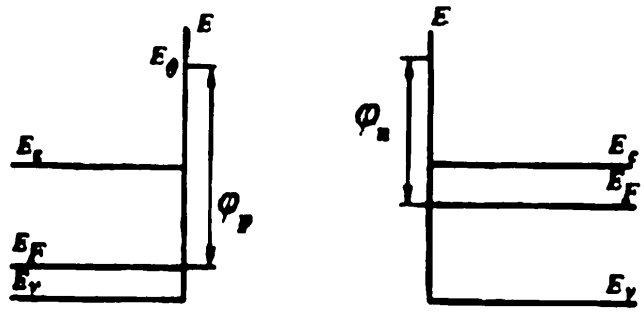
Agar temperatura o'zgarmas bo'lib, donor yoki akseptor atomlar konsentratsiyasi o'zgarsa Fermi sathi ta'qiqlangan zonaning o'rtasiga nisbatan o'z holatini o'zgartiradi. Bunda donor va akseptor atomlar konsentrat-siyalarining ortishi Fermi sathining E_i sathdan mos holda yuqoriga va pastga surilishiga olib keladi. Temperatura ortishi "energiyali" elektronlar konsentrat-siyasini oshiradi bu o'z navbatida Fermi sathining

uning pastroq temperaturadagi holatidan yuqoriroqga surilishini keltirib chiqaradi. Agar Fermi sathi ta'qiqlangan zona ichida bo'lsa, bunday yarimo'tkazgich tug'ilishi tugallanmagan, agar Fermi sathi ruxsat etilgan energetik zonalardan biri ichida joylashgan bo'lsa, bunday yarimo'tkazgich tug'ilishi tugallangan deb ataladi.

Yarimo'tkazgichning erkin elektronlari uning ionlari bilan o'zaro ta'sirla-shadi. Demak, yarimo'tkazgich ichidagi yarim elektronlar energiyasi erkin elektronlar energiyasidan kichik bo'lishi lozim. Elektronlar yarimo'tkazgichdan vakuumga o'tishi uchun ularga kinetik energiya berish kerak. Elektronni yarimo'tkazgichdan chiqarish uchun zarur bo'lgan eng kam energiya chiqish ishi deb ataladi. Ixtiyoriy energetik sathda mavjud bo'lgan elektronning chiqish ishini aniqlash mumkin. Har qanday yarimo'tkazgich elektronning o'rtacha chiqish ishi uni Fermi sathidan cheksizlikga chiqarib yuborish uchun lozim bo'lgan energiyaga teng.

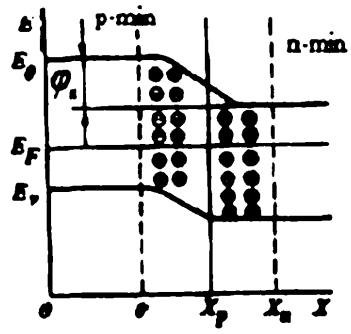
2.12 - a,b rasmda o'zaro ta'sirlashmagan bir tekis legirlangan p va n – tipli yarimo'tkazgichlarning zonalari bo'yicha energetik diagrammalari ko'rsatilgan bo'lib, bunda E_0– energiyasi erkin elektron, ya'ni yarimo'tkazgichdan chiqarib yuborilgan va yarimo'tkazgichlarda mavjud bo'lgan elektronlar hamda ionlar bilan o'zaro ta'sirlashmaydigan elektron energiyasiga mos keluvchi sath. p va n - tipli yarimo'tkazgichlardan chiqish ishlari φ_p va φ_n ularning E_0 va E_F sathlari holatlari orasidagi farq sifatida aniqlanadi.

Termodinamik muvozanat chog'ida Fermi sathi p va n - tipli yarimo'tkazgichlarda bir hil holatni egallaydi, bu esa p–n o'tish energetik diagrammalarini sodda ko'rinishda tasvirlash imkonini beradi (2.13 - rasm). Bunda hosil bo'lgan potensial to'siq balandligi p va n - tipli yarimo'tkazgichlardan chiqish ishlari ayirmasi (farqi)ga teng.



a) b)

2.12 - rasm. Bir tekis legirlangan p va n - tipli yarimo'tkazgichlarning zonalari bo'yicha energetik diagrammalari



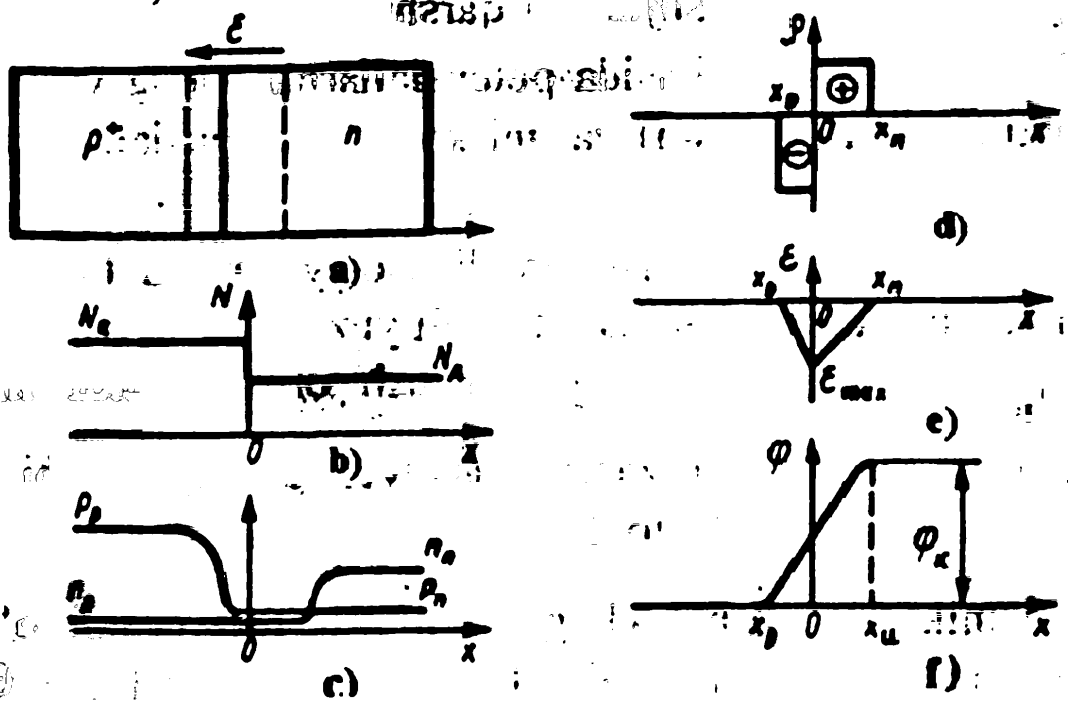
2.13 - rasm. Termodinamik muvozanat vaqtida Fermi sathi

Elektron - kovak (p-n) o'tishning asosiy xususiyatlarini bir xil legirlanmagan va elektr o'tkazuvchanligi tipi bo'yicha qarama-qarshi bo'lgan ikkita yarimo'tkazgich tutashishi misolida ko'rib o'tamiz. Yarimo'tkazgich ichida elektron-kovak o'tishni (2.14,a-rasm) uning bir qismiga konsentratsiyasi N_a bo'lgan akseptor aralashmali atomlarni, boshqa qismiga esa konsentratsiyasi N_d bo'lgan donor aralashmali atomlarni kiritish yo'li bilan (2.14,b - rasm) olish mumkin. Xona temperaturasida barcha aralashmali atomlar ionlashgani sababli p-sohadagi kovaklar va n-sohadagi elektronlar konsentratsiyalari, ya'ni ikki yarimo'tkazgichning bo'linish chegarasidan ma'lum uzoqlikda joylashgan asosiy zaryad tashuvchilarni mos holdagi aralashmalar atomlarining konsentratsiyasiga teng deb hisoblash mumkin.

Termodinamik muvozanat sharoitlarida, ya'ni tashqi elektr maydon yo'qligida asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga ko'paytmasi ayni shu yarimo'tkazgichda o'zgarmas bo'lib, p va n-tipli yarimo'tkazgichlar uchun $p_p n_p = n_i^2$ va $n_n p_n = n_i^2$ munosabatlar bilan ifodalanadi, bunda p_p, n_n va p_n, n_p - mos holda asosiy va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning teng vaznli konsentratsiyalari. Agar akseptorlar konsentratsiyasi N_a donorlar konsentratsiyasi $N_Д$ dan katta

bo'lsa, p-sohadagi kovaklarning teng vaznli konsentratsiyasi $P_p \approx N_a$, n - sohadagi elektronlarning teng vaznli konsentratsiyasi $n_n \approx N_д$ bo'ladi.

p-sohadagi kovaklar konsentratsiyasi n-sohadagi kovaklar konsentratsiyasidan bir muncha ko'p bo'lgani uchun kovaklar diffuziya ta'siri ostida p-sohadan n-sohaga o'tadi. Bunda o'tish chegarasining p-sohasida akseptorlar ionlari kompensatsiyalanmay qoladi va manfiy hajmiy zaryad $Q_n = -qN_a^-$ vujudga keladi. Kovaklar n - sohaga o'tib elektronlar bilan rekombinatsiyalanadi, natijada bo'linish chegarasi yaqinidagi n - sohada elektronlar konsentratsiyasi kamayadi (2.14,c - rasm).



2.14 – rasm. Elektron- kovak o'tish (a) va uning asosiy xususiyatlari (b,c,d,e,f)

Xuddi shunday jarayonlar elektronlarni n-sohadan p-sohaga siljitish vaqtida ham yuzaga keladi. Bunda n-sohada donor ionlarning hajmiy zaryadlari kompensatsiyalanmay qoladi va musbat hajmiy zaryad $Q_p^+ = qN_д$ vujudga keladi.

Yarimo'tkazgichlar bo'linish chegarasining ikki tomonida hajmiy zaryadlarning taqsimlanishi 2.14, d - rasmda ko'rsatilgan. Bunday taqsimlanish natijasida x_p va x_n chegarali hajmiy zaryad sohasi hosil bo'ladi va bu sohada harakat qiluvchi elektron va kovaklar amalda mavjud emas. Shuning uchun hajmiy zaryad sohasi juda yuqori solishtirma qarshilikga ega bo'ladi va uni tambalovchi qatlam deyiladi.

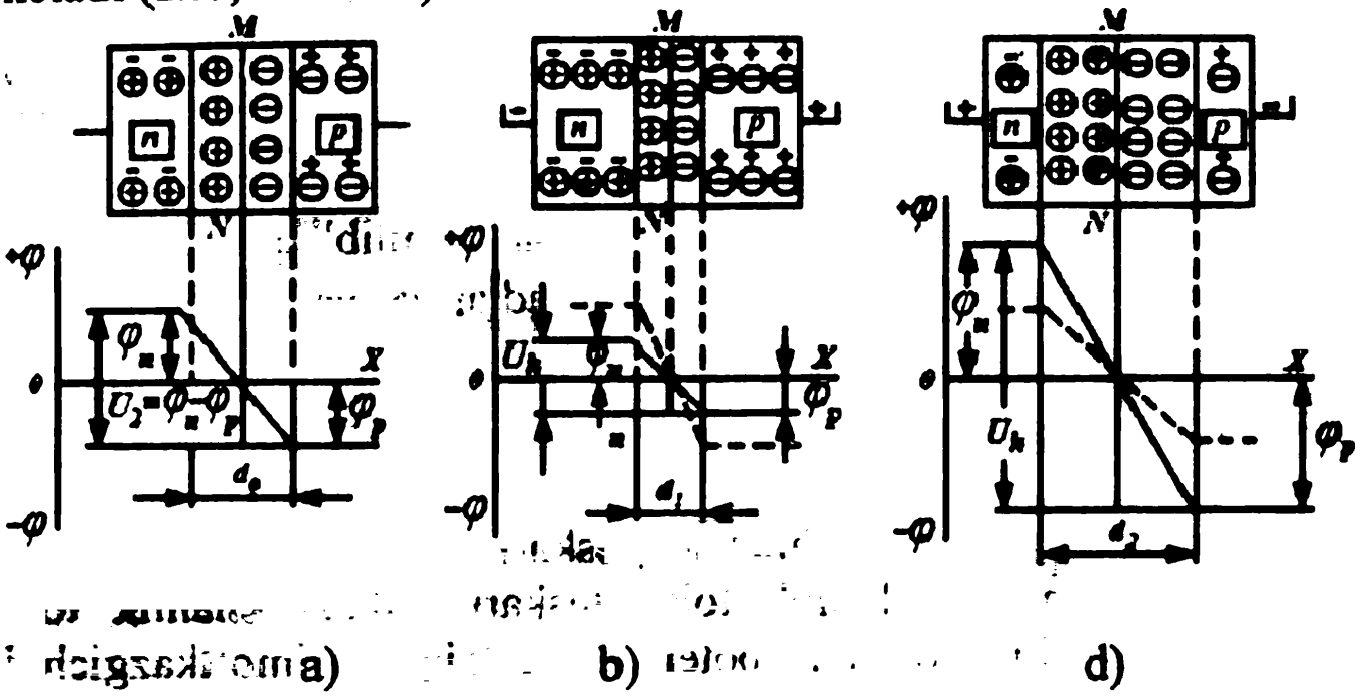
Hajmiy zaryad sohasida qo'zg'almas musbat va manfiy zaryadlarning paydo bo'lishi yo'nalishi n-sohadan p-sohaga yo'nalgan elektr maydonining hosil bo'lishiga olib keladi (2.14,e - rasm). Elektr maydon kuchlanganligi ortganda kovaklarning p-sohadan n-sohaga va elektronlarning qarama - qarshi yo'nalishidagi diffuziya siljishiga qarshilik qiluvchi $F = qE$ kuch ortadi. Bu jarayonlar natijasida potensiallarning teng vaznli farqi φ_K o'rnatiladi (2.14,f -rasm) va uni kontakt potensiallar ayirmasi deb ataladi.

Shunday qilib, p–n o'tish orqali asosiy zaryad tashuvchilar elektron va kovaklarning siljishi tufayli yuzaga keluvchi diffuziya toklari I_{pD} va I_{nD}, hamda p–n o'tish orqali elektr maydon ta'sirida asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning siljishi tufayli yuzaga keluvchi dreyf toklari I_{pE} va I_{nE} oqib o'tadi. Termodinamik muvozanat chog'ida p–n o'tish orqali o'tuvchi toklar yig'indisi nolga teng, ya'ni $I_{pD} + I_{nD} + I_{pE} + I_{nD} = 0$.

Hajmiy zaryad sohasi sig'im xususiyatiga ega. Bu soha kengligi $d = X_n - X_p$ ni kondensatorning ikki elektrodi orasidagi masofa deb qarash mumkin. Bu masofa tutashuvchi yarimo'tkazgichlarning legirlanish darajasiga va p–n o'tishga qo'yilgan tashqi kuchlanishga bog'liq holda o'zgaradi.

p–n o'tish vaqtida tutashish chegarasidan o'tgan elektron va kovaklar bir birlari bilan to'qnashib rekombinatsiyalanadi, ya'ni bir birini kompensatsiyalaydi. Shu tufayli MN chegara bo'ylab

chapda „ochilib" qolgan musbat ionlar (masalan, o'zining ortiqcha elektronlarini yo'qotgan fos-for atomlari), o'ngda esa „ochilib" qolgan manfiy ionlar (masalan, fosfor elektronlari bilan o'z kovaklarini to'ldirgan indiy atomlari) vujudga keladi. Bu esa o'z navbati da φ_n va φ_p potensialli hajmiy zaryad hosil bo'lishiga olib keladi (2.15, *a* - rasm).



2.15 – rasm. p–n o'tishda(a) kontakt potensiallar ayirmasining o'zgarishi (b,d)

Bu zaryadlar ayirmasi $U_k = \varphi_n - \varphi_p$ kontakt potensiallar ayirmasi deyiladi va zaryadlarning diffuziyalanishiga yo'l qo'ymaydigan potensial to'siqni hosil qiladi. Natijada p–n o'tishda tok hosil bo'lmaydi.

Agar yarimo'tkazgichning p va n qatlamlariga ma'lum qutblanishdagi kuchlanish ulansa, p–n o'tishda keskin o'zgarish ro'y beradi. Tashqi kuchlanishning musbat qutbi p qatlamga, manfiy qutbi n qatlamga ulansa, bu kuchlanish ta'sirida p qatlamning manfiy ionlari chegara oldi qatlamni tark yetadi, bunda manfiy hajmiy zaryad va φ_p kamayadi. Xuddi shunga o'xshash tashqi manbaning manfiy qutbi potensiali ta'sirida musbat hajmiy zaryad va φ_n kamayadi. Natijada potensial to'siq

$U_k = \varphi_n - \varphi_p$ kamayadi. Hajmiy zaryadlar kamayishi hisobiga p - n qatlam ham kichrayadi, ya'ni $d_1 < d_0$ (2.15, b - rasm) bo'ladi. Tashqi kuchlanishiing bunday ulanishi to'g'ri ulanish deyiladi va u yarimo'tkazgichlarda to'g'ri o'tkazuvchanlik tokini hosil qiladi. Yarimo'tkazgichlar esa o'tkazgichlar hususiyatiga ega bo'lib qoladi.

Tashqi kuchlanishning musbat qutbini n qatlamga, manfiy qutbini esa p qatlamga ulaymiz. Bunda erkin elektronlar manbaning musbat qutbiga, kovaklar esa manfiy qutbiga tomon harakatlanadi. Chegara oldi qatlamda esa "ochilib" qolgan musbat va manfiy ionlar ko'payib, xajmiy zaryadlar, φ_n va φ_p potensiallar ortadi. Potensial to'siq $U_K = \varphi_n - \varphi_p$ ham ortadi.

p - n o'tishning kengligi ham ortadi, ya'ni $d_2 > d_0$ bo'ladi (2.15,d - rasm).

Bunday ulangan kuchlanish teskari kuchlanish, u tufayli yuzaga kelgan juda kichik tok teskari o'tkazuvchanlik toki deyiladi. Keskin ortgan potensial to'siq yarimo'tkazgichni izolyatorga aylantiradi.

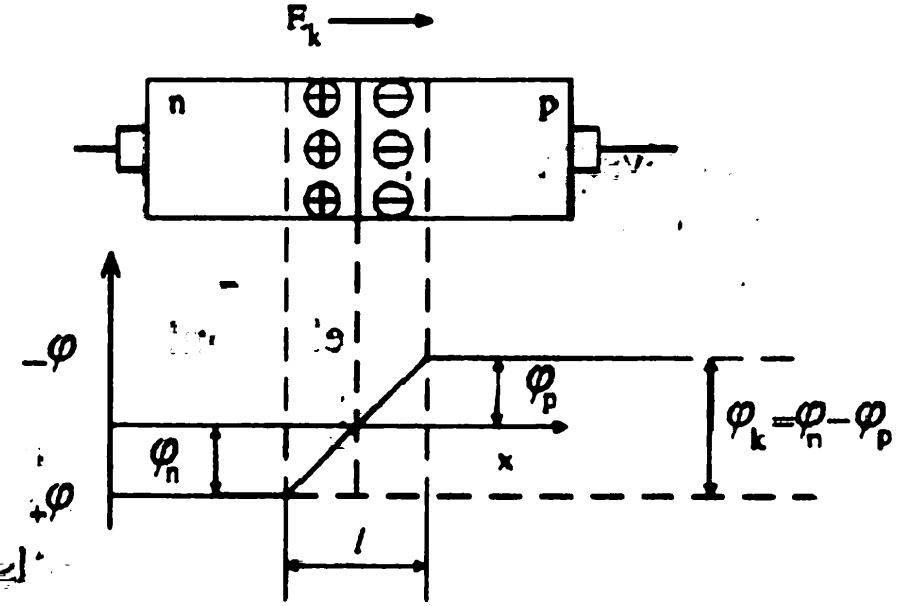
Elektron-kovak o'tishga ulangan teskari ulanish katta qiymatlarga erishganda juda kichik teskari tok hosil bo'ladi. Agar teskari kuchlanish qiymatini yana ham orttirilsa, uning ma'lum bir (kritik) qiymatida o'tishning teskari toki keskin ortadi. Bu holda zanjirda cheklovchi qarshilik bo'lmasa p–n o'tishining teshilishi yuz beradi. Quyida elektron-kovak o'tishga tashqi kuchlanish berilmaganda, tashqi to'g'ri kuchlanish berilganda va tashqi teskari kuchlanish berilganda unda yuzaga keluvchi jarayonlar bilan batafsilroq tanishib o'tamiz.

2.4.1. Tashqi kuchlanish bo'lmaganda elektron-kovak o'tish

Turli tipdagi o'tkazuvchanlikka ega ikki yarimo'tkazgich o'zaro tutashgunga qadar elektron, kovakr va qo'zg'almas ionlar tekis taqsimlangan bo'ladi.

Elektron-kovak o'tish chog'ida asosiy zaryad tashuvchilarning konsentratsiyalari turlicha bo'lganligi tufayli tutashish tekisligi orqali diffuziyali oqim yuzaga keladi, ya'ni elektronlar n qatlamga o'ta boshlaydi. Diffuziya-lanuvchi elektron va kovaklar o'zlari asosiy bo'lmagan sohalarga o'tgach bir zumda rekombinatsiyalanadi. Buning natijasida kontakt tekisligiga tegib turuvchi sohalardagi erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi xususiy daraja-dagi konsentratsiyasigacha keskin kamayadi. Bu o'z navbatida elektron-kovak o'tish chegarasida yuqori qarshilikka ega bo'lgan berk (berkituvchi) deb ataladigan yupqa (bir necha mikrometr) qatlamni hosil qiladi.

Chegara sohalardan asosiy zaryad tashuvchilarning ketishi yarimo'tkazgich panjaralari bilan bog'langan qo'zg'almas donor va akseptorlarning ortiqcha elektr zaryadlari kompensatsiyalanmagan holatni vujudga keltiradi, ya'ni yarimo'tkazgichlarning bo'linish chegaralari ikki tomonida turli ishorali hajmiy zaryadlar paydo bo'ladi (2.16-rasm).



2.16-rasm. Tashqi kuchlanish bo'lmaganda p – n o'tishning hosil bo'lish sxemasiva uning potensial diagrammasi

n-sohadagi musbat elektr zaryad, asosan, donorli aralashmaning musbat zaryadlangan atomlari va qisman bu sohaga kelib qolgan kovaklardan paydo bo'ladi.

p-sohadagi manfiy elektr zaryad, asosan, akseptorli aralashmaning manfiy zaryadlangan atomlari va qisman bu sohaga kelib qolgan elektronlardan paydo bo'ladi.

Yuzaga kelgan hajmiy zaryadlar orasida kontakt potensiallar farqi va elektr maydon hosil bo'ladi (2.16-rasm). Shunday qilib, zaryad tashuvchilarning diffuziyali o'tishiga to'sqinlik qiluvchi potensial baryer (to'siq) paydo bo'ladi.

2.16-rasmdagi belgilashlar: $\varphi_k = \varphi_n - \varphi_p$ kontakt potensiallar farqi, E_k - elektr maydon kuchlanganligi vektori, l - p–n o'tish qalinligi. p–n o'tishning potensial to'siq balandligi kontakt potensiallar farqi φ_k bilan aniqlanadi. O'z navbatida φ_k turli sohalar konsentratsiyalariga bog'liq bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega:

$$\varphi_k = \varphi_i \cdot \ln \frac{n_n p_p}{n_i^2}, \qquad (2.3)$$

Bunda φ_t – issiqlik potensiali,

$$\varphi_i = \frac{kT}{q}, \qquad (2.4)$$

bunda k-Boltsman doimiysi (k=1,38·10^{-19} j/K=8,6·10^{-5} eV/K);
T-absolyut temperatura, K;
q-elektron zaryadi (q=1,6·10^{-19} Kl);
n_n, p_p - n va p sohalardagi elektronlar va kovaklar konsentratsiyalari;
n_i – legirlanmagan yarimo'tkazgichdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi.

Aralashmalar konsentratsiyasi qancha ko'p bo'lsa, asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi shuncha ko'p va chegaradan diffuziyalanuvchi zaryadlar soni ham shuncha ko'p bo'ladi. Hajmiy zaryadlar zichligi, φ_k va potensial to'siq balandligi ortadi, hajmiy zaryadlar kichik qalinlikdagi chegara qatlamlarda yuzaga keladi shuning uchun l kamayadi. Germaniy uchun, masalan aralash-malar o'rtacha konsentratsiyali bo'lganda φ_k=0,3–0,4 V

va $l=10^{-4}-10^{-5}$ sm, ba'zi asboblarda qo'llaniluvchi katta konsentratsiyalarda $\varphi_k \approx 0,7$ V va $l=10^{6}$ sm.

Asosiy zaryad tashuvchilarning chegara orqali diffuziyali siljishi bilan bir vaqtda kontakt potensiallar farqi elektr maydoni ta'sirida zaryad tashuvchilar-ning teskari siljishi (dreyf) yuzaga keladi. Zaryad tashuvchilarning elektr maydon ta'siri ostida harakati zaryad tashuvchilar dreyf deb ataladi. Bu maydon kovaklarni n qatlamdan p qatlamga va aksincha, elektronlarni p qatlamdan n qatlamga siljitadi, ya'ni asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar harakati vujudga keladi.

Doimiy temperatura p–n o'tish dinamik barqaror holatda, ya'ni $i_{dr} = i_{dif}$ bo'ladi.

Shunday qilib, p–n o'tishda p va n yarimo'tkazgichlarning qolgan hajmlari qarshiligiga nisbatan juda katta qarshilikga ega bo'lgan, berkituvchi deb atalgan qatlam hosil bo'ladi.

2.4.2. To'g'ri kuchlanish berilgan elektron-kovak o'tish

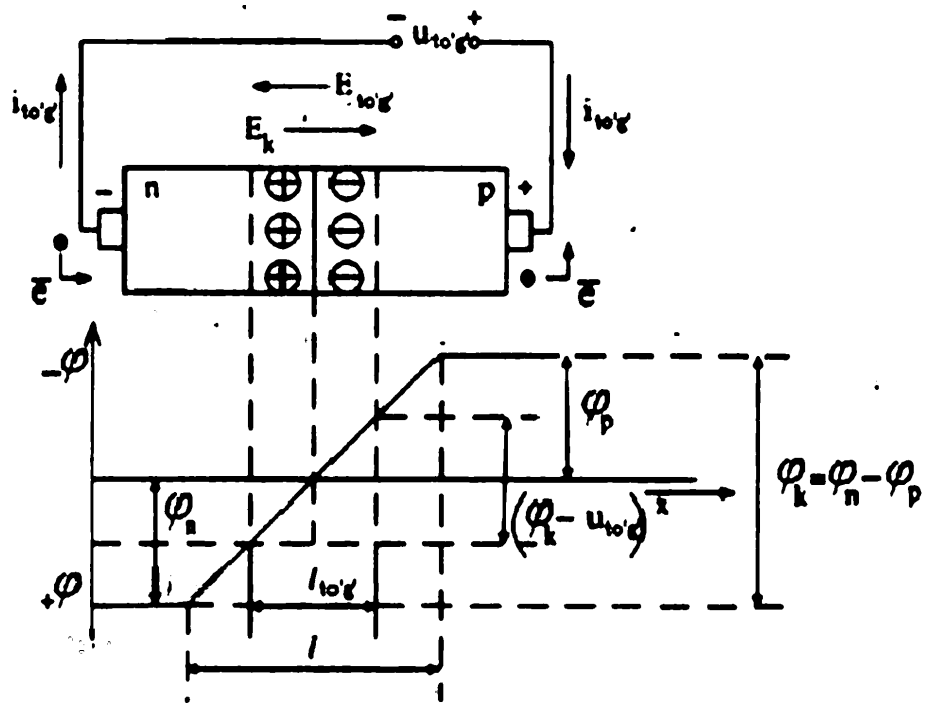
Tashqi kuchlanish manbayining musbat qutbi p tipdagi yarimo'tkazgichga, manfiy qutbi n tipdagi yarimo'tkazgichga ulangan bo'lsin (2.17-rasm).

Qutblari asosiy zaryad tashuvchilar qutblari bilan mos kelgan kuchlanish to'g'ri kuchlanish deyiladi.

To'g'ri kuchlanish hosil qilgan elektr maydon kontakt potensiallar farqi φ_k hosil qilgan maydonga qarama-qarshi ta'sir qiladi. Elektr maydon kuchlanganligi vektori $E_{to'g'}$ vektor E_k ga qarama-qarshi yo'nalgan. Natijalovchi maydon kuchsizlanadi, potensiallar farqi kamayadi, potensial baryer balandligi kamayadi, diffuziya toki ortadi, chunki balandligi kamaygan baryyerdan o'tuv-chi asosiy zaryadlar soni ortadi.

Dreyf toki deyarli o'zgarmaydi, chunki bu tok qiymati faqat p va n sohalar-dan p–n o'tishga o'zlarininig issiqlik tezliklari hisobiga kelib tushuvchi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilari soniga bog'liq.

O'tishdagi kuchlanish $\varphi_k - u_{to'g'}$ farqga teng bo'ladi (agar p va n sohalar qarshiliklaridagi kuchlanish pasayishini hisobga olmaganda).



2.17-rasm. To'g'ri kuchlanish berilganda p–n o'tish sxemasi va uning potensial diagrammasi

To'g'ri kuchlanish chog'ida $l_{dif} > l_{dr}$, demak $l_{to'g'} = l_{dif} - l_{dr} > 0$.

Agar baryer balandligi sezilarli darajada past bo'lsa, u holda $l_{dif} \gg l_{dr}$ va

$l_{to'g'} \approx l_{dif}$ deb hisoblash mumkin.

Zaryad tashuvchilari asosiy bo'lmagan sohalarga balandligi past potensial baryer orqali zaryad tashuvchilarni kiritish zaryad tashuvchilarni injeksiyalash ("injeksiya"- kiritish, sochish) deb ataladi.

Yarimo'tkazgichning zaryadlar so'rib olinuvchi sohasi-emitter, zaryadlar injeksiyalanuvchi sohasi-baza deb ataladi.

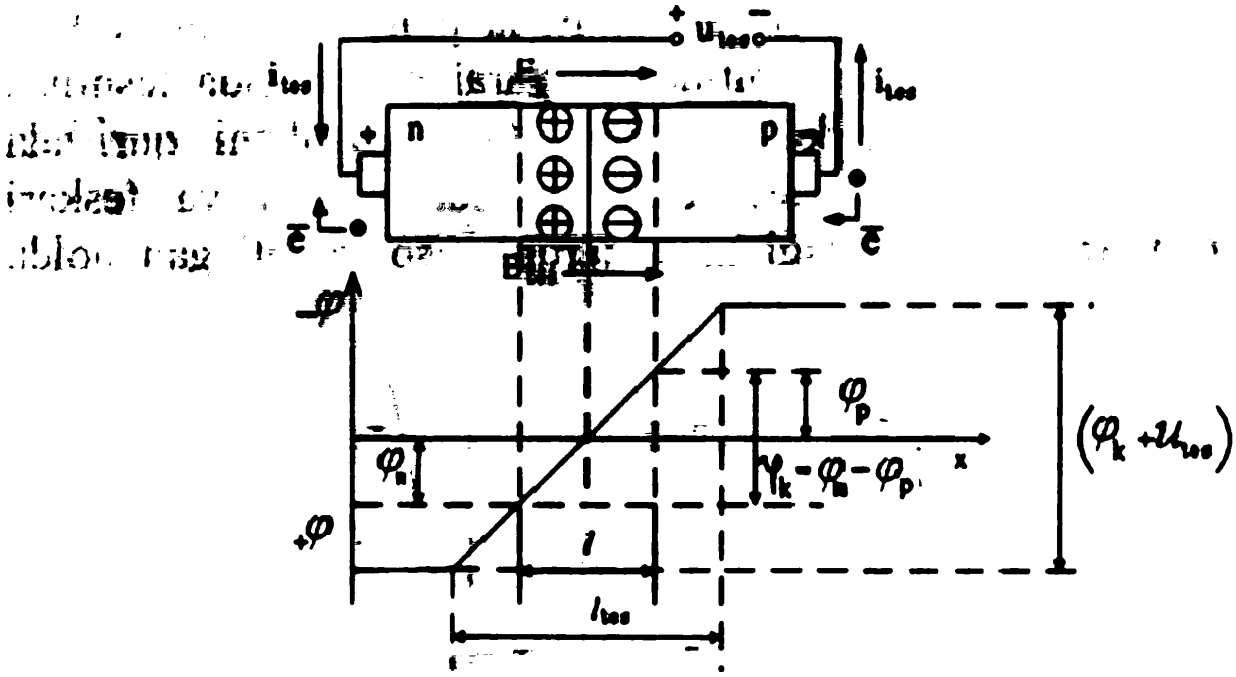
To'g'ri kuchlanish kuchlanishida potensial baryer balandligi kamayadi shu bilan birga berkituvchi qatlam qalinligi l ham kamayadi ($l_{to'g'} < l$).

Agar tashqi kuchlanish $U_{tes} \gg \varphi_k$ bo'lsa, potensial baryerni yo'q qilish mumkin. U holda p–n o'tishning to'g'ri qarshiligi $R_{to'g'}$

yyetarli darajada kam (bir necha Om) bo'lib, uncha katta bo'lmagan kuchlanishda juda katta qiymatda to'g'ri tokni olish mumkin. Bu holda to'g'ri tok ortadi va faqat p va n sohalar qarshiliklariga bog'liq bo'ladi.

2.4.3. Teskari kuchlanish berilgan elektron-kovak o'tish

Tashqi kuchlanish manbayining musbat qutbi n sohaga, manfiy qutbi bilan p sohaga ulangan bo'lsin (2.17-rasm).



2.17-rasm.Teskari kuchlanish berilganda p–n o'tish sxemasi va uning potensial diagrammasi

Teskari kuchlanish U_{tes} hosil qilgan elektr maydon kontakt potensiallar farqi φ_k hosil qilgan maydon bilan qo'shiladi.

Natijalovchi maydon kuchayadi, potensial baryer balandligi ortadi (φ_k+u_{tes}). Teskari kuchlanish u_{tes} ta'sirida qiymati juda kichik bo'lgan teskari tok oqadi:

$$i_{tes} = i_{to'g'} - i_{dif}. \qquad (2.5)$$

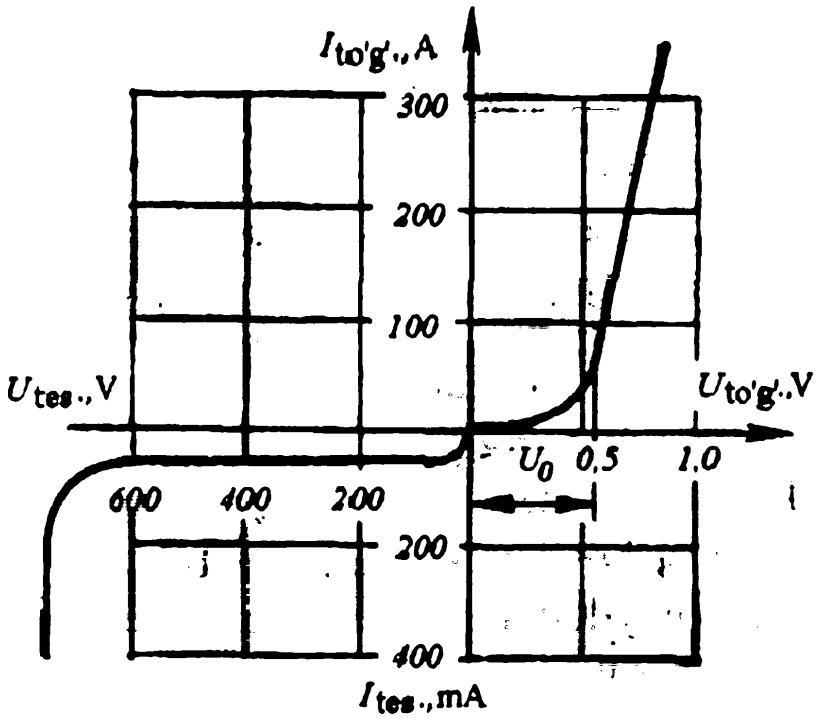
Agar potensial baryer balandligi ozgina ko'tarilsa diffuziya jarayoni to'xtay-di, chunki zaryad tashuvchilarning xususiy tezliklari baryerni oshib o'tish uchun kamlik qiladi va $i_{dif} = 0$, bundan $i_{tes} = i_{to'g'}$. O'tkazuvchanlik toki o'zgarmay qoladi va

asosan p va n sohalardan p–n o'tishga kirib keluvchi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar soni bilan aniqlanadi.

Teskari kuchlanish hosil qilgan elektr maydon ostida p–n o'tish orqali asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni chiqarish ekstraksiya ("ekstraksiya"- chiqarish, sug'irib olish) deb ataladi. Teskari tok asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar siljishi yuzaga keltiruvchi o'tkazuvchanlik tokidir.

2.4.4.Elektron-kovak o'tish teshilishlari

2.18 - rasmning uchinchi kvadrantida p–n o'tishning teskari tok rejimi uchun olingan volt-amper xarakteristikasida teshilish yuzaga kelgan bo'lagi ko'rsatilgan. Xarakteristikani qurishda masshtab to'g'ri va teskari toklar hamda to'g'ri va teskari kuchlanishlar qiymatlaridagi katta farqni hisobga olingan holda tanlangan.



2.18 - rasm. p–n o'tishning teskari tok rejimi uchun olingan volt-amper xarakteristikasida teshilish yuzaga kelgan bo'lagi

p–n o'tishda teshilishni yuzaga keltiruvchi bevosita sabablar va bunda kechuvchi jarayonlar xususiyatlariga bog'liq holda teshilishlarni quyidagi turlarga ajratish mumkin: Zenner

(elektrostatik) teshilishi; ko'chkili teshilish; issiqlik teshilishi; sirt teshilishi.

Zenner (elektrostatik) teshilishi yarimo'tkazgich kristall panjarasiga kuchli elektr maydon ta'sirida vujudga keladi. Elektr maydon kuchlanganligi kritik qiymatga erishganda (kremniy uchun $5 \cdot 10^7 \, V/m$) valent elektronlar bog'lanishlar-dan ajrala boshlaydi va natijada teskari tokni keskin orttiruvchi elektron kovak juftlari paydo bo'ladi. Teskari tokning ortishi o'z navbatida uncha katta bo'lmagan o'tish hajmini qizdiradi va kristall panjaraning buzilishiga sabab bo'ladi.

Ko'chkili teshilish p–n o'tishga qo'yilgan teskari kuchlanishni oshirish jarayonida, yarimo'tkazgichning solishtirma qarshiligi nisbatan katta bo'lganda va maydon kuchlanganligini zenerli teshilishnikiga nisbatan kichik bo'lganda yuzaga keladi.

Ko'chkili teshilish p–n o'tishda yuzaga keluvchi zarbaviy ionizatsiyalanish tufayli sodir bo'ladi. Ionizatsiyalanish asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning hajmli zaryad sohasiga tushib qolib, katta kinetik energiyaga ega bo'lishi va kristall panjaraga urilishi chog'ida bog'lanishlardan valent elektronlarni urib chiqarishi sababli yuzaga keladi. Natijada p–n o'tishidagi erkin zaryad tashuvchilar soni ortadi va tok oshadi, bu o'z navbatida jarayonning ko'chkili tus olishiga olib keladi.

Ba'zi hollarda har ikkala (zennerli va ko'chkili) teshilish bir vaqtning o'zida yuz berishi mumkin.

Issiqlik teshilishi elektron kovak o'tishning unda ajralib chiquvchi issiqlikni yyetarli darajada chiqarib yuboraolmagani sababli qattiq qizishi tufayli sodir bo'ladi. Bunda o'tish temperaturasi shu darajaga yyetadiki, valent elektronlar bog'lanishlari uzilib, elektron kovak juftlari hosil bo'lishi imkoni paydo bo'ladi. Bo'sh qolgan zaryad tashuvchilar o'tkazuvchanlik tokini oshiradi bu o'z navbatida ajrab chiquvchi issiqlikni yanada orttiradi va tok yana ham ortadi.

Bunday teshilish zennerli va ko'chkili teshilishlarni yuzaga keltiruvchi elektr maydon kuchlanganligi qiymatlariga nisbatan kichikroq kuchlanganlikda ham sodir bo'lishi bilan ajralib turadi.

Sirt teshilishi o'tishning sirtga chiqish zonasida zaryadlar mavjudligi bilan bog'liq. Bu zaryadlar o'tish chegarasidagi maydonni buzadi, ya'ni bu maydon kuchlanganligini yo orttiradi yoki kamaytiradi va mos holda o'tishning sirtga chiqish zonasidagi to'suvchi qatlam kengligini o'zgartiradi. Bundan tashqari, turli aralashmali atomlar bo'lib, ular sirtning oksidlanishi va atrof - muhitdagi suv bug'lari va gazlarning yutilishiga olib keladi. Sirtli teshilish oldini olish uchun sirtni yubqa himoya qatlami bilan qoplanadi va o'tishni tashqi muhitdan to'liq himoyalanadi.

2.5.Bo'limga doir masalalar yechish namunalari

2.1-namuna. Yarimo'tkazgich materialning quyidagi elektr xususiyatlari berilgan: n- va p- sohalardagi o'tkazuvchanliklar $\sigma_n = 8\ Om^{-1}\ cm^{-1}$ va $\sigma_p = 2{,}4\ Om^{-1}\ cm^{-1}$, shuningdek elektron va kovaklarning ildamliklari $\mu_n = 500 cm^2/V \cdot c$, $\mu_p = 300 cm^2/V \cdot c$; p–n o'tishga tashqi kuchlanish:

a) $U_1 = +0{,}5 V$; b) $U_2 = -5\ V$ berilganda potensial to'siq φ balandligining qanday o'zgarishini hisoblang;

Kremniydagi aralashmalar xususiy konsentratsiyasi $n_i = 1{,}4 \cdot 10^{10}\ sm^{-3}$, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-14}\ F/sm$; $\varepsilon = 12$; elektron zaryadi $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} kl$; Boltsman doimiysi $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ j/grad$; temperatura $T = 300 K$ bo'lsa, quyidagilarni aniqlang:

1) kontakt potensiallar farqi φ_k ni;

2) p - va n - sohalar tomonidan hisoblangan p–n o'tish kengligi d_n va d_p, shuningdek o'tish to'la kengligi $d = d_n + d_p$;

3) kontakt maydon kuchlanganligi E ning maksimal qiymatini.

Yechish. Elektron va kovak o'tkazuvchanliklar ifodalaridan foydalanib n - va p - sohalardagi asosiy zaryad tashuvchilar kontsentrasiyalarini aniqlaymiz:

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

undan

$$n_n = \frac{\sigma_n}{e\mu_n} = \frac{8}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 500} = 10^{17}\ sm^{-3},$$

$$p_p = \frac{\sigma_p}{e\mu_p} = \frac{2{,}4}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 300} = 5 \cdot 10^{17}\ sm^{-3}$$

Potensial baryerning balandligi φ_k tashqi kuchlanish yo'qligida quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\varphi_k = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_n p_p}{n_i^2} = 0{,}026 \ln \frac{10^{17} \cdot 5 \cdot 10^{16}}{(1{,}4 \cdot 10^{10})^2} = 0{,}803\ V.$$

p–n o'tish kengligini quyidagi ifodadan foydalanib topish mumkin:

$$d = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{e} \varphi_k \left(\frac{1}{N_D} + \frac{1}{N_A} \right)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-14}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \cdot 0{,}803 \cdot \frac{1{,}5 \cdot 10^{17}}{5 \cdot 10^{33}}} = 0{,}179\ mkm$$

Yuqorida keltirilgan formulalardan quyidagini hisoblaymiz:

$$\frac{d_n}{d_p} = \frac{N_A}{N_D} = \frac{p_p}{n_n} = \frac{5 \cdot 10^{16}}{10^{17}} = 0{,}5$$

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

$$d_p = \frac{d}{1 + \frac{d_n}{d_p}} = \frac{0{,}179\ mkm}{1 + 0{,}5} = 0{,}119\ mkm$$

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

Elektron maydonning maksimal energiyasi:

$$E_M = \frac{2\varphi_k}{d} = \frac{2 \cdot 0{,}803\ V}{0{,}179 \cdot 10^{-4}\ sm} = 89720\ V/sm$$

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

$$\varphi_2 = \varphi_k - U_2 = 0{,}803 - (-5) = 5{,}803\ V.$$

2.2-namuna. Agar $n_i = 1{,}4 \cdot 10^{10} sm^{-3}$; $D_n = 40\ sm^2/s$; $D_p = 15\ sm^2/s$; $L_n = 100\ mkm$; $L_p = 60\ mkm$; $N_D = 10^{15}\ sm^{-3}$; $N_A = 10^{17}\ sm^{-3}$ bo'lsa, kremniydagi ideal p–n o'tishda to'yinish toki zichligini aniqlang. Elektron zaryadi $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ kl$.

Yechish. Avval n- va p- sohalardagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasini aniqlaymiz:

$$p_n = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{1{,}4^2 \cdot 10^{20}}{10^{15}} = 1{,}96 \cdot 10^5\ sm^{-3}.$$

$$n_p = \frac{n_i^2}{N_A} = \frac{1{,}4^2 \cdot 10^{20}}{10^{17}} = 1{,}96 \cdot 10^3\ sm^{-3}$$

Tok zichligi j_s quyidagi formulaga binoan aniqlanadi:

$$j_s = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\left(\frac{15 \cdot 1{,}96 \cdot 10^5}{6 \cdot 10^{-3}} + \frac{40 \cdot 1{,}96 \cdot 10^3}{10^{-2}}\right)\frac{A}{sm^2} = 7{,}96 \cdot 10^{-11}\frac{A}{sm^2}.$$

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

Yechish. Yuqorida keltirilgan formulalardan foydalanib, qo'yidagi formulaga ega bo'lamiz:

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

Shunga ko'ra tok zichliklari:

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

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

Bu ifodalardan quyidagi nisbatni olamiz:

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

Rezyume

-Yarimo'tkazgich materiallar–o'tkazuvchanligi izolyatorlar o'tkazuvchanligi-dan yaxshi, o'tkazgichlar o'tkazuvchanligidan yomon bo'lgan barcha materiallar;

-Aralashmasiz yarimo'tkazgich materiallarga quyidagilar kiradi:

uglerod (C), germaniy (Ge) va kremniy (Si)

-Valentlik–bu atomning o'ziga elektronni qo'shib olish yoki uni o'zidan berish qobiliyati ko'rsatkichi.

-Kristallar –o'zlarining valent elektronlaridan kovalent bog'lanishlar hosil qilish yo'li orqali birgalikda foydalanuvchi atomlardan tashkil topadi.

-Yarimo'tkazgich materiallarning qarshiligi manfiy temperatura koeffitsiyentiga ega: temperatura ortishi bilan ularning qarshiligi kamayadi.

-Issiqlik yarimo'tkazgich materiallarda muammoni yuzaga keltiradi, ya'ni elektronlarning kovalent bog'lanishini uzish imkonini beradi.

-Temperatura ortganda yarimo'tkazgich materialdagi elektronlar bir atomdan boshqasiga siljiydi (dreyflanadi)

-Kovak – valent qobiqda elektronning bo'lmasligidir.

-Aralashmasiz yarimo'tkazgich materialga berilgan potensiallar farqi musbat chiqishga qarab harakatlanuvchi elektronlar oqimini va manfiy chiqishga qarab harakatlanuvchi kovaklar oqimini hosil qiladi.

-Yarimo'tkazgich materiallarda tok elektronlar va kovaklarning ma'lum yo'nalishlardagi harakatlaridan yuzaga keladi.

-Legirlash – bu yarimo'tkazgich materialga aralashma qo'shish jarayoni.

-Uch valentli materiallar–uch valentli elektronlarga ega atomlardan iborat va p-tipdagi yarimo'tkazgichlar tayyorlash uchun qo'llaniladi

-Besh valentli materiallar–besh valentli elektronlarga ega atomlardan iborat va n -tipdagi yarimo'tkazgichlar tayyorlash uchun qo'llaniladi.

-Yarimo'tkazgichlarning n-tipida elektronlar asosiy, kovaklar asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilardir.

-Yarimo'tkazgichlarning p-tipida kovaklar asosiy, elektronlar asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilardir

-Yarimo'tkazgichlarning n- va p-tiplari aralashmasiz yarimo'tkazgichlarga qaraganda ancha yuqori o'tkazuvchanlikga ega bo'ladi.

Nazorat uchun savollar

1. Yarimo'tkazgich materiallarning asosiy xususiyatlari nimalardan iborat?

2. Hususiy yarimo'tkazgichda elektron- kovak juftlari qanday hosil bo'ladi?

3. Qanday yarimo'tkazgichlar aralashmasiz (xususiy) va qandaylari aralashmali yarimo'tkazgichlar deb ataladi?

4. Donor va akseptor aralashmali atomlarning o'zaro farqlari nimada?

5. Metallar, dielektriklar va yarimo'tkazgichlarning energetik zonalar diagrammalari farqlari nimada?

6.Tashqi kuchlanish bo'lmaganda elektron-kovak o'tishda yuzaga keluvchi jarayonni izohlang.

7.To'g'ri kuchlanish berilgan elektron-kovak o'tishda yuzaga keluvchi jarayonni izohlang.

8.Teskari kuchlanish berilgan elektron-kovak o'tishda yuzaga keluvchi jarayonni izohlang.

9.Elektron-kovak o'tishga xos teshilishlar qanday ko'rinishda hosil bo'ladi?

3. Yarimo'tkazgichli diodlar

Zamonaviy texnika sohalarida qo'llaniluvchi elektron qurilmalar asosan yarimo'tkazgichli diodlar va bir nechta o'tishli asboblardan tashkil topgan. Bunga yarimo'tkazgichli asboblarning o'lchamlari va vazni kichikligi, foydali ish koeffitsiyentining yuqoriligi, uzoq muddat xizmat qilishi va yuqori chidamligi kabi afzalliklarga egaligi asos bo'lgan.

Yarimo'tkazgichli diod - bitta elektr o'tish (p–n o'tish)li va yarimo'tkaz-gichga jipslashtirilgan metalldan chiqarilgan ikki chiqishga ega asbobdir.

Elektr o'tish asosan ikki turdagi elektr o'tkazuvchanlikka ega aralashma (p- yoki n- tipdagi) orasida hosil bo'ladi. Bu sohalardan biri (kichik qarshilikli) emitter, boshqasi (yuqori qarshilikli) baza deyiladi.

Ba'zan elektr o'tkazuvchanlik p- yoki n- tipdagi yarimo'tkazgich bilan metall orasida hosil qilinadi va bunday o'tish metall - yarimo'tkazgich tutashuvi deyiladi.

Hozirgi vaqtda keng qo'llanilayotgan diodlar germaniy, kremniydan yasalgan bo'lib, galliy arsenidi va fosfididan diodlar tayyorlash kelajagi porloq ekanligi tasdiqlangan.

3.1. Diodning volt-amper xarakteristikasi

Har qanday asbobning volt-amper xarakteristikasi asbob orqali o'tuvchi tokning shu asbobga berilgan kuchlanishga bog'liqligini ko'rsatadi.

Agar asbob qarshiligi doimiy bo'lsa, u holda tok va kuchlanish orasidagi bog'lanish Om qonuni bilan ifodalanadi:

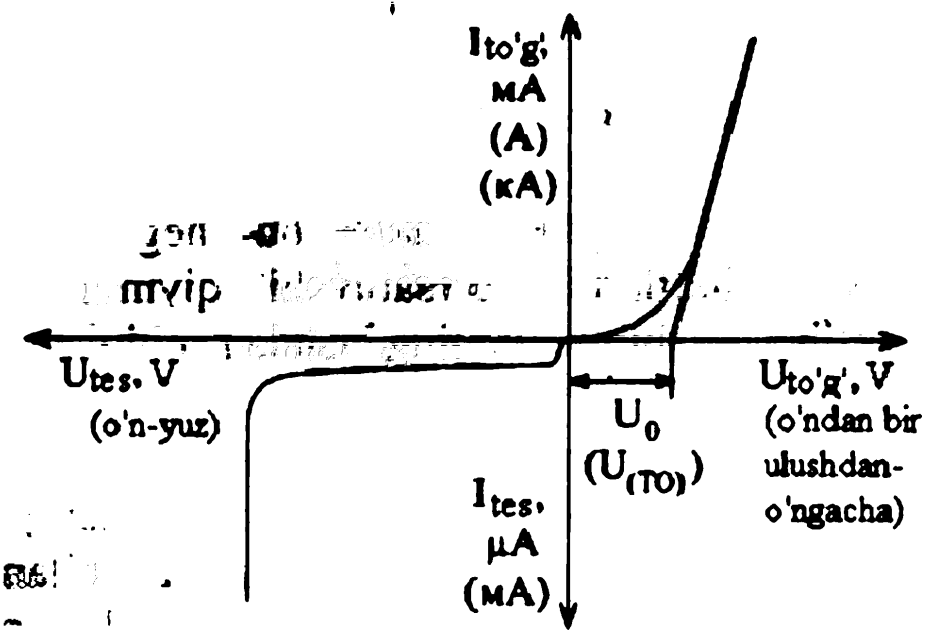
$$i = \frac{U}{R}. \qquad (3.1)$$

$i = f(U)$ bog'lanish grafigi asbobning volt-amper xarakteristikasi (VAX) deyiladi. Om qonuniga bo'ysinuvchi asboblarda VAX chiziqli bo'lib, ular chiziqli asboblar deyiladi. Ammo bog'lanish nochiziqli bo'lgan asboblar ham bor.

Diod elektron-kovak o'tishga asoslangan. Uning nochiziqli xususiyatlari VAX dan yaqqol ko'rinib turibdi (3.1 - rasm).

Xarakteristikaning to'g'ri va teskari shoxchalari turli masshtablarda quriladi. Buning natijasida VAX ning teskari shoxcha egri chizig'ining koordinatasi boshida siniq chiziqlar mavjud.

To'g'ri tok uchun VAXda boshlang'ich qism sezilarli nochiziqlikka ega, chunki to'g'ri kuchlanish $U_{to'g'}$ ning ortishi chog'ida berkituvchi qatlam qarshiligi kamaya boradi, shuning uchun egri chiziq qiyaligi kattalashadi ammo to'g'ri kuchlanish $U_{to'g'}$ voltning bir necha o'ndan bir ulushiga (kuchlanish U_0 ga etganda) teng bo'lgandayoq berkituvchi qatlam amalda yo'q bo'ladi va faqat p–n sohalarning qarshiligi qoladi va uni doimiy deb hisoblasa bo'ladi. Shuning uchun VAXning davomi deyarli chiziqli bo'ladi. Uncha katta bo'lmagan nochiziqlik tok ortishi tufayli p-va n-sohalar qizishi va shuning uchun qarshiligi kamayishi bilan tushuntiriladi.



3.1- rasm. Diodning volt-amper xarakteristikasi

Teskari tok teskari kuchlanish orttirilganda keskin ortadi. Bu potensial baryer (to'siq) ortishi tufayli diffuziya toki i_{dif} ning keskin kamayishi sababli yuzaga keladi.

Teskari tok $i_{tes} = i_{dr} - i_{dif}$ bo'lganligi uchun uning qiymati ($i_{dif} \to 0$ da) ortadi. Undan keyin tokning ortishi tok tufayli o'tishning qizishi hisobiga, sirt bo'yicha sizish tufayli, shuningdek zaryadlarning ko'chkili ko'payishi (ya'ni zaryad tashuvchilar sonining zarbaviy ionizatsiya ta'sirida ortishi) hisobiga yuzaga keladi. Ko'chkili ko'payish hodisasini yuqori teskari kuchlanishda elektronlar katta tezlikka ega bo'lib, kristall panjara atomlariga urilishdan, ulardan yangi elektronlar urib chiqarishi va bu jarayon teskari kuchlanish ortishi bilan kuchayishi bilan tushuntiriladi.

Diodning VAXsi uning asosiy parametrlarini aniqlash uchun qo'llaniladi. To'g'ri shoxcha bo'yicha nominal tokdagi to'g'ri kuchlanish $U_{to'g'}$ ni, teskari shoxcha bo'yicha maksimal ruxsat etilgan kuchlanish $U_{maks\ ruxs.}$ dagi teskari tok I_{tes} qiymatini aniqlash mumkin.

3.2. Yarimo'tkazgich diodlar parametrlari

Kuchli yarimo'tkazgich asboblar parametrlari ikki guruhga bo'linadi;

- chegaraviy ruxsat etilgan qiymatlar;
- xarakterlovchi parametrlar.

Chegaraviy ruxsat etilgan qiymat – bu chegaraviy qobiliyat yoki chegaraviy shartlarni ko'rsatuvchi qiymat bo'lib, bu qiymatning ortib ketishi asbobning ishdan chiqishini keltirib chiqarishi mumkin.

Xarakterlovchi parametrlar – asbob xususiyatini xarakterlovchi elektr, mexanik yoki issiqlik kattaliklar qiymati.

Asboblarning barcha parametrlari lotin harflari bilan yoziladi: bosh harflar bilan o'rtacha, doimiy, ta'sir etuvchi va impulsli qiymatlar, kichik harflar bilan vaqt bo'yicha o'zgaruvchi oniy qiymatlar ko'rsatiladi.Chegaraviy qiymatlarni ko'rsatuvchi kattaliklar (max–maksimal, min–minimal, crit–kritik va boshqalar-da) indekslar kichik harflarda, boshqa hollarda indeks bosh harf bilan yoziladi.

Diodlarning asosiy parametrlari va ularning yozilishlari quyida keltirilgan.

Kuchlanish bo'yicha

U_{RRM} – takrorlanuvchi chegaraviy impulsli teskari kuchlanish;

U_{RSM} – takrorlanmaydigan chegaraviy impulsli teskari kuchlanish;

U_{FM} – impulsli to'g'ri kuchlanish (xarakterlovchi qiymat);

U_{TO} – ostonaviy kuchlanish (xarakterlovchi qiymat)

Tok bo'yicha

$I_{F(AV)MAX}$ – chegaraviy maksimal ruxsat etilgan o'rtacha to'g'ri tok;

F_{FSM} – takrorlanmaydigan chegaraviy zarbaviy to'g'ri tok;

I_{RAM} – takrorlanuvchi impulsli teskari tok (xarakterlovchi qiymat)

Qarshilik bo'yicha

r_A – differensial qarshilik (xarakterlovchi qiymat).

Kommutatsiya hodisalari bo'yicha

Q_{TT} – tiklanish zaryadi (xarakterlovchi qiymat);

t_{TT} – qayta tiklanish vaqti (xarakterlovchi qiymat).

Issiqlik hodisalari bo'yicha

T_{jm} – p–n o'tishning chegaraviy maksimal ruxsat etilgan temperaturasi;

R_{thjc} – "o'tish-korpus" issiqlik qarshiligi (xarakterlovchi qiymat).

Mexanik yuklama bo'yicha diodlarning asosiy parametrlariga chegaraviy aylantiruvchi moment va siqishning o'q bo'yicha kuchayishi (tabletkali diodlar uchun), ishonchlilik bo'yicha – 25000 soat davomida ishdan chiqmasdan ishlash ehtimoli kiradi.

Ulardan ba'zilarini batafsil ko'rib o'tamiz.

3.2.1. Chegaraviy toki $I_{F(AV)MAX}$ ($I_{to'g'.o'rt.maks}$) – yarimo'tkazgich orqali uzoq muddat o'tkazilishi mumkin bo'lgan tok. Uning qiymati diod strukturasining maksimal ruxsat etilgan temperaturasi T_{jm} (kremniyli ventillar uchun $T_{jm} \approx 140°C$) va sovitish sharoitlari bilan aniqlanadi.

Diod to'g'ri yo'nalishda ulanganda quvvat isrofi (sochilish quvvati) ΔP quyidagicha aniqlanadi:

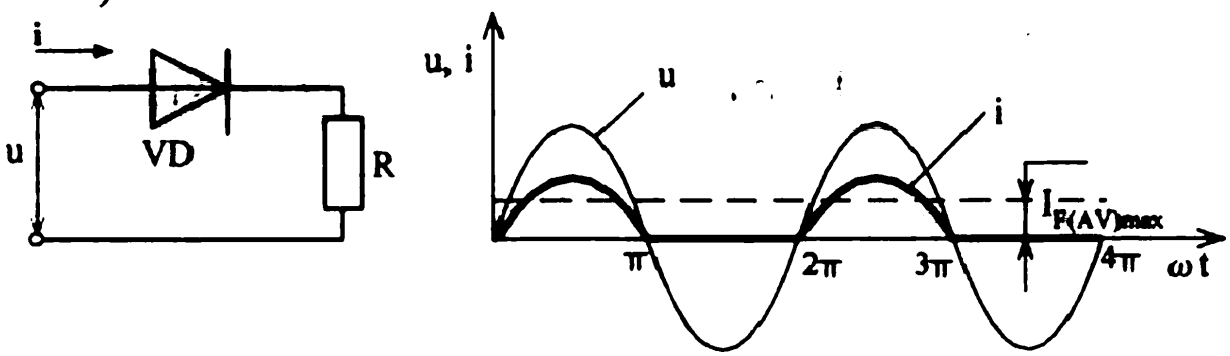
$$\Delta P = U_F \cdot I_{F(AV)} = U_{to'g'} \cdot I_{to'g'.o'rt}, \qquad (3.2)$$

bunda $U_F(U_{to'g'})$ – ventil strukturasida kuchlanish pasayishi;

$I_{F(AV)}(I_{to'g'.o'rt})$ – to'g'ri tok.

Quvvat sochilishi issiqlik ko'rinishida ajralib chiqadi va uni albatta dioddan chiqarib yuborish kerak. Tok $I_{to'g'.o'rt}$ qiymati qancha yuqori bo'lsa, diod shuncha qattiq qiziydi. Agar ΔP kam bo'lsa, ajralib chiquvchi issiqlik diodning barcha qismi bo'yicha tekis taqsimlanadi va p–n o'tish temperaturasining ortishi sezilarli darajada bo'lmaydi. Agar ΔP katta bo'lsa, struktura haddan tashqari qizib kyetadi va diod ishdan chiqadi. Har bir diodning davomli rejimi uchun $I_{тўғ.ўрт}$ tokning muayan qiymatlari mavjud.

Tok $I_{F(AV)MAX}$ ($I_{to'g'.o'rt.maks}$) aktiv yuklama R ga ishlovchi to'g'rilagich-ning bir fazali bitta yarim davrli sxemasida bitta davr davomidagi maksimal ruxsat etilgan o'rtacha to'g'ri tokdan iborat (3.2-rasm).



3.2-rasm.Diodning ulanish sxemasi (a) va bitta yarim davrli to'g'rilagich aktiv yuklamaga ishlash chog'idagi elektromagnit jarayonlar diagrammasi (b)

Bu tok diod VD orqali uzoq muddat oqib o'tishi va bunda ortiqcha qizishni yoki xarakteristikalarning qaytmas o'zgarishlarini keltirib chiqarmaydi, ya'ni diod ishlashda davom yetadi.

Diod tok $I_{F(AV)MAX}$ ($I_{to'g'.o'rt.maks}$) tok bilan ishlayotganda unga ortiqcha yuklama berish mumkin emas.

Ishlab chiqarilayotgan diodlar bir necha ming ampyergacha tokka mo'l-jallangan. Kuchli kremniyli yarimo'tkazgichli diodlar uchun chegaraviy toklar-ning quyidagi shkalasi qabul qilingan: 10; 12,5; 16; 20; 25; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500 A.

Chegaraviy tok diodning markasida yozilgan bo'ladi. Masalan, diod

DL 133-500; V 200; V 320; VL 200; VK2-200 va h.k.

3.2.2. O'ta yuklanish qobilyati. Tok o'tganda diod strukturasining qizishi quvvat isrofi, tokning o'tish vaqti va strukturaning boshlang'ich temperaturasi bilan aniqlanadi.

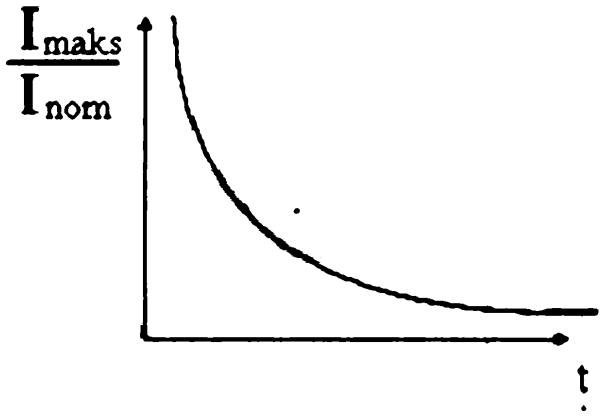
Qisqa muddatli o'ta yuklanish vaqtida strukturada ajralib chiquvchi ΔP energiya struktura bo'ylab tez taqsimlanadi va unda temperatura sezilarli oshib ulgurmaydi. Uzoq muddatli o'ta yuklanish chog'ida energiya tez taqsimlana olmaydi va temperatura qattiq ortadi. Shuning uchun o'ta yuklanish toki qiymati qancha yuqori bo'lsa, u shuncha qisqa vaqt oqishi kerak. Masalan, B200 va B320 diodlar uchun 25% li o'ta yuklanishni 30s davomida, 50% li o'ta yuklanishni 1s davomida berish mumkin.

Diodlarning o'ta yuklanish qobilyatini amper-sekund xarakteristika (ASX) bo'yicha aniqlanadi (3.3-rasm).

Bu ventil yuklanish darajasi I_{maks}/I_{nom} ning maksimal tokning struktura temperaturasi T_j maksimal ruxsat etilgan qiymatiga erishguncha o'tish vaqti t ga bog'lanishini aniqlaydi.

Halokatli rejimda diodning o'ta yuklanish qobilyati strukturaning chegaraviy tokka mos keluvchi boshlang'ich temperaturasi berilgan holda davomiyligi 10 ms ga teng sinusoidal

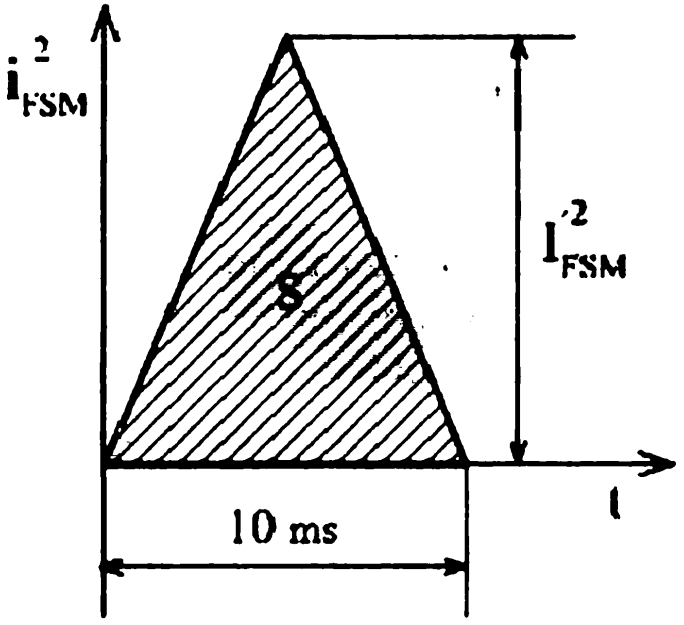
shakldagi zarbaviy tok yakka impulsi ruxsat etilgan qiymati bilan xarakterlanadi.



3.3-rasm. Diodning amper-sekund xarakteristikasi

Odatda, $I_{FSM}(I_{to'g'.zb}) = (15-20)\cdot I_{F(AV)MAX}$. Diod B320 uchun T_{jm} = 140°C да I_{FSM} = 6000A.

Tok $I_{FSM}\left(I_{to'g'.zb}\right)$ qiymati mazkur diodni qo'llash mumkin yoki mumkin emasligini I_{FSM} tok diodni ishlatish vaqtida yuzaga keluvchi maksimal holatni toklarning hisobiy qiymatlari bilan taqqoslash yo'li bilan tekshirish uchun qo'llaniladi.



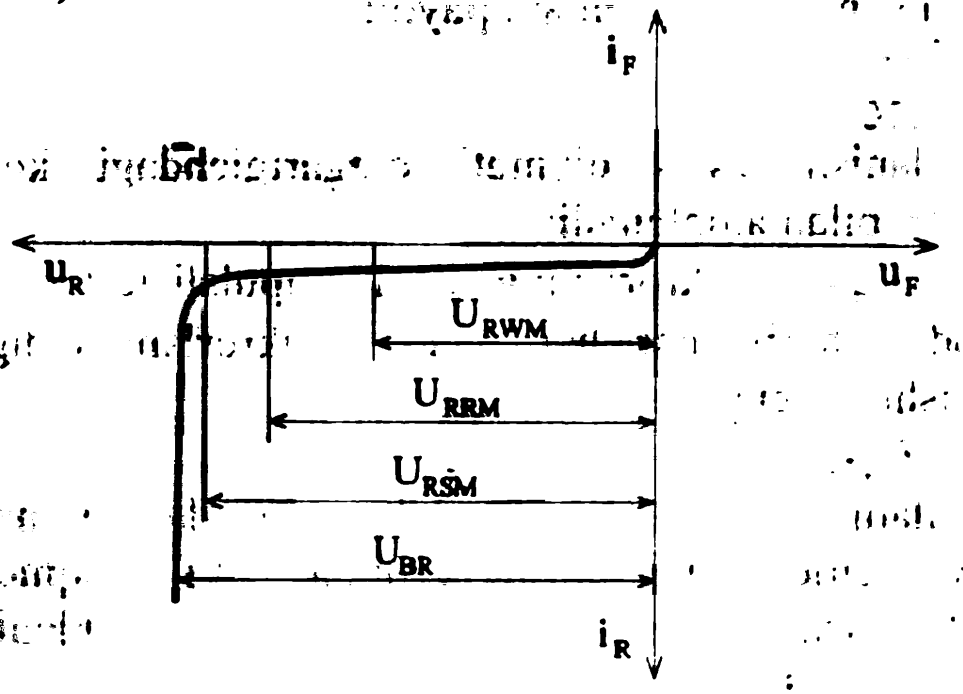
3.4-rasm. Joul integrali (issiqligi) qiymati

Halokatli tokning impulsi o'tganda ajralib chiquvchi issiqlik miqdori Joul-Lents qonuniga ko'ra, tok kvadrati va tokning o'tish vaqtiga mutanosib bo'lganligi uchun kuchli diodlarning texnik xarakteristikalarida son jihatdan teng yonli uchburchak yuzi Sga teng Joul integrali qiymati keltiriladi (3.4-rasm):

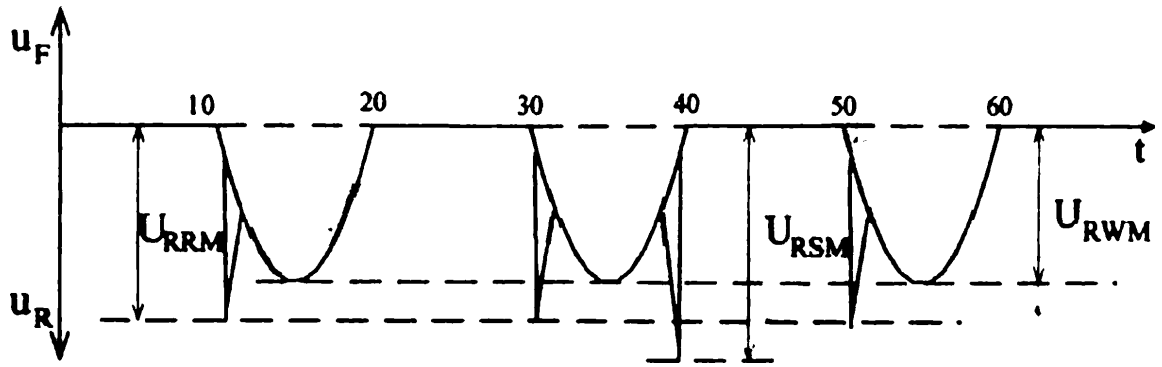
$$S = \int_{FSM}^{2} dt. \qquad (3.3)$$

Bu kattalik normal sovtish sharoitlarida ventil strukturasi shkastlanmaydigan darajada qabul qilishi mumkin bo'lgan maksimal issiqlik miqdorini xarakterlaydi. Masalan, temperatura T_j = 25°C da ventil B200 uchun S= $8000A^2 \cdot c$, ventil B320 uchun S= $255000A^2 \cdot c$.

3.2.3. Nominal kuchlanishi. Diodga beriluvchi kuchlanish ma'lum bir maksimal qiymat U_{ER} ($U_{tes.maks}$) dan oshmasligi kerak aks holda p–n o'tish teshiladi. Kuchlanish U'_{BR} ni diodga faqat sinov vaqtida beriladi. Amalda tarmoqlardagi kuchlanishlar nosinusondal bo'lib, ular takrorlanuvchi va takrorlanmaydigan kuchlanishlar bilan xarakterlanadi. Ularga quyidagilar kiradi (3.5 va 3.6-rasmlar):



3.5-rasm. Volt-amper xarakteristikaning teskari bo'lagi



3.6-rasm. O'ta kuchlanishlarning ba'zi ko'rinishlari

$U_{RWM}(U_u)$ – impulsli ishchi (tavsiya etiluvchi) teskari kuchlanish. Bu barcha takrorlanuvchi kuchlanishlardan holi bo'lgan teskari kuchlanishning eng katta oniy qiymati:

$U_{RWM}(U_u) = (0{,}6 - 0{,}8)U_{RRM}$;

$U_{RRM}(U_T)$ – takrorlanuvchi impulsli teskari kuchlanish. Bu barcha takrorlanmaydigan kuchlanishlardan holi bo'lgan teskari kuchlanishning eng katta oniy qiymati:

$U_{RRM}(U_T) = (0{,}75 - 0{,}85)U_{BR}$.

Bazan kuchlanish $U_{RRM}(U_T)$ ni sinf kuchlanishi deb ham ataladi, chunki takrorlanuvchi teskari kuchlanishning yuzga bo'lingan soni diod sinfini aniqlaydi:

$K = \frac{U_{RRM}}{100}$.

Kuchlanish U_{RRM} qiymati o'zgartgichdagi kommutatsiya jarayonlari bilan aniqlanadi;

$U_{RSM}(U_{HT})$ – takrorlanmaydigan impulsli teskari kuchlanish. Bu diodga beriluvchi har qanday takrorlanmaydigan teskari kuchlanishning eng katta oniy qiymati:

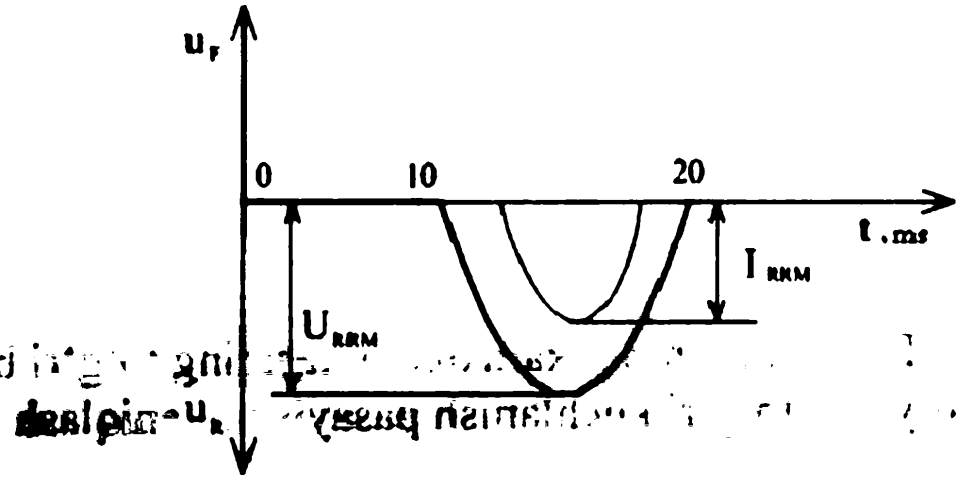
$U_{RSM}(U_{HT}) = (1{,}16 - 1{,}25)U_{RRM}$.

Kuchlanish U_{RSM} qiymati elektr zanjirda avtomat uzgichlar induktiv elementlarini uzgan vaqtida yoki chaqmoq chaqqan paytlarda yuzaga keluvchi kam sonli o'ta kuchlanishlar bilan aniqlanadi.

Diodni tanlash vaqtida taminlovchi sinusoidal kuchlanish amplitudasi $U_{таъм} \leq U_{RWM}$ dan oshmasligi kerak.

3.2.4. Takrorlanuvchi impulsli teskari toki (I_{RRM}). Tok I_{RRM} ning amplitudali qiymati deb, takrorlanuvchi impulsli teskari kuchlanish U_{RRM} berilgan dioddan teskari (berkituvchi) yo'nalishda oqib o'tuvchi tokka aytiladi. Bu tok qiymati diodning yaroqliligini aniqlovchi mezon parametrlardan biri bo'lib hisoblanadi.

Diodni sinash vaqtida takrorlanuvchi impulsli teskari kuchlanish shakli bitta yarim davrli sinusoidal bo'lib, impuls davomiyligi 10 ms dan ko'p bo'lmasligi kerak (3-7-rasm). Agar takrorlanuvchi impulsli teskari tok qiymati me'yoridan oshib ketmasa, diod sinovdan yaxshi o'tgan hisoblanadi.

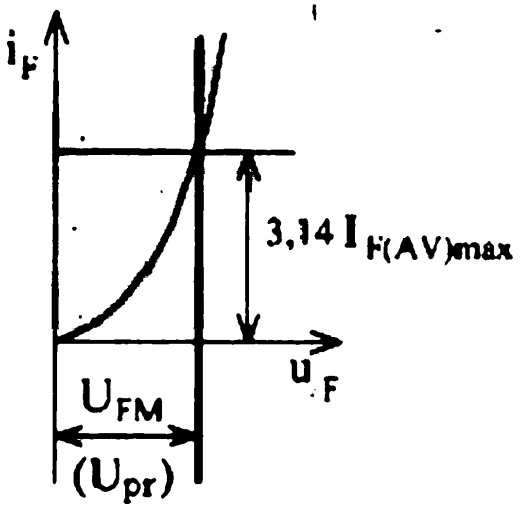


3.7-rasm. Teskari kuchlanish va takrorlanuvchi impulsli teskari tok egri chiziqlari

Germaniyli diodlar boshqa diodlarga nisbatan katta qiymatdagi I_{RRM} ga ega. Kremniyli diodlarda I_{RRM} ning kichik qiymatda bo'lishiga sabab "elektron-kovak" juftligini hosil qilish uchun zarur bo'lgan energiyaning kattaligi, kremniydagi asosiy zaryad tashuvchilar soni germaniynikiga nisbatan kamligi. Demak, teskari tokni yuzaga keltiruvchi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi ham kam bo'ladi. Shuning uchun kremniyli diodlar germaniyli diodlarga qaraganda yaxshiroq ventil xususiyatga ega.

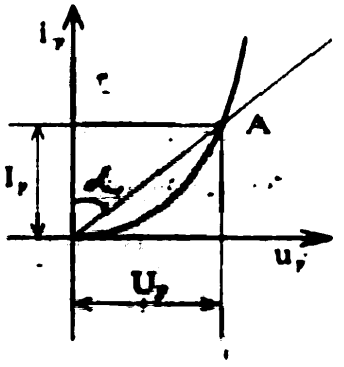
3.2.5. To'g'ri kuchlanish pasayishi (to'g'ri impulsli kuchlanish).

Kuchlanish $U_{FM}(U_{to'g'})$ ning nominal qiymati sifatida temperatura bo'lganda chegaraviy tok $I_{F(AV)MAX}$ ning 3,14 (π) qiymatiga teng bo'lgan impulsli tok o'tgan vaqtida dioddagi kuchlanish pasayishi qabul qilinadi (3.8-rasm). Kuchli kremniyli diodlar uchun (diod tipiga qarab) bu qiymat o'rtacha $U_{FM}(U_{to'g'}) = (1{,}07 - 1{,}8)$ V (diod tipiga qarab) bo'ladi.



3.8-rasm. Diod volt-amper xarakteristikasining to'g'ri bo'lagi bo'yicha to'g'ri kuchlanish pasayishini aniqlash

3.2.6. Statik va dinamik qarshiliklar. Yarimo'tkazgich diod kuchlanish va tokka bog'liq bo'lgan nochiziqli qarshilikdan iborat. Statik qarshilik diodning doimiy tokka qarshiligini xarakterlaydi.



3.9-rasm. Diod volt-amper xarakteristikasining to'g'ri bo'lagi bo'yicha statik qarshilikni aniqlash

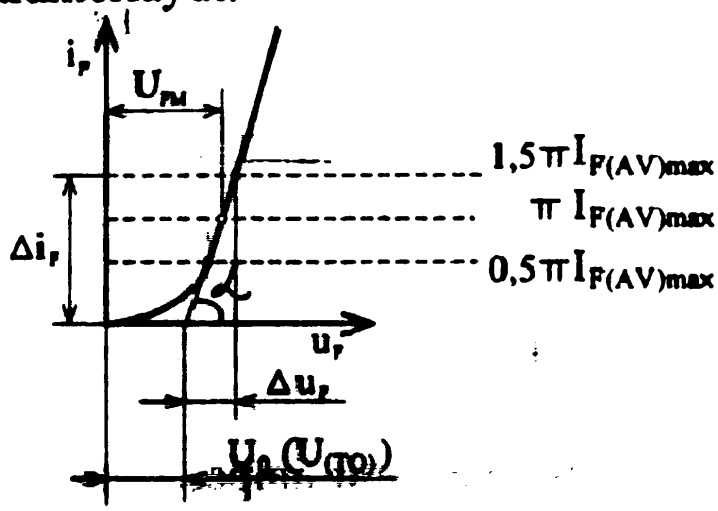
Statik qarshilik diodning volt-amper xarakteristikasidagi to'g'ri shoxcha bo'yicha quyidagi ifodalardan aniqlanadi(3.9-rasm):

$$R_{stat} = \frac{U_F}{I_F}, \qquad (3.4)$$

$$R_{stat} = ktg\alpha, \qquad (3.5)$$

bunda k-formulaga kiruvchi kattaliklar birligini hisobga oluvchi koeffitsiyent.

Diodning dinamik qarshiligi nisbatan katta doimiy toklar yoki kuchlanishlarga ko'rsatiluvchi kichik o'zgarishlarga bo'lgan diod xususiyatlarini xarakterlaydi.



3.10-rasm. Diod volt-amper xarakteristikasining to'g'ri bo'lagi bo'yicha dinamik qarshilikni aniqlash

Dinamik qarshilik diod volt-amper xarakteristikasi to'g'ri shoxchasi bo'yicha quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi (3.10-rasm):

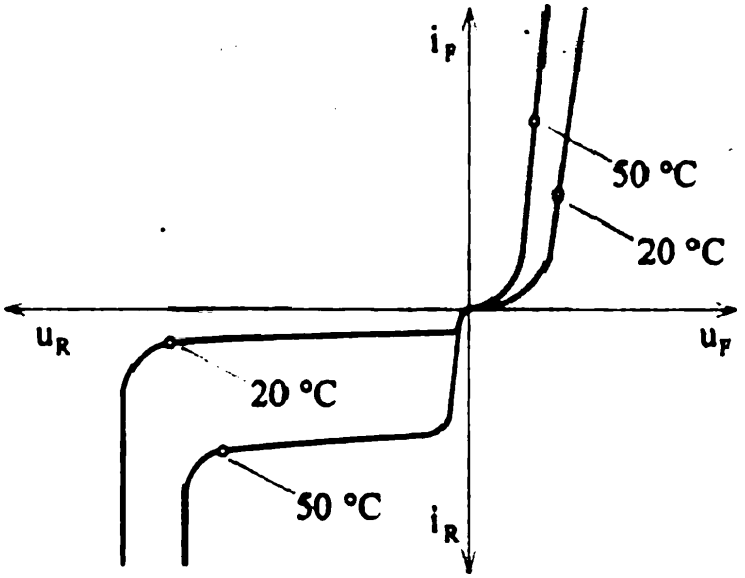
$$r_d = r_T = k \cdot ctg\alpha, \qquad (3.6)$$

$$r_t = \frac{\Delta U_F}{\Delta i_F}. \qquad (3.7)$$

3.2.7. Temperatura rejimi. p–n o'tish xususiyati temperaturaga sezilarli darajada bog'liq. Temperatura ortgan sari o'tkazuvchanlik xususiyati kuchayadi va aralashmali o'tkazuvchanlik kamayadi. Natijada p va n tipdagi ikki yarimo'tkazgich jipslashtirilgan joyning ikki tomonidagi elektron va kovaklar konsentratsiyalari tenglashadi Bu joyda elektr

maydon yo'qoladi va yuqori temperaturada p–n o'tish o'zining ventil xususiyatini yo'qotadi.

Germaniyli diodlar uchun $T_{jm} \approx (70-90)°C$, kremniyli diodlar uchun $T_{jm} \approx (125-140)°C$ (chunki valent elektronni ajratish uchun kattaroq energiya talab etiladi). Bu bog'lanishlar p–n o'tishning temperaturasi turli qiymatlarga ega bo'lganda olingan volt-amper xarakteristikalarda yaqqol namoyon bo'ladi (3.11-rasm).



3.11-rasm. Diod volt-amper xarakteristikasiga temperaturaning ta'siri

Temperatura oshganda teskari tok qiymatining o'sishi zaryad tashuvchilar jufti hosil bo'lishi kuchayishi bilan tushuntiriladi. Germaniyli diodlar uchun temperaturaning har 10°C ga ortishi teskari tokning taxminan ikki marta ko'payishiga olib keladi. Buni quyidagi formula bilan ifodalash mumkin:

$$i_{R(t)} = i_{R(20°C)} \cdot 2^{(t-20)/10}. \qquad (3.8)$$

Masalan, temperatura 20°C dan 70°C gacha ko'tarilgan bo'lsa, teskari tok qiymati $2^5=32$ marta ortadi. Bundan tashqari temperatura ortishi bilan germaniyli diodlarda elektr teshilish kuchlanishi kamayadi. Kremniyli diodlarda temperatura 10°C ga oshganda teskari tok taxminan 2,5 marta ortadi, teshilish

kuchlanishi temperatura ortishi bilan avval biroz oshadi keyin esa kamayadi.

Diod qizishi vaqtida to'g'ri tok teskari tokchalik ortmaydi. Bunga sabab to'g'ri tokning aralashmali o'tkazuvchanlik hisobiga yuzaga kelishi bo'lib, aralashma konsentratsiyasi temperaturaga bog'liq emas.

3.2.8. Elektron-kovak o'tish sig'imi va chastota xarakteristikasi. Elektron-kovak o'tishni kambag'allashgan zaryad tashuvchilar bilan ajratilgan sohali qoplamalardan iborat va yuqori qarshilikka ega ekvivalent kondensator deb qarash mumkin. Bu kondensator sig'imi o'tishdagi zaryad miqdori o'zgarishining undagi kuchlanish pasayishiga nisbati kabi aniqlanadi:

$$C = \frac{dq}{dU} \qquad (3.9)$$

O'tish sig'imi tashqi berilgan kuchlanish qiymati va qutbiga bog'liq. O'tishga teskari kuchlanish berilganda bu sig'im baryer (to'siq), yani baryerli sig'im deyiladi:

$$C_{bar} = \frac{C_{bar(0)}}{\sqrt{1-\frac{U}{\varphi_k}}}, \qquad (3.10)$$

bunda - φ_k – kontakt potensiallar farqi;

U–o'tishga berilgan teskari kuchlanish;

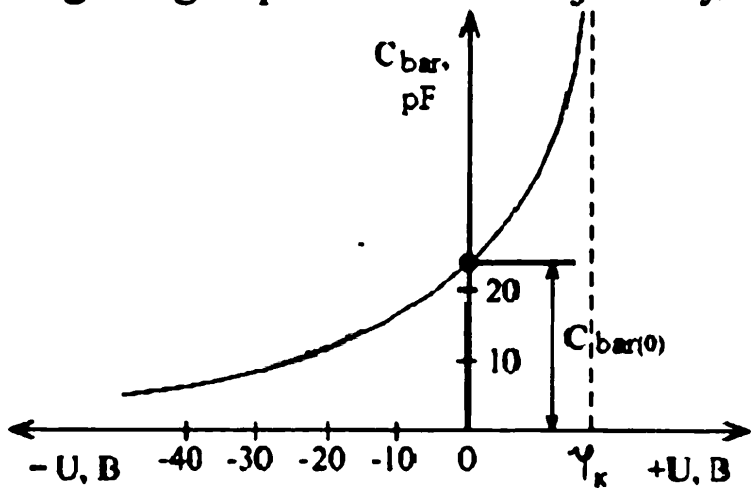
$C_{bar(0)}$–p–n o'tish yuzasi va yarimo'tkazgich kristali xususiyatlariga bog'liq bo'lgan kuchlanish U=0 dagi baryer sig'imi qiymati.

Nazariy jihatdan baryerli sig'im p–n o'tishga to'g'ri kuchlanish berilganda ham mavjud bo'ladi, ammo 3.12- rasmda bu sig'im kichik differensial (dinamik) qarshilik r_T bilan shuntlangan bo'ladi.

Baryer sig'imining berilgan kuchlanishga bog'lanishi keltirilgan.

p–n o'tish to'g'ri siljiganda umumiy sig'imga to'g'ri tok I_F qiymatiga va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar yashash vaqti

τ_p ga bog'liq bo'lgan diffu-ziyali sig'im katta tasir ko'rsatadi. Bu sig'im siljish tokiga bog'liq bo'lmasada siljishni yuza'ga keltiradi.



3.12-rasm. Baryer (to'siq) sig'imining berilgan kuchlanishga bog'liqligi

Diffuziyali sig'im qiymati quyidagi ifodadan topiladi:

$$C_{dif} = \frac{I_F}{\varphi_T} \cdot \tau_p \qquad (3.11)$$

To'g'ri siljish vaqtida elektron- kovak o'tishning to'la sig'imi baryerli va diffuziyali sig'imlar yig'indisi bilan aniqlanadi:

$$C_{to'g'} = C_{dif} + C_{bar'} \qquad (3.12)$$

Teskari siljish vaqtida diffuziyali sig'im bo'lmaydi va $C_{tes} = C_{bar'}$ bo'ladi.

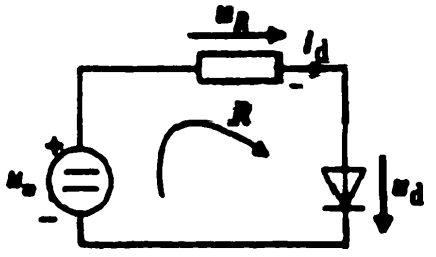
Baryer sig'imi o'zgaruvchan tokni to'g'rilashga salbiy ta'sir ko'rsatadi, chunki u diodni shuntlaydi va u orqali yuqoriroq chastotalarda o'zgaruvchan tok o'tadi. Bunga yuqori chastotalarda sig'im qarshilikning kamayishi va teskari tokning elektron-kovak o'tish sig'imi orqali oqib o'tishi sabab bo'ladi. Bu esa asbobning normal ishlamasligiga olib keladi, chunki elektron-kovak o'tish o'zining ventil xususiyatini yo'qotadi. Shuning uchun yuqori chastotalarda nuqtali yarimo'tkazgich asboblardan foydalaniladi,chunki ularda elektron-kovak o'tish yuzasi kichik va xususiy sig'imi kam. Pasport ma'lumotlarida diod uchun eng katta ishchi chastota ham ko'rsatiladi. Elektr harakat tarkibida va

tortuvchi nimstansiyalarda qo'llaniluvchi kuchli diodlar chastotasi 500 Hz gacha bo'lgan elektr zanjirlarda ishlatish uchun mo'ljallangan.

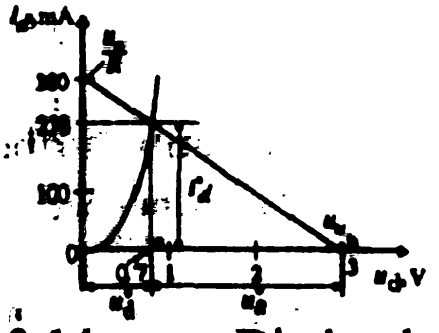
Baryer sig'im xususiyatlaridan tebranish konturlarini sozlash (elektron sozlash) uchun o'zgaruvchan sig'im kondensatorlari sifatida qo'llaniluvchi diodlarning maxsus tiplarini (varikaplar va varaktorlar) yaratishda foydalaniladi.

3.3 Diodning volt–amper xarakteristikasiga ko'ra uning ish rejimini aniqlash

Faraz qilaylik, 3.13-rasmda ko'rsatilgan sxema uchun diod orqali o'tuvchi tok, dioddagi kuchlanish va rezistordagi kuchlanishni aniqlash zarur (diodning volt–amper xarakteristikasi 3.14-rasmda ko'rsatilgan). Bunda U_m – kuchlanish manbayining kuchlanishi (ma'lum kattalik).



3.13-rasm. Diod ish rejimini aniqlash sxemasi



3.14-rasm. Diod volt – amper xarakteristikasi

3.13-rasmda ko'rsatilgan hol uchun Kirgxofning 2 - qonuniga ko'ra kontur uchun quyidagi tenglamani yozamiz:

$$-U_м + U_R + U_d = 0,$$

$$-U_м + i_d R + U_d = 0.$$

Bundan

$$i_d = \frac{U_м - U_d}{R}.$$

Bu chiziqli bog'lanish $i_d = f(U_d)$ ning grafigi to'g'ri chiziq, ya'ni yuklama chizig'i deb ataluvchi chiziqdan iborat bo'ladi. Bog'lanishning o'zi esa yuklama chizig'i tenglamasi deb ataladi

va ikki noma'lum: i_d va U_d larni aniqlash uchun zarur bo'lgan tenglamalardan biri hisoblanadi. Yuklama chizig'i tenglamasi berilgan sxemada dioddan o'tuvchi i_d tok va dioddagi kuchlanish U_d o'zaro qanday bog'langanligini ko'rsatadi.

Zarur bo'lgan ikkinchi tenglama – nochiziqli – diod toki i_d ning kuchlanish U_d ga volt–amper xarakteristika shaklidagi bog'lanishi. Bu bog'lanish qaralayotgan mu'ayan diod uchun tok i_d va kuchlanish U_d o'zaro qanday munosabatdaligini ko'rsatadi.

Hozirgi paytda elektron sxemalarning turli shakllarini EHM da amaliy tahlil etish imkonini beruvchi modellashtiruvchi dasturlar mavjud. Elektron sxemalarni grafik tahlil qilishdan boshlash maqsadga muvofiq bo'ladi. Yuqorida keltirilgan sxemada U_m = 3V, R = 10 Om va 25° C temperaturada D 229 A diodi qo'llanilgan bo'lsin. Zarur bo'lgan grafik qurishni amalga oshiramiz (3.14- rasm).

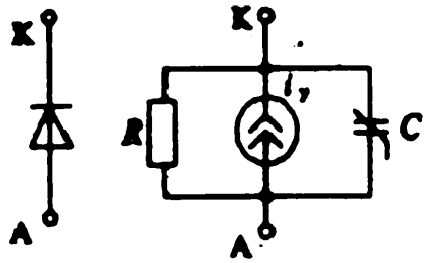
Aniqlanishi kerak bo'lgan diod toki i_d^* =230 mA, kuchlanishi U_d^*= 0,7 V.

Grafikdan ko'rinib turibdiki, ab kesma – rezistor R dagi kuchlanish U_R^*(U_R^* = Um – U_d^* = 2,3V) ga teng.

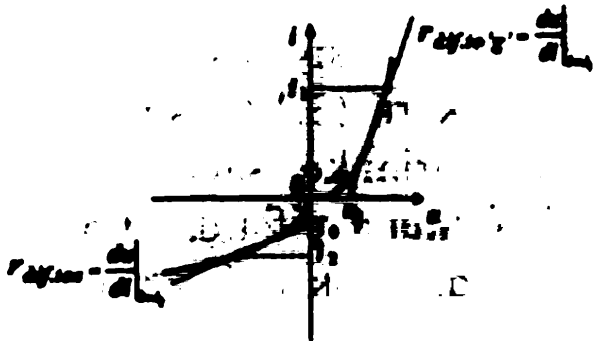
3.4. Diodlarning matematik modellari

Elektron sxemalarni EHM da tahlil qilish vaqtida barcha elektron asboblar, jumladan, diodlar ham, ularning o'rindosh sxemalari bilan almashtiriladi.

Diodning matematik modeli – bu diodning ekvivalent sxemasi va ekvivalent sxema elementlarini tasniflovchi matematik ifodalar majmuasidir. Sxemalarni tahlil qilish uchun mo'ljallangan Micro Cap – 2 dastur paketida qo'llaniluvchi diodning matematik modelini qisqacha ko'rib o'taylik. Diodning ekvivalent sxemasini tasvirlaymiz (3.15 -rasm). Sxemadagi R doimiy qarshilik sizish tokini hisobga olish maqsadida kiritilgan. Sig'im C diodning baryerli va diffuziyali sig'imlarini modellashtiradi.



3.15-rasm. Diodning ekvivalent sxemasi

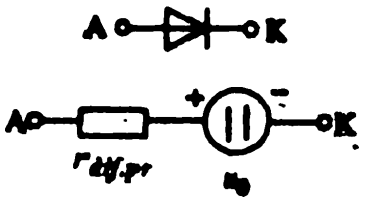


3.16-rasm. Diodning volt – amper xarakteristikasini approksimatsiyalash

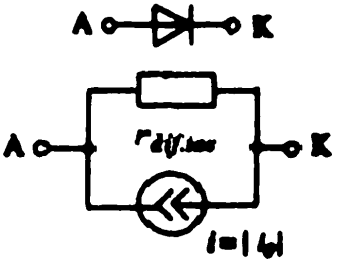
Boshqariluvchi tok manbayi i_b statik va volt–amper xarakteristikasini modellashtirgan. Tok i_b va sig'im C larni matematik tasniflash yetarlicha murak-kab bo'lsada, unda dioddagi yuqorida ko'rib o'tilgan fizik jarayonlari hisobga olingan.

Model universal bo'lib, u diodni ham statik (doimiy tokda), ham dinamik (dinamik jarayonlarda) rejimlarda yaxshi modellashtiradi, hamda diod xusu-siyatlariga temperatura ta'sirini hisobga olgan.

Oddiy hollarda, masalan, hisoblashlar qo'lda bajarilganda, diodlarning murakkab bo'lmagan matematik modelidan foydalaniladi. Bundan diod volt–amper xarakteristikasining bo'lak – chiziqli approksimatsiyasidan foydalaniladi (3.16-rasm).



3.17-rasm. Diodning to'g'ri ulanishiga mos keluvchi ekvivalent sxema

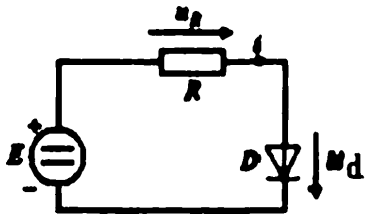


3.18-rasm.Diodning teskari ulanishiga mos keluvchi ekvivalent sxema

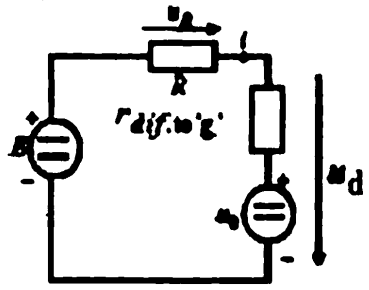
Diodning volt–amper xarakteristikasini tasvirlaymiz (3.16-rasm), to'g'ri va teskari shaxobchalarni chiziqli ko'rinishda

approksimatsiyalashni bajaramiz va diodning to'g'ri (3.17-rasm) va teskari (3.18-rasm) ulanishlariga mos keluvchi ekvivalent sxemalarini ko'rsatamiz.

Namuna sifatida diodning soddalashtirilgan sxemasi (3.19-rasm) dagi tok va kuchlanishlarni hisoblaymiz.



3.19-rasm. Diodning soddalashtirilgan sxemasi



3.20-rasm. Diodning doimiy tok chiziqli sxemasi

Diod siljishi to'g'ri yo'nalishda ekanligini inobatga olsak, uning to'g'ri ulanish ekvivalent sxemasidan foydalanamiz va 3.20-rasmda ko'rsatilgan doimiy tok chiziqli sxemasini olamiz

Bu zanjir tahlilini bajaramiz:

$$E = U_R + U_d;$$

$$E = i\left(R + r_{dif.to'g'}\right) + U_0$$

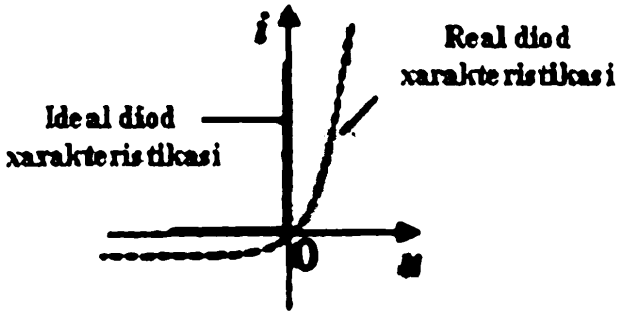
Bundan $$i = \frac{E - U_0}{R + r_{dif.to'g'}}$$

$$U_d = E - U_R = E - \frac{E - U_0}{R + r_{dif.to'g'}} \cdot R,$$

$$U_R = i \cdot R = \frac{E - U_0}{R + r_{dif.to'g'}} \cdot R.$$

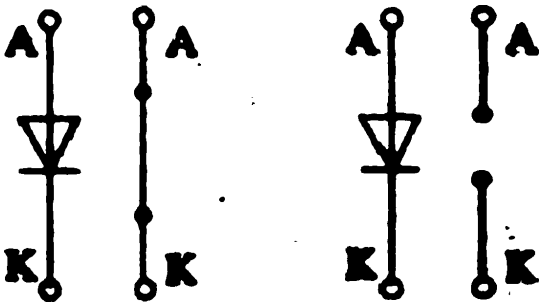
Diodli sxemalarni tahlil qilish vaqtida ba'zan $r_{dif.\ to'g'}$ va U_d kattaliklarni tashlab yuborish mumkin va diod U_0 qiymatli ideal kuchlanish manbasi bilan almashtirilishi mumkin. Shuningdek, teskari tok $i_{tes.}$ (qiymati nolga yaqin) va qarshilik $r_{dif.\ to'g'}$ (qiymati

cheksiz katta) larni tashlab yuborish mumkin va diodni uzilish bilan almashtirish mumkin. Bu o'z navbatida real diodni ideal diodga almashtirishga mos keladi.



a) b)

3.21- rasm. Ideal va real diodning volt – amper xarakteristikasi



3.22- rasm. Ideal diodning to'g'ri (a) va teskari ulash (b) ekvivalent sxemalari

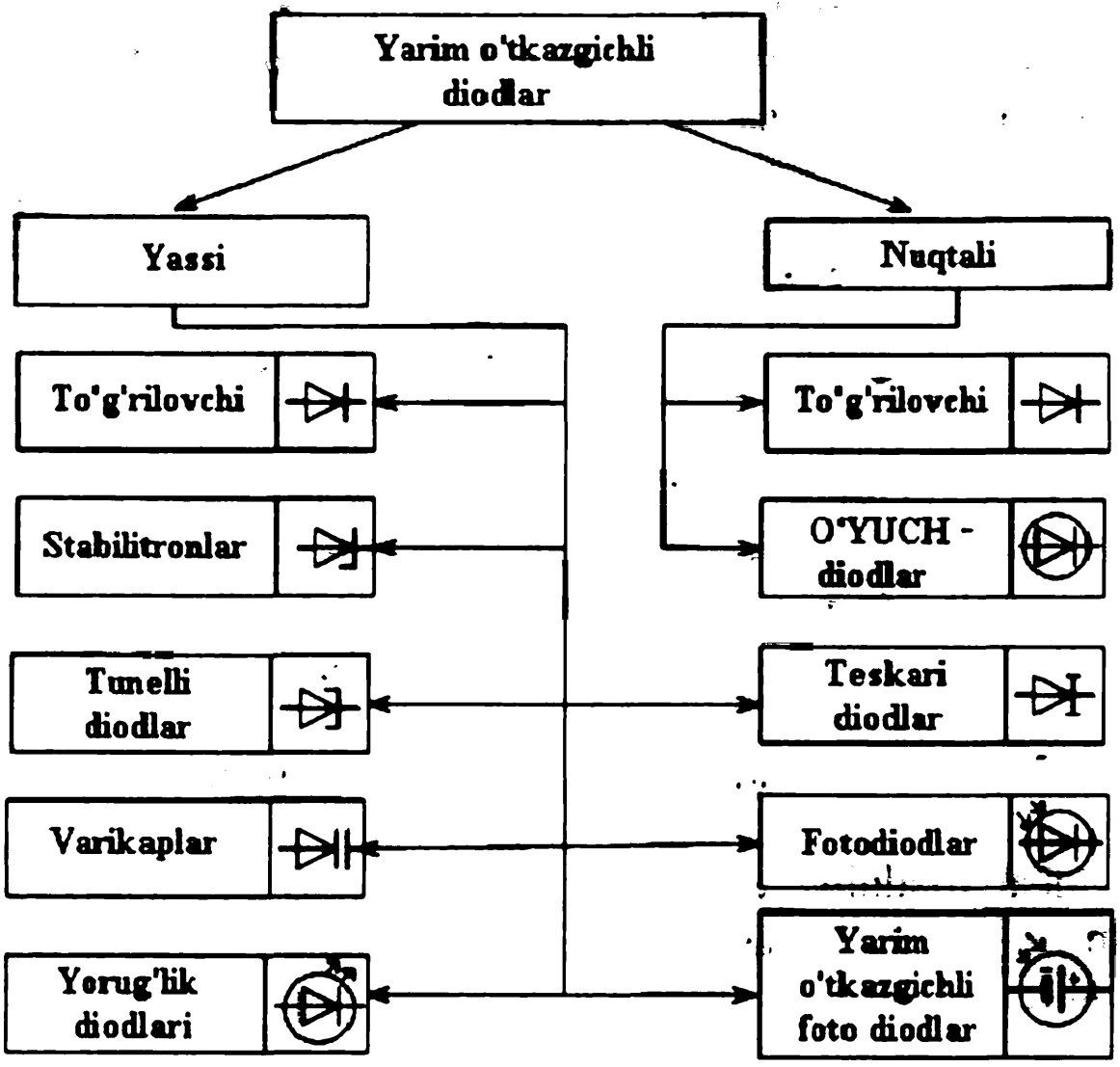
3.21- rasmda ideal diodning volt–amper xarakteristikasi ko'rsatilgan.

Ideal diodning ekvivalent sxemalari to'g'ri ulash (3.22, a-rasm) va teskari ulash (3.22, b-rasm) uchun oddiy tasvirlanishi mumkin.

3.5. Yarimo'tkazgich diodlarning turlari

Diodlar turli belgilarga ko'ra sinflanadi: yarimo'tkazgich materialiga ko'ra kremniyli, germaniyli, galliy arsenidli, selenli; ishlash asosini belgilab beruvchi jarayonlar tabiatiga ko'ra tunelli, fotodiodlar, yorug'lik diodlari va h.k.; qo'llanilish maqsadlariga ko'ra to'g'rilovchi, impulsli, stabilitronlar, varikaplar va h.k.; elektr o'tishni tayyorlash texnologiyasiga qo'ra eritish, diffuziya va h.k.; strukturasiga ko'ra nuqtali va yassi. Ular ichida eng asosiysi strukturasiga va qo'llanilish maqsadlariga ko'ra sinflanishidir (3.23-rasm).

Hozirgi vaqtda keng qo'llanilayotgan diodlar germaniy, kremniydan yasalgan bo'lib, galliy arsenidi va fosfididan diodlar tayyorlash kelajagi porloq ekanligi tasdiqlangan.

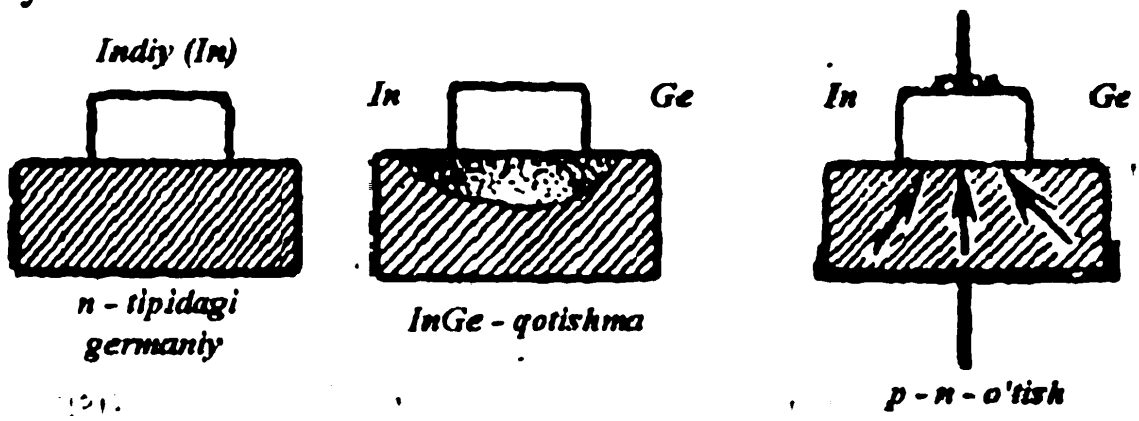


3.23-rasm. Diodlarning sinflanishi va shartli - grafik belgilanishi

Germaniyli diodning asosi bo'lib germaniy monokristallidan kesilgan, qalinligi taxminan 0,3 mm,li.plastinka xizmat qiladi, u elektronli elektr o'tkazuvchanlikka ega, ya'ni unda beshinchi guruh elementlaridan biri (odatda, surma yoki mishyak) aralashgan. Plastinka yuzasi diod tokiga bog'liq, u qancha katta bo'lsa, plastinka shuncha katta bo'ladi. Shu plastinkaga uchinchi guruh elementi indiy bo'lakchasi qo'yiladi (3.24 - rasm) va u vakuum pechida germaniy bilan eritiladi.

Bunday termik ishlov vaqtida termodiffuziya natijasida indiy atomlari germaniy plastinkasiga o'tadi va keyinchalik akseptor bo'lib, germaniyda kovakli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qatlam vujudga keltiradi. Indiy bo'lakchasiga yuqoridan metall

tok o'tkazuvchi payvandlanadi, u plastinkani yuqoridagi elektrod bilan tutashtiradi. Pastki elektrod germaniy bilan kontakt hosil qilishi kerak, ya'ni ventilli o'tish hosil qilmasligi kerak. To'g'rilagich germetik korpusga tashqi ta'sirlardan himoyalash uchun joylashtiriladi.



3.24-rasm. Germaniyli diodda p–n o'tishni hosil qilish

Germaniyli ventillarning kamchiliklari quyidagilardan iborat: birinchidan, ular temperatura o'zgarishiga sezgir 55–60°C dan yuqori temperaturada ularda elektr parametrlarining qaytmas o'zgarishi sodir bo'ladi; ikkinchidan, ichki qarshiliklarining farqi tufayli ketma-ket ulashda bu ventillar kuchlanishni teng taqsimlamaydi va ventillarning xususiy kuchlanishlarini tenglashtirish uchun rezistorlar orqali shuntlashga to'g'ri keladi, bu esa f.i.k. va qurilmaning to'g'rilash koeffitsiyentini kamaytiradi.

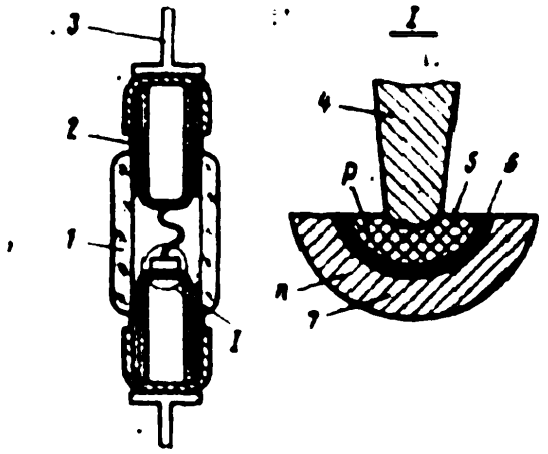
Kremniyli diodning asosiy qismi elektronli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yupqa kremniy plastinkasidir. Bu plastinka aluminiy bo'lagi bilan uchinchi guruh elementi bilan qorishtiriladi: aluminiy atomlarini kremniy ichiga o'tishi, unda teshikli elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qatlam vujudga keltiradi, plastinkada esa p–n o'tish hosil bo'ladi.

Kremniyli ventillar germaniylikka nisbatan ancha katta to'g'ri qarshilikka ega, lekin ularning teskari qarshiliklari ham katta. Bundan tashqari, kremniyli diodlarning afzalligi shundaki, ular ish temperaturasining 180—200°C gacha oshishiga va juda katta tok zichligiga ham yo'l qo'yadi. Natijada bir xil quvvatda kremniyli

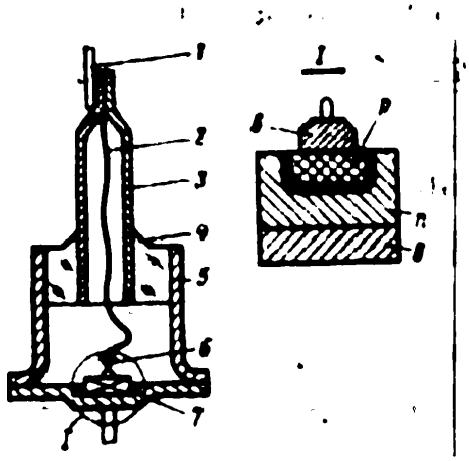
ventillarning o'lchamlari ancha kichik. Lekin yarimo'tkazgichli asboblar uchun kerakli juda sof kremniyni olish va uni shu holatda saqlash juda katta qiyinchiliklar bilan bog'liq. Shu tufayli hatto kremniy yer sharida kisloroddan keyin eng ko'p tarqalgan element bo'lishiga qaramay kremniyli yarimo'tkazgichli asboblar qimmat turadi.

Texnika rivojlanishining umumiy yo'nalishi hamma boshqa turdagi ventillarni (masalan, elektr kuch qurilmalarida ionli simobli ventillarni kremniyli tiristorlar bilan almashtirish) kremniyli ventillar bilan almashtirish juda katta texnik iqtisodiy foyda beradi.

3.5.1.Nuqtali diodlarning tuzilishi. Nuqtali diodlar bir necha milliamper tokka mo'ljallangan. Ular elektron o'tishli (p-tipli) yupqa yarimo'tkazgich plstinkadan yasaladi (3.25-rasm). Nuqtali elektr o'tish yarimo'tkazgich plastinka 7 va uchi o'tkirlashgan aluminniy yoki indiy bilan qoplangan metal prujina simlarning jipslashgan joyida 6 hosil bo'ladi.



3.25 - rasm. Nuqtali diod tuzilishi



3.26 - rasm. Yassi diod tuzilishi

Odatda nuqtali diodlar n -tipdagi germaniydan, metall prujina (diametri 0,05–0,1 mm) yupqa volfram yoki po'lat simdan tayyorlanadi va n - tipli germaniy uchun u akseptor hisoblanadi. Ba'zan yanada yaxshiroq p–n o'tish hosil bo'lishi uchun prujina uchi indiy bilan qoplanadi. Agar diod orqali qisqa impulsli tok (bir necha amper) o'tkazilsa metall uchidagi qoplama erib

yarimo'tkazgich plastinka ichiga o'tadi va boshqa tipdagi o'tish qatlamini hosil qiladi. Ana shu qatlam bilan plastinka orasida yarim sferik shaklda taxminan 10–12 mkm^2 yuzali p–n o'tish 6 hosil bo'ladi.

Nuqtali diodlar korpusi germetik holda yasalgan sopol yoki shisha ballon 2 dan iborat va u yorug'lik tushmasligi uchun yorug'lik qaytaruvchi qora rangga bo'yalgan. O'tishlar chiqishlari 3 nay 2 orqali tashqariga chiqarilgan.

Kontakt yuza kichik bo'lganligi tufayli nuqtali diodlardagi to'g'ri tok nisbatan kichik bo'ladi. Shu sababli ularning elektrodlararo sig'imi ham kichik bo'lib, bunday diodlardan amalda juda yuqori chastotalar sohasida ham qo'llanilishi mumkin (SVCh-diodlar). Nuqtali diodlar asosan, o'zgaruvchan toklarni to'g'rilashda ishlatiladi

3.5.2.Yassi diodlar tuzilishi. Yassi diodlar bir necha ampyergacha bo'lgan toklarga mo'ljallangan (3.26 - rasm). Yassi diodlar yassi elektr o'tishga ega bo'lib, uning chiziqli o'lchamlari (yuzasi) p–n o'tish kengligidan bir muncha katta. Bu yuza kvadrat millimetrning yuzdan bir ulushidan (mikro yassi diodlar) bir necha o'nlab kvadrat santimetr (kuchli diodlar) gacha bo'ladi.

Yassi diodlarni kristall ushlab turgich 8 ga birlashtirilgan yarimo'tkazgich plastinka (p–n o'tish) 7 ko'rinishida yasaladi. Bu plastinkaga eritish yoki diffuziya usuli bilan indiy yoki (germaniy uchun) alumin (kremniy uchun) atomlari kiritiladi. Yuqori kontakt 6 nisbatan katta tok o'tkazish va o'zidan issiqlik tarqatish qobiliyatiga ega. Bular hammasi zichlashtirilgan korpus 5 ga joylashtirilgan va undan tashqi hamda ichki chiqish 1,2 lar tsilindr 4 ichidagi nay 3 orqali tashqariga chiqarilgan. Yassi diodlarni tayyorlashda maxsus texnologiyalardan foydalangan holda kichik yuza o'tishli mikro yassi va diffuziyali mezadiodlar olish mumkin.

Yarimo'tkazgichli diodlarning qo'llanilishi va vazifalariga ko'ra quyidagi asosiy guruhlarga ajratish mumkin.

3.5.3.To'g'rilovchi diodlar o'zgaruvchan tokni to'g'rilash uchun qo'llaniladi. Bunday diodlarda elektron-kovak o'tishning nochizig'iyligidan foydalaniladi. To'g'rilovchi diodlarning bir nechta turi mavjud:

past chastotali to'g'rilovchi diodlar, o'zgaruvchan tok chastotasi 50 Hz dan oshmagan holda qo'llaniladi. Ko'p hollarda ishchi chastota sanoat chastotasi, ya'ni 50 Hz dan iborat. Past chastotali to'g'rilovchi diodlarga kremniyli va germaniyli yassi diodlar kiradi. To'g'rilangan tok qiymatiga ko'ra diodlar kichik quvvatli (to'g'ri toki 0,3 A dan kam), o'rtacha quvvatli (0,3 dan 10 A gacha) va katta quvvatli (10 A dan yuqori) turlarga bo'linadi;

yuqori chastotali to'g'rilovchi diodlar, modulyatsiyalangan signallarni detektorlash uchun qo'llaniladi va 150 MHz gacha bo'lgan chastotada ishlashga mo'ljallangan. Ular germaniy yoki kremniy materiallaridan tayorlanadi. To'siq sig'imini kamaytirish uchun ular nuqtaviy diodlar ko'rinishida tutashish yuzasi taxminan $10^{-19}-10^{-10}$ м^2 bo'lgan holda yasaladi;

o'ta yuqori chastotali to'g'rilovchi diodlar, radioreleli aloqa miniyalarining santimetrli radio to'lqinlari diapazonida, radiolokatsiya qurilmalarida qo'llaniladi. Konstruktsiyalari nuqtali tipda germaniy yoki kremniydan tayyorlanadi.

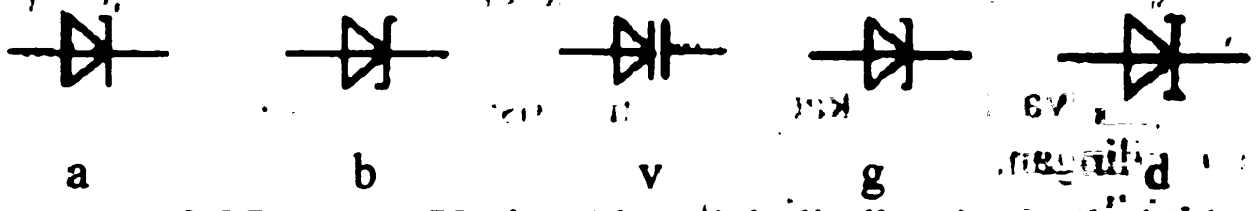
Tortuvchi nimstantsiyalar va elektr harakat tarkibida katta quvvatli kremniyli yassi diodlar qo'llaniladi.

Impulsli diodlar mikro va nanosekundli diapazondagi impulslarni hosil qilish va kuchaytirish sxemalarida qo'llaniladi. Ular germaniy va kremniy materiallaridan yasaladi. Nuqtali va yassi diodlar sifatida ishlatiladi.

Yarimo'tkazgich diodlar turli ko'rinishdagi volt–amper xarakteristikalar(xususiyatlar)ga ega bo'lib, bu ularning qo'llanish sohalarini belgilab beradi.

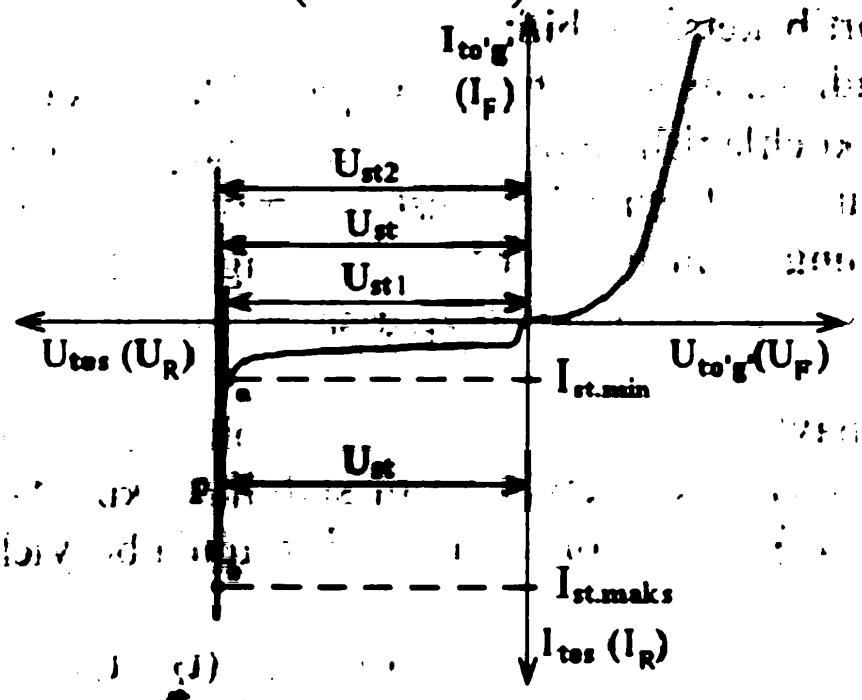
3.5.4.Stabilitron. Bu elektr teshilish rejimida ishlash uchun mo'ljallangan yarimo'tkazgichli diod stabilitronning grafik belgisi 3.27,a-rasmda keltirilgan. Elektr teshilish rejimida stabilitron toki

sezilarli darajada o'zgarishiga qaramasdan kuchlanish o'zgarishi uncha katta bo'lmaydi. Stabilitron kuchlanishni stabillaydi.



3.27 - rasm. Yarimo'tkazgich diodlarning turlari

Namuna sifatida kremniyli stabilitron D814D ning volt – amper xarakteristikalarini (3.28-rasm) ko'rsatamiz.



3.28- rasm. Stabilitron D814D ning volt – amper xarakteristikalari

Stabilitronlarda bazaning solishtirma qarshiligiga bog'liq holda ham tunnelli, ham ko'chkili va aralash teshilish bo'lishi mumkin. Agar stabilitron kichik omli bazali (kichik kuchlanishli) bo'lsa ko'chkili teshilish yuzaga keladi.

Stabilitronning asosiy parametrlari quyidagilar:

U_{st} – stabillash kuchlanishi (teshilish rejimidagi mu'ayan tokda);

$I_{st.\,min}$ – stabillashning minimal ruxsat etilgan toki;

$I_{st.mak}$ – stabillashning maksimal ruxsat etilgan toki;

r_{st} – stabilitronning differensial qarshiligi (teshilish qismiga to'g'ri kelgan), $r_{st} = dU/di$;

α_{Ust} (KTK) – stabillash kuchlanishining temperatura koeffitsenti.

U_{st}, $I_{st.mak}$ va $I_{st.\,min}$ kattaliklarni musbat qiymatlarda ko'rsatish qabul qilingan.

Stabilitrondan teskari teskari tokning modul bo'yicha qiymati $I_{st.\,min}$ dan kam bo'lganda foydalanib bo'lmaydi, chunki bunda kuchlanish stabillashuvi sifatsiz bo'ladi (differensial qarshilik haddan tashqari katta bo'ladi). Agar teskari tok moduli bo'yicha $I_{st.mak}$ dan ortib ketsa stabilitron qizib kyetadi, issiqlik teshilishi yuzaga keladi va asbob ishdan chiqadi. Stabilitronda r_{st} qancha kam bo'lsa, kuchlanish stabillashuvi shuncha yaxshi bo'ladi.

α_{Ust} – bu stabillash toki const (doimiy) bo'lganda stabillash kuchlanishining nisbiy o'zgarishining atrof – muhit temperaturasining absolyut o'zgarishiga nisbatini ko'rsatuvchi koeffitsiyent

Faraz qilaylik, t_1 temperaturada stabillash kuchlanishi U_{st1} bo'lsin. U holda t_2 temperaturadagi stabillash kuchlanishi U_{st2} ni α_{Ust} tushunchasiga mos holda quyidagi formula bo'yicha hisoblash mumkin:

$$U_{st2} = U_{st1} + U_{st1} \cdot \alpha_{Ust} \cdot (t_2 - t_1).$$

Tunnelli teshilishga ega bo'lgan stabilitronlarda α_{Ust} manfiy: $\alpha_{Ust} < 0$. Ko'chkili teshilishli stabilitronlarda α_{Ust} musbat: $\alpha_{Ust} > 0$.

Ba'zan ko'chkili teshilishli stabilitronlar to'g'ri yo'nalishda ishlovchi diod bilan ketma–ket ulanadi. Diodda temperatura koeffitsyenti manfiyi va u stabilitronning musbat koeffitsentini kompensantsiyalaydi.

D814D stabilitron uchun $t = 25^\circ C$ dagi parametrlar:

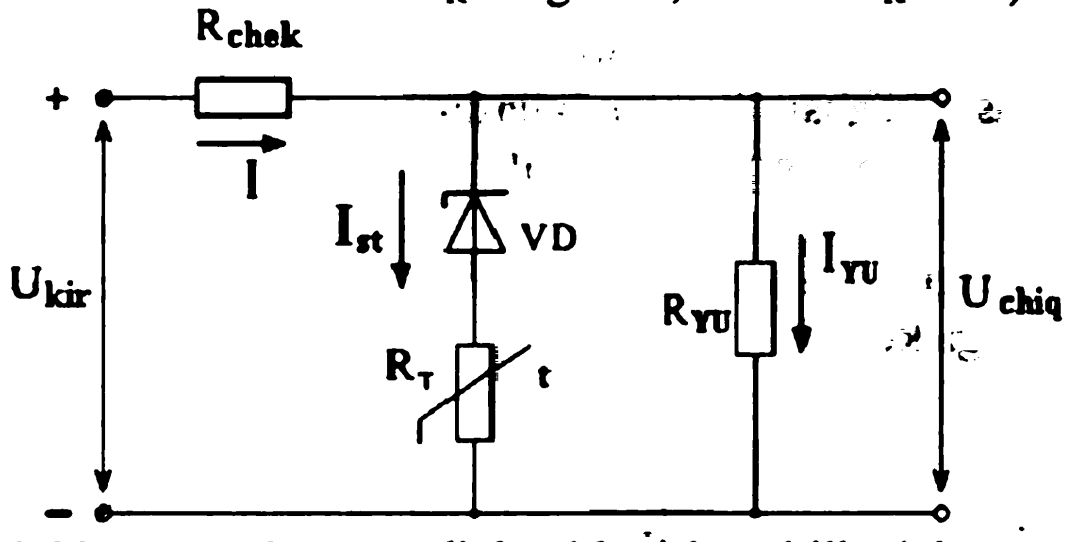
$I_{st.\,min} = 3$ mA, $I_{st.mak} = 24$ mA,

r_{st} – 18 Om dan ko'p emas,

α_{Ust} – 0,00095 $1/^\circ C$ dan ko'p emas.

Stabilitronning amalda keng qo'llaniluvchi sxemalardan biri – parametrik kuchlanish stabillagich sxemasi (3.29- rasm) ni ko'rib

o'tamiz. Ma'lumki, agar kuchlanish U_{kir} qiymati yetarlicha yuqori bo'lsa stabilitron teshilish rejimida bo'ladi va bu kuchlanishning o'zgarishi amalda chiqish kuchlanishi U_{chiq} ni o'zgartirmaydi (bunda tok i va kuchlanish U_R o'zgaradi, chunki $U_R = iR$).



3.29 - rasm. Parametrik kuchlanish stabillagich sxemasi

Teshilish rejimida asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar injeksiyasi yo'q, shuning uchun ortiqcha zaryad ham to'planmaydi. Buning natijasida stabilitron tezkor ishlovchi asbob xususiyatiga ega bo'ladi va impulsli sxemalarda yaxshi ishlaydi.

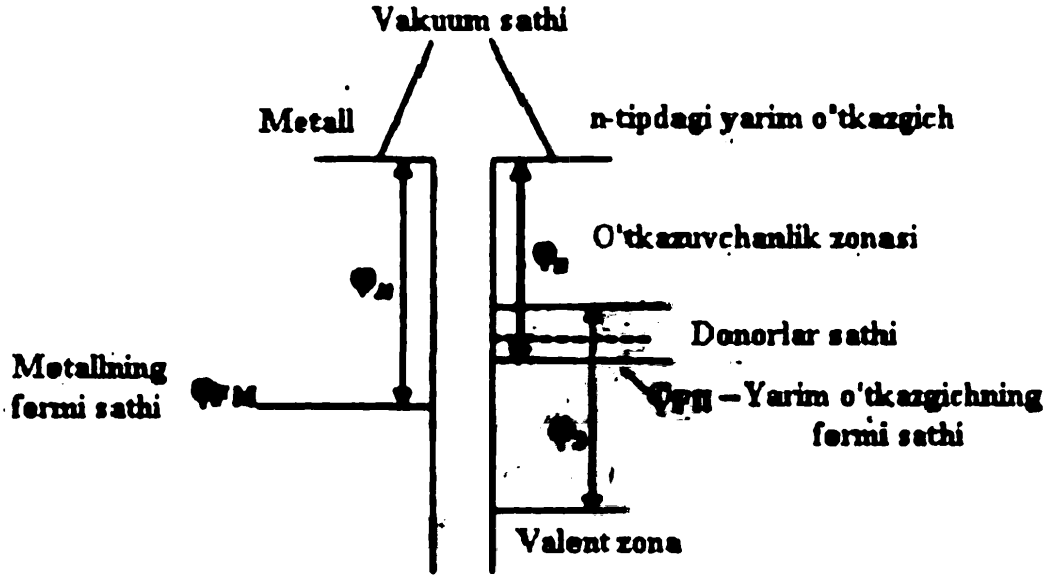
Kichik qiymatli kuchlanishlarni stabillash uchun mo'ljallangan yarimo'tkaz-gichli diod - **stabistor** bo'lib, to'g'ri ulanish vaqtida undagi kuchlanish (taxminan 0,7 V) tokka deyarli bog'liq emas (xarakteristikaning to'g'ri shaxobchasida bu bo'lak deyarli vertikal (tik) ko'rinishda bo'ladi).

3.5.5.Shottki diodi. Bu diodda p-n o'tish qo'llanilmaydi, unda metall –yarimo'tkazgich to'g'rilovchi kontakt xususiyatlaridan foydalaniladi. Shottki diodining shartli belgilanilishi 3.27, b-rasmda ko'rsatilgan.

Zonalar diagrammasi (3.30-rasm)ga e'tibor berib, uni to'g'rilanmaydigan kontakt zona diagrammasi bilan taqqoslab ko'ramiz.

n-tipdagi metall-yarimo'tkazgich to'g'rilovchi kontakt uchun kontakt potensiallar farqi $\varphi_{mp} = \varphi_m - \varphi_p$ musbat : $\varphi_{mp} > 0$.

O'tkazuvchanlik zonasiga mos keluvchi energetik sathlar yarimo'tkaz-gichlarda metallardagiga qaraganda ko'proq to'lgan. Shuning uchun metall va yarimo'tkazgich tutashtirilganda elektronlarning bir qismi yarimo'tkazgichdan metallarga o'tadi. Bu esa n-tipdagi yarimo'tkazgichda elektronlar konsentratsiyasining kamayishiga olib keladi. Yarimo'tkazgichda erkin zaryad tashuvchilar kambag'allashgan va yuqori solishtirma qarshilikga ega bo'lgan soha hosil bo'ladi. O'tish sohasida hajmiy zaryadlar paydo bo'ladi va endi elektronlarning yarimo'tkazgichdan metallga o'tishiga qarshilik qiluvchi potensial to'siq yuzaga keladi.



3.30 - rasm. To'g'rilovchi va to'g'rilanmaydigan kontakt zona diagrammalarini taqqoslash

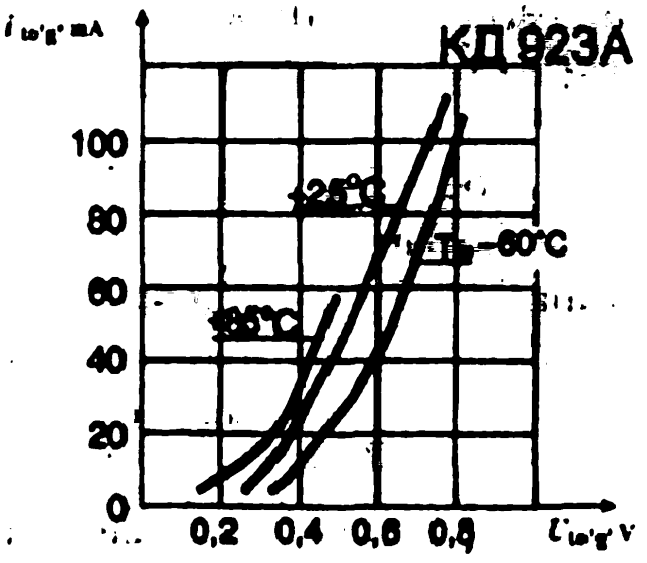
Agar tashqi kuchlanish manbayini musbat qutbini metallga manfiy qutbini n- tipdagi yarimo'tkazgichga ulansa, potensial to'siq kamayadi va o'tish orqali to'g'ri tok oqa boshlaydi. Agar qutblar o'rni almashtirilsa potensial to'siq ortadi va tok juda kichik bo'ladi.

Shottki diodi ishlashi vaqtida asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar injeksiyasi yo'q. Shuning uchun zaryadlar to'planishi va ularning so'rilishi jarayonlari ham bo'lmaydi, bu esa Shottki diodlarini tezkor asboblar jumlasiga kirishiga asos bulib, ular bir

necha o'nlab gigagerts (1GHz $=1\cdot10^9$ Hz) chastotalarida ishlash imkoniyatiga ega.

Shottki diodida kichik qiymatda teskari tok va kichik to'g'ri kuchlanish (taxminan 0,5 V) bo'lishi mumkin, bu esa kremniyli asboblarnikiga nisbatan ancha kichik hisoblanadi. Maksimal ruxsat etilgan to'g'ri tok o'nlab va yuzlab amperni, maksimal ruxsat etilgan kuchlanish – yuzlab voltni tashkil yetadi.

Namuna sifatida impulsli qurilmalarda ishlash uchun mo'ljallangan Shottki to'siqli (Shottki diodi) KD923A kremniyli diodning volt-amper xarakteristikasi to'g'ri tarmog'ini ko'rsatamiz (3.31-rasm).

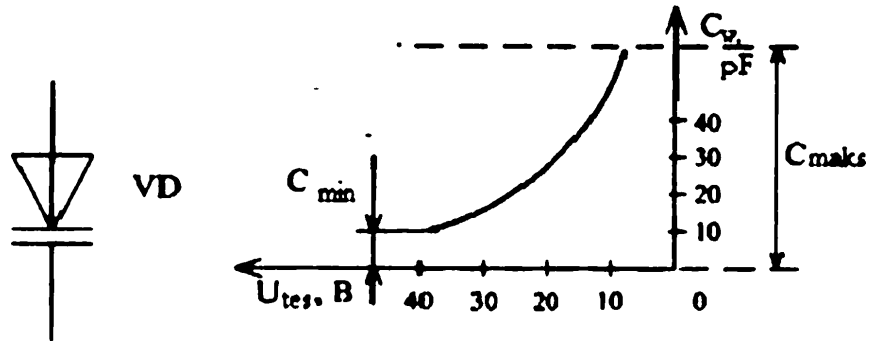


3.31-rasm. Shottki diodi(KD923A kremniyli diod)ning volt-amper xarakteristikasi to'g'ri tarmog'i

Bu diod uchun $I_{to'g'\ maks}$=100 mA, $U_{tes.maks}$ =14V ($t \leq 35^0$ C bo'lganda), zaryad tashuvchilarning yashash vaqti 0,1 ns dan ko'p emas, U_{tes} = 10V va $t' = 25^0$ C bo'lganda doimiy teskari tok qiymati 5mkA dan oshmaydi.

3.5.6.Varikap. Bu sig'imi kuchlanish bilan boshqaruvchi kondensator sifatida ishlash uchun mo'ljallangan yarimo'tkazgichli diod. 3.32-rasmda varikapning shartli belgisi (a) va sig'imining teskari kuchlanishga bog'liqligi (b) ko'rsatilgan.

Varikapga teskari kuchlanish beriladi. Varikapning baryer sig'imi teskari kuchlanishni (moduli bo'yicha) orttirilganda kamayadi. Varikap sig'imining o'zgarish xarakteri oddiy diodlarniki kabi bo'ladi.



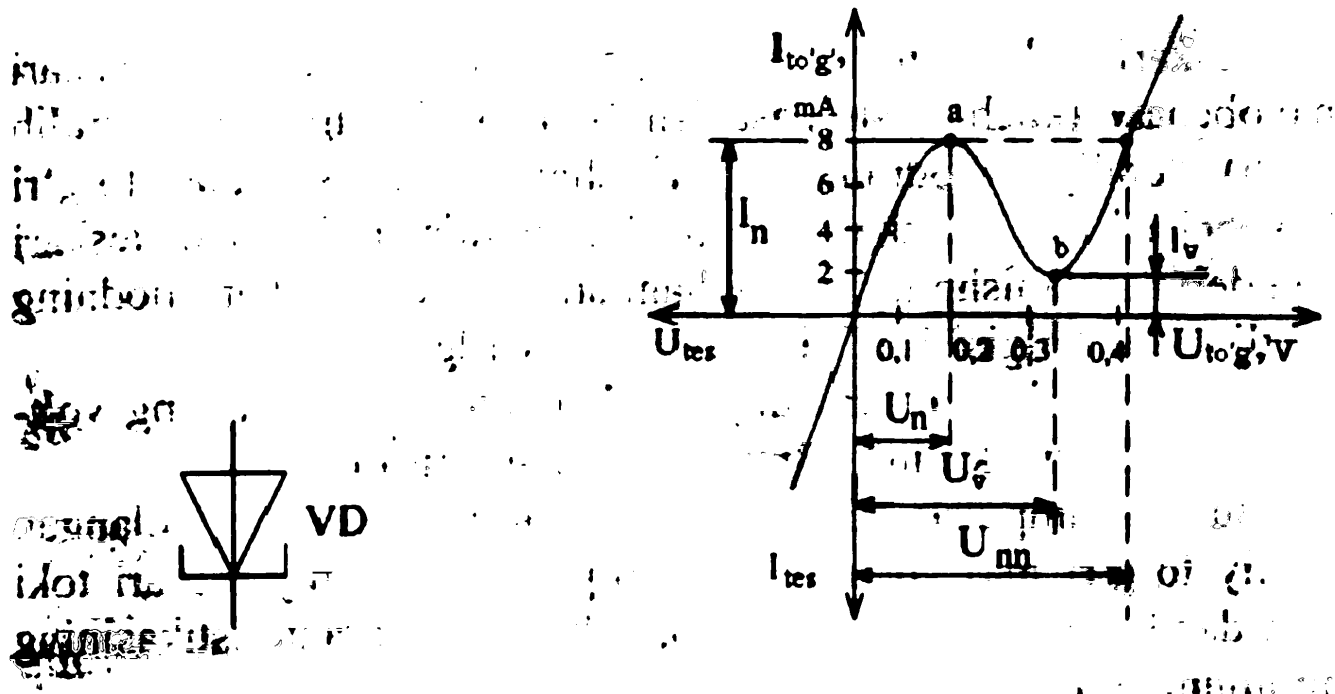
a) b)

3.32-rasm. Varikap shartli belgisi (a) va sig'imining teskari kuchlanishga bog'liqligi (b)

3.5.7.Tunnelli diod. Bu to'g'ri ulanish vaqtida tunnelli teshilish hodisasiga asoslangan yarimo'tkazgichli diod. Tunnelli diodning xususiyatlaridan biri – volt -amper xarekteristikasining to'g'ri shaxobchasida manfiy differensial qarshilikli bo'lakning mavjudligidir. Tunnelli diodning shartli belgisi 3.27, g - rasmda ko'rsatilgan.

Namuna sifatida 2...10sm to'lqin uzunligida kuchaytirish (bu 1 GHz dan yuqori chastotaga mos keladi) uchun mo'ljallangan germaniyli tunelli kuchaytirish diodi 1I104A ($I_{to'g'.maks}$=1mA - doimiy to'g'ri tok, $U_{tes.maks}$=20mV) volt-amper xarakteristikasining to'g'ri shaxobchasini ko'rsatamiz (3.33 –rasm).

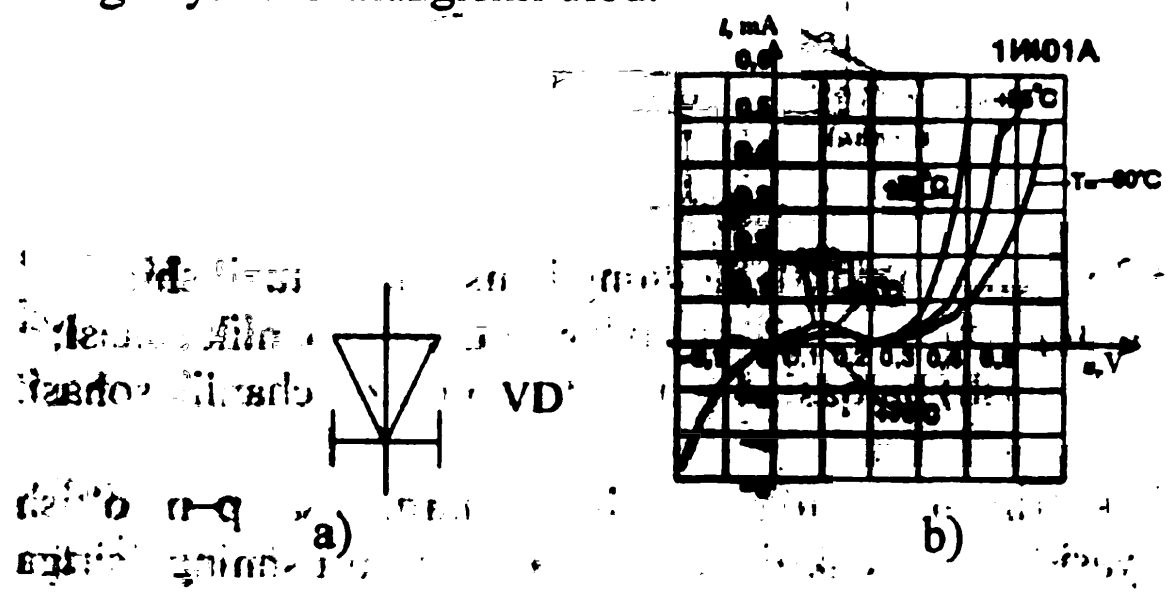
Xarakteristikasining minimum nuqtasida umumiy sig'imi 0,8...1,9 pF ga teng. Eslatib o'tamiz, diodni testr bilan tekshirishga ruxsat etilmaydi. Tunnelli diodlar juda yuqori chastotalarda (1GHz dan yuqori) ishlashi mumkin. Volt-amper xarakteristikasida manfiy differensial qarshilikning mavjudligi tunnelli diodlardan kuchaytiruvchi element sifatida va generatorlarning asosiy elementlari sifatida qo'llash imkonini beradi.



3.33 - rasm. Tunelli diod (1I104A) volt-amper xarakteristikasining to'g'ri shaxobchasi

Hozirgi paytda tunelli diodlar aynan shu maqsadlarda o'ta yuqori chastotalarda keng qo'llanilmoqda.

3.5.8.Teskari diod. Bu fizik jarayonlari tunelli diodlarnikiga o'xshash, lekin volt-amper xarakteristikasining manfiy differensial qarshilikli bo'lagi bo'lmagan yoki kuchsiz ko'rinishga ega bo'lgan tunelli diodlarning varianti sifatida qarash mumkin bo'lgan yarimo'tkazgichli diod.



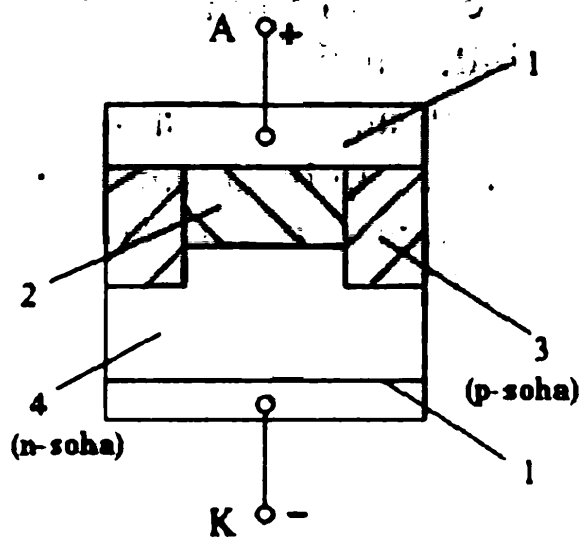
3.34-rasm. Teskari diod (1I104A) ning shartli belgisi(a) va volt-amper xarakteristikasi(b)

Teskari diodning volt-amper xarakteristikasi teskari shaxobchasi (kuchlanish pasayishi juda kichikligi bilan ajralib turadi) "oddiy" diodning to'g'ri shaxobchasi sifatida, to'g'ri shaxobchasi esa – teskari shaxobcha sifatida qo'llaniladi teskari diod deb nomlanishning sababi ham ana shunda. Teskari diodning shartli grafik belgisi 3.27, d-rasmda ko'rsatilgan.

Namuna sifatida germaniyli teskari diodi 1I104A ning volt-amper xarakteristikasini ko'rsatamiz (3.34,b-rasm).

Bu diod impulsli qurilmalarda qo'llash uchun mo'ljallangan doimiy to'g'ri toki 0,3mA dan ko'p emas, doimiy teskari toki 4mA dan ko'p emas $t \leq 35^0$ C da), volt-amper xarakteristikasining minimum nuqtasida umumiy sig'im 1,2... 1,5 pF.

3.5.9.Ko'chkili diodlar. So'ngi yillarda oddiy diodlar o'rniga ko'chkili diodlar keng qo'llana boshlandi. Ko'chkili diod deb ko'chki hosil bo'lish kuchlanishi nazorat ostida ("boshqariluvchi") bo'lgan diodga aytiladi (3.35-rasm).



3.35-rasm.Ko'chkili diodning konstruktiv tuzilishi:
1 – volframli plastinkalar; 2 – r tipdagi o'tkazuvchanlik sohasi; 3 – himoya (saqlash) halqasi; 4 – n tipdagi o'tkazuvchanlik sohasi.

Tashqi ko'rinishdan ular o'xshash, farqi esa p–n o'tish konstruktsiyasida. Ko'chkili diodlarda p–n o'tishning sirtga chiqish joyida kremniy plastinkasidan aylana bo'yicha kengligi L bo'lgan yuza qismi orqali olinadi, natijada chiqish sohasida

hajmiy zaryadlar kengligi ortadi va maydon kuchlanganligi kamayadi.

Bundan tashqari plastinkaning aylana bo'yicha p–n o'tish chiqishidagi sohasida asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini uning o'rta qismidagiga nisbatan kam qilib yasaladi. Shuning uchun p–n o'tishning kengligi bu sohada ortadi va plastinkaning o'rta qismidagi teshilish kuchlanishi uning chet qismiga nisbatan kamroq bo'ladi.

Ko'chkili diodlarda teshilish jarayonida teskari tok ko'chkisimon ortsa ham, u "boshqariluvchan" bo'lib qolaveradi va strukturaning barcha yuzasi bo'ylab oqib o'tadi, diod qabul qiluvchi kuchlanish cheklanishli bo'ladi.

Teshilish kuchlanishidan katta bo'lgan teskari kuchlanish ta'sir etganda teskari tokning ortishi yuzaga keladi. Bu tok p–n o'tish yuzasi buyicha bir tekis taksimlanadi va uning alohida bir joyda yig'ilib qolmasligi natijasida issiqlik teshilish yuz bermaydi. Shu paytda tekis ko'chkili teshilish sodir bo'ladi, ya'ni diod orqali elektr razryadi hosil bo'ladi. Bunday razryad vaqtida dioddagi kuchlanish ilgarigi darajada ushlab turiladi va p–n o'tishda oddiy diodlardagiga qaraganda ancha katta energiya ajrab chiqishi mumkin.

Shunday qilib, ko'chkili diodlar ko'chki hosil bo'lish kuchlanishiga chidash qobiliyatiga ega, natijada yuzaga kelgan o'ta kuchlanish zanjirning unga kam sezuvchan bo'lgan boshqa elementlariga yuklanadi.

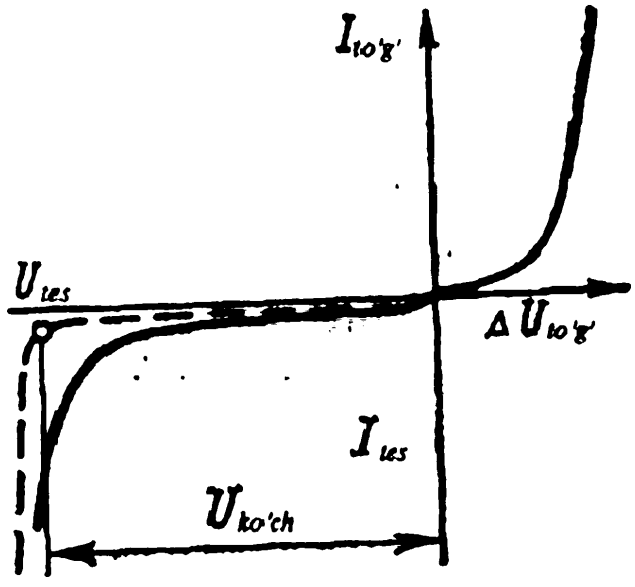
Ko'chkili diod asosini germetik korpusga joylashgan kremniyli to'g'rilovchi element tashkil yetadi. Uning konstruktsiyasi (3.35-rasm) deyarli oddiy kuchli diodnikiga o'xshash.

Bunday diodlar asosan keramik korpusga ega. Diodning germetikligi zichlashtiruvchi halqa yordamida ta'minlanadi. Ko'chkili diod anodi – korpus asosi, katodi – uchi ulashga mo'ljallangan egiluvchan sim.

Diodning ishchi tokini oshirish uchun issiqlik chiqishini yaxshilash kerak, ya'ni yarimo'tkazgich elementni sovitishni yaxshilash, p–n o'tish yuzasini oshirish va tok o'tishi vaqtida issiqlik kengayishi ta'sirida kremniyli plastinkada yuzaga keluvchi mexanik kuchlanishni kamaytirish kerak. Buning barchasi tabletka konstruktsiyali diodlarni yasashda qo'llanilgan.

3.35-rasmda ko'chkili diodning volt-amper xarakteristikasi ko'rsatilgan, unda teskari kuchlanish yaqqol egilgan bo'lak ko'chki hosil bo'lish kuchlanishi **Uko'ch** deb ataladi.

Rasmda shtrixlangan chiziq bilan ko'chkili diodning, tutash chiziq bilan esa ko'chkili bo'lmagan diodning teskari volt-amper xarakteristikasi ko'rsatilgan. Ko'chkili diodlar teskari yo'nalishida katta miqdordagi sochilish quvvatiga ega va shuning uchun o'ta kuchlanishga chidamli, shuningdek ular teskari kuchlanish bo'yicha oddiy diodlarga nisbatan kam zahiraga (50% o'rniga 20%) ega.



3.36 – rasm. Ko'chkili diodning volt-amper xarakteristikasi

So'nggi yilarda katta quvvatdagi diodlarning 320, 500 A va undan katta tokka mo'ljallangan havo bilan sovitishli turlari keng qo'llanilmoqda, p–n o'tishdan issiqlikni olish uchun ikki tomonlama sovitkichlar qo'llaniladi, diodlar tabletka

konstruktsiyali bo'lib, sopol yoki shisha metalli korpusga joylanadi.

Oddiy diodlarda teskari tok o'tishi vaqtida ajralib chiquvchi quvvat isrofi to'g'ri tok o'tishidagi quvvat isrofidan ancha kam bo'ladi. Buni p–n o'tishning barcha yuzasi bo'yicha diod to'g'ri tokining tekis taqsimlanishi va natijada ajralib chiquvchi issiqlik ana shu yuza bo'yicha sochilib, muayan joylarda harorat ko'tarilib ketishining oldi olinishi bilan izohlash mumkin.

Ko'chkili diodlarda yuqori darajadagi bir jinsli strukturali kremniy monokristallini va yarimo'tkazgichga ishlov berishning maxsus texnologiyasini qo'llash tufayli teskari tok p–n o'tish yuzasi bo'yicha tekis taqsimlanadi.

Chegaraviy toki 200 - 320 A bo'lgan ko'chkili diodlar uchun ruxsat etilgan teskari tokning qisqa muddatli impulslari maksimal qiymati bir necha o'n ampyerga yetadi.

Ruxsat etilgan teskari tokning kattaligi sababli ko'chkili diodlarni ketma-ket ulash vaqtida kuchlanishlarni majburan tekis taqsimlashga hojat qolmaydi.

Ko'chkili diodlarning to'g'ri tok bo'yicha o'ta yuklanish qobiliyati oddiy diodlarnikiga mos keladi. Ko'chkili diodlar oddiy diodlarni o'ta kuchlanishdan himoyalashda qo'llanilishi mumkin. Bunda ko'chkili diodlar oddiy diodlarga parallel ulanishi yoki razryadlovchi sifatida to'g'irlangan kuchlanish tomonida yoki o'zgartiruvchi transformatorning ventil chulg'amida qo'llanilishi mumkin.

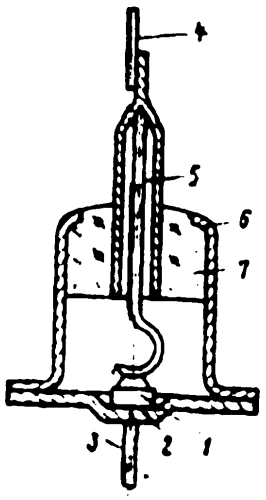
3.6.Kuchli diodlarning konstruktsiyalari va ularni sovutish

Kuchli yarimo'tkazgichli diodlar o'zgaruvchan tokdan ta'minlanuvchi elektr harakat tarkibida, o'zgarmas tokda elektrlashtirilgan temir yo'llarda, turli shahar elektr transporti elektr ta'minoti tizimida to'g'rilagichlar sifatida keng qo'llaniladi.

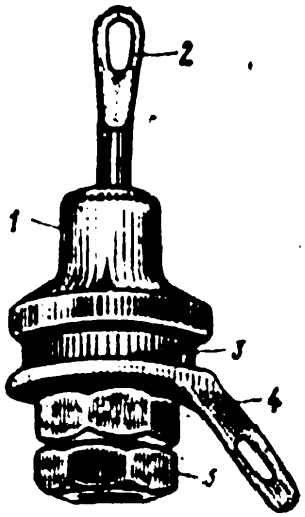
O'rta quvvatli diodlar yassi strukturali qilib tayyorlanadi. Bunday diodlarning p–n o'tishli kristall plastinkasi 1 metall asos 2

ga joylashtiriladi (3.37- rasm). Bu asosga chiqish 3 ulangan. Ikkinchi chiqish 4 kristall plastinkaga sim 5 bilan ulangan. Korpus 6 metall ko'rinishida bo'lib, asos bilan kavsharlangan va izolyatsiya qatlami 7 ga ega.

Diod KD202 ning p–n o'tishli plastinkasi issiq haydovchi asosga mahkamlangan va tashqi ta'sirlardan metall korpus 1 bilan zichlangan (3.38 - rasm). Tashqi chiqish 2 korpusning yuqori qismidan kavsharlangan g'ovak nay orqali o'tgan. Gaykali vint ko'rinishida bajarilgan ikkinchi chiqish izolyatsiyalovchi vtulka 4 orqali o'tkazilgan va kontakt plastinka 4 bilan ulangan.



3.37 – rasm. O'rta quvvatli diodning yassi strukturasi



3.38 – rasm. Diod KD202 ning tashqi ko'rinishi

Kremniyli va germaniyli diodlarning afzalliklari to'g'ri yo'nalishdagi kuchlanishning kichik pasayishlarida ruxsat etilgan tok zichligining katta bo'lishidadir. Kremniyli asboblarning ruhsat etilgan teskari kuchlanishlari katta bo'lishini hisobga olsak, bu o'z navbatida ulardan o'zgartiriluvchi kuchlanish qiymati yuqori bo'lgan hollarda ham katta toklarni to'g'rlovchi takomillashgan kuch diodlarini yasash imkoniyatini beradi.

Quvvatli kremniy diodlar uchun vakuum texnologiyasi yordamida olingan solishtirma qarshiligi 0,8–1,2 Om·m, diffuziya uzunligi 0,2–0,3 mkm bo'lgan kremniy monokristalli qo'llaniladi.

Kremniy plastinkalarning faol yuzasi ruhsat etilgan tok zichligi (0,5 –1,0 A/mm^2) bo'yicha tanlanadi.

Ruhsat etilgan tok zichligining yuqori bo'lishi, yarimo'tkazgich plastinka o'lchamining kichikligi katta to'g'ri toklar oqib o'tganda ajralib chiquvchi issiqlikni chiqarib yuborishda ancha qiyinchilik keltirib chiqaradi. Haroratni ruhsat etilgan chegarada ushlab turish uchun odatda, sun'iy sovitishdan foydalaniladi.

3.39-rasmda chegaraviy toki 200 A bo'lgan kremniyli diodning kesimi sxemasi keltirilgan. Alumin qotishmasi qatlami 8 yuqori darajada legirlangan kremniy 9 kremniy diski 10 dan iborat p–n o'tishli plastinka pastki volfram disk 12 ga kumushning surmali qotishmasi 11 bilan kavsharlangan. Volfram disk vazmin mis asos 13ga biriktirilgan. Kremniyli plastinkaning yuqori qismi yuqori volfram disk 7 bilan kavsharlangan, diskga mis tovoqcha 6, unga o'z navbatida ichki egiluvchan misli chiqishning uchi 4 ulangan.

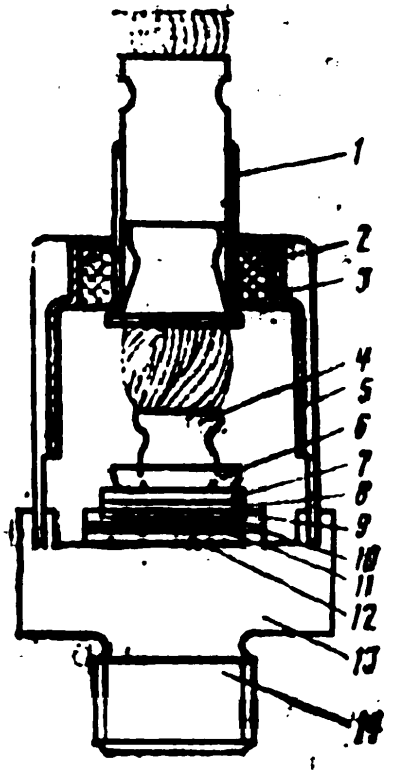
Chiziqli kengayish temperatura koeffitsiyenti kremniynikiga yaqin bo'lgan volfram disklar kremniy kristalli bilan mis asos o'rtasida p–n o'tish sohasi tok tufayli qizishidan yuzaga keluvchi mexanik kuchlanishni kamaytiradi.

Kremniy va volfram disklar ichki qismi emallangan po'lat korpus 5 ga joylashtirilgan. Korpus chiqishi vtulka 1 bilan qo'rg'oshin oyna qatlami 2 yordamida bog'langan. Po'lat korpus qo'rg'oshin oynasi bilan emal qatlami 3 orqali biriktirilgan va izolyator hisoblanadi. Ichki egiluvchan chiqish issiqlik deformatsiyalarini kamaytiradi, tashqi chi-qish boshqa apparatlar tok o'tkazuvchi qismlari bilan egiluvchan bog'lanishni ta'minlaydi. Ventilning mis asosi sovitgichni mahkamlash uchun mo'ljallangan bolt 14 dan iborat.

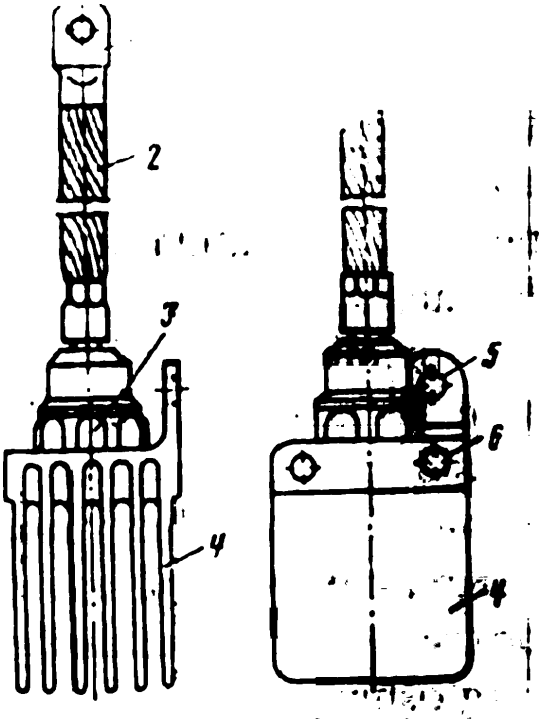
Quvvatli kremniy va germaniy diodlar havo yoki suyuqlik sovitgichlarga ega. Havo bilan sovitishda ventilning vazmin mis asosi 3 (3.40-rasm) qirrali tarmoqlangan sirtli metall sovitgich 4 ga burab kiritiladi. Havo bilan sun'iy sovitishda ventilda ajralib

chiquvchi asos orqali sovitgichga beriladi va u issiqni tashqi muhitga chiqarib yuboradi. Havo bilan majburiy sovitishda sovitgichlar qobiq ichiga olinib ular orqali ventilyator (shamollatgich) yordamida hosil qilingan havo o'tkazib turiladi.

Sovitgich korpusi asosida izolyatsiyalangan sterjenlar uchun ikki tirqish 6 bo'lib, ularga o'zgartirgich sxemasiga bog'liq holda bir nechta ventillar mahkamlanishi mumkin. Sovitgichning yuqori qismidagi tirqish 5 ventillarni ketma ket ulash uchun xizmat qiladi. Ulashni engillashtirish uchun chiqishlardan biri (3.40 - rasmda anod chiqish 1) egiluvchan sim 2 dan yasaladi.



3.39 - rasm. Kremniyli diodning kesimi sxemasi



3.40 - rasm. Diodni havo bilan sovutgich tuzilishi

Havo bilan majburiy sovitish vaqtidagi ruhsat etilgan to'g'ri tok qiymati sun'iy sovitishdagiga nisbatan yuqori bo'ladi. 100 A va undan katta toklarga mo'ljallangan quvvatli ventillar hisobiy tokni sun'iy sovitish sharoitida sovituvchi havo tezligi 12 m/s dan kam bo'lmagan holda o'tkazadi.

Tabiy sovitish vaqtida ruxsat etilgan tok hisobiy tokning 25–35% ni tashkil yetadi.

Hozirgi paytda tabiiy havo sovitgichlarning ruxsat etilgan toklarni nominal qiymatlariga yaqin holda o'tkazishni ta'minlovchi konstruktsiyalari ishlab chiqilgan.

Suv bilan sovitish vaqtida ventilning har bir chiqishi sovitkichning misdan yasalgan tsilindrsimon korpusidagi chuqurchasiga burab kiritiladi va bu chuqurcha orqali sovituvchi suv oqiziladi. Suvni uzatish va chiqarish ikki shtutser orqali amalga oshiriladi. Shtutserlarga sovitish tizimining ichaklari kiydiriladi va ulardan biri buramali shtutser - katod chiqish sifatida qo'llaniladi.

Moyli sovitish vaqtida ventillar transformator moyi bilan to'ldirilgan korpusga joylashtiriladi. Ventillarda ajrab chiquvchi issiqlik sovitkich sirti orqali tsirkulyar harakatdagi moyga beriladi.

Yarimo'tkazgichli asboblar tayyorlash texnologiyasining yaxshilanishi va statik o'zgartirgichning quvvatlari ortishi bilan yarimo'tkazgich ventillarning ruxsat etilgan chegaraviy toklari ham ortadi. Bunday hollarda 3.40 - rasmda ko'rsatilgan konstruksiyali sovitgichlar samara bermaydi, shu bilan birga suyuqlikli sovitgichlarning so'rg'ich, issiqlik almashgich, o'tkazgich quvur va h.k. lardan iborat murakkab tizimdan foydalanishga to'g'ri keladi.

Shuning uchun havo sovitgichli katta quvvatli ventillar yassi asosli, issiqni atrof muhitga ikki tomonlama chiqarish imkoniga ega bo'lgan tabletka konstruksiyali qilib yasaladi. Ular sopol yoki metall shisha korpus epoksidli kompaundlardan foydalangan holda tayorlanadi. Metall sopol korpusli ventilning tabletka ko'rinishidagi konstruktsiyasi 3.41,a - rasmda, ventil sovitgich bilan 3.41,b -rasmda keltirilgan.

Diodni sovitish jadalligini oshirish uchun uning korpusiga alumin yoki misdan yasalgan qovurg'ali sovitgich mahkamlanadi. Korpus asosida burama tishli sterjen (shtir-ventil nomi ham shundan olingan "shtirli diod") bo'lib, uni sovitgichga burab kirgiziladi.

Diod faqat sovitgich bo'lganda va uni havo bilan shamollatib turilgandagina nominal tok bilan ishlashi mumkin. Elektr harakat tarkibida sovituvchi havo tizimi 12 m/s bo'lgan majburiy sovitish tizimi qo'llaniladi.

3.41 - rasm. Katta quvvatli ventil (a) va uning sovitgichi (b)

Tortuvchi nimstansiyalarda sovituvchi havo tezligi 10 m/s bo'lgan majburiy sovitish tizimli UVKE-1 (1M) va PVE-3 (3M) tipdagi ventil konstruksiyalari qo'llaniladi. Bunday tezliklarda sovitish tizimi tiqilib qolishidan holi bo'ladi, majburiy sovitishga sarf bo'lgan quvvat qurilma quvvatining 0,5 % dan oshmaydi.

Suv bilan sovitiluvchi diodlar ba'zi kamchiliklari (montaj murakkabligi, tuz yig'ilishi tufayli issiqlik almashish yomonlashuvi, qish paytida sovitish tizimini isitish zarurati va sh.k.) sababli tortuvchi nimstantsiyalar va elektr harakat tarkibida hozir deyarli qo'llanilmaydi.

Tortuvchi nimstantsiyalarning TPED, PVKE-2, PVE-5 tipdagi o'zgartgich-lari tabiiy havo sovutgichlarga ega, V-TPED o'zgartgichi radiatorlardan foydalanilgan bug'lanish – kondensatli sovitish tizimidan iborat.

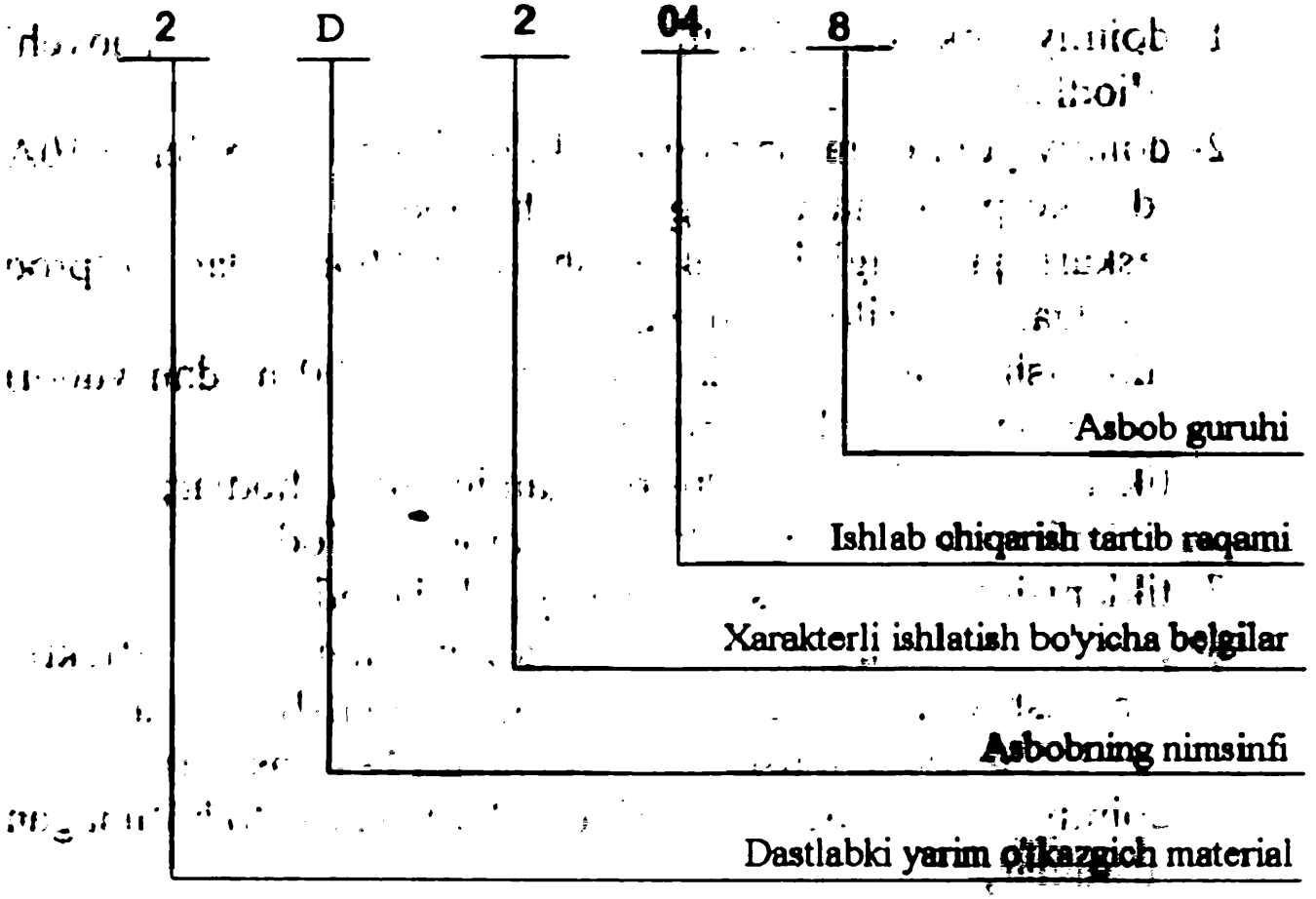
3.7. Diodlarning shartli belgilanishi

Zamonaviy yarimo'tkazgichli diodlarning qo'lanilish maqsadlari, fizikxususiyatlari, asosiy elektr parametrlari, konstruktiv – texnologik belgilari, yarimo'tkazgich material turiga qarab sinflanishi diodlarni shartli belgilash uchun asos qilib olingan va quyidagi belgilashlar qabul qilingan.

Yarimo'tkazgichli diodlarning shartli belgilanishi ma'lum standartlar bilan, masalan, Rossiyada ishlab chiqarilgan OST 11336.919-81, kuchli diodli asboblar – GOST 20859.1-89 bilan tartibga solingan. Belgilashlar tizimi asosiga harf-raqamli kod qo'yilgan.

Birinchi element (raqam yoki harf) – yarimo'tkazgich materiali, ikkinchi (harf) – asboblarinig nimsinfi, uchinchi (raqam) – asbob asosiy funksional imkoniyatlarini, to'rtinchi– ishlab chiqarish texnologiyasi bo'yicha tayyorlangan asboblarni parametrlari bo'yicha siniflanishini shartli aniqlovchi harf.

Yarimo'tkazgich materiallarni belgilash uchun quyidagi simvollar qo'llaniladi:



G yoki 1 – germaniy yoki uning aralashmasi;

K yoki 2 – kremniy yoki uning aralashmasi;

A yoki 3 – galliy aralashmasi;

I yoki 4 – indiy aralashmasi.

Diodlarning nimsinfini belgilash uchun quyidagi harflardan biri qo'llaniladi:

D– to'g'rilovchi yoki impulsli diodlar;
Ts– to'g'rilovchi ustun yoki bloklar;
V– varikaplar;
I– tunnelli diodlar;
A– o'ta yuqori chastotali diodlar;
S– stabilitronlar;
G– shovqin generatorlari;
L–nur chiqaruvchi opto elektron asboblar;
O– opto juftliklar.

Yarimo'tkazgichli diodlarning ishlatish belgilari (ularning funksional imkoniyatlari) ni belgilash uchun quyidagi raqamlardan foydalaniladi;

Diodlar (D nimsinfi):

1- doimiy yoki o'rtacha to'g'ri toki 0,3A dan to'g'rilovchi diodlar;
2- doimiy yoki o'rtacha to'g'ri toki 0,3A dan ko'p, lekin 10A dan ko'p bo'lmagan to'g'rilovchi diodlar;
3- teskari qarshiligining tiklanish vaqti 500ns. dan ko'proq bo'lgan to'g'rilovchi diodlar;
4- tiklanish vaqti 150ns dan yuqori, lekin 500 ns dan yuqori bo'lmagan impulsli diodlar;
5- tiklanish vaqti 30... 150ns bo'lgan impulsli diodlar;
6- tiklanish vaqti 5... 30ns bo'lgan impulsli diodlar;
7- tiklanish vaqti 1...5ns bo'lgan impulsli diodlar;
8- asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarining effektiv yashash vaqti 1 ns dan kam bo'lgan impulsli diodlar.

To'g'rilovchi ustunlar va bloklar (Ts nimsinfi):

1- doimiy yoki o'rtacha to'g'ri toki 0,3A dan ko'p bo'lmagan ustunlar;
2- doimiy yoki o'rtacha to'g'ri toki 0,3... 10A bo'lgan ustunlar;
3- doimiy yoki o'rtacha to'g'ri toki 0,3A dan ko'p bulmagan bloklar;

4- doimiy yoki o'rtacha to'g'ri toki 0,3... 10A bo'lgan bloklar;

Varikaplar (B nimsinfi);

1- moslashtiruvchi varikaplar;
2- ko'paytiruvchi varikaplar;

Tunnelli diodlar (I nimsinfi);

1- kuchaytiruvchi tunnelli diodlar;
2- generatorlari tunnelli diodlar;
3- qayta ulagichli tunnelli diodlar;
4- teskari diodlar.

O'ta yuqori chastotali diodlar (A nimsinfi);

1- aralashtiruvchi diodlar;
2- detektrlovchi diodlar;
3- kuchaytiruvchi diodlar;
4- parametrli diodlar;
5- qayta ulovchi va cheklovchi diodlar;
6- ko'paytiruvchi va sozlovchi diodlar;
7- generatorli diodlar;
8- impulsli diodlar.

Stabilitronlar (C nimsinfi);

1- stabillash nominal kuchlanishi 10V dan kam bo'lmagan, quvvati 0,3 W dan ko'p bo'lmagan stabilitronlar;
2- stabillash nominal kuchlanishi 10... 100 V,quvvati 0,3 W dan ko'p bo'lmagan stabilitronlar;
3- ....100 V dan ko'p bo'lmagan, quvvati;
4- ....10 V dan kam bo'lmagan, quvvati 0,3... W stabilitronlari;
5- ....10...100 V, quvvati 0,3...5 W stabilitronlar;
6- ....100 V dan ko'p bo'lmagan ,quvvati 0,3...5 W stabilitronlar;
7- ....10 V dan kam bo'lmagan , quvvati 5... 10 W stabilitronlar;
8- ....10...100V, quvvati 5...10 W stabilitronlar;
9- ....100 V dan ko'p bo'lgan , quvvati 5...10 W stabilitronlar;

Shovqin generatorlari (G nimsinfi):

1- past chastotali shovqin generatorlari ;

2- yuqori chastotali shovqin generatorlari.

Ishlab chiqarish tartib raqamini belgilash uchun 01dan 99 gacha bo'lgan ikki qiymatli raqam qo'llaniladi. Agar ishlab chiqarish tartib raqami 99dan oshib ketsa, u holda uch qiymatli raqamlar (101dan 999gacha) dan foydadaniladi.

Parametrlar bo'yicha sinflanishni aniqlovchi harflar rus alfavitidagi (Z,O, Ch, I, Sh, Shch, Yu, Ya, , ', E lardan tashqari) harflar bilan ifodalanadi.

Belgilash uchun qo'shimcha elementlar sifatida quyidagi simvollar qo'llaniladi:

Raqamlar 1dan 9 gacha – asbob konstruktsiyasini yoki elektr parametrlarini o'zgarishiga olib kelgan modifikatsiyani belgilash uchun ;

Harf – elektr bog'lanishsiz yoki bir xil chiqarishlari bilan bog'lanishli bir tipdagi asboblarning umumiy korpusda yig'ilib, jamlanganini belgilash uchun ;

Defis orqali yozilgan raqamlar– korpussiz asboblarning quyidagi konstruktiv modifikasiyalarini belgilash uchun qo'llaniladi:

1- kristal ushlagichsiz yumshoq chiqishlari bo'lgan;

2- kristal ushlagichli (taglikda) yumshoq chiqishlari bo'lgan ;

3- kristal ushlagichsiz (tagliksiz) qattiq chiqishlari bo'lgan ;

4- kristal ushlagichli (taglikda) qattiq chiqishlari bo'lgan;

5- kristal ushlagichsiz va chiqishlari bo'lmagan kontakt yuzali;

6- kristal ushlagichli va chiqarishlari bo'lmagan kontakt yuzali.

Yarimo'tkazgichli asboblarning belgilanishi namunalari:

2D 204 V– doimiy va o'rtacha toki qiymati 0,3... 10A bo'lgan kremniyli to'g'rilovchi diod, ishlab chiqarish raqami 04, V guruh.

KS 620A – stabillash nominal kuchlanish 100V dan ko'p bo'lgan, quvvati 0,5 ... 5V, kreminiyli stabilitron, ishlab chiqarish raqami 20,A guruh.

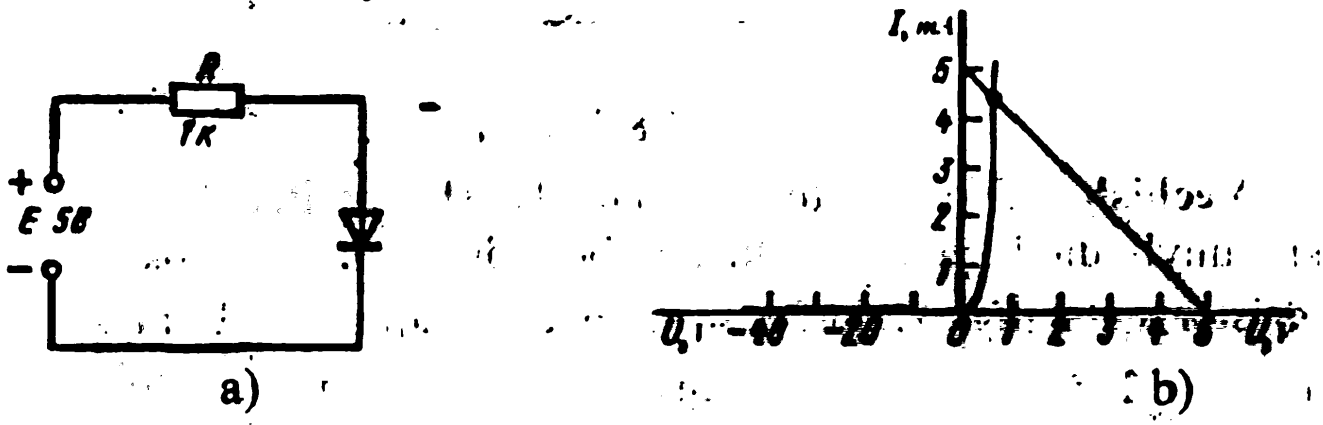
Z I 309J – arsenid galliyli qayta ulovchi tunelli diod, ishlab chiqarish raqami 09, J guruh.

3.8.Bo'limga doir masalalar yechish namunalari

3.1-namuna. Agar 3.8.1, a - rasmda keltirilgan sxemada E=5V, R=1 kOm, teskari to'yinish toki $I_0 = 10^{-12}$A, temperatura T=300K bo'lsa, elektr zanjirdagi ideal volt – amper xarakteristikaga ega bo'lgan diod toki I ni aniqlang.

Yechish. Masalani grafo-analitik usulda echamiz. Berilgan tok $I_0 = 10^{-12}$A qiymatidan foydalangan holda diodga kuchlanishlar berib, uning volt-amper xarakteristikasini quyidagi tenglamaga ko'ra quramiz:

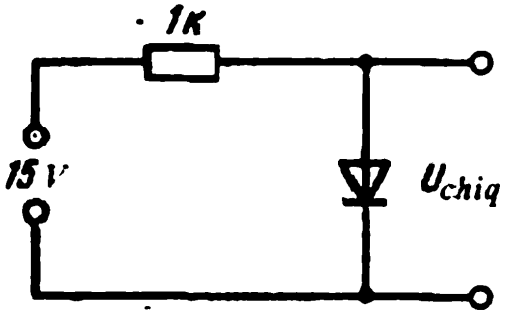
$I = I_0(e^{eU/kT} - 1)$, va 3.8.1,b - rasmdagi volt-amper xarakteristikaga ega bo'lamiz. Endi bu grafikda yuklama to'g'ri chizig'ini quramiz. Buning uchun zanjirning holat tenglamasi $I = (E - U)/R$ dan foydalanamiz.



3.8.1-rasm

Yuklama to'g'ri chizig'ining volt-amper xarakteristika bilan kesishish nuqtasi masalaning echimini beradi. Undan I = 4,5 mA ekanligini aniqlaymiz.

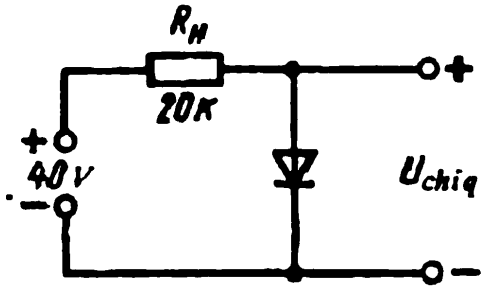
3.2-namuna. Ideal diod sxemaga 3.8.2-rasmda ko'rsatilgandek ulangan. Chiqish kuchlanishini aniqlang.



3.8.2- rasm

Yechish. Diodga teskari kuchlanish berilganligi uchun diodning teskari qarshiligi bir necha yuz kiloom yoki undan ham kattaroq deb faraz qilish mumkin. Demak,amalda barcha kuchlanish diodga tushadi, ya'ni chiqishdagi kuchlanish $U_{chiq} = 15$ B.

3.3-namuna. Agar xona temperaturasida ishlatiluvchi diodning issiqlik toki $I_0 = 10$ mkA bo'lsa, 3.8.3-rasmda ko'rsatilgan sxemaning chiqish kuchlanishini toping.



3.8.3- rasm

Yechish. Diodga to'g'ri kuchlanish berilganligi uchun kremniyli diod qarshiligi kichik bo'ladi sxemadagi tok asosan rezistor qarshiligi R_{yu}=20 kOm bilan aniqlanadi. Demak, I = $40/(20 \cdot 10^3) = 2$ mA. Bu qiymatni yarimo'tkaz-gichli diod tenglamasiga qo'yib va uni kuchlanish U ga nisbatan echib, quyidagini olamiz:

$$I = I_0\left(e^{eU/kT} - 1\right);$$

$$2 \cdot 10^{-3} = 10 \cdot 10^{-6}\left(e^{eU/kT} - 1\right);$$

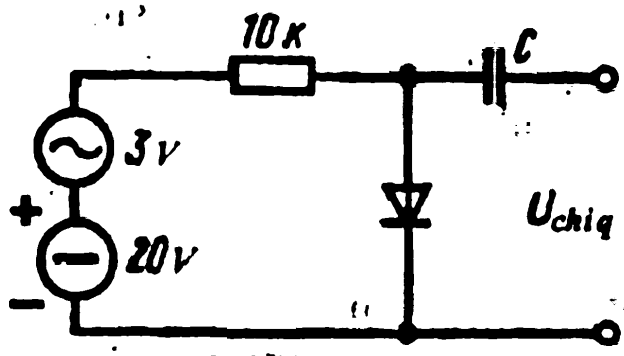
Chiqish kuchlanishi U ni toppish uchun tenglamaga quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$e^x = 201$; bunda $x = e^{eU/kT} = 5{,}30$; $kT/e \approx 26\,mV$.

Demak, sxemaning chiqish kuchlanishi qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$U_{chiq} = 5{,}30 \cdot 26\ мВ = 0{,}138 \approx 0{,}14\ V.$$

3.4-namuna. Agar 3.8.4-rasmdagi diodning ishlashi xona temperaturasida bo'lsa, shu sxema chiqishidagi o'zgaruvchan kuchlanishni toping.



3.8.4-rasm

Yechish. Chiqishdagi o'zgaruvchan kuchlanish dioddagi kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisiga teng bo'ladi. Ishchi nuqta holati diodning o'zgarmas tok tashkil etuvchisi $I = 20/(10 \cdot 10^3) = 2$ mA bilan aniqlanadi.

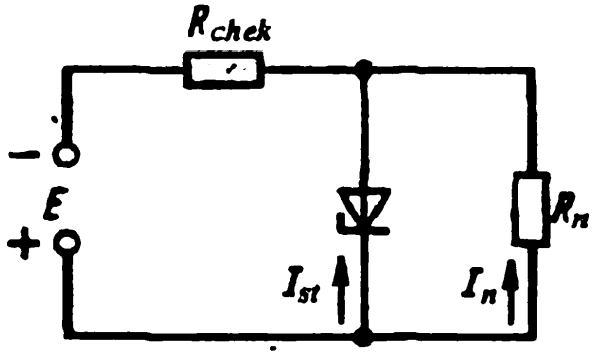
Diodning to'g'ri differensial qarshiligini quyidagi formuladan topamiz:

$$R_{dif} = kT/eI = 26 \cdot 10^{-3}/(10 \cdot 10^{-3}) = 13\ Om.$$

Chiqishdagi o'zgaruvchan kuchlanish:

$$U_{chiq} = 3 \cdot 13/(13 + 10 \cdot 10^3) = 3{,}9\ mV.$$

3.5-namuna. Yuklamadagi kuchlanishni me'yorlash uchun 3.8.5-rasmda ko'rsatilgan tayanch dioddan foydalaniladi. Uning me'yorlash kuchlanishi o'zgarmas va $U_{st} = 10$ V ga teng. Agar stabilitronning maksimal toki $I_{st.maks} = 30$ mA, stabilitronning minimal toki $I_{st.min} = 1$ mA, yuklama rezistor qarshiligi $R_{yu} = 1$ kOm va cheklovchi rezistor qarshiligi $R_{chek} = 500$ Om bo'lsa, oziqlantiruvchi kuchlanish o'zgarishining ruxsat etilgan chegaraviy qiymatlarini aniqlang.



3.8.5-rasm.

Yechish. Ta'minlovchi manba kuchlanishi sxemaga binoan quyidagicha yozilishi mumkin:

$$E = U_{st} + R_{chek}(I_{yu} + I_{st}) .$$

Yuklama orqali o'tuvchi tok:

$$I_{yu} = U_{st}/R_{yu} .$$

Shunday qilib,

$$E = U_{st}\ (1 + R_{chek}/R_{yu}) + I_{st} R_{chek}.$$

Bu formulaga stabilitron orqali o'tuvchi toklarning maksimal va minimal qiymatlarini qo'yib, kuchlanish o'zgarishining ruxsat etilgan chegaraviy qiymatlarini aniqlaymiz:

$$E_{min} = 10\ (1 + 0{,}5) + 1 \cdot 0{,}5 = 15{,}5\ V ,$$

$$E_{max} = 10\ (1 + 0{,}5) + 30 \cdot 0{,}5 = 30\ V .$$

3.6-namuna. Kremniyli stabilitron D813 kuchlanish me'yorlash uchun yuklama rezistori R_{yu} = 2kOm ga ulangan (3.8.5-rasm).Stabilitron ma'lumotlari : me'yorlash kuchlanishi U_{st} =13V , stabilitron maksimal toki $I_{st.maks}$ = 20 mA, stabilitron minimal toki $I_{st.min}$ = 1 mA.

Agar manba kuchlanishi E_{min} =16 V dan E_{maks} =24 V gacha o'zgarsa cheklovchi rezistor qarshiligi R_{chek} ning qiymatini toping. Kuchlanish E ning barcha o'zgarishi oralig'ida me'yorlash ta'minlanadimi yoki yo'qmi aniqlang.

Yechish. Cheklovchi rezistor qarshiligini quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$R_{chek} = (E_{o'rt} - U_{st})/(I_{o'rtst} + I_{yu}) ,$$

bunda $E_{o'rt} = 0{,}5\ (\ E_{min} + E_{max}\ ) = 0{,}5\ (16+24) = 20\ V.$

Stabilitron orqali o'tuvchi o'rtacha tok:

$$I_{o'rt.st} = 0,5\,(I_{st.min} + I_{st.max}) = 0,5\,(1+20) = 10,5\ A.$$

Yuklama orqali o'tuvchi tok:

$$I_{yu} = U_{st}/R_{yu} = 13/(2,2 \cdot 10^3) = 5,9\ mA.$$

Demak, cheklovchi rezistor qarshiligi:

$$R_{chek} = (20 - 13)/[(10,5 + 5,9) \cdot 10^{-3}] = 7/(16,4 \cdot 10^{-3}) \approx 430\ Om.$$

Me'yorlash manba kuchlanishining quyidagi chegaralarida ta'minlanadi:

$$E_{min} = U_{st} + (I_{st.min} + I_{yu})\,R_{chek} = 13 + (10^{-3} + 5,9 \cdot 10^{-3}) \cdot 430 \approx 16\ V$$

dan

$$E_{max} = U_{st} + (I_{st.max} + I_{yu})\,R_{chek} = 13 + (20 \cdot 10^{-3} + 5,9 \cdot 10^{-3})430 = 24,1\ V$$ gacha.

Shunday qilib, manba kuchlanishi E ning barcha o'zgarishi oralig'ida me'yorlash ta'minlanadi.

Rezyume

-Diod n va p-tipdagi yarim o'tkazgichlarni birgalikda biriktirilgan holda yaratiladi.

-O'tish sxemasiga yaqin qismi kambag'allashgan qatlam deyiladi.

-Elektronlar o'tish orqali n -tipdagi materialdan p-tipdagi materialga siljiydi va shuning uchun o'tishga yaqin qismda elektron va kovaklar konsentrasiyalari kamayadi.

-Kambag'allashgan qatlam o'lchami o'tishning har ikkala tomonidagi zaryad bilan chegaralangan.

-O'tish yaqinidagi zaryadlar potensial baryer (to'siq) deb ataluvchi potensiallar farqini hosil qiladi.

-Potensial to'siq germaniy uchun 0,3 volt va kremniy uchun 0,7 voltni tashkil yetadi.

-Tashqi kuchlanish qiymati potensial to'siq qiymatidan katta bo'lgandagina diod orqali tok oqishi mumkin.

-To'g'ri yo'nalishda siljishli diod tok o'tkazadi. Bunda tok manbasining musbat qisqichi p-tipdagi materialga, uning manfiy qisqichi esa n-tipdagi materialga ulanadi.

-Teskari yo'nalishda siljishli diod orqali kichik qiymatda sizish toki o'tadi.

-Diod tokni faqat bir tomonlama o'tkazuvchi qurilmadir.

-Diod pasportida diodning maksimal to'g'ri toki va ruxsat etilgan teskari kuchlanishning maksimal qiymatlari ko'rsatiladi.

-Diod katodi n-tipdagi materialdan, anodi p-tipdagi materiallardan iborat.

-Diodlar p–n o'tishni o'stirish, eritish va diffuziya usullari bilan tayyorlanadi.

-Hozirgi paytda diodlarni tayyorlash diffuziya usuli bilan amalga oshiriladi.

-Diodlarning markalanishida agar 3 ampyerdan kichik toklarga mo'ljallangan bo'lsa, katodni bildiruvchi oq yoki kumush rang bo'yoq korpusda katod tomonini ko'rsatuvchi belgi sifatida surkab qo'yiladi.

-Diodni tekshirib ko'rish uning to'g'ri va teskari qarshiliklarini ommetr yordamida taqqoslash orqali amalga oshiriladi. Diod to'g'ri yo'nalishli siljigan bo'lsa, uning qarshiligi kam , teskari yo'nalishli siljigan bo'lsa, uning qarshiligi yuqori bo'ladi.

Nazorat uchun savollar

1. Germaniyli yoki kremniyli diodda teskari tok qanday muammoni keltirib chiqarishi mumkin?

2. To'g'ri siljishli diod zanjiriga nima uchun rezistor ulanishi kerak?

3.Diodlarni ishlab chiqishning uch usulini tushuntiring.

4.Diodlarni ishlab chiqishning qaysi usuli afzalroq?

5.Diodlar qanday korpuslarda ishlab chiqariladi?

6.Diodlar qanday markalanadi?

7. Diodning volt – amper xarakteristikasiga ko'ra uning ish rejimini qanday aniqlanadi?

8. Yarimo'tkazgich diodlarning qanday turlari bor?

9. Yarimo'tkazgich diodlar qanday parametrlari bilan xarakterlanadi?

10. Kuchli diodlarning konstruktsiyalarini taqqoslang.

4. Tranzistorlar

4.1. Tranzistorlarning tuzilishi va ishlash asosi

Tranzistor deb uch yoki undan ko'proq chiqishlari bo'lgan, elektr signallarni kuchaytirish va hosil qilishda qo'llaniluvchi , shuningdek, elektr zanjirlarni kontaktsiz kalit element sifatida kommutatsiyalash (uzish yoki ulash) ni amalga oshirish imkoniga ega bo'lgan elektron - kovak o'tishli yarimo'tkazgichli asbobga aytiladi.

Uning "tranzistor" atamasi inglizcha so'zlar [TRANS]fer res[ISTOR]dan olingan bo'lib,[boshqariluvchi qarshilik] ma'nosini bildiradi. Bu nom tranzistorning asosiy xususiyati, ya'ni uning boshqaruvchi signal ta'sirida ichki qarshiligini o'zgartirish xususiyatini aks ettiradi.

Tranzistorda zaryad tashuvchilarning harakati diffuziya yo'li bilan yoki elektr maydon ta'sirida yuzaga kelishi mumkin. Shunga ko'ra, tranzistorlar bipolyar va maydonli tranzistorlarga bo'linadi. Bipolyar (ikki qutbli) tranzistorlarda tokni asosiy va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar (erkin elektron va kovaklar) yuzaga keltiradi. Maydonli (unipolyar) tranzistorlarda tok faqat asosiy zaryad tashuvchilar(erkin elektron yoki kovaklar) harakatidan yuzaga keladi.

Tranzistorlar germaniy, kremniy, binar bog'lanishli (galliy arsenidi GaAs, kremniy karbidi SiC, galliy fosfidi GaP) va uchlik bog'lanishli elementlardan tayyorlanadi.

Tranzistorlar yasalish konstruksiyalariga ko'ra nuqtali va yassi ko'rinishlarda bo'ladi. Nuqtali tranzistorlar elektron-kovak o'tish parametrlari stabilligi past bo'lgani uchun kam qo'llaniladi.

Tranzistorlar elektron-kovak o'tishlarini tayyorlash texnologiyasiga ko'ra quyidagi turlarga bo'linadi: qotishmali (eritish usuli bilan olingan elektron-kovak o'tish), diffuziyali (aralashmani diffuziya yo'li bilan olingan elektron-kovak o'tish) , diffuziya-qotishmali, planarli (ingilizcha "planar "-tekislik

so'zidan olingan, elektrodlar va ularning chiqishlari kristall sirtida bitta tekislikda joylashtirilgan), 'epitaksial' (epitaksiya - bitta monokristallning taglik deb'ataluvchi boshqa monokristall sirtida ma'lum yo'nalishda o'stirish).

Tranzistorlar sochiluvchi quvvatlari bo'yicha quyidagicha sinflanadi:

1) kam quvvatli (0,3 W gacha)–nuqtali, qotishmali, o'ta yuqori chastotali;
2) o'rta quvvatli (1,5 W gacha)–qotishmali, tekislikli;
3) katta quvvatli (1,5W dan yuqori)–qotishmali, tekislikli.

Tranzistorlar shuningdek, chegaraviy chastotaga ko'ra ham turlarga ajratiladi:

1) past chastotali (3 MHz gacha);
2) o'rta chastotali (30 MHz gacha);
3) yuqori chastotali (300 MHz gacha);
4) o'ta yuqori chastotali (SVCh) (300 MHz dan yuqori).

Ilk tranzistorlar kuchsiz tokli radioelektronika va avtomatika zanjirlarida elektron lampalar o'rnini egallagan bo'lsa, hozirgi paytda katta quvvatdagi yuzlab amper tokka va 1000 V gacha bo'lgan kuchlanishga mo'ljallangan tranzistorlar mavjud. Ular asosida o'rta quvvatdagi (bir necha yuz kW ga mo'ljallangan) zamonaviy o'zgartirgichlar ishlab chiqarilmoqda.

Bipolyar tranzistor deb signal kuchaytirish uchun mo'ljallangan navbatma-navbat keluvchi uchta sohadan iborat elektr o'zgartgich asbobga aytiladi. O'zaro o'tishlar bilan ajralib turuvchi uchta qo'shni sohaga ega bo'lgan bipolyar tranzistor yarimo'tkazgichli triod deb ataladi.

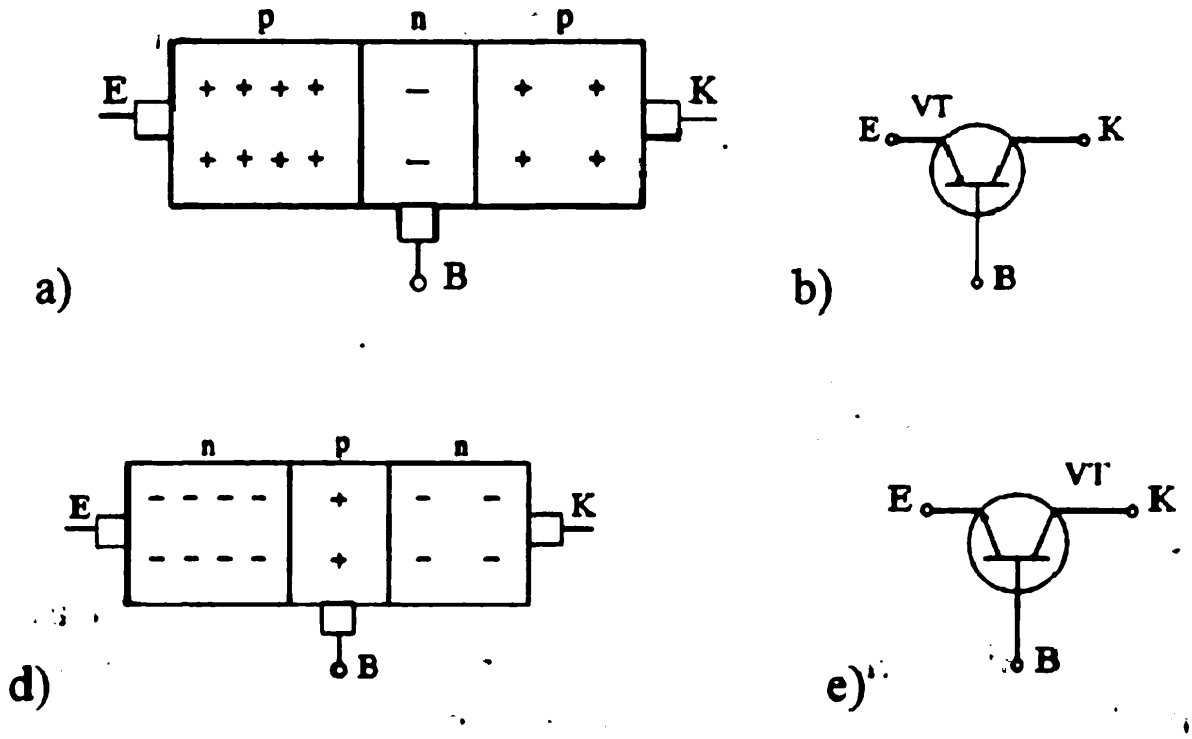
Bipolyar tranzistor 1949- yili U.B.Shokli tomonidan taklif etilgan.

Bipolyar tranzistorlarda uch qatlamli struktura ikki xil bo'lishi mumkin (4.1-rasm).

Zaryad tashuvchilar (elektron va kovaklar) manbasi hisoblangan tashqi qatlamlar emitter (E) deb ataladi. Emittyerdan

keluvchi zaryad tashuvchilarni qabul qiluvchi qatlam kollektor (K) deb ataladi. O'rta qatlam baza (B) deyiladi.

Emitter yarimo'tkazgichli triodning bazaga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni injeksiyalash uchun mo'ljallangan. Emitter va baza o'rtasidagi elektron - kovak o'tish emitterli o'tish deyiladi.



4.1-rasm.Mos holda p-n-p va n-p–n tiplardagi bipolyar tranzistorlar strukturalari (a,d) va shartli grafik belgilanishlari (b, e)

Kollektor esa tranzistorning bazasidan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchi-larni tortib olish (ekstraksiya) uchun mo'ljallangan. Kollektor va baza o'rtasi-dagi o'tish kollektorli o'tish deyiladi. Tranzistorni tayyorlash jarayonida uning barcha sohalari bitta monokristallda hosil qilinadi.

Agar baza elektron o'tkazuvchanlikli bo'lsa, tranzistor *p–n –p* tipli (4.1,a-rasm), agar kovak o'tkazuvchanlikli bo'lsa, *n–p–n* tipli (4.1,b-rasm) deb ataladi.

Ularning ishlash asoslari bir xil, ammo u yoki bu tipli tranzistor qo'llanilganda kuchlanish manbayi qutbini mos holda o'zgartirish lozim.

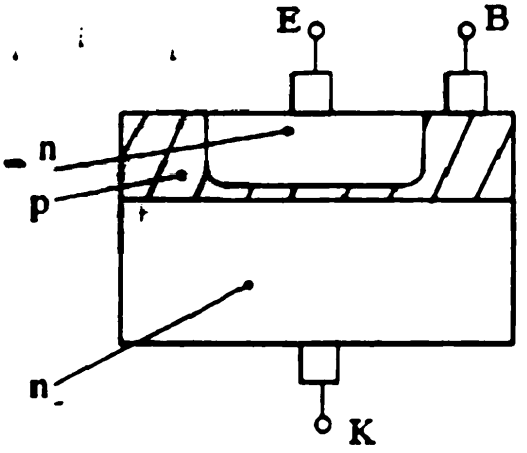
n–p–n tipdagi tranzistorlar *p–n –p* tipdagi tranzistorlarga qaraganda kengroq qo'llaniladi, chunki ularning parametrlari yaxshiroq.Buni quyidagicha izohlash mumkin: *n–p–n* tipdagi tranzistorlarda yuzaga keluvchi elektr jarayonlarda asosiy rolni elektronlar o'ynaydi, *p–n –p* tipdagi tranzistorlarda esa kovaklar o'ynaydi. Elektronlar esa kovaklarga nisbatan 2–3 marta katta harakatchanlikka ega.

Amalda kollektorli o'tish yuzasi emitterli o'tish yuzasiga nisbatan katta bo'lib, bunday nosimetriklik tranzistorlar xususiyatlarini ancha yaxshilaydi.

Tranzistorlarning shartli belgilash sxemalarida strelkalar bilan emitter toklari yo'nalishlari ko'rsatilgan.

Bipolyar tranzistor asosi bo'lib, uchta sohadan iborat kremniy yoki germaniy plastinka xizmat qiladi. Yuqorida ta'kidlanganidek, ikki chet qatlam bir xil o'tkazuvchanlikli, o'rta qatlam esa qarama-qarshi tipdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi.

4.2-rasmda kam quvvatli *n–p–n* tipdagi tranzistorning struktura sxemasi keltirilgan.



4.2-rasm. n-p-n-tipdagi kam quvvatli bipolyar tranzistorning struktura sxemasi

Emitter va kollektordagi asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyalari nisbati uncha katta ahmiyatga ega emas, ammo emitter va bazadagi asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyalari juda muhim bo'lib, ular tranzistorning xarakteristikalari va

parametrlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Bazada asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyalari emitternikiga nisbatan ko'p marta katta bo'lishi va unga mos holda baza qatlami emitterli qatlamga nisbatan yuqoriroq omli bo'lishi kerak.

Bundan tashqari, emitter va kollektor orasidagi masofa juda kichik (bir mikrometrgacha) ya'ni, baza sohasi juda yupqa bo'lishi kerak.

Tashqi kuchlanishlar bo'lmagan holda uchta qatlamlar bo'linish chegaralari-da hajmiy zaryadlar hosil bo'ladi va ichki elektr maydon yaratiladi. Natijada qatlamlar orasida potensiallar farqi yuzaga keladi.

Bipolyar tranzistorlarning ishlash asosini yarimo'tkazgichli diodni o'rganish vaqtida ko'rib o'tilmagan biror-bir yangi fizik jarayonlar tashkil etmaydi, aksincha, tranzistorlarning o'ziga xosligi uning konstruksiyasi xususiyatlaridan kelib chiqadi.

Tranzistorning asosiy elementlari o'zaro bog'langan ikkita p-n o'tish hisobla-nadi. Bu o'z navbatida tranzistor tuzilishini ikki diodli sxema ko'rinishida formal tasvirlash imkonini beradi.

Tranzistorlarning ishlash asosini tushunish uchun tranzistor p-n o'tishlari o'zaro kuchli ta'sirlashishini hisobga olish juda muhim. Chunki bir o'tishning toki boshqa o'tish tokiga kuchli ta'sir ko'rsatadi, va aksincha. Aynan shu o'zaro ta'sir tranzistorlarni ikki diodli sxemadan tubdan farq qilishini ko'rsatadi.

Ikki diodli sxemada har bir diodlarning toki faqat undagi kuchlanishga bog'liq va boshqa diod tokiga bog'liq emas.

Tranzistorlardagi o'zaro ta'sirining asosiy sababi: uning o'tishlari orasidagi masofalarning juda kichik (20–30 mkM dan 1 mkM va undan kichik) bo'lishidadir. Bu masofani baza qalinligi deyiladi.

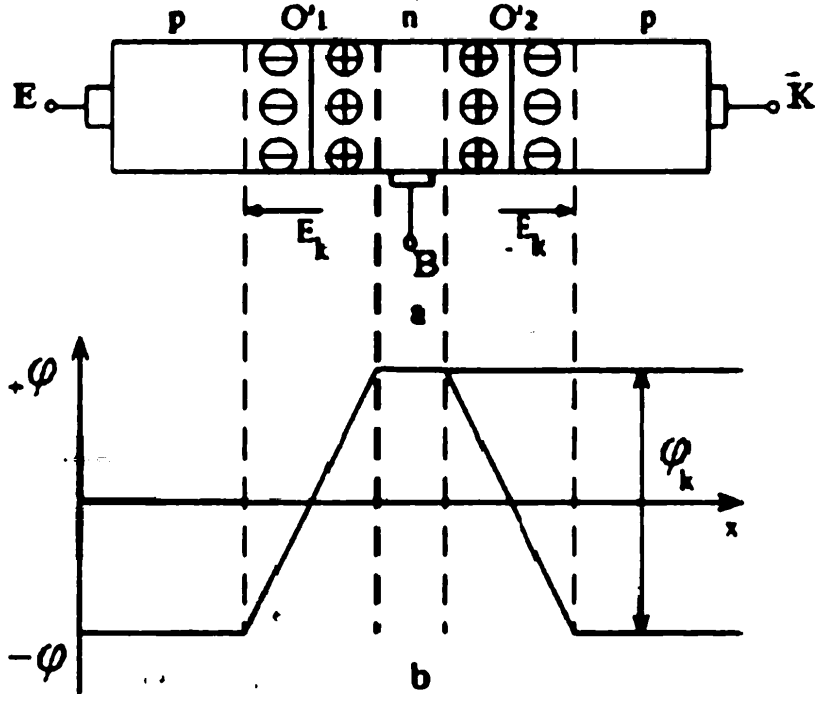
Tizimning ayni shu miqdoriy jihati tranzistorlarning sifat xususiyatlarini yuzaga keltiradi.

Shuni ta'kidlash kerakki, elektronikada yangi sifatga ega bo'lgan qurilmani yaratishning eng ko'p qo'llaniladigan usuli – bu

yaxshi o'rganilib chiqilgan ikki elementni o'ziga xos va o'ziga mos holda ulashdir.

p-n-p va *n–p–n* tipdagi tranzistorlarning ishlash asoslari va ularda yuzaga keluvchi fizik jarayonlar o'xshash bo'ladi. Sanoat har ikkala turdagi tranzistorlarni ishlab chiqaradi.

4.3-rasmda tok bo'lmagan holda *p-n-p* tipdagi tranzistorning elektron-kovak o'tish strukturasi va potensial to'siqlari keltirilgan.



4.3-rasm. Tok bo'lmagan vaqtda p-n-p tipdagi tranzistor strukturasi (a) va elektron-kovak o'tish potensial to'sig'i (b)

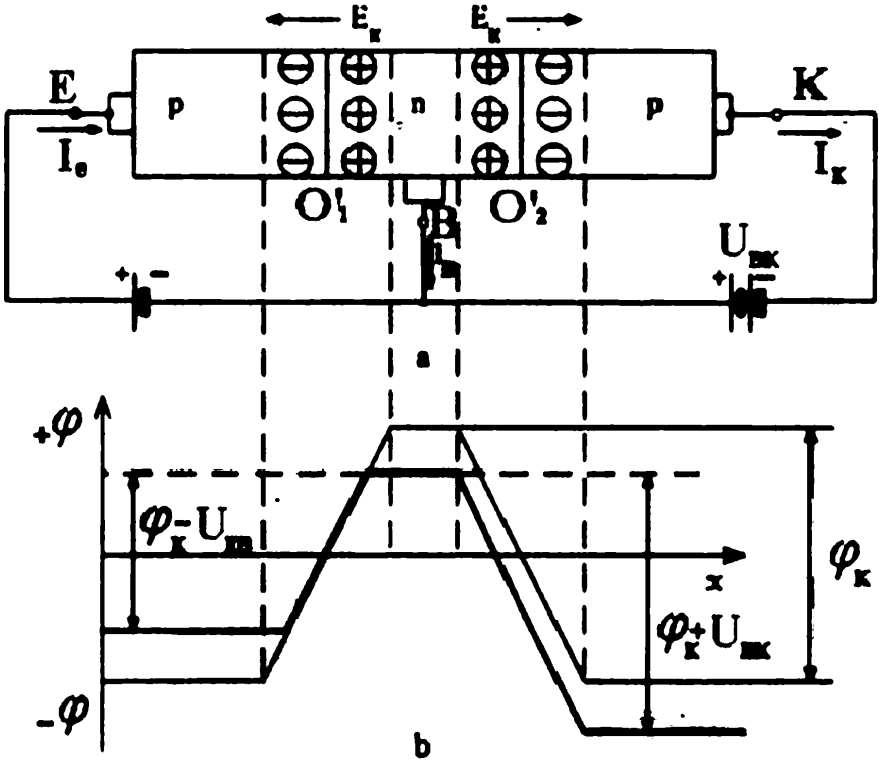
Tranzistor tashqi elektr energiya manbayiga ulanmagan holda uning O'1 va O'2 o'tishlarida balandligi φ_K bo'lgan potensial to'siq yuzaga keladi.

Tranzistor strukturasi orqali uncha katta bo'lmagan ikki tok oqadi:

-o'tishlar orqali asosiy zaryad tashuvchilar (p sohadan kovaklar va n sohadan elektronlar)ning diffuziyalanishi natijasida hosil bo'lgan diffuziya toki I_{dif} ;

-asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar yuzaga keltiruvchi qarama-qarshi yo'nalishdagi dreyf toki I_{dr}.

Temperatura doimiy bo'lib, emitter va kollektorda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi teng bo'lsa, elektron-kovak o'tish dinamik muvozanat holatida bo'ladi, ya'ni $I_{dif} = I_{dr}$.



4.4-rasm. Tashqi kuchlanish berilganda p - n- p tipdagi tranzistor strukturasi (a) va elektron - kovak o'tish potensial to'sig'i (b)

Tranzistorga tashqi kuchlanish shunday ulanadiki, bunda emitterli o'tish O'$_1$ siljishi to'g'ri (elektron-kovak o'tish kengligi va potensial to'siq balandligi φ_K qisqaradi), kollektorli o'tish O'$_2$ siljishi teskari yo'nalishda ta'minlanishi kerak. Bu ikkita kuchlanish manbayi (4.4,a-rasm) U_{EB} (voltning o'ndan bir ulushiga) va U_{BK} (bir-o'n volt orasida) yordamida amalga oshiriladi.

Emitterli o'tish O'$_1$ da manba kuchlanishi U_{EB} to'g'ri yo'nalishda ta'sir etgani uchun diffuziya toki ortadi, potensial to'siq balanligi φ_K kamayadi.

Kovaklar emittyerdan juda katta miqdorda bazaga injeksiyalana boshlaydi, huddi shuningdek, bazadan emittyerga elektronlarning teskari diffuziya oqimi ortadi.

Bunda emitterning diffuziya toki quyidagiga teng:

$$I_{difE} = I_{difEp} + I_{difEn}, \qquad (4.1)$$

Bunda I_{difEp} - emitter diffuziya tokining kovakli tashkil etuvchisi;

I_{difEn} - emitter diffuziya tokining elektronli tashkil etuvchisi.

Bazadagi asosiy zaryad tashuvchi (elektron) lar konsentratsiyasi emittyerdagi zaryad tashuvchi (kovak) lar konsentratsiyasiga nisbatan ancha kam bo'lgani tufayli $I_{difE} \cong I_{difEp}$.

Tranzistorning xususiyatlarini baholash uchun injeksiya koeffitsiyenti tushunchasi kiritiladi:

$$\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_E}, \qquad (4.2)$$

Bunda I_{Ep} – emitter tokining kovakli tashkil etuvchisi; I_E – emitter toki.

Zamonaviy tranzistorlar uchun $\gamma = 0{,}97–0{,}995$.

Kovaklar bazaga kelib tushgach, kollektorli o'tish O'$_2$ ga diffuziyalanadi va bu o'tish maydoni ta'sirida tezlanish oladi.

Kovaklar kollektorli o'tishga kirgan zahoti o'tish maydoni tomonidan egallanib, kollektorga ekstraksiya qilinadi va zanjirda emitter toki I_E ga bog'liq bo'lgan kollektor toki I_K ni hosil qiladi. Agar baza qalinligi yyetarlicha kichik bo'lsa, ko'plab kovaklar elektronlar bilan rekombinatsiyalanishga ulgurmasdan kollektorga yetib boradi. Bunda kollektorli o'tish O'$_2$ orqali o'tuvchi kovaklar soni emitterli o'tish O'$_1$ orqali o'tuvchi kovaklar sonidan ancha kam bo'ladi, chunki $I_K < I_E$.

Baza toki ikki tashkil etuvchi orqali aniqlanadi:

$$I_B = I_{Bp} + I_{Bn}, \qquad (4.3)$$

Bunda I_{Bp} – kovaklarning elektronlar bilan rekombinatsiyalanishi natijasida yuzaga kelgan baza tokining kovakli tashkil etuvchisi.

I_{Bn} – malum miqdorda emitterli o'tish O'$_1$ orqali bazadan emittyerga o'tgan elektronlar hosil qilgan tok $I_{Bn} = I_{En}$.

Toklarning bu har ikkala tashkil etuvchilari emittyerga o'tgan va rekombi-natsiyalashish jarayonida yo'qolgan elektronlar o'rniga emitter-bazadagi kuchlanish U_{EB} manbayidan yangi elektronlar kirib kelishi natijasida hosil bo'ladi.

Baza toki salbiy tabiatga ega bo'lib, uning kam bo'lishi maqsadga muvofiq bo'ladi. Uni kamaytirish uchun quyidagi choralar qo'llaniladi: baza juda yupqa yasaladi va elektronlar konsentratsiyasini hosil qiluvchi aralashmalar konsentratsiyasi yuzlab marta kamaytiriladi.

Kirxgofning birinchi qonuniga ko'ra quyidagini yozish mumkin:

$$I_{Ep} = I_{Bp} + I_{Kp}, \qquad (4.4)$$

Bunda I_{Ep}, I_{Bp}, I_{Kp} – mos holda emitter, baza va kollektor toklarining kovakli tashkil etuvchilari.

Kovaklarning bir qismi bazada rekombinatsiyalanadi, ammo bu uncha katta bo'lmagani uchun $I_{Kp} \gg I_{Bp}$ tengsizlik saqlanadi.Tranzistorning xususiyatlarini baholash uchun baza orqali asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni o'tkazish koeffitsiyenti qo'llaniladi:

$$\delta = \frac{I_{Kp}}{I_{Ep}}. \qquad (4.5)$$

Amalda δ qiymatini birga yaqinlashtirishga harakat qilinadi. Baza yupqa bo'lganda rekombinatsiya vaqtida yo'qoluvchi kovaklar sonini kamaytirish kerak. Zamonaviy tranzistorlar uchun $\delta = 0{,}96 - 0{,}996$.

Kovakli tashkil etuvchilar hosil qilgan kollektor toki emitter toki bilan tokni uzatish koeffitsiyenti orqali bog'liq:

$$\alpha = \frac{I_{Kp}}{I_{Ep}}. \qquad (4.6)$$

(4.2) va (4.5) ifodalarni hisobga olgan holda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\alpha = \gamma\delta. \qquad (4.7)$$

Zamonaviy tranzistorlar uchun $\alpha = 0{,}92 - 0{,}999$.

Shunday qilib, uzatish koeffitsiyenti α ni oshirish uchun emitter va bazadagi asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyalar farqini oshirish va baza qalinligini kamaytirish lozim.

4.2. Tranzistor strukturasida toklarning taqsimlanishi

Teskari yo'nalishda ulangan kollektorli o'tish O'$_2$ ning mavjudligi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar dreyfi tufayli yuzaga keluvchi teskari tok I_{KO} ni hosil qiladi. Asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi tempera-turaga bog'liq bo'lgani uchun tok I_{KO} ham temperaturaga bog'liq bo'ladi va shuning uchun uni issiqlik toki deb ataladi.

Kollektorning natijaviy toki:

$$I_K = 2I_E + I_{KO}. \qquad (4.8)$$

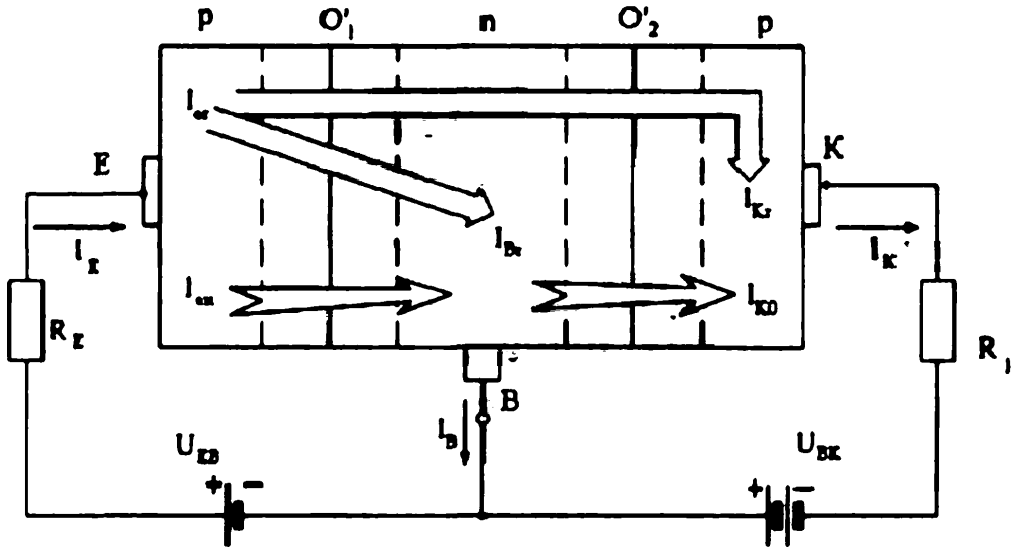
Yuqorida bayon etilgan jarayonlar tranzistorning ishlash asosi emittyerdan baza orqali kollektorga tranzit (o'tuvchi) zaryad tashuvchilar oqimini hosil qilishga va emitter (kirish) tokini o'zgartirish hisobiga kollektor (chiqish) tokini boshqarishga asoslangan deb ta'kidlash mumkin. Demak, bipolyar tranzistor emittyer toki bilan boshqariladi.

Emitterli o'tish qarshiligi R_E birdan–o'ngacha Om ni tashkil yetadi, shuning uchun bu zanjirga odatda, uncha katta bo'lmagan kuchlanish ($U_{EB} < 1\ V$) beriladi.

Kollektorli o'tish qarshiligi R_K yuz kOm dan bir MOm ni tashkil yetadi, shuning uchun bu zanjirga katta kuchlanish (U_{BK}– bir necha o'n volt) beriladi va bu zanjirga katta tashqi qarshiliklar ulash mumkin. Shunday qilib, $R_K >> R_E$.

Emitter tokining o'zgarishi kichik qarshilikli zanjirda yuzaga kelishi va deyarli unga teng bo'lgan tok o'zgarishi katta qarshilikli kollektor zanjirda ham o'zgarish yuzaga kelishi natijasida

qarshilik R_K da ajralib chiquvchi quvvat emitter zanjirdagi quvvatdan ancha katta bo'ladi.

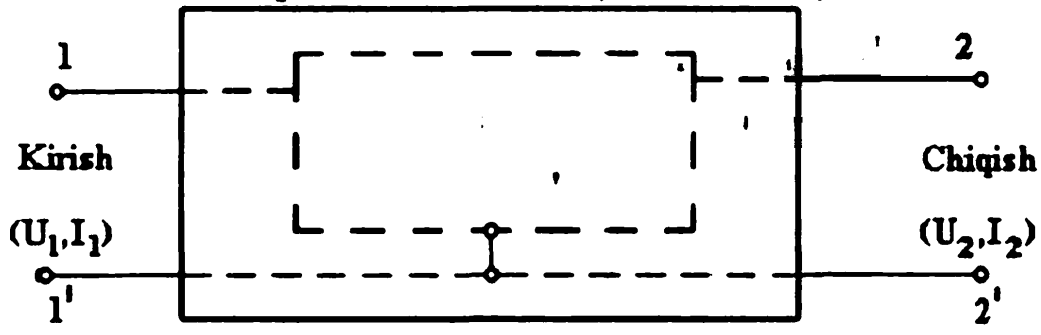


4.5-rasm.Tranzistor strukturasida toklarning taqsimlanishi

Demak, tranzistor kuchaytirish hususiyatigi ham ega ekan.

4.3.Tranzistorlarning ulanish sxemalari. Statik volt-amper xarakteristikalar

Tranzistorni ikkita kirish va ikkita chiqish qisqichlarga ega to'rt qutblik sifatida qarash mumkin (4.6 – rasm).

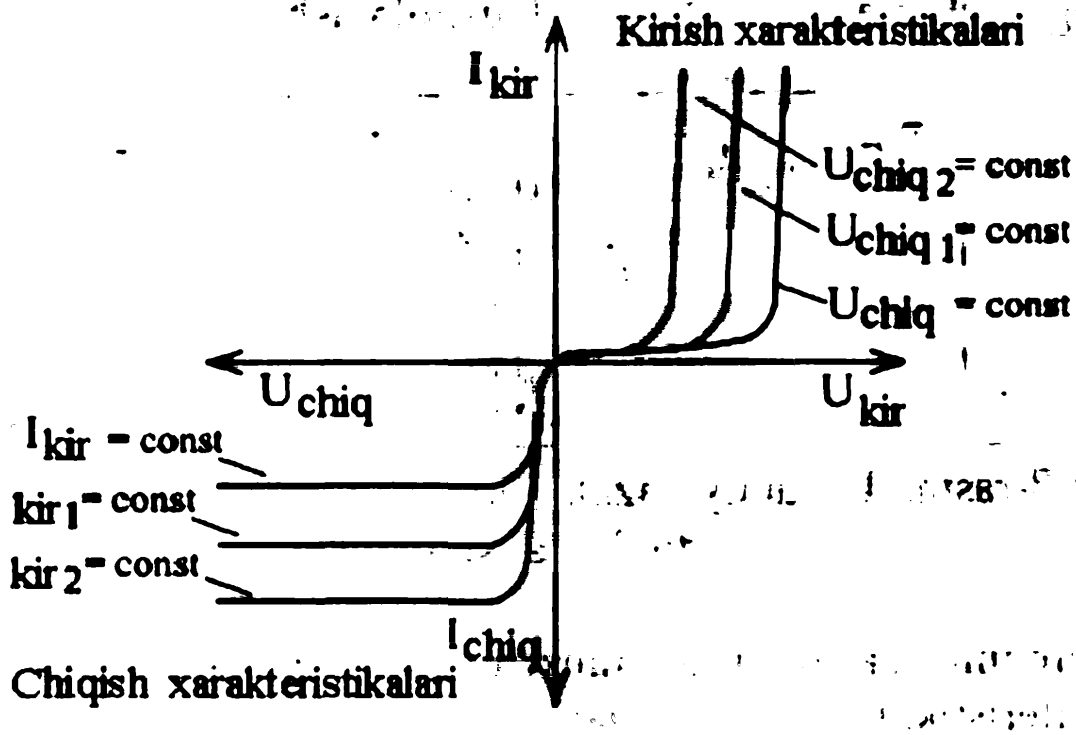


4.6-rasm.To'rt qutbli ko'rinishidagi tranzistor sxemasi

Tranzistorni turli sxemalarda qo'llash vaqtida kirish zanjiri kuchlanishi va toki bog'lanishi (kirish VAX) $I_1 = f(U_1)$ kollektordagi kuchlanish o'zgarmas ($U_2 = const$) bo'lganda va chiqish zanjiri kuchlanishi va toki bog'lanishi

(chiqish VAX) $I_2 = f(U_2)$, boshqaruv tokining o'zgarmas qiymatida ($I_1 = const$) amaliy ahamiyatga ega. Statik xarakteristikalar doimiy tokda chiqish zanjirida yuklama bo'lmagan holda olinadi.

Kirish va chiqish VAX yarimo'tkazgichli diod xarakteristikalariga o'xshash (4.7- rasm).



4.7-rasm.Bipolyar tranzistorning statik volt-amper xarakteristikalari

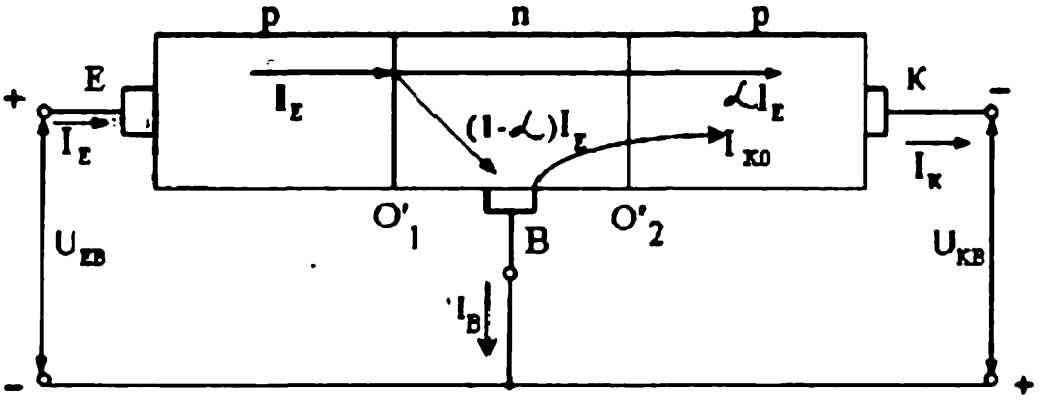
Tranzistorning kirish xarakteristikalari to'g'ri kuchlanishda ishlovchi emitterli o'tish O'$_1$ ga tegishli, shuning uchun ular diodning to'g'ri toki VAX ga o'xshaydi. Chiqish xarakteristikalari teskari kuchlanishda ishlovchi kollektorli o'tish O'$_2$ ga tegishli shuning uchun ular diodning VAX teskari shoxchalariga o'xshaydi.

VAX ko'rinishlari tranzistorni ulash usuliga bog'liq. Ular uch xil bo'ladi: umumiy bazali (UB), umumiy emitterli (UE) va umumiy kollektorli (UK). Sxemalarning farqi tranzistorning qaysi chiqishi kaskadning kirish va chiqishlari umumiy nuqtasi bo'lishidadir. Kaskadning kirish va chiqishi deganda oralig'ida

kirish va chiqish o'zgaruvchan kuchlanishlar tasir etuvchi nuqtalar tushuniladi.

4.4. Umumiy bazali tranzistorning ulanish sxemasi

4.8-rasmda umumiy bazali tranzistorning ulanish sxemasi va uning strukturasida toklarning taqsimlanishi keltirilgan.



4.8-rasm. Umumiy bazali tranzistorning ulanish sxemasida toklar taqsimlanishi

Umumiy bazali (UB) tranzistorning ulanish sxemasi quyidagi xarakteristikalar oilasiga ega:

- chiqish $I_K = f(U_{KB})$ emitter toki o'zgarmas bo'lganda $I_E = const$;
- kirish $I_E = f(U_{EB})$ kuchlanish $U_{KB} = const$ o'zgarmas bo'lganda;

4.9-rasmda umumiy bazali (UB) tranzistorning ulanish sxemasi chiqish xarakteristikalari ko'rsatilgan.

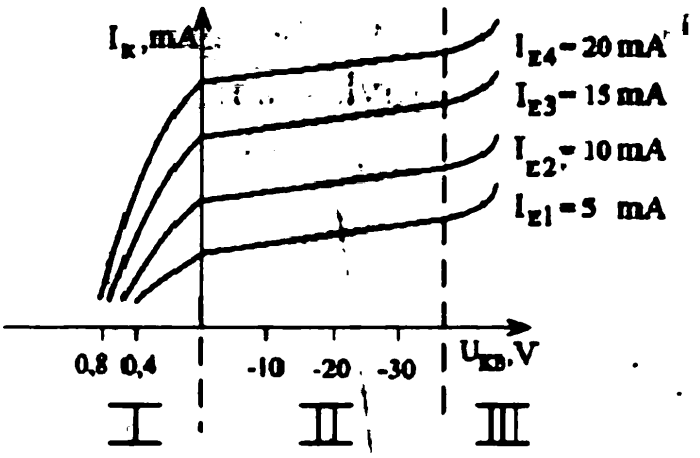
Sxemaning chiqish xarakteristikalarida uchta sohani ajratish mumkin:

I soha – kollektor toki I_K ning kuchlanish U_{KB} ga kuchli bog'lanish sohasi. U ordinata o'qidan chaproqda joylashgan.

Kollektor va baza orasidagi kuchlanish :

$$U_{KB} = -U_K - U'_{KB}, \qquad (4.9)$$

Bunda U_K – p–n o'tishdagi kuchlanish; U'_{KB} – tashqi kuchlanish.



4.9-rasm. Umumiy bazali tranzistorning ulanish sxemasi chiqish xarakteristikalari oilasi

Kuchlanish $U'_{KB} = 0$ bo'lganda emitter toki $I_E > 0$ bo'lsa, kollektor toki $I_K > 0$ bo'ladi, shuning uchun kollektor tokini kamaytirish uchun U'_{KB} ning musbat qiymati berilishi kerak, ya'ni kollektor emitter rejimiga o'tkazilishi kerak. U holda kovaklar oqimi o'zaro kompensatsiyalanadi va kollektor toki I_K nolga teng bo'ladi.

II soha – kollektor toki I_K ning kuchlanish U_{KB} ga kuchsiz bog'langan soha.

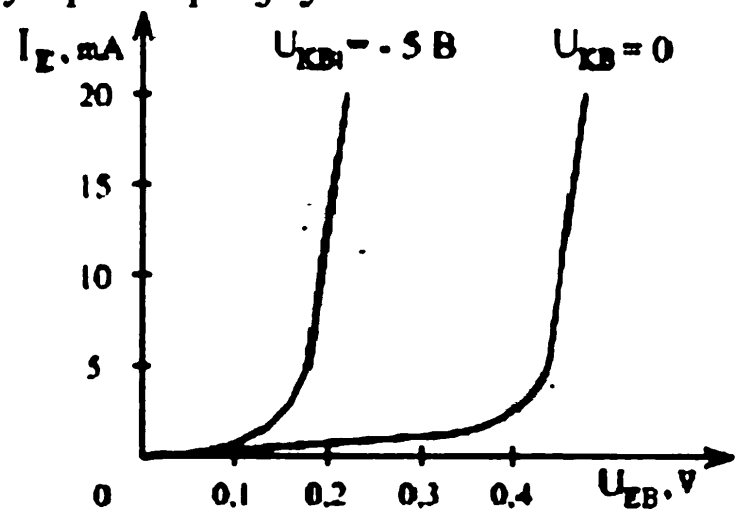
Kuchlanish U'_{KB} ning manfiy qiymatlarida baza qatlam qalinligida yuzaga keluvchi modulyatsiya effekti hisobiga xarakteristika biroz yuqori ko'tariladi. Kuchlanish $|U_{KB}|$ ni oshirish baza qalinligining kamayishiga olib keladi, demak baza orqali asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni ko'chirish koeffitsiyenti δ ortishiga va mos holda tok uzatish koeffitsiyenti α ning ham ortishiga olib keladi.

III soha – issiqlik teshilishi sohasi, chunki kuchlanish U_{KB} ni oshirish chegarasi mavjud, uni cheksiz oshirib bo'lmaydi.

4.10–rasmda umumiy bazali tranzistorning ulanish sxemasi kirish xarakteristikalari ko'rsatilgan.

Baza qatlamida yuzaga keluvchi modulyatsiya hodisasi tufayli kuchlanish qiymati $U_{KB1} = -5V$ bo'lgan holatdagi egri

chiziq kuchlanish $U_{KB} = 0$ bo'lgan holatdagi egri chiziq chaproqda va yuqoriroqda joylashadi.



4.10-rasm. Umumiy bazali tranzistorning ulanish sxemasi kirish xarakteristikalari oilasi

Kuchlanish $U_{KB} = 0$ bo'lganda o'tish O'$_2$ qisqa tutashgan va baza tokiga ta'sir etmaydi. Kuchlanish U_{KB} ning kollektorli o'tishda o'zgarishi baza kengligi modulyatsiyasini (kamayishini) keltirib chiqaradi. Kuchlanish $|U_{KB}|$ ning ortishi bazaga injeksiyalanuvchi kovaklar konsentratsiyasi gradienti ortishiga olib keladi, natijada diffuziya toki , ya'ni emitter toki ortadi.

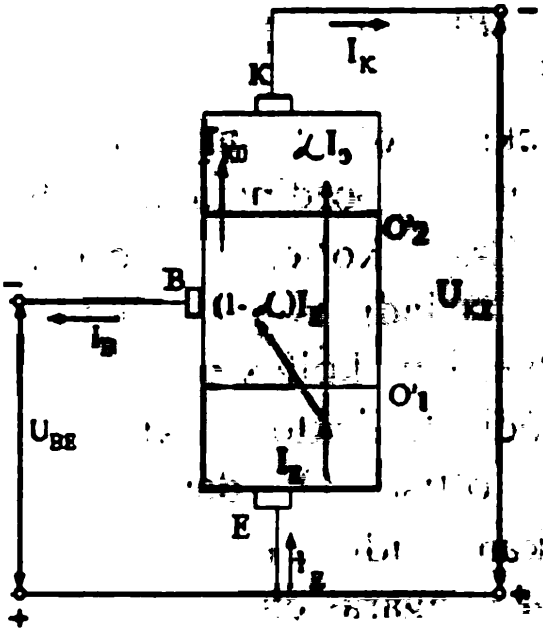
Eslatib o'tamiz, diffuziya – zaryad tashuvchilarning ular konsentratsiyalari kamayishi yo'nalishida siljishi. Yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchilarning bunday siljishi diffuziya tokini hosil qiladi. Bu tok konsentratsiya gradientiga mutanosib bo'lib, qiymati jihatdan ma'lum ishorali zaryad tashuvchilar konsentratsiyalari o'zgarishining bu o'zgarish yuzaga keluvchi masofa o'zgarishiga nisbatiga teng.

4.5. Umumiy emitterli tranzistorning ulanish sxemasi

4.11-rasmda umumiy emitterli tranzistorning ulanish sxemasi va uning strukturasida toklar taqsimlanishi keltirilgan.

Umumiy emitterli (UE) tranzistorning ulanish sxemasi quyidagi xarakteristikalar oilasiga ega:

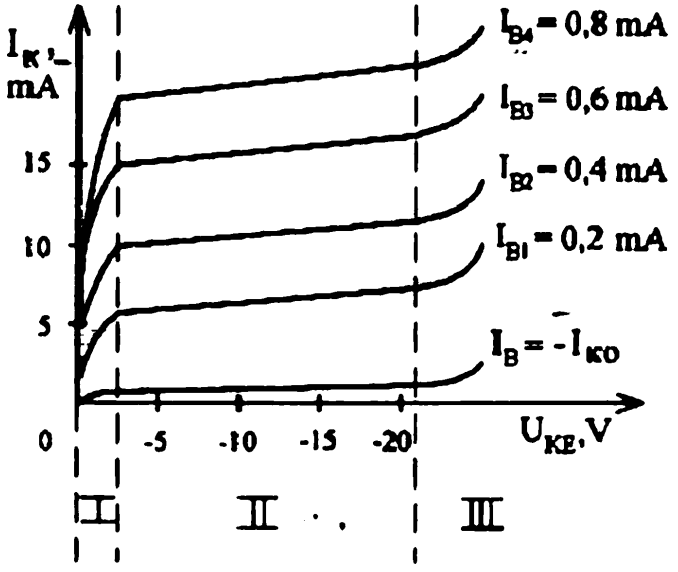
-chiqish $I_K = (U_{KE})$ baza toki o'zgarmas bo'lganda $I_B = const$;
-kirish $I_B = (U_{EB})$ kuchlanish $U_{KE} = const$ o'zgarmas bo'lganda.



4.11-rasm. Tranzistorning umumiy emitterli ulanish sxemasida toklar taqsimlanishi

Emitterli o'tish O'$_1$ dagi kuchlanish U_{BE} ga teng, kollektorli o'tish O'$_2$ dagi kuchlanish – kuchlanishlar farqi $U_{KE} - U_{BE}$ ga teng.

4.12-rasmda tranzistorning chiqish xarakteristikalarida ko'rsatilgan uchta sohani ajratish mumkin.



4.12-rasm. Umumiy emitterli tranzistorning ulanish sxemasi chiqish xarakteristikalari oilasi

I soha – boshlang'ich soha, kollektor toki I_K ning kuchlanish U_{KE} ga kuchli bog'lanish sohasi;

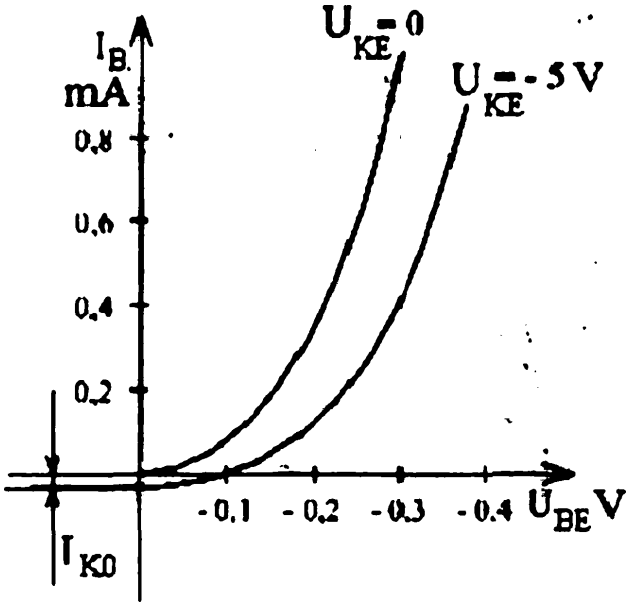
II soha – kollektor toki I_K ning kuchlanish U_{KE} ga kuchsiz bog'langan sohasi;

III soha – kollektorli o'tishning teshilish sohasi.

Xarakteristikalar koordinatalar boshidan boshlanadi. Agar $U_{KE} = 0$ bo'lsa kollektor o'tishidagi kuchlanish U_{BE} kuchlanishga teng bo'ladi, kollektorli o'tish ochiq, kollektordan bazaga va emittyerdan kollektorga keluvchi kovaklar oqimi kompensatsiyalanadi, kollektor toki $I_K = 0$ bo'ladi. Kuchlanish $|U_{KE}|$ ortishi bilan o'tish O'$_2$ dagi to'g'ri kuchlanish pasayadi, uning injeksiyasi kamayadi va kollektor toki I_K ortadi.

I va II sohalar chegarasida o'tish O'$_2$ dagi to'g'ri kuchlanish olinadi va II sohada o'tishga teskari kuchlanish ($U_K > U_{3E}$) tasir yetadi.

4.13-rasmda umumiy emitterli tranzistorning ulanish sxemasi kirish xarakteristikalari keltirilgan.



4.13-rasm. Umumiy emitterli tranzistorning ulanish sxemasi kirish xarakteristikalari oilasi

Kuchlanish qiymati $U_{KE} = 0$ bo'lganda kirish xarakteristika p-n o'tishning VAX to'g'ri shoxchasiga mos keladi. Kuchlanish

$|U_{KE}|$ qiymati ortsa xarakte-ristikalar baza modulyatsiyasi hisobiga pastga siljiydi.

Kuchlanish $|U_{KE}| > 0$ va $U_{BE} = 0$ bo'lganda baza toki I_B teskari tok I_{KO} ning p–n o'tish orqali oqib o'tishi hisobiga $I_B < 0$ bo'ladi.

Quyidagi ikkita dalilni tushunib olish juda muhim.

1 – umumiy emitterli sxema uchun xarakteristikalar umumiy bazali sxema uchun xarakteristikalarga taqqoslanganda hech qanday yangi fizik effektlarni namoyon etmaydi va tranzistor xususiyatlariga oid biror - bir muhim axborotni bermaydi. Umumiy emitterli sxema xarakteristikalari xususiyatlarini tushuntirish uchun umumiy bazali sxema xarakteristika xususiyatlarini tushuntirish uchun zarur bo'lgan axborotdan bo'lak boshqa hech narsa kerak emas. Shunga qaramasdan umumiy emitterli sxema xarakteristikalari amalda keng qo'llaniladi (va ular ma'lumotnomalarda keltiriladi), chunki ulardan foydalanish juda qulay.

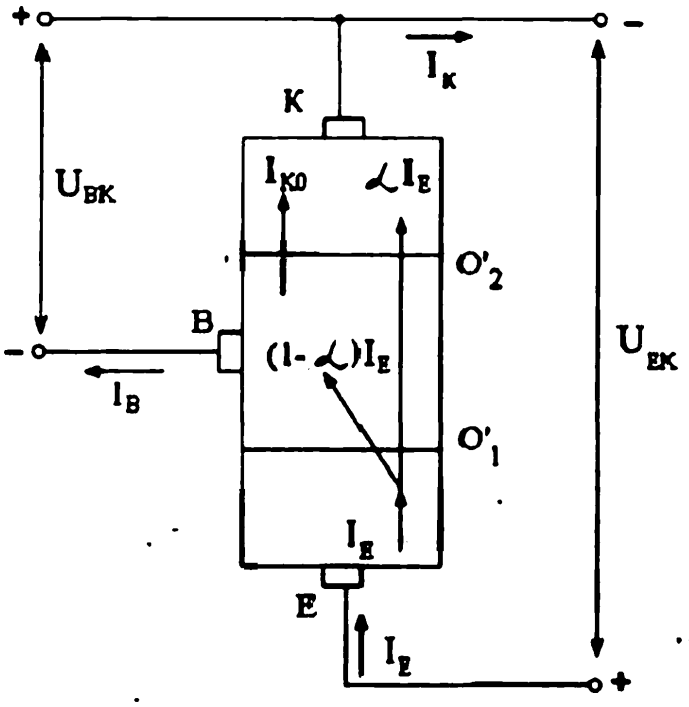
2 – kompyuterlarda hisoblash vaqtida modellovchi dasturlar tranzistor qanday ulanishli sxemadaligini hisobga olmaydi. Dasturlar tranzistorlarning barcha ulanish sxemalari uchun yagona bo'lgan matematik modellardan foydalanadi. Shunga qaramasdan, tranzistorlarning qanday ulanishli sxemadaligini bilish foydadan holi bo'lmaydi. Chunki bu sxemaning ishlash asosini tushunishni engillashtiradi.

4.6. Umumiy kollektorli tranzistorning ulanish sxemasi

4.14-rasmda umumiy kollektorli tranzistorning ulanish sxemasi va uning strukturasida toklar taqsimlanishi keltirilgan.

Umumiy kollektorli (UK) tranzistorning ulanish sxemasi quyidagi xarakteristikalar oilasiga ega:

- chiqish $I_E = (U_{EK})$ baza toki o'zgarmas bo'lganda $I_B = const$;
- kirish $I_B = (U_{BK})$ kuchlanish $U_{EK} = const$ bo'lganda.



4.14-rasm. Umumiy kollektorli tranzistorning ulanish sxemasida toklar taqsimlanishi

Umumiy kollektorli sxema xarakteristikalari umumiy emitterli sxema xarakteristikalari bilan o'xshash, chunki ular $R_K = R_E = 0$ shart bajarilgan holda olinadi.

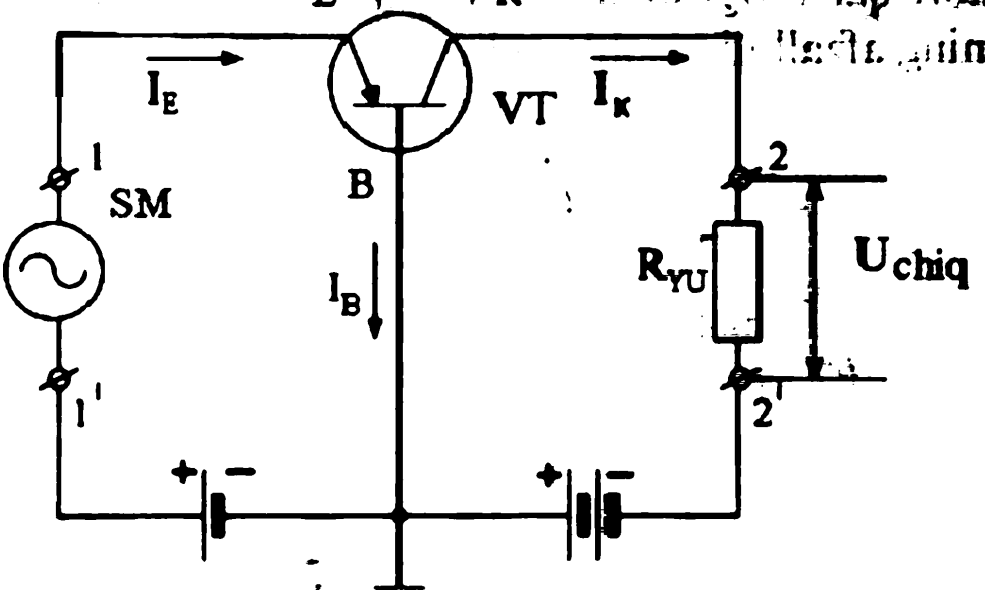
4.7. Tranzistorlarning elektr signallarni kuchaytirgich sifatida qo'llanilishi

Bipolyar tranzistorlarning qo'llanish sohalaridan biri elektr signallarni kuchaytirgichlaridir. Tranzistordan kuchlanish, tok yoki quvvat kuchaytirgich sifatida foydalanish uchun kuchaytirilishi zarur bo'lgan kirish signali biron - bir elektrodlar juftiga beriladi, boshqa elektrodlar juftidan kuchaytirilgan signal olinadi. Kuchaytiruvchi sxemalarda bipolyar tranzistorlar faol rejimda ishlaydi, ular chiqishidagi kuchlanish o'zgarmas (doimiy) va o'zgaruvchan tashkil etuvchilardan iborat bo'ladi.

4.7.1. Umumiy bazali tranzistor asosidagi kuchaytirgich

4.15 – rasmda signallarni kuchaytirgich sifatida qo'llaniluvchi umumiy bazali tranzistorlarning ulanish sxemasi keltirilgan. Bunday ulanish sxemasida tranzistor tok bo'yicha

kuchaytirmaydi, ammo kuchlanish va quvvat bo'yicha kuchaytira oladi.



4.15-rasm. Umumiy bazali tranzistorning signal kuchaytirgich sifatida ulanish sxemasi

Kirish qarshiligi R_{kir} kichik, chiqish qarshiligi R_{chiq} esa katta. Bu kirish qarshiligini signal generatori qarshi-ligi bilan moslashtirish vaqtida qiyinchilik keltirib chiqaradi, shuningdek yuklama zanjirida quvvatni oshirish ham qiyin kechadi. Umumiy bazali sxema amalda kam qo'llaniladi.

Uning asosiy qo'llanish sohasi – signal shakli kam buzilishli shovqin darajasi past yoki yuqori chastotalarda ishlovchi yuqori sifatli kuchaytirgichlarda qo'llaniladi.

Signal manbayi (SM) bu sxemada emitter zanjiriga, yuklama qarshiligi R_{yu} kollektor zanjiriga ulanadi.

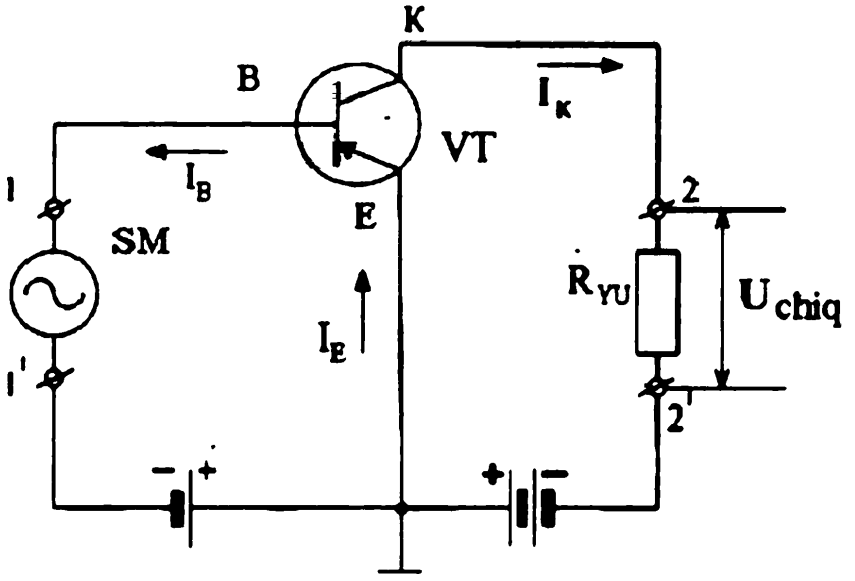
4.7.2. Umumiy emitterli tranzistor asosidagi kuchaytirgich

4.16-rasmda signallarni kuchaytirgich sifatida qo'llaniluvchi tranzistorning umumiy emitterli ulanish sxemasi keltirilgan.

Signal manbayi (SM) bu sxemada baza zanjiriga, yuklama qarshiligi R_{yu} kollektor zanjiriga ulanadi.

Bu asosiy (eng universal) ulanish sxemasi hisoblanadi. Tranzistor kuchlanish, tok va quvvat bo'yicha sezilarli darajada

kuchaytirishni ta'minlaydi. Kirish qarshiligi R_{chiq} umumiy bazali sxemadagiga qaraganda ancha katta bo'lib, bu uni signal generatori qarshiligi bilan moslashni yengillashtiradi. Bu mazkur sxemaning afzalligi hisoblanadi.



4.16-rasm. Umumiy emitterli tranzistorning signal kuchaytirgich sifatida ulanish sxemasi

Chiqish qarshiligi R_{chiq} umumiy emitterli sxemada umumiy bazali sxemanikiga nisbatan kam bo'lib, bu ham sxemaning afzalligi hisoblanadi. Ammo bu qarshilik yyetarli darajada katta bo'lib, sxema chiqishiga qarshiligi kirish qarshiligidan ancha katta bo'lgan yuklama ulash imkonini beradi. Bu o'z navbatida signal kuchlanishini yetarlicha yuqori kuchaytirish imkonini beradi.

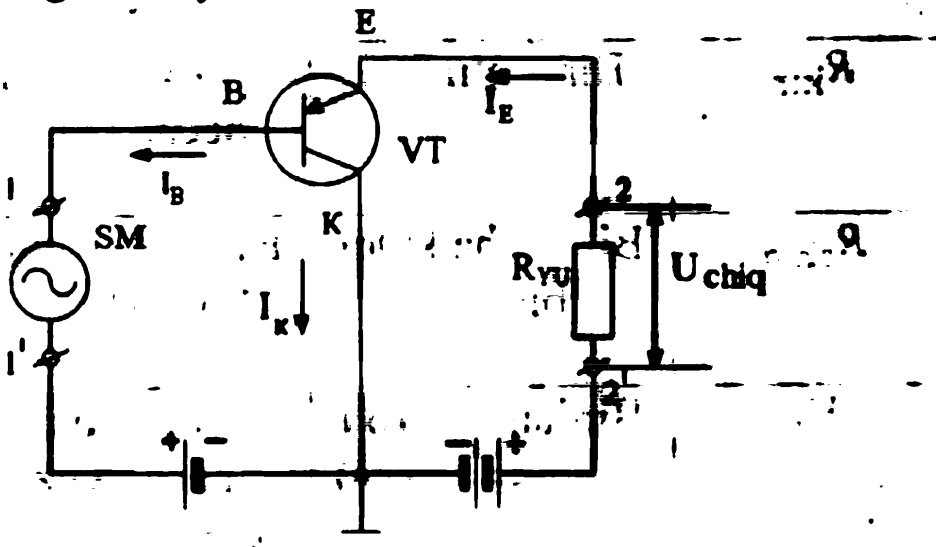
4.7.3. Umumiy kollektorli tranzistor asosidagi kuchaytirgich

4.17-rasmda signallarni kuchaytirgich sifatida qo'llaniluvchi umumiy kollektorli tranzistorning ulanish sxemasi keltirilgan.

Signal manbayi (SM) bu sxemada baza zanjiriga, yuklama qarshiligi R_{yu} emitter zanjiriga ulanadi.

Ushbu sxemada K_I koeffitsiyent umumiy emitterli sxemaga nisbatan ancha katta qiymatga ega. Sxema kuchlanish bo'yicha kuchaytirishga ega emas, kirish qarshiligi R_{kir} – katta. Chiqish

qarshiligi R_{chiq} - kichik. Bu sxemaning afzalligi: umumiy kollektorli sxema asosida ichki qarshiligi katta bo'lgan signal manbalarini kichik omli yuklama bilan moslashuvini ta'minlovchi emitterli takrorlagichlar yasaladi.



4.17-rasm. Umumiy kollektorli tranzistorning signal kuchaytirgich sifatida ulanish sxemasi

Tranzistorning asosiy ulanish sxemalari bo'yicha ularning muhim parametrlarini aniqlash mumkin.

Tranzistorlardan iborat kuchaytirgich sxemalari xususiyatlari tok bo'yicha K_I, kuchlanish bo'yicha K_U; quvvat bo'yicha K_P kuchaytirish koeffitsiyentlari hamda kirish zanjir qarshiligi R_{kir} va chiqish zanjiri qarshiligi R_{chiq} qiymatlari bilan aniqlanadi.

Bu parametrlar tajribada aniqlanishi mumkin va mos xarakteristikalar bo'yicha quyidagi ifodalar yordamida hisoblanishi mumkin:

$$K_I = \frac{\Delta I_{chiq}}{\Delta I_{kir}}; \quad (6.10) \qquad R_{kir} = \frac{\Delta U_{chiq}}{\Delta I_{kir}}; \quad (6.13)$$

$$K_U = \frac{\Delta U_{чик}}{\Delta U_{kir}}; \quad (6.11) \qquad R_{chiq} = \frac{\Delta U_{chiq}}{\Delta I_{chiq}}. \quad (6.14)$$

$$K_P = K_I K_U; \quad (6.12)$$

Bu parametrlarning qiymatlarini jadval ko'rinishida ko'rsatish mumkin (4.1–jadval).

4.1 – jadval

Tranzistorlarning asosiy ulanish sxemalari parametrlari..

Parametrlar	Umumiy bazali sxema	Umumiy emitterli sxema	Umumiy kollektorli sxema
R_{kir}	Bir – o'n Om	Yuz Om – bir necha kOm	O'n – bir necha yuz kOm
R_{chiq}	Bir necha kOm – bir MOm	Bir – bir necha o'n kOm	Bir necha yuz Om – bir kOm
K_I	Birdan kamroq (α = 0,92 – 0,999)	O'n – bir necha yuz (β = 10 – 1000)	O'n – yuz
K_U	O'n – yuz	O'n – yuz	Birdan kichikroq
K_P	O'n – yuz	O'n – bir necha yüz ming	O'n – yuz

4.8. Tranzistorning ish rejimlari

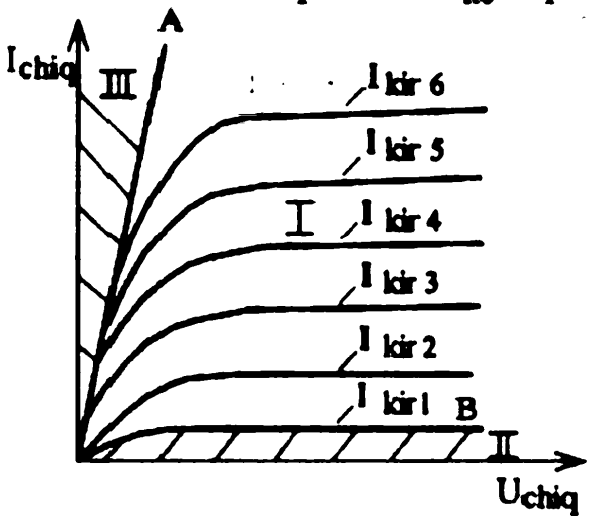
Chiqish xarakteristikalar oilasida tranzistorning uchta ish rejimiga mos keluvchi uchta sohasini ajratish mumkin (4.18-rasm).

I soha – faol soha yoki faol rejim (kam signal rejimi). Chiqishdagi tok kirish tokiga bog'liq $I_{chiq} = (I_{kir}) = VAR$. Emitterli o'tish O'_1 to'g'ri yo'nalishda siljigan, kollektorli o'tish O'_2 teskari yo'nalishda siljigan.

Faol soha kichik amplitudali monoton o'zgaruvchi signallarni kuchaytirish va hosil qilish vaqtida tranzistor ish jarayonida qo'llaniladi.

II soha – kesish (qirqish) sohasi (rejimi). Har ikkala o'tish yopiq. Kirishda signal yo'q. Bipolyar tranzistor kuchaytirish

xususiyatiga ega emas. Kesish rejimini ta'minlash uchun emitterli o'tishga berkituvchi kuchlanish (kollektorli o'tish berk bo'lganda) berish zarur. Har ikkala o'tish orqali tok I_{k0} oqadi.



4.18-rasm.Tranzistor chiqish xarakteristikalari oilasi

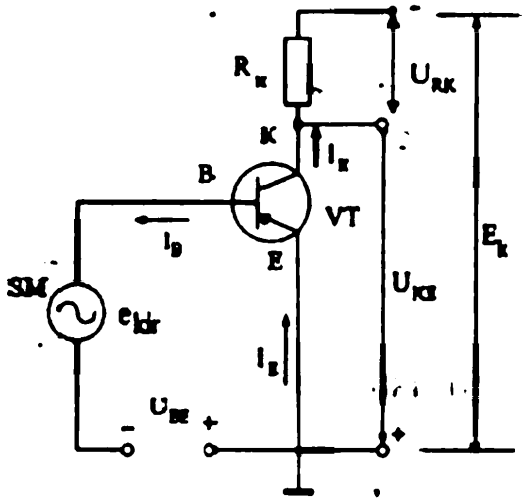
Bazadagi modulyatsiya tufayli o'tish 0′; to'g'ri yo'nalishda siljiydi. Bu o'tishni ishonchli berkitishni ta'minlash uchun emittyerga nisbatan bazaning musbat potensialini olish uchun siljish zanjiri ko'zda tutilgan (p-n-p tip tranzistor uchun).

III soha – to'yinish sohasi yoki to'yinish rejimi. Har ikkala o'tish ochiq, tranzistor orqali tashqi qarshilik bilan cheklanuvchi to'g'ri tok oqadi.

O'zgartiruvchi qurilmalarda bipolyar tranzistorlar kalit elementlar sifatida, qo'llaniladi, ya'ni ular to'yinish sohasidan (yoqilgan holatga mos keladi) kesish sohasiga (o'chirilgan holatga mos keladi) qayta ulash rejimida ishlaydi. Kalit rejim – kesish va to'yinish rejimlari birgaligi, ya'ni katta signal rejimi hisoblanadi.

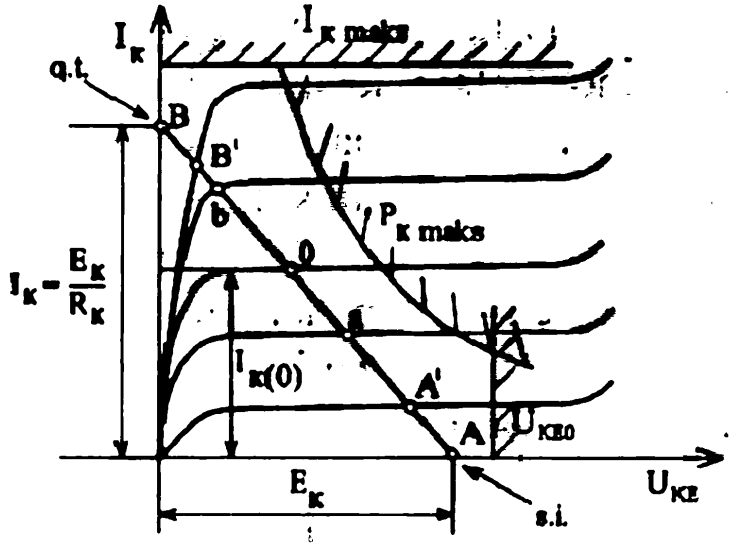
Bipolyar tranzistorning chiqish zanjiriga ulangan yuklamali ish rejimi yuklama rejimi deb ataladi. Bu rejimda ishlayotgan bipolyar tranzistorning kirish zanjiriga o'zgaruvchan (garmonik yoki impulsli) signal beriladi, chiqish zanjiriga esa yuklamali rezistor, transformator chulg'ami yoki rele ulanadi. Tranzistorning ish rejimini uning holatining vaqtga bog'liq o'zgarishiga bog'liq bo'lgani uchun, yuklama rejimini kvazistatik deb hisoblash mumkin.

Yuklama xarakteristikalarini tajribadan olish yoki statik xarakteristikalar bo'yicha grafik qurish mumkin: Bipolyar tranzistorning kollektor zanjiridagi yuklama, kirish o'zgaruvchan signali va kollektorli (chiqish) zanjiridagi va kirishdagi siljish zanjiridagi ta'minlash manbalari ulangan sxema kuchaytiruvchi kaskad deyiladi (4.19-rasm).



4.19-rasm. Umumiy emitterli bipolyar tranzistordan iborat kuchaytiruvchi kaskad sxemasi

Chiqish xarakteristikalarida (4.20-rasm) kollektor tokining maksimal qiymati $I_{K\,maks}$ bo'yicha , kollektor emitter kuchlanishi $U_{KЭ0}$ va kollektorda sochiluvchi quvvat $P_{K\,maks} \doteq U_{KE}\, I_K = const$ bo'yicha cheklashlar qo'yilgan.



4.20-rasm.Chiqish xarakteristikalari oilasi

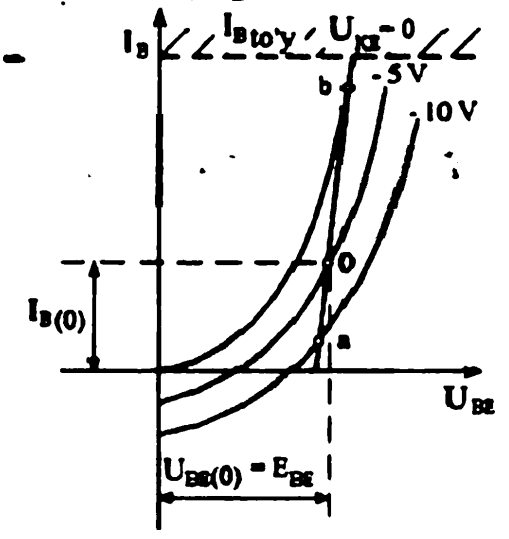
Yuklama xarakteristikalari ishchi sohalarining toki, kuchlanish va quvvatning maksimal qiymatlari bilan chegaralangan sohalarida quriladi. Chiqish zanjirlari uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni asosida quyidagi tenglamani yozish mumkin:

$$U_{KE} = E_K - I_K R_K \qquad (4.15)$$

(4.15) tenglamadan ko'rinib turibdiki, kollektor toki I_K ortishi bilan kuchlanish U_{KE} kamayadi, chunki yuklama qarshiligidagi kuchlanish pasayishi $U_{RK} = i_K R_K$ ortadi. Shunday qilib, kirish zanjirida kuchlanish va tokning o'zgarishi bir vaqtning o'zida ham chiqish tokining, ham chiqish kuchlanishi U_{KE} ning o'zgarishiga olib keladi.

(4.15) tenglama to'g'ri chiziq tenglamasi bo'lib, uni chiqish xarakteristikalari (4.20 - rasm) dagi ikki nuqta bo'yicha qurish mumkin: salt ishlash (A) nuqtasi ($I_K = 0$ va $U_{KE} = E_K$) va qisqa tutashuv (B) nuqtasi ($I_K = E_K/R_K$ va $U_{KE} = 0$).

To'g'ri chiziq AB yuklama to'g'ri chizig'i deb ataladi. U ishchi bo'lak A' B' ga ega. Yuklama to'g'ri chizig'i bo'yicha kirish yuklama xarakteristikasi (4.21-rasm) mos baza toklari va kuchlanishlar bo'yicha (a,o,b) quriladi.



4.21-rasm. Kirish xarakteristikalari oilasi

Yuklama to'g'ri chizig'ining statik chiqish xarakteristikalari bilan kesishuvchi nuqtalari bo'yicha $U_{KE} = const$, $R_K = const$ va

turli baza toklariga to'g'ri kelgan yuklama rejimidagi tranzistorning ishchi parametrlarini topish mumkin.

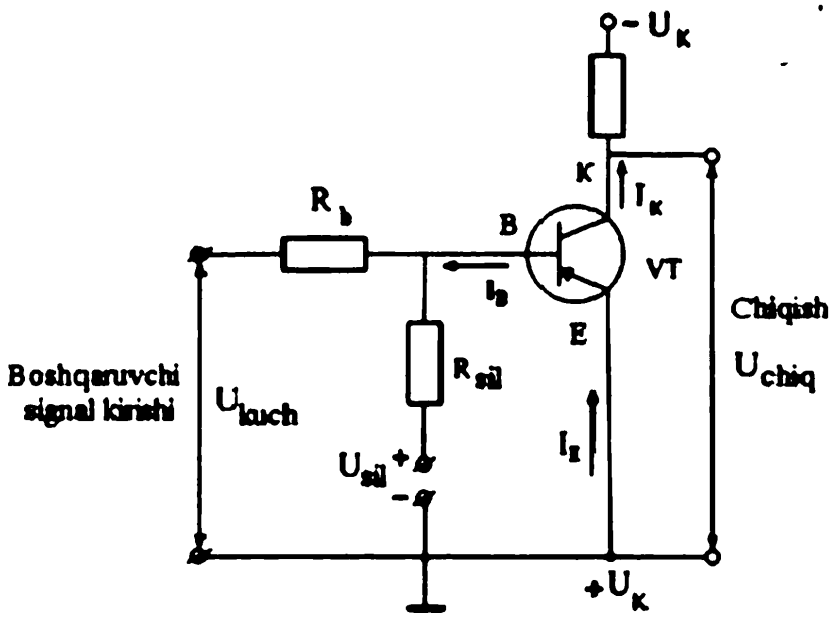
Kirish yuklama xarakteristikasi sifatida statik xarakteristikalardan biri

(odatda, $U_{KE} = -5В$ uchun) olinadi. Doimiy tokni siljitish manbayi E_{BE} yordamida tok manbayining kuchaytiriluvchi kirish signali i_{kir} chiqishda to'liq yuzaga chiqishi uchun kuchaytiruvchi kaskadning sokin nuqtasi (ishchi nuqtasi) tanlanadi (4.21- rasmda o nuqta). Bu nuqtaga o'zgaruvchan signal bo'lmagan vaqtda kirishda $I_{b(o)}$ va chiziqda $I_{k(o)}$ ga teng ma'lum doimiy sokinlik toki mos keladi.

Doimiy tokni siljitish manbayi kuchlanishi $E_{БE}$ ni qiymatini tanlagan holatda kuchaytirishning zarur rejimi berilishi mumkin.

4.9. Tranzistorning kalit rejimida ishlashi

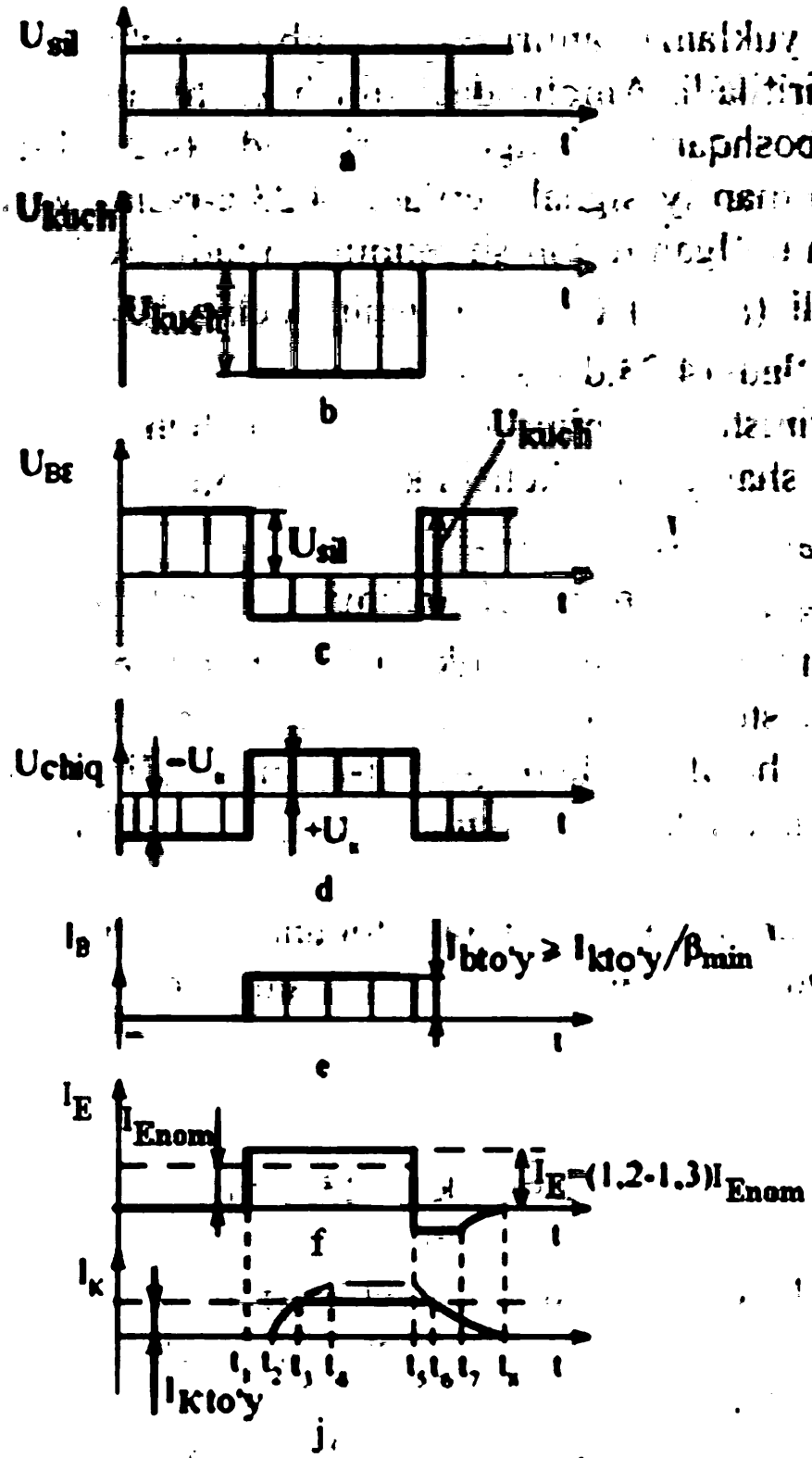
Tranzistorli kalit sodda sxemalaridan biri 4.22- rasmda, bu sxema uchun vaqt diagrammalari 4.23- rasmda keltirilgan.



4.22-rasm.Tranzistorli kalit sxemasi

Umumiy emitterli sxemalarning tranzistorli kalitda ishlatilishiga uning boshqa sxemalarga nisbatan quvvat bo'yicha

kuchaytirish koeffitsiyenti maksimal qiymatda olinishi mumkinligidir.



4.23-rasm.Tranzistorli kalit sxemasida vaqt diagrammalari

Boshqaruvchi signal bo'lmaganda tranzistor yopiq' va kesish holatida bo'ladi, chunki bazaga musbat qiymatli siljish kuchlanishi U_{sil} (4.23,a - rasm) berilgan.

Kesish rejimi „uzilgan kontakt" holatiga mos keladi. Musbat siljish kuchlanish $+U_{sil}$ manbayi baza zanjiriga qiymati nolga teng bo'lgan, yuklama zanjiri orqali.oqib o'tuvchi I_{K0} tokni cheklash uchun kiritiladi. Amplitudasi siljish kuchlanishidan katta bo'lgan manfiy boshqaruvchi signal berilganda (4.23, b-rasm) tranzistor bazasiga manfiy signal beriladi (4.23,c-rasm) va berk kontaktga o'xshash bo'lgan to'yinish rejimiga o'tadi. Berk holatda kollektor potensiali (U_{chiq}) ($-U_K$) ga yaqin, ochiq holatda esa ($+U_K$) ga yaqin bo'ladi (4.23,d-rasm).

To'yinish rejimini ta'minlash uchun baza toki qiymati quyidagi shartga mos kelishi kerak (4.23,e-rasm).

$$I_{B\,to'y} \geq I_{K\,to'y} / \beta_{min}, \qquad (4.16)$$

bunda $I_{K\,to'y}$ – to'yinish rejimidagi kollektor toki; β_{min} – tranzistorning minimal statik kuchaytirish koeffitsiyenti.

Tranzistorni ochish vaqtida emitter toki I_E, amalda shu ondayoq hosil bo'ladi (4.23,f-rasm), kalit sxemalarda uning qiymati nominal tok qiymati $I_{E\,nom}$ dan 20-30% ga ko'proq beriladi.

Emitter tokining nominal tokdan ortiq bo'lishi ortiqcha tok deb ataladi, quyidagi nisbat esa to'yinish (chuqurlik) koeffitsiyenti deyiladi:

$$K_{to'y} = \frac{I_E}{I_{E\,to'y}}. \qquad (4.17)$$

Kollektor zanjiridagi tok (4.23, j-rasm) ulanishning kechikish vaqti ($t_2 - t_1$) dan keyin yuzaga keladi. Kechikish vaqti injeksiyalovchi zaryad tashuvchilar-ning baza orqali diffuziyali siljishga sarf bo'ladi. Bu vaqt juda kichik, taqribiy hisoblash vaqtida uni hisobga olmasa bo'ladi.

($t_3 - t_2$) vaqt oralig'i – kollektor toki impulsi fronti vaqti ($I_K = I_{K\,to'y}$ bo'lganda kollektor zanjiridagi o'tish jarayoni tugaydi.)

($t_4 - t_3$) vaqt oralig'i – bazada o'tish jarayonining davom etish vaqti, bu vaqt ortiqcha emitter toki mavjud bo'lganda

injeksiyalanuvchi zaryad tushuvchilar konsentratsiyasining ortishi bilan bog'liq. Tranzistordagi o'tkinchi jarayonning tugash vaqti t_4 vaqtga mos keladi.

$(t_4 - t_1)$ vaqt oralig'i – emitterli o'tishning diffuziyali sig'imi zaryadlanish vaqtiga mos keluvchi tiklanish vaqti.

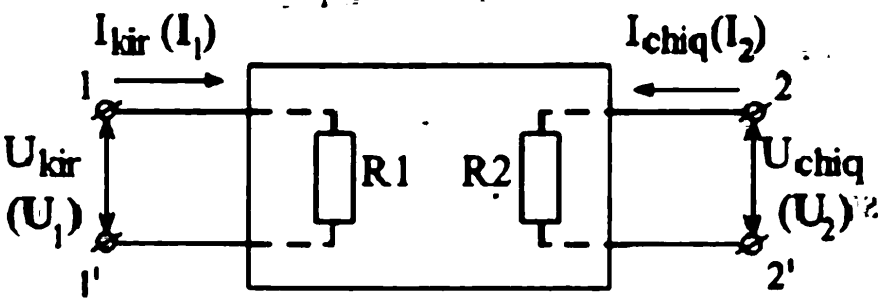
$(t_6 - t_5)$ vaqt oralig'i – $I_K = I_{K\,to'y}$ bo'lganda ulanishning kechikish vaqti.

Emitterli o'tishga teskari kuchlanishning berilishi boshlanishi onida o'tishning erkin zaryad tashuvchilar bilan to'yinishi tufayli sezilarli darajada teskari tokni vujudga keltiradi. Bu tok vaqtning t_7 oniga qadar oqadi. Vaqtning t_5 onidan so'ng berkituvchi kuchlanish berib bo'lingan kollektor zanjirida va vaqtning t_7 onidan so'ng emitter zanjirida toklar yig'ilgan zaryadlarning bazada so'rilishi tufayli kamaya boshlaydi. O'tish vaqti jarayoni vaqtining t_8 onida tugaydi.

$(t_8 - t_6)$ vaqt oralig'i – kollektor toki impulsining so'nish vaqti.

4.10. Tranzistorning kichik signalli va xususiy parametrlari

Tranzistorli elektr zanjirlarini hisoblash uchun tranzistorning parametrlarini hisobga olish kerak. Tranzistor parametrlarini hisoblash usullaridan biri uni chiziqli to'rt qutbli bilan almashtirish usulidir (4.24 - rasm).



4.24-rasm.Chiziqli to'rt qutblik sxemasi

Ammo tranzistor nochiziqli element. Shuning uchun uni to'rt qutbli bilan almashtirish kuchlanish va toklarni bog'lovchi

xarakteristikalar bo'laklari kichik bo'lib, ularning nochiziqligini hisobga olmasa ham bo'ladigan kichik signalli sohalar uchun to'g'ri keladi.

Kichik signalli rejim deb, kirish signali 50 % ga o'zgarganda chiqish signali oldingi qiymatidan 10 % ga ko'p bo'lmagan o'zgarishni yuzaga keltiruvchi rejimga aytiladi.

To'rt qutbli deb qaraluvchi tranzistor uchun bog'liq bo'lmagan o'zgaruv-chilar sifatida, odatda, ΔI_1 ва ΔU_2 ortmalar qabul qilinadi, ΔU_1 ва ΔI_2 ortmalar esa tranzistorning h–parametrlari orqali ifodalanadi:

$$\Delta U_1 = h_{11} \cdot \Delta I_1 + h_{12} \cdot \Delta U_2 ;$$
$$\Delta I_2 = h_{21} \cdot \Delta I_1 + h_{22} \cdot \Delta U_2 . \qquad (4.18)$$

h–parametrlarning qiymatlari xarakteristikaning chiziqli qismi doirasida (4.18) tenglama o'ng qismidagi ikkinchi qo'shiluvchi had nolga teng bo'lganda-gi xususiy hosilaga mos keladi.

h–parametrlarga quyidagilar kiradi :

h_{11} – chiziq zanjiri qisqa tutashgan holda tranzistorning kirish qarshiligi:

$$h_{11} = \left(\frac{\partial U_{kir}}{\partial i_{kir}}\right) U_{chiq} = 0 \quad [Om]; \qquad (4.19)$$

h_{12} – kirish zanjiri ochiq bo'lganda kuchlanish bo'yicha teskari bog'lanish koefitsienti:

$$h_{12} = \frac{1}{K_u} = \left(\frac{\partial U_{kir}}{\partial U_{chiq}}\right) I_{kir} = 0 ; \qquad (4.20)$$

h_{21}–chiqish zanjiri qisqa tutashgan holda tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti:

$$h_{21} = K_i = \left(\frac{\partial i_{chiq}}{\partial i_{kir}}\right) U_{chiq} = 0 ; \qquad (4.21)$$

h_{22}– kirish zanjiri ochiq bo'lganda chiqish o'tkazuvchanligi:

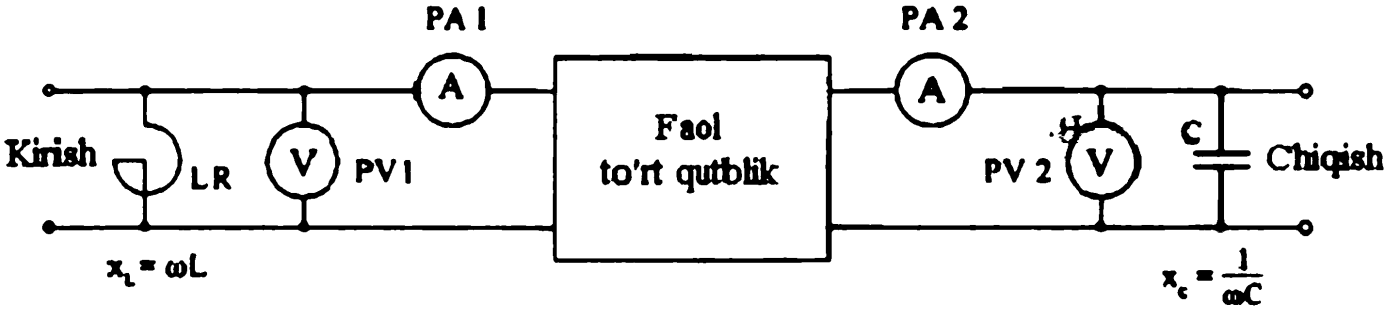
$$h_{22} = \frac{1}{R_{chiq}} = \left(\frac{\partial i_{chiq}}{\partial U_{chiq}}\right) I_{kir} = 0 . \qquad (4.22)$$

Ulanish sxemasi qanday bo'lishiga qarab $h_{21б} = \alpha$; $h_{21э} = \beta$.

h–parametrlarni aniqlash uchun sxema kirishida salt ishlash rejim, chiqishida esa qisqa tutashuv rejimi o'rnatiladi. Har ikkala rejim tok va kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi bo'yicha yaratiladi. Bu shunday bo'lishi lozimki, bunda o'zgaruvchan tashkil etuvchi bo'yicha tranzistor ish rejimining o'zgarishi uning doimiy (o'zgarmas) tashkil etuvchi bo'yicha tanlangan (o'rnatilgan) rejimga ta'sir etmasligi kerak.

O'zgaruvchan tashkil etuvchi bo'yicha qisqa tutashuv rejimini yaratish uchun ikki chiziq elektrodlari orasiga katta sig'imli kondensator ulanadi, salt ishlash rejimida esa kirishda katta induktivli reaktor yoki parallel tebranish konturi ulanadi.

h–parametrlarni o'lchash uchun sxema 4.25-rasmda keltirilgan.



4.25-rasm. h–parametrlarni o'lchash uchun sxema

h–parametrlar ishchi nuqta tanlanishiga, temperaturaga va tranzistorlarning o'zgaruvchan tok bo'yicha ulanish sxemalariga bog'liq.

Tranzistorni boshqa parametrlar bilan ham tavsiflash mumkin: agar bog'liq bo'lmagan o'zgaruvchilar sifatida I_1 va I_2, bog'liq parametrlar sifa-tida U_1 ва U_2 qabul qilinsa, bu z – parametrlar (r – parametrlar) tizimi bo'ladi.

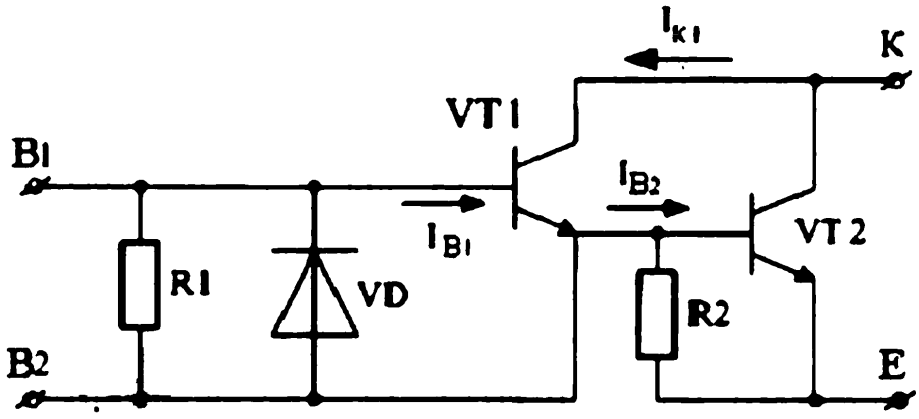
Agar bog'liq bo'lmagan o'zgaruvchilar sifatida U_1 ва U_2, bog'liq o'zgaruv-chilar sifatida I_1 ва I_2 qabul qilinsa , bu u – parametrlar tizimi bo'ladi.

Amalda h - parametrlar tizimi keng qo'llaniladi. z va y – parametrlar tizimi-da parametrlarni o'lchash qiyinligi uchun ular kam qo'llaniladi.

4.11. Kuchli tranzistorli modullar

Kuchli tranzistorlarni boshqarish uchun katta qiymatdagi boshqaruv toki talab etiladi, uni sxemalarda har doim ham amalga oshirib bo'lmaydi. Boshqaruv tokini (baza tokini) kamaytirish uchun ikkita alohida tranzistorlardan yig'ilgan yoki ikki tranzistorli struktura bitta umumiy korpusga o'rnatilgan tarkibli tranzistor qo'llaniladi. Bunday asbob tranzistorli modul deb ataladi.

4.26-rasmda kuchli tranzistorli modul sxemasi keltirilgan.



4.26-rasm. Kuchli tranzistor moduli sxemasi

Baza toki I_{B1} bilan tranzistor VT_1 ochilgach , uning kollektor zanjiri orqali tranzistor VT_2 ning baza toki oqa boshlaydi, bunda $I_{K1} = I_{B2}$. Bunday modul-ning boshqaruvchi toki hisoblangan tranzistor VT_1 ning baza toki tranzistor VT_2 ning baza tokidan kichik ($I_{B1} < I_{B2}$) bo'ladi. Rezistorlar R_1 ва R_2 tranzistor-larning bazalarida manfiy siljishini ta'minlaydi va bazalarda musbat signallarning yo'qligida tranzistorlarning to'liq berkilishini ta'minlaydi. Diod VD tranzistor VT_1 ning bazasiga tashqi zanjirdan manfiy signal berilishi oldini oladi.

Tranzistorlar strukturalari korpusga umumiy asosidan elektr izolyatsiyalangan holda o'rnatilgan , bu esa bir nechta modullarni

ularning ulanish sxemalaridan qat'iy nazar umumiy radiator (sovitkich) ga o'rnatish imkonini beradi.

4.12. Bipolyar tranzistorlarning parametrlari

Tranzistorlarning elektr parametrlari, chegaraviy ekspluatattsiya parametrlari va ekvivalent sxemalar (almashtirish sxemalari) parametrlari mavjud.

Elektr parametrlarga quyidagilar kiradi:

- f_{h21} (f_α) – tranzistorning tok uzatish koeffitsiyenti chegaraviy chastotasi;
- $h_{21E}(\beta)$ – umumiy emitterli sxemada tok uzatish statik koeffitsiyenti;
- $U_{KEO\ cheg}$ – tranzistorning chegaraviy kuchlanishi;
- $U_{KE\ to'y}$ – kollektor – emitter to'yinish kuchlanishi;
- $U_{EB\ to'y}$ – emitter – baza to'yinish kuchlanishi;
- $I_{KB\ tes}$, $I_{EB\ tes}$ – mos holda, kollektor va emitter teskari toklari;
- C_K, C_E – mos holda, kollektorli va emitterli o'tishlar sig'imlari;

Chegaraviy = ruxsat etilgan parametrlar quyidagilar:

- U_{KB}, U_{EB} –mos holda, kollektor–baza va emitter–baza doimiy kuchlanishi;
- $P_{K\,maks}$–kollektor quvvati sochilish doimiysi (tranzistorning yuklanish qobilyatini aniqlaydi);
- $T_{O'T}$ – o'tish temperaturasi.

4.13. Tranzistorlarning sinflanishi va belgilanishi tizimi

Sanoatda ishlab chiqariluvchi tranzistorlar quvvati va chastotasiga ko'ra sinflanadi. Hozirgi paytda tranzistorning eskicha markalanishi bilan bir qatorda yangi markalanishi ham qo'llanilmoqda.

Eskicha markalanishda uchta element bo'lgan:

1 element – P (yassi tranzistor) harfi yoki MP (modernizatsiyalangan yassi tranzistor) ;

2 element–tranzistorni ishlab chiqarish tartib raqami bo'lib, u yarimo'tkaz-gich materialini, sochilish quvvatini (kichik – 0,25 W gacha va 0,25 W dan yuqori – katta) va chastota xususiyatlarini (past chastotali – 5 MHz gacha va yuqori chastotali – 5 MHz dan yuqori) xarakterlaydi;

3 element – bir tipdagi tranzistorning xususiyatlarini (baza tokini uzatish koeffitsiyenti β va boshqalar) xarakterlovchi harf.

Eski belgilanishi bo'yicha tranzistorlarning ishlab chiqarilish raqamlari 4.2- jadvalda ko'rsatilgan.

4.2- jadval

Tranzistorning material va sochilish quvvatiga bog'liq ishlab chiqarilish tartib raqamlari (eskicha belgilanishi).

Yarimo'tkazgich materiali	Tranzistorlarning ishlab chiqarilish raqamlari			
	Past chastotali		Yuqori chastotali	
	Kichik quvvatli	Katta quvvatli	Kichik quvvatli	Katta quvvatli
Germaniy	1–99	201–299	401–499	601–699
Kremniy	101–199	301–399	501–599	701-799

4.2-jadvalga ko'ra KT805A tranzistori germaniyli, past chastotali, kichik quvvatli, GT150B tranzistori kremniyli, past chastotali, katta quvvatli ekanligini bildiradi.

Tranzistorlarning yangi belgilanishi to'rt elementdan iborat :

1 element – harf tranzistor yasalgan materialni bildiradi (G – germaniy, K – kremniy, A – galliy arsenidi) ;

2 element – harf T (bipolyar tranzistor), harf П (maydonli tranzistor);

3 element – asbob ishlab chiqarilish tartib raqami , uning sochilish quvvati va chastota xususiyatlarini xarakterlaydi ;

4 element – harf, bir tipdagi tranzistorning xususiyatlarini (ruxsat etilgan tok va kuchlanishni) xarakterlaydi.

4.3-jadvalda yangi belgilanishdagi tranzistorlarning ishlab chiqarilish raqamlari ko'rsatilgan.

4.3-jadval

Tranzistorning sochilish quvvati va chastota xususiyatlariga bog'liq ishlab chiqarilish tartib raqamlari (yangicha belgilanishi).

Sochilish quvvati	Tranzistorlarning ishlab chiqarilish raqamlari		
	Past chastotali (9 MHz gacha)	O'rta chastotali (30 MHz gacha)	Yuqori chastotali (30 MHz dan yuqori)
Kichik (0,3 W gacha)	101–199	201–299	301–399
O'rtacha(1,5 Wgacha)	401–499	501–599	601–699
Katta (1,5 W dan yuqori)	701–799	801–899	901–999

4.3-jadvalga ko'ra KT 805 A tranzistori bipolyar, kremniyli , katta quvvatli , 30 MHz gacha chastotada ishlashga mo'ljallangan ; GT 150 B tranzistori germaniyli, past chastotali, kichik quvvatli tranzistor.

4.14. Maydonli tranzistorlar

4.14.1.Maydonli tranzistorlarning tuzilishi va ularning sinflanishi

Hozirgi vaqtda elektron sxemalarda bipolyar, ya'ni ikki qutbli tranzistorlar bilan bir qatorda maydonli yoki bir qutbli tranzistorlar keng ishlatiladi. Ulardagi tok faqat bir ishorali zaryad tashuvchilar (elektronlar yoki kovaklar) hisobiga yuzaga keladi. Bunday tranzistorlardan o'tayotgan tokning miqdori shu tok

o'tayotgan kanalning o'tkazuvchanligi bilan aniqlanadi. Bir *qutbli* tranzistorlar ikki qutblilarga qaraganda sodda va arzon bo'ladi.

4.27-rasmda maydonli tranzistorlarning sinflanishi va shartli grafik belgilanishi keltirilgan.

Maydonli tranzistor deb uch elektrodli yarimo'tkazgichli asbobga aytiladi, unda kanal orqali o'tuvchi tok tamba bilan kirish orasiga qo'yilgan kuchlanish vujudga keltiradigan elektr maydon bilan boshqariladi bunda tokni zaryad tashuvchilarning bitta turi (elektronlar yoki kovaklar) ning kanal bo'ylab harakati vujudga keltiradi.

Bu asbob elektromagnit tebranishlar quvvatini kuchaytirish uchun qo'llaniladi.

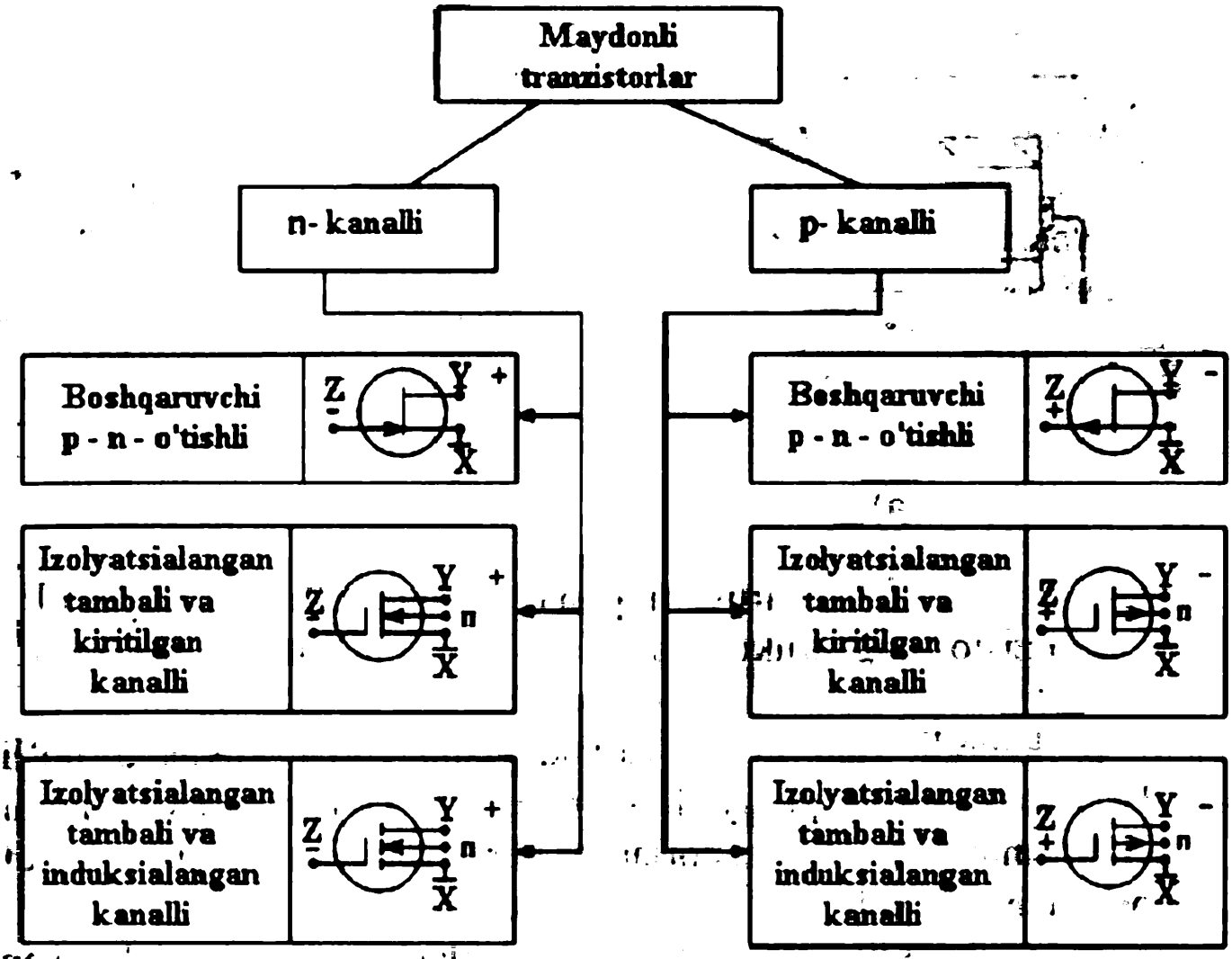
Maydonli tranzistorda kanal - bu n-yoki p-yarimo'tkazgichning sohasi bo'lib, uning qarshiligi tambadagi potensialga bog'liq. Asosiy zaryad tashuvchilarni kanalga kirituvchi elektrod kirish (X) deb, asosiy zaryad tashuvchilarni kanaldan chiqaruvchi elektrod esa chiqish (Y) deb ataladi. Kanalning ko'ndalang kesimini, ya'ni uning qarshiligini rostlovchi elektrod tamba (Z) deb ataladi.

Bir qutbli tranzistorlar ikki qutbli tranzistorlar kabi uch hil sxema bo'yicha ulanadi: umumiy kirishli (UX), umumiy chiqishli (UY), umumiy tambali (UZ).

Maydonli tranzistorlarda tok faqat bitta ishorali zaryad tashuvchilar harakati bilan aniqlangani uchun ularni unipolyar (bir ishorali zaryad tashuvchilar degan ma'noda) tranzistorlar deyiladi. Maydonli tranzistorlar kremniydan tayyorlanadi va dastlabki material elektr o'tkazuvchanligiga ko'ra p-kanalli va n -kanalli tranzistorlarga bo'linadi.

Maydonli tranzistorlarning asosiy afzalligi – kirish qarshiligining yuqoriligidir.

Maydonli tranzistorni boshqaruvchi p–n o'tishli ko'rinishda U.Shokli (1952), izolyatsiyalangan tambali tranzistorni M.Atolle va D. Kangu (1960 yil) tomonidan ishlab chiqildi.



4.27-rasm.Maydonli tranzistorlarning sinflanishi va shartli grafik belgilanishi

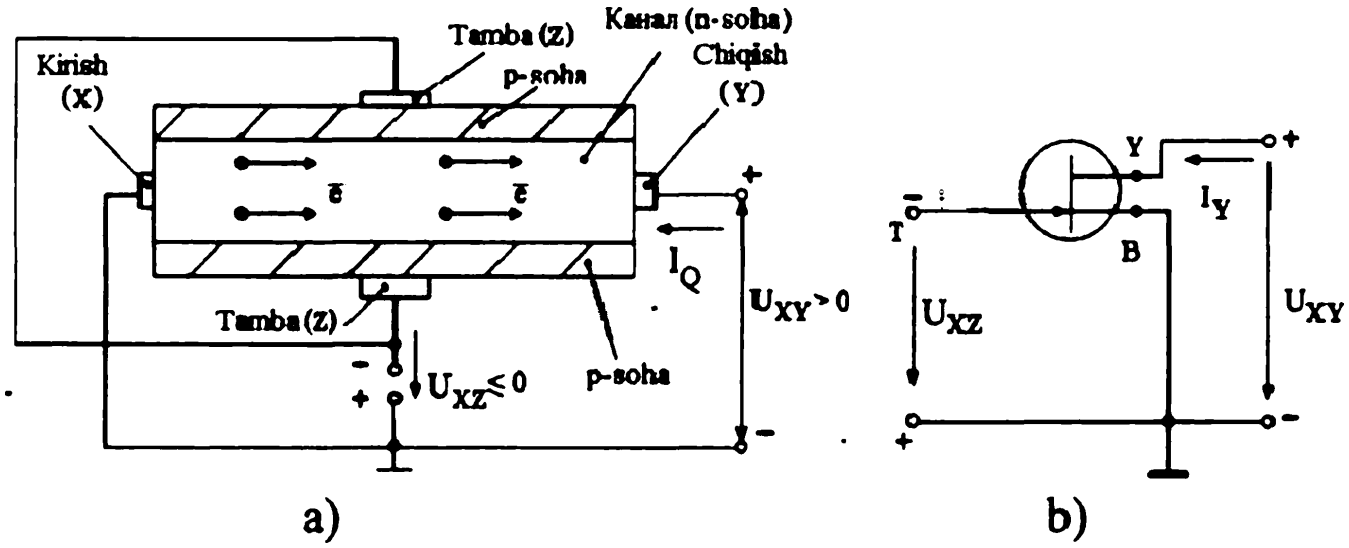
4.14.2. Boshqaruvchi p–n o'tishli maydonli tranzistor

Boshqaruvchi p–n o'tishli maydonli tranzistor – tambasi kanaldan yopiq p–n o'tish bilan elektr ajratilgan.

n - kanalli tranzistorlarda (4.28-rasm) kanaldagi asosiy zaryad tashuvchilar elektronlar bo'lib, ular past potensialli kirish (X) dan yuqori potensialli chiqish (Y)ga kanal bo'ylab harakatlanadi va chiqish toki I_Y ni hosil qiladi.

Tamba (Z) va kirish (X) orasiga kanalning n sohasi va tamba (Z) ning p sohasi bilan hosil qilingan p-n o'tishni berkituvchi kuchlanish berilgan.

n-kanalga ega maydonli tranzistorlarda beriluvchi kuchlanishlar qutbi quyidagicha bo'lishi lozim: $U_{XY} > 0$, $U_{XZ} \leq 0$.

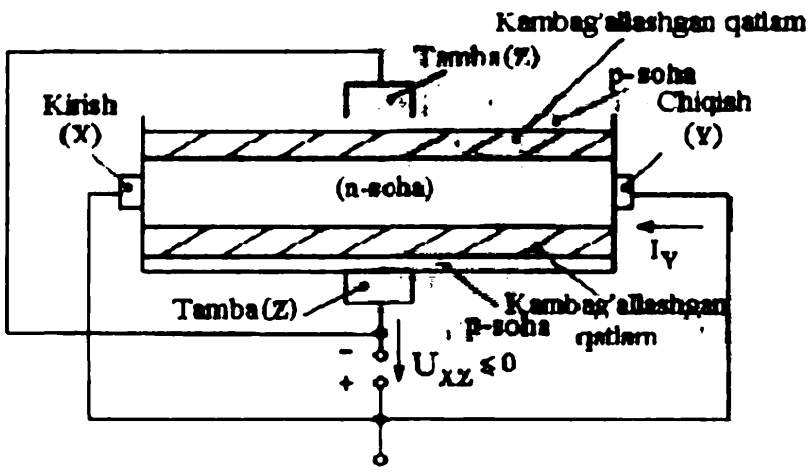


4.28-rasm. Boshqaruvchi p–n o'tishli (n-kanalli) maydonli tranzistorning struktura sxemasi (a) va ulanish sxemasi (b)

p- kanalli tranzistorda zaryad tashuvchilar kovaklar bo'lib, ular potensialning pasayish yo'nalishida harakat qiladi, shuning uchun maydonli tranzistorlarda beriluvchi kuchlanishlar qutbi boshqacha bo'ladi: $U_{XY} < 0$, $U_{XZ} \geq 0$.

n - kanalli tranzistorning ishlashi, shuningdek kanal ko'ndalang kesimining o'zgarishi tranzistor elektrodlariga ma'lum kuchlanishlar berilganda yuzaga keladi.

Tranzistorning ishlashini quyidagi uchta rasm misolida ko'ramiz:

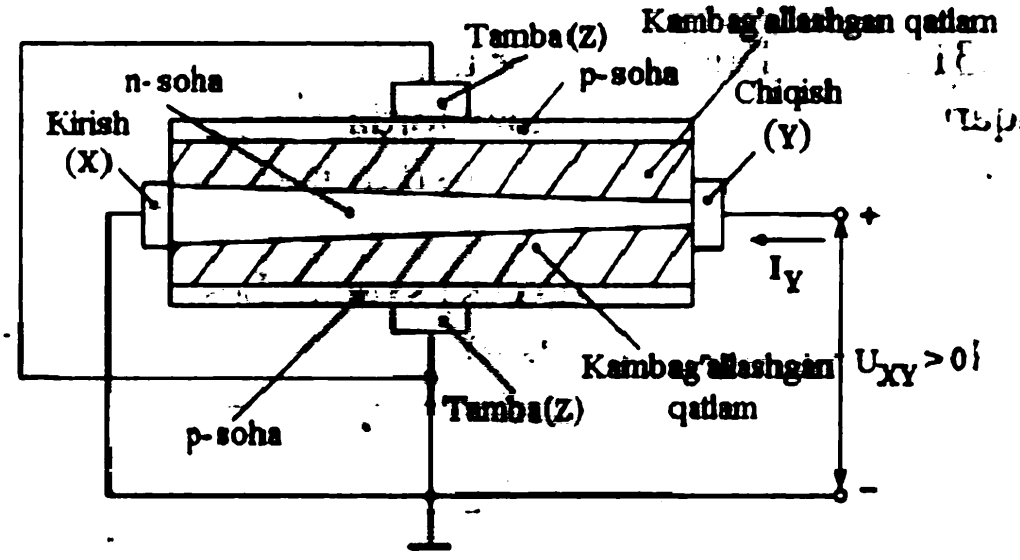


4.29-rasm.Berkituvchi kuchlanish U_{XZ} berilganda boshqaruvchi p–n o'tishli tranzistor

4.29-rasmda berkituvchi (teskari) kuchlanish U_{XZ} p–n o'tishga tamba va kanal orasiga berilganda kanal chegaralarida zaryad tashuvchilari kambag'allashgan va yuqori solishtirma qarshilikka ega bo'lgan tekis qatlamb ko'rsatilgan.

Bu kanalning o'tkazish kengligi qisqarishiga olib keladi.

4.30-rasmda chiqish (Y) va kirish (X) orasiga berilgan kuchlanish notekis kambag'allashgan qatlamni () vujudga keltiradi, tamba(Z) va kanal orasidagi potensiallar farqi kirish (X) dan chiqish (Y) ga qarab ortadi va kanalning eng kichik kesimi chiqish (Y) yaqinida bo'ladi.

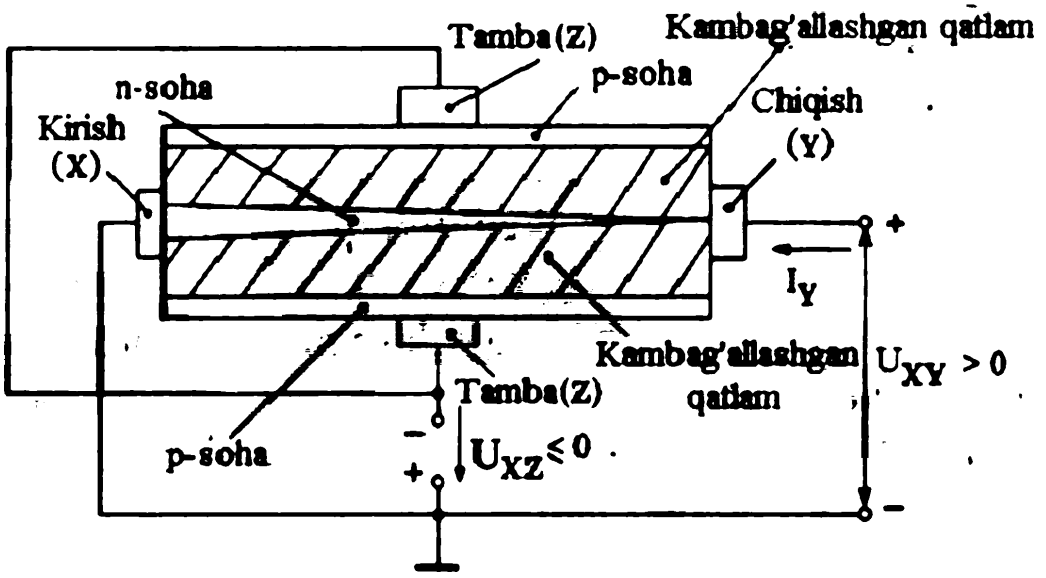


4.30-rasm. Kuchlanish U_{XY} berilganda boshqaruvchi p–n o'tishli tranzistorda tekis kambag'allashgan qatlam hosil qilish

Agar bir vaqtning o'zida $U_{XY} > 0$ va $U_{XZ} \leq 0$ kuchlanish berilsa (4.31- rasm), kambag'allashgan qatlam qalinligi, shuningdek, kanalning minimal kesimi bu ikki kuchlanish ta'siri bilan aniqlanadi.

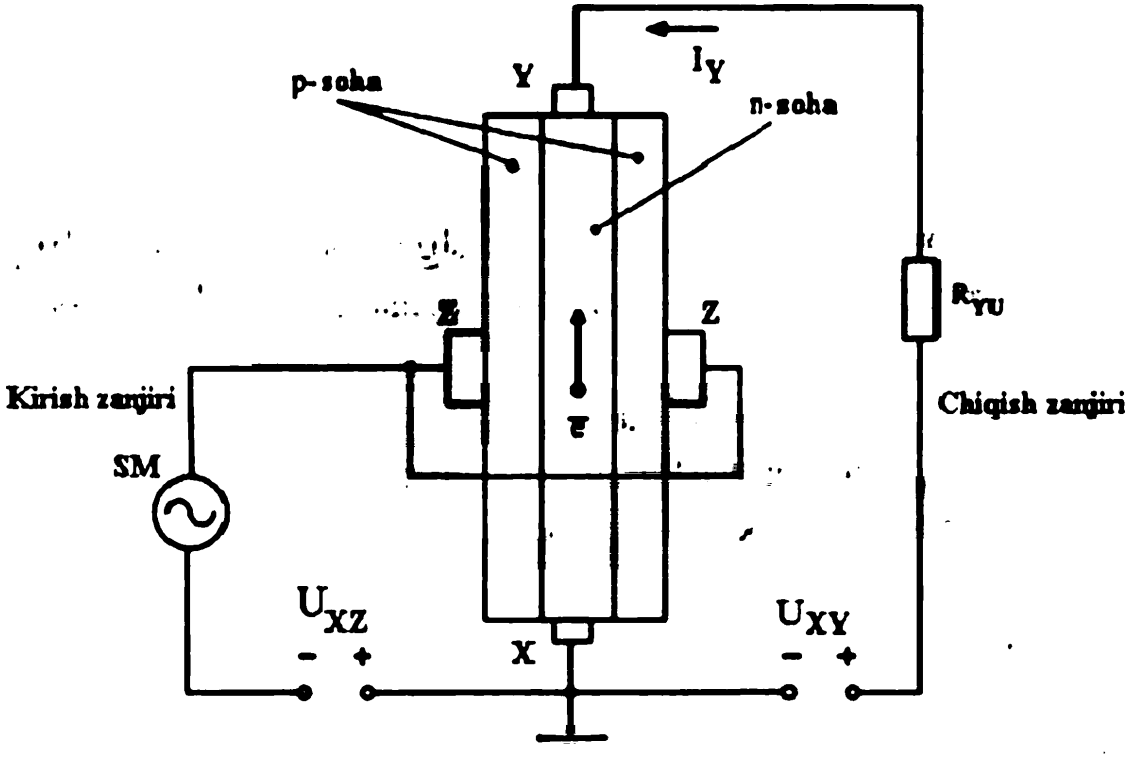
Kuchlanishlar yig'indisi berkituvchi kuchlanish qiymatiga yetganda: $U_{berk} = U_{XY} + |U_{XZ}|$, kambag'allashgan soha chaplashib kyetadi va kanalning qarshiligi keskin ortadi.

Maydonli tranzistorlar (bipolyar tranzistorlar kabi) uch xil ulanish sxemasiga ega: umumiy kirishli (UX), umumiy chiqishli (UY) va umumiy tambali (UZ).



4.31-rasm. Kuchlanishlar $U_{XY} > 0$ va $U_{XZ} \leq 0$ berilganda boshqaruvchi p–n o'tishli tranzistorda notekis kambag'allashgan qatlam hosil qilish

Amalda umumiy kirishli (UX) sxema boshqalariga qaraganda kengroq qo'llaniladi (4.32- rasm).



4.32-rasm.Umumiy kirishli (UX) maydonli tranzistorning ulanish sxemasi

Umumiy kirishli (UX) sxemada chiqish-kirish zanjiri (n-tipli elektr o'tkazuvchanlik bilan) kuchaytiruvchi kaskadning chiqish zanjiri hisoblanadi. Bu zanjir manba U_{XY} dan taminlanadi va uning o'ziga yuklama qarshiligi R_{yu} ulanadi.

Kirish (boshqaruvchi) zanjir boshqa tipdagi (p-tipdagi) elektr o'tkazuvchan-likga ega bo'lgan uchinchi elektrod tamba (Z) yordamida hosil qilingan.

Tamba-kirish kuchlanishi U_{XZ} manbasi p–n o'tishda tambalovchi qatlam kengligini o'zgartiruvchi (baza kengligi modulyatsiya effekti) teskari kuchlanishni hosil qiladi. Kirish zanjiriga signal manbayi (SM) ulanadi.

4.14.3. Boshqaruvchi p–n o'tishli maydonli tranzistorning volt-amper xarakteristikalari

Boshqaruvchi p–n o'tishli maydonli tranzistorning ulanish sxemasi quyidagi xarakteristikalarga ega (4.33- rasm):

- chiqish $I_Y = f\ (U_{XY})$, U_{XZ} = const bo'lganda;
- uzatish (chiqish-tamba) $I_Y = f\ (U_{XZ})$.

Chiqish xarakteristikasida uchta sohani ajratish mumkin:

I soha – chiqish tokining kuchlanish U_{XY}ga kuchli bog'lanish sohasi ;

II soha – chiqish tokining kuchlanish U_{XY}ga kuchsiz bog'lanish sohasi ;

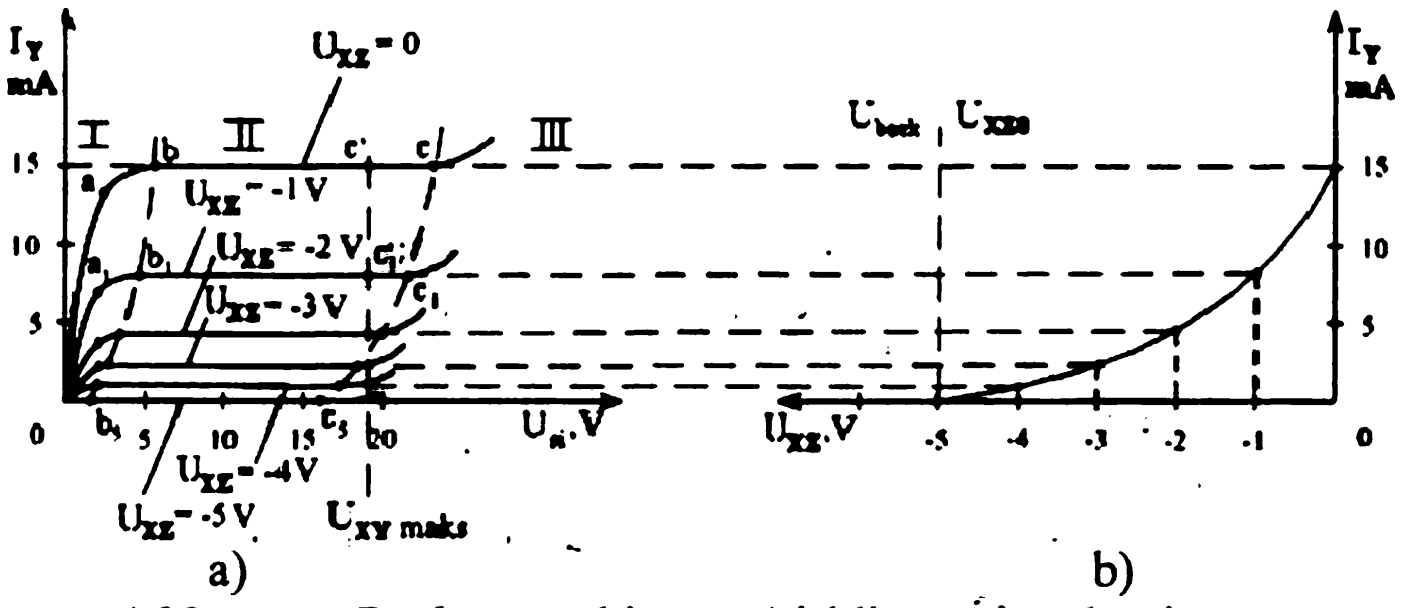
III soha - p–n o'tishning teshilish sohasi.

Kuchlanish $U_{XZ} = 0$ bo'lganda kichik qiymatlar sohasida kuchlanish U_{XY} ning kanal o'tkazuvchanligiga ta'siri katta bo'lmaydi. Xarakteristikaning
0–a bo'lagida (4.33,a- rasm) bog'lanish deyarli chiziqli.

Kuchlanish U_{XY} ortishi bilan (I–sohada a–b bo'lak) tok o'tkazuvchi kanal-ning qisqarishi chiqish toki I_Y ga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Xarakteristikadagi b nuqta p–n o'tishlarining chaplashish nuqtasi.

Kuchlanish U_{XY} ning keyingi ortirilishi (II sohada b–c bo'lak) chiqish toki I_Y ning o'zgarishiga olib kelmasligi kerak. Chiqish

toki I_Y ning ozgina ortishi p–n o'tishdagi kuchli maydon ta'sirida yuzaga keladi.



4.33-rasm. Boshqaruvchi p–n o'tishli tranzistorlarning volt-amper xarakteristikalari:a)–kirish; b)–uzatish(chiqish-tamba)

III soha–„chiqish – tamba" zanjir bo'yicha p–n o'tishning ko'chkili teshilishi sohasi. Teshilish kuchlanishi c nuqtadagi U_{XY} kuchlanishga mos keladi.

Tambaga teskari kuchlanishning berilishi kanalning qarshiligiga olib keladi, shuning uchun $b_1, b_2 ... b_5$ nuqtalar pastroqda joylashgan.

Kuchlanish $U_{XZ\,0}$ (berkituvchi yoki kesish kuchlanishi) qiymati muhim parametrlardan bo'lib, bunda chiqish toki I_Y qiymati nolga intiladi.

Tranzistorning uzatish (chiqish-tamba) xarakteristikasi $I_Y = f\ (U_{XZ})$, 4.33,b-rasmda keltirilgan. Kuchlanish $U_{XZ} = 0$ bo'lganda chiqish toki I_Y maksimal qiymatga erishadi.

4.14.4. Boshqaruvchi p–n o'tishli maydonli tranzistorning asosiy parametrlari

Boshqaruvchi p–n o'tishli maydonli tranzistorning asosiy parametrlari quyidagilardan iborat:

1). chiqish toki I_Y ning maksimal qiymati (kirish xarakteristikasida kuchlanish $U_{YZ} = 0$ bo'lgandagi c nuqta);

2) chiqish-kirish kuchlanishining maksimal qiymati $U_{XY\,maks}$ (kuchlanish $U_{XZ} = 0$ bo'lganda chiqish-tamba bo'lak kuchlanishidan 1,2–1,5 marta kam bo'lgan kuchlanish (b' nuqta));

3) kesish (berkituvchi) kuchlanish $U_{XZ0} = U_{berk}$, bunda chiqish toki I_Y qiymati nolga intiladi;

4) ichki qarshilik (kirish xarakteristikalarning II bo'lakda qiyaligini xarakterlaydi):

$$R_i = \frac{dU_{XY}}{dI_Y},\ U_{XZ} = const \text{ bo'lganda}; \qquad (4.23)$$

5) kirish-tamba xarakteristikasining tikligi (kuchlanish U_{XZ} ning chiqish toki I_Y ga ta'sirini ko'rsatadi):

$$S = \frac{dI_Y}{dU_{XZ}},\ U_{XY} = const \text{ bo'lganda}; \qquad (4.24)$$

6) kirish qarshiligi (teskari yo'nalishda siljigan p–n o'tishlarning qarshiligi bilan aniqlanadi; kuchlanish orttirmasi ΔU_{XZ} katta bo'lganda ham tamba toki orttirmasi deyarli nol bo'lib qolaveradi, demak, kirish qarshiligi juda katta ekan):

$$R_{kir} = \frac{dU_{XZ}}{dI_Z},\ U_{XY} = const \text{ bo'lganda}; \qquad (4.25)$$

7) chiqish qarshiligi:

$$R_{chiq} = \frac{dU_{XY}}{dI_Y},\ U_{XZ} = const \text{ bo'lganda}. \qquad (4.26)$$

To'yinish rejimida kuchlanishning sezilarli orttirmasi dU_{XY} kirish tokining uncha katta bo'lmagan orttirmasi dI_Y ni yuzaga keltiradi, shuning uchun kirish qarshiligi R_{chiq} katta va uning qiymati bir necha kOm ni tashkil yetadi;

8) kuchaytirish koeffitsiyenti:

$$\mu = \frac{dU_{XY}}{dU_{XZ}},\ I_Y = const \text{ bo'lganda}; \qquad (4.27)$$

bu koeffitsiyent kuchlanish o'zgarishi dU_{XZ} boshqa kuchlanish o'zgarishi dU_{XY} ga qaraganda chiqish toki o'zgarishi dI_Y ga necha marta kuchliroq ta'sir etishini ko'rsatadi. Odatda, μ =10–100.

4.14.5. Izolyatsiyalangan tambali maydonli tranzistorlar

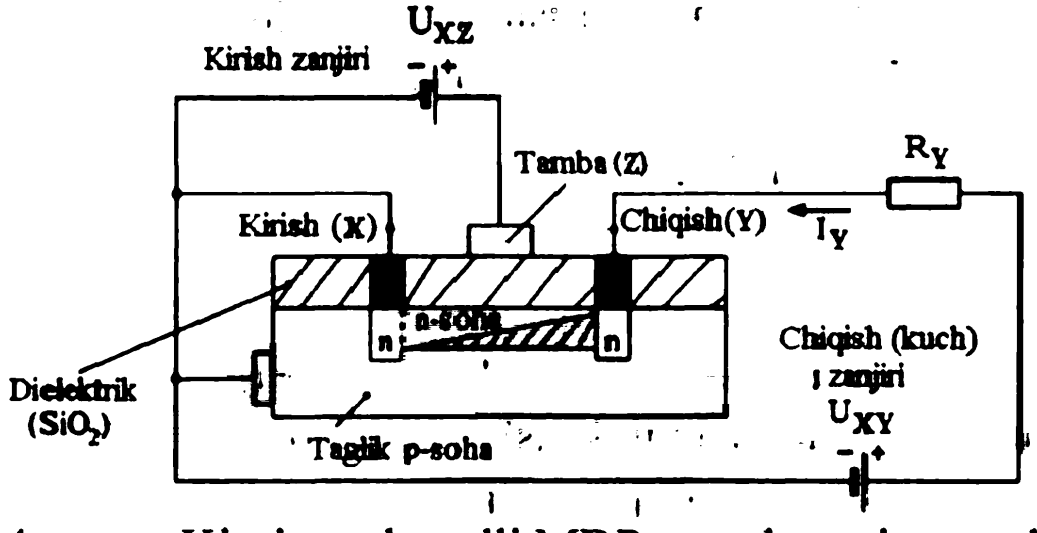
Izolyatsiyalangan tambali maydonli tranzistorlarda tamba yarimo'tkazgichli kanaldan yupqa dielektirik qatlam bilan ajratilgan. Bunday asboblar boshqacha MDP (metall-dielektrik-yarimo'tkazgich) tranzistorlar deb ataladi. MDP – tranzistorlar kremniydan tayyorlanadi. Dielektrik sifatida kremniy oksidi SiO_2 qullaniladi, shuning uchun uni MOP (metall-oksid-yarimo'tkazgich) tranzistorlar deb ham ataladi.

Dielektrikning bo'lishi kirish qarshiligi juda yuqori ($10^{12} - 10^{14}$ Ом) bo'lishini ta'minlaydi.

MDP-tranzistorlarning ishlashi ko'ndalang elektr maydon tasirida dielektrik bilan chegaradosh bo'lgan yarimo'tkazgich qatlamining sirt qismi o'tkazuv-chanligi o'zgarishi effektiga asoslangan. Yarimo'tkazgichning sirt qismi qatlami tok o'tkazuvchi kanal hisoblanadi.

4.14.5.1. Kirgizma kanalli MDP-tranzistorlar

4.34-rasmda kirgizma kanalli MDP-tranzistorning strukturasi va ulanish sxemasi keltirilgan.



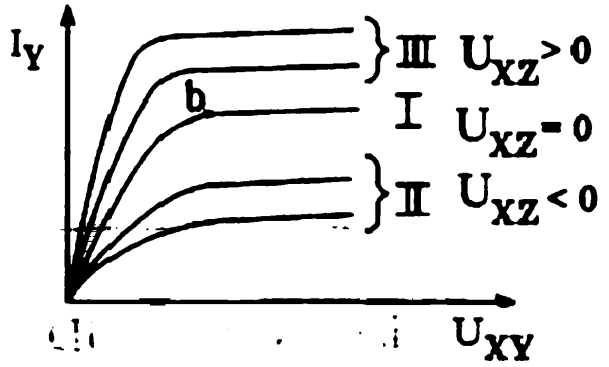
4.34-rasm. Kirgizma kanalli MDP-tranzistorning strukturasi va ulanish sxemasi

Taglik deb ataluvchi toza yoki kuchsiz legirlangan kremniy (p-tipdagi) plastinkada kirish, kanal va n-tipdagi kirish bilan ulanadi. Tranzistor tambasiga boshqaruvchi kuchlanish U_{YZ}

berilib, uning strukturasida hosil bo'lgan elektr maydon hisobiga kirish toki I_X qiymatini boshqarish amalga oshiriladi.

Kirgizma kanalli MDP-tranzistorning xarakteristikalarini ko'raylik. Izolyatsiyalangan tambali maydon tranzistorlarining volt-amper xarakteris-tikalari boshqariluvchi p–n o'tishli tranzistorlar xarakteristikalariga o'xshash bo'ladi:

Tranzistorlarning chiqish xarakteristikalari $I_Y = f(U_{XY})$, $U_{XZ} = const$ bo'lganda uchta oilasi kuchlanish U_{XZ} ning qiymatlariga bog'liq holda, 4.35- rasmda ko'rsatilgan.



4.35-rasm. Kirgizma kanalli MDP tranzistorning kirish xarakteristikalari

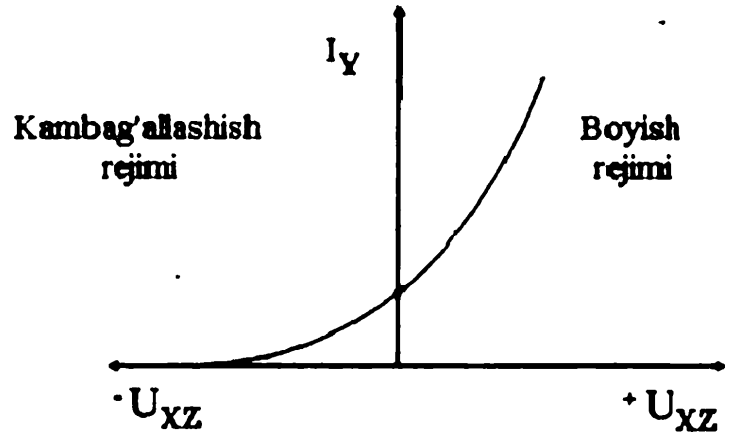
Izolyatsiyalangan tamba tranzistorni tamba-kirish kuchlanishi U_{XZ} ning musbat qiymatlari sohasida ishlatadi.

Xarakteristikaning birinchi oilasi ($U_{XZ} = 0$). Chiqish toki I_Y kanalning dastlabki o'tkazuvchanligi bilan aniqlanadi. Kuchlanish U_{XY} ning kichik qiymatlarida bu kuchlanish, kanal o'tkazuvchanligiga kam ta'sir ko'rsatadi, kirish yaqinlashgan sari potensial osha boradi va berkituvchi qatlam (modulyatsiya) ortadi. Kuchlanish U_{XY} qiymati ortgan vaqtda kanal qisqaradi, natijada tok kamayadi. Xarakteristikaning b nuqtasida kanal minimal qisqarish holatida bo'ladi

Xarakteristikaning ikkinchi oilasi ($U_{XZ} < 0$).Kuchlanish qiymati $U_{XZ} < 0$ bo'lganda elektr maydon elektronlarni siqib chiqaradi, natijada kanalda elektronlar konsentratsiyasi kamayib kyetadi va kanal o'tkazuvchanligi susayadi. Bu rejim kanalning "kambag'allashish" rejimi deb ataladi.

Xarakteristikaning uchinchi oilasi ($U_{XZ} > 0$).Kuchlanish qiymati $U_{YZ} > 0$ bo'lganda elektr maydon elektronlarni p sohadan tortib oladi, ularning konsentratsiyasi ortadi va kanalning o'tkazuvchanligi kuchayadi. Bu kanalning zaryad tashuvchilar bilan boyish rejimi deb ataladi.

Tranzistorning chiqish-tamba (uzatish) xarakteristikasi $I_Y = f\,(U_{XZ})$, $U_{XY} = const$ bo'lganda, 4.36 - rasmda keltirilgan.



4.36-rasm. Kirgizma kanalli MDP tranzistorning kirish-tamba (uzatish) xarakteristikasi

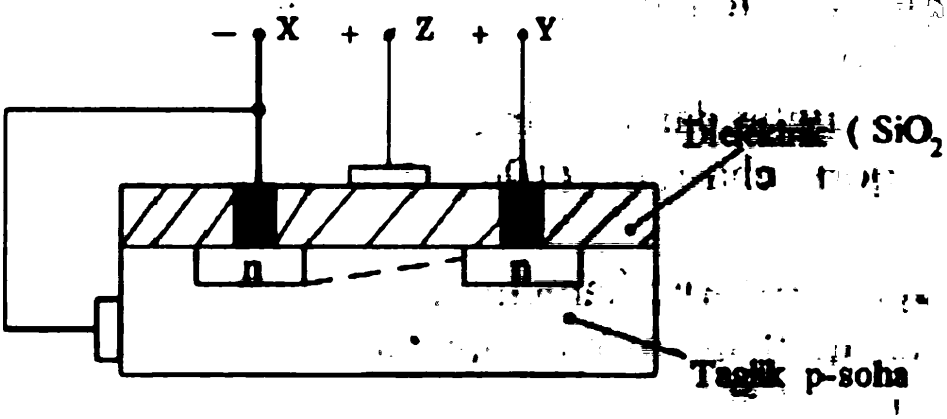
Tamba–kirish kuchlanish U_{XZ} qutbini va qiymatini o'zgartirib kanal o'tkazuvchanligini o'zgartirish mumkin va demak, kirish – chiqish kuchlanish U_{XY} ning doimiy qiymatida chiqish toki I_Y ni ham o'zgartirish mumkin. Boshqariluvchi p–n o'tishli maydonli tranzistorlardan farqli o'laroq, bunda kanal kesimi yuzasi emas, balki asosiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi o'zgaradi.

4.14.5.2. Induktsiyalangan kanalli MDP – tranzistor

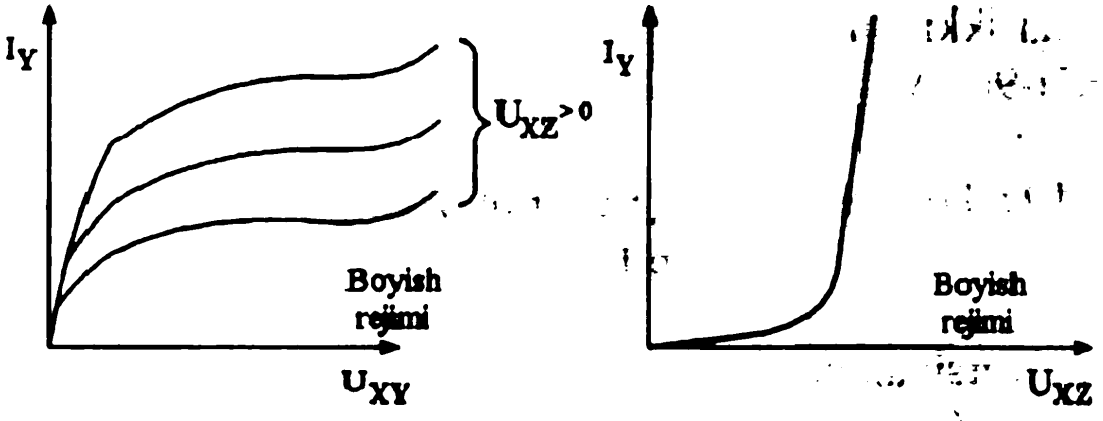
4.37-rasmda induktsiyalangan kanalli MDP – tranzistorning ulanish sxemasi keltirilgan.

Bunday tipdagi tranzistorda tokning o'tkazuvchanlik kanali hosil qilinmaydi. Tambaga berilgan musbat qutbli kuchlanish p – sohadan elektronlar oqib kelishini taminlaydi va induktsiyalangan kanal hosil qilinadi. Induktsiyalangan kanalli tranzistor faqat boyish rejimida ishlaydi.

4.38-rasmda induktsiyalangan kanalli tranzistorning volt–amper xarakteristikasi keltirilgan.



4.37-rasm. Induktsiyalangan kanalli MDP tranzistorning struktura sxemasi



a) b)

4.38-rasm. Induktsiyalangan kanalli tranzistorning volt-amper xarakteristikalari: a) – chiqish- kirish $I_Y = f(U_{XY})$, $U_{XZ} = const$; b) – chiqish-tambali uzatish $I_Y = f(U_{XZ})$; $U_{XY} = const$ bo'lganda

4.14.6.Maydonli tranzistorlarning afzalliklari va kamchiliklari

Maydonli tranzistorlarning afzalliklari quyidagilar:

1) kirish qarshilikning yuqoriligi, bu boshqaruv quvvati bo'yicha kamaytirish koeffitsyentining katta ekanini bildiradi;

2) ishchi tokining faqat asosiy zaryad tashuvchilar tufayli yuzaga kelishi va buning natijasida tezkorlikning yuqoriligi. Zamonaviy MOP – tranzistorlarda qayta ulanish vaqti bir necha nanosekund (10^{-9} s) ni tashkil yetadi. Qayta ulanishning bunday tezligi tranzistorlarda yig'ilgan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar tokining amalda yo'qligi sababli amalga oshadi;

3) kirish signalining kirish signalidan deyarli to'liq ajratilganligi;

4) shovqinlar darajasining pastligi ;

5) yuqori chastota (100 kHz gacha) ishlash imkoniyati mavjud .

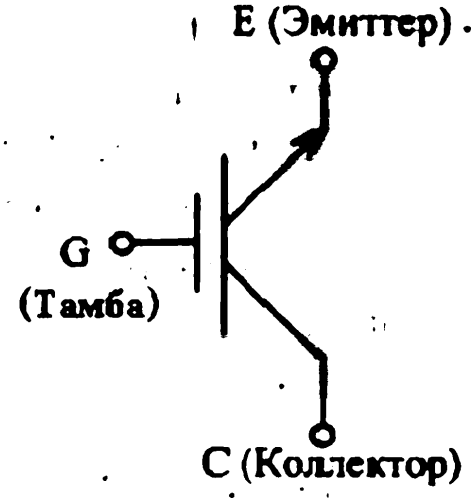
Maydonli tranzistorlar kamchiliklari quyidagilar :

1) past qiymatdagi kommutatsiya toki (bir necha o'n amper) va kuchlanishi (500–600 V gacha) ga ega

2) ulangan holatda qarshilik katta (0,2–0,5 Om) bo'lishi tufayli to'g'ri isroflar qiymatining yuqoriligi. Maydonli tranzistorlar ham bipolyar tranzistorlar kabi markalanadi, ammo ulardagi ikkinchi harf П harfiga almashtiriladi. Masalan, КП-302 A, КП-904 V.

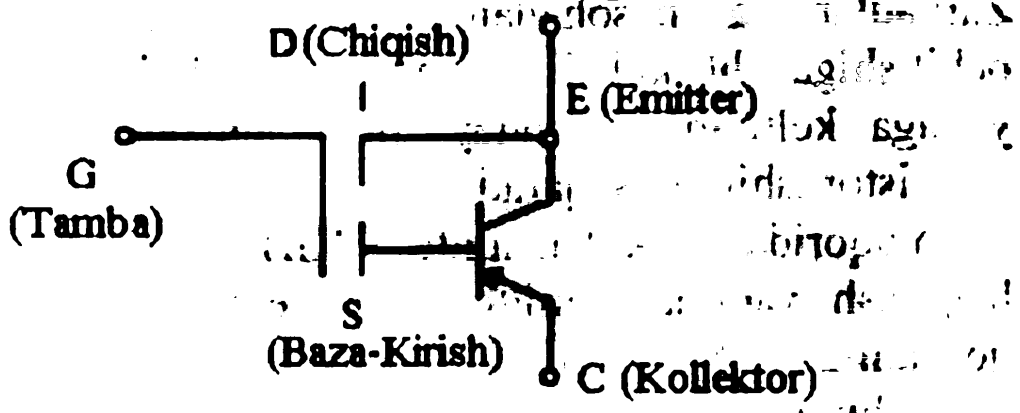
4.15.Izolyatsiyalangan tambali bipolyar tranzistorlar (IGBT – tranzistorlar)

Izolyatsiyalangan tambali bipolyar tranzistor (IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistor) uch qatlamli metall-oksid-yarimo'tkazgich (metall-dielektrik-yarimo'tkazgich) struktura orqali to'liq boshqariluvchi yarimo'tkazgich asbob. Uni uzish yoki ulash tamba va bosh oralig'iga musbat kuchlanish berish hamda bermaslik bilan amalga oshiriladi.4.39-rasmda IGBT – tranzistorning shartli belgilanishi keltirilgan.



4.39-rasm. IGBT-tranzistorning shartli belgilanishi

Izolyatsiyalangan tambali bipolyar tranzistorlar elektr maydon yordamida boshqariluvchi MOP strukturali (MOSFET – Metal-Oxid-Semiconductor-Field-Effect-Transistor) kuchli tranzistorlar texnologiyasi rivojlanishi mahsuli hisoblanadi va o'zida bitta yarimo'tkazgich strukturadagi ikki tranzistorni: bipolyar (kuch kanalini tashkil etuvchi) va maydonli (boshqaruv kanalini tashkil etuvchi) tranzistorlarni mujassam etgan. 4.40-rasmda ikki tranzistorni ulash ekvivalent sxemasi keltirilgan.



4.40-rasm. IGBT-tranzistor tarkibida ikki tranzistorning ulanishi ekvivalent sxemasi

Bu asbob kuchli zanjirga bipolyar tranzistorning E (emitter) C (kollektor) kirishlari bilan, boshqaruv zanjiriga esa G(tamba) kirishi bilan ulangan.

Shunday qilib, IGBT uchta tashqi kirishga ega: emitter, kollektor va tamba. Emitter va quyi (D), baza va bosh (S) ulash ichki ulashlar hisoblanadi.

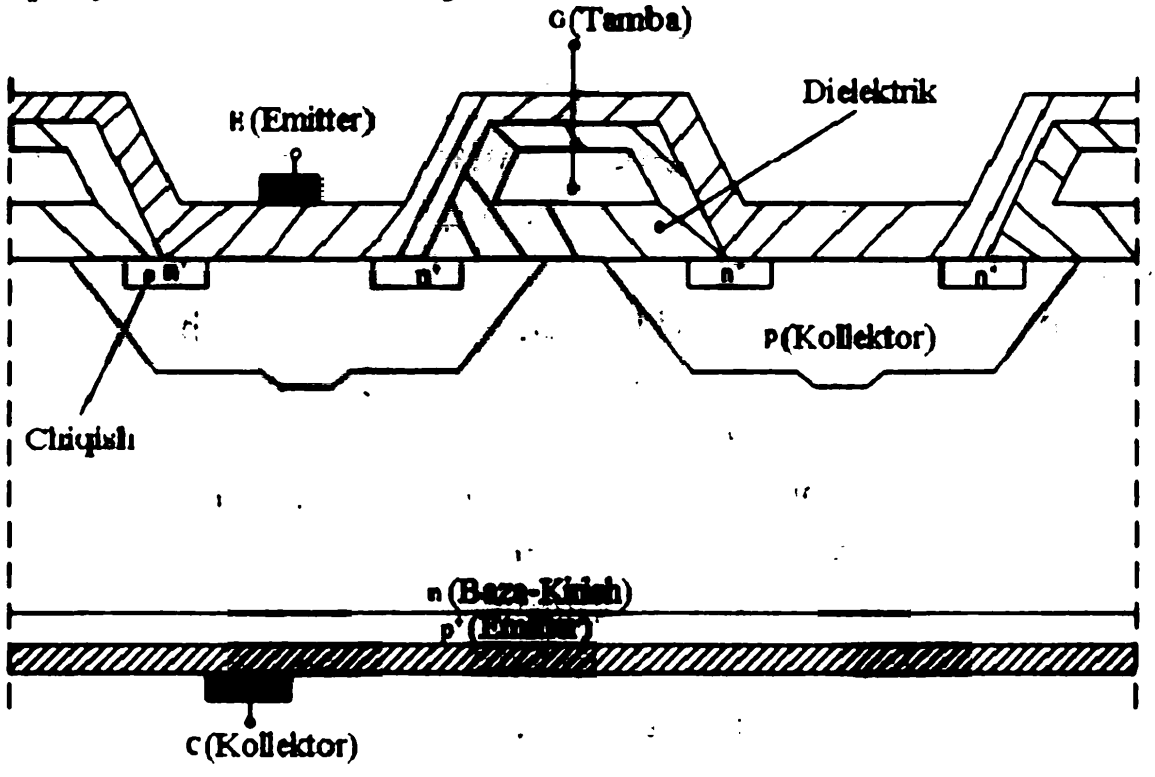
Ikkita asbobning bitta strukturada mujassamlanganligi bipolyar va maydonli tranzistorlarning afzalliklarini birlashtirish imkonini berdi: yuqori yuklama tokli katta kirish qarshiligi va ulangan holda kichik qarshilikka ega bo'lishi, boshqaruv signalining kam quvvatliligi, teskari kuchlanishning katta qiymatlariga chidamliligi, yaxshi temperatura xarakteristikalar shular jumlasidan.

4.41-rasmda IGBT-tranzistor strukturasi kesimi sxemasi keltirilgan. Bipolyar tranzistor p^+ (emitter), n (baza), p (kollektor) qatlamlaridan hosil qilingan. Maydonli tranzistor n

(bosh), n^+ (quyi) va metall plastinka (tamba) qatlamlari-dan hosil qilingan. p^+ va p qatlamlar kuch zanjiriga ulanuvchi tashqi kirishlar-ga ega. Tamba boshqaruv zanjiriga ulanuvchi kirishga ega.

Izolyatsiyalangan tambali bipolyar tranzistorni ulash jarayonini ikki bosqichga bo'lish mumkin: tamba va bosh orasiga musbat kuchlanish berilgandan keyin maydonli tranzistor ochiladi (bosh va quyi orasida n - kanal shakllanadi(induktsiyalanadi)). Zaryadlarning n sohadan p sohaga harakati bipolyar tranzistor ochilishiga olib keladi va emittyerdan kollektorga oquvchi tokni yuzaga keltiradi. Shunday qilib, maydonli tranzistor bipolyar tranzistor ishini boshqaradi.

Yuqorida ta'kidlaganidek IGBT- tranzistor elektrodlarini belgilash vaqtida "emitter", "kollektor" va "tamba" atamalari qo'llanilgan. Aslida, IGBT- tranzis-torda p-n-p va n-p–n tipdagi ikkita bipolyar struktura mavjud.



4.41-rasm. IGBT-tranzistor strukturasi kesimi sxemasi

IGBT- tranzistor kirishlarining nomlanishi odatdan tashqari (ayniqsa, kollektor, chunki amalda u p-n-p tipdagi kuchli

bipolyar tranzistorning emitteriga ulangan) bo'lsada ,ular umum qabul qilingan atamalar hisoblanadi.

4.16. IGBT tranzistorlar asosidagi kuchli modullar

O'zgartirgichlarning texnik-iqtisodiy ko'rsatgichlarini yaxshilashning samarali yo'llaridan biri, elementlarni, jumladan, yarimo'tkazgich asboblarini konstruktiv- texnologik integrallashdan iborat. Ma'lum sxemalar bilan o'zaro ulangan asboblar (diodlar, tranzistorlar, tiristorlar va h.k.) yagona plastmassa korpusda yig'ilgan gibrid integral sxemalar kuchli yarimo'tkazgich modullar deb ataladi.

Modullarda elemenlarning ulanish sxemalari tipik o'zgartirish sxemalariga mos keladi (masalan, bir fazali yoki uch fazali ko'prik sxema, elementlarning ketma - ket yoki parallel ulanishlari).

Seriya tarzida ishlab chiqariluvchi tranzistorli modullar planar texnologiya bo'yicha tayyorlanadi.

Hozirgi paytda IGBT- tranzistorlar asosidagi kuchli modullarning ishlab chiqarilishi Rossiyaning " Elektrovipryamitel" OAJ da yo'lga qo'yilgan.

IGBT-modullar quyidagi afzalliklarga ega:

-modul sxemasi elementlari sovitish qurilmalaridan elektr izolyatsiyalangan, bu esa ularni bitta sovitgich (radiator) orqali sovutish imkonini beradi.

-o'rnatishning osonligi va o'zgartgich boshqa sxemalari bilan birlashtirishning qulayligi;

-kuchli zanjirda keraksiz induktivlikni kamaytirish, buning hisobiga tranzistorlardagi o'ta kuchlanishlar yuzaga kelishini va kommutatsiya isroflarini kamaytirish;

-tranzistorlar du/dt ga bardoshli bo'lganligi uchun ularning ishonchli ishlashi tok va kuchlanish bo'yicha chegaraviy yuklanishlarda ham ta'minlanadi;

-IGBT-modullardan parallel ulashlarda foydalanish imkoniyatining mavjudligi;

-uzish vaqtida tokning kamayish vaqti qisqa;

-kommutatsiya toklari (1200 A gacha) va kuchlanishlari (3,3 kV gacha) qiymatlarining yuqoriligi;

Modullar konstruktiv jihatdan 1,2, 3 xilda tayyorlanadi:

1-modul kengligi 34mm (toklari 25, 50 ,75 A);

2-modul kengligi 62mm (toklari 100,150 ,200 A);

3-modul kengligi 62mm (toklari 200, 320, 400 A).

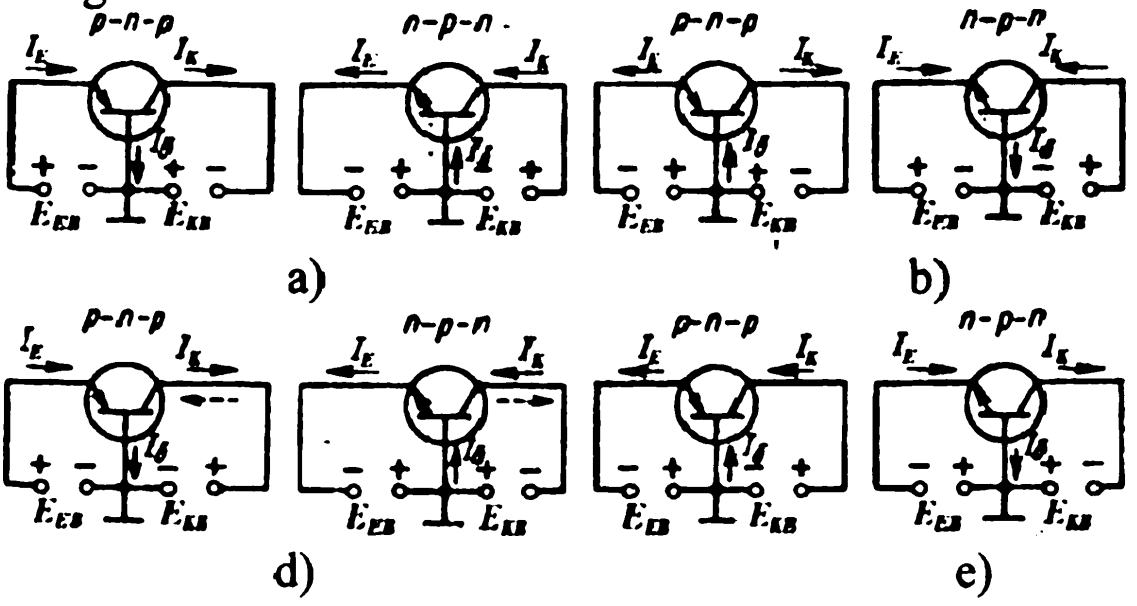
4.17. Bo'limga doir masala yechish namunalari

4.1-namuna. Tranzistorlarning p-n-p va n-p–n tiplari uchun umumiy bazali ulanish sxemalarini tasvirlang.

Tranzistorning a) aktiv rejimdagi; b) kesish rejimidagi; d) to'yinish rejimidagi; e) invers rejimidagi ta'minlovchi kuchlanish qutblarini ko'rsating.

Har ikkala sxemada emitter toki I_E, kollektor toki I_K, baza toki I_B larning yo'nalishlarini barcha ish rejimlari uchun ko'rsating.

Yechish. Tranzistorlarning p-n-p va n-p–n tiplari uchun umumiy bazali ulanish sxemalari, ta'minlovchi kuchlanish qutblari va toklarning yo'nalishlari 4.17.1, (a-e) - rasmlarda ko'rsatilgan.



4.17.1 - rasm

4.2-namuna. p-n-p tipli tranzistor sxemaga umumiy emitter bilan ulangan (yuqorida keltirilgan 4.11-rasm). Agar kuchlanishlar quyidagi qiymatlarga ega bo'lsa:

a) baza – emitter kuchlanishi $U_{b-e} = -0{,}4V$ va kollektor – emitter kuchlanishi $U_{k-e} = -0{,}3V$;

b) baza –emitter kuchlanishi $U_{b-e} = -0{,}4V$ va kollektor– emitter kuchlanishi $U_{k-e} = -10\ V$;

e) baza–emitter kuchlanishi $U_{b-e} = 0{,}4V$ va kollektor–emitter kuchlanishi $U_{k-e} = -10V$. Tranzistor qanday rejimda ishlashini tushuntiring.

Yechish.

a) tranzistor to'yinish rejimida ishlaydi, chunki emitterli o'tishda to'g'ri kuchlanish $U_{b-e} = -0{,}4V$, kollektorli o'tishda ham to'g'ri kuchlanish (0,1 V) bo'ladi.

b) tranzistor faol rejimda ishlaydi, chunki emitterli o'tishda to'g'ri kuchlanish $U_{b-e} = -0{,}4V$, kollektorli o'tishda esa teskari kuchlanish
(- 9,6 V) bo'ladi.

e) tranzistor kesish rejimda ishlaydi, chunki ham emitterli o'tishda teskari kuchlanish $U_{b-e} = -0{,}4V$, ham kollektorli o'tishda teskari kuchlanish (- 10,4 V) bo'ladi.

4.3-namuna. n-p–n tipli tranzistor sxemaga umumiy baza bilan ulangan (4.17.1-rasm). Emitter–baza kuchlanishi $U_{e-b} = -0{,}5V$, kollektor–baza kuchlanishi $U_{b-k} = 12V$. Kollektor–emitter kuchlanishini aniqlang.

Yechish.

Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra: $U_{EB} + U_{BK} + U_{KE} = 0$,

Bundan kollektor–emitter kuchlanishi: $U_{KE} = 12 + 0{,}5 = 12{,}5$ V.

4.4-namuna. Tranzistorning umumiy emitter (UE) bilan ulangan sxemasi parametrlari h_{12E} va h_{11E} ni umumiy baza (UB) bilan ulangan sxema h– parametrlari orqali ifodalang.

Yechish. Tranzistorning umumiy baza (UB) bilan ulangan sxemasi 4.17.2,a-rasmda keltirilgan.

Agar bu sxemani umumiy emitter (UE) bilan ulangan sxema bilan almashtirsak, 4.17.2,b-rasmda keltirilgan sxemani hosil qilamiz.

Aniqlanishiga ko'ra:

$$h_{12E} = \frac{U_{BE}}{U_{KE}} I_{I_{B=0}} = -\frac{U_{KB}+U_{KE}}{U_{KE}} I_{I_{B=0}} = (1 - \frac{U_{KB}}{U_{KE}}) I_{I_{B=0}},$$

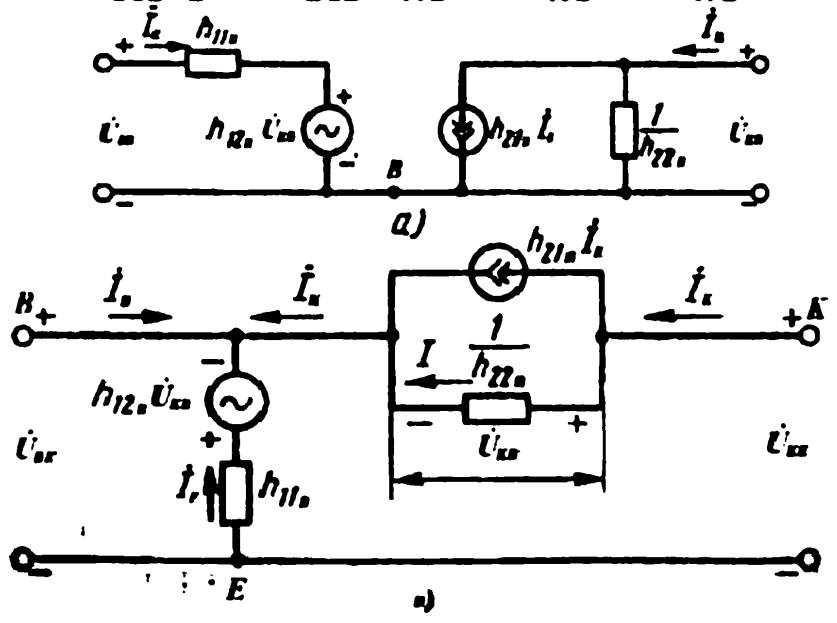
agar $I_B = 0$ bo'lsa, $I_K = -I_E$ bo'ladi va 4.17.2, b-rasmga ko'ra I = -$(1+h_{21B})I_E$.

Aniqlanishiga ko'ra h_{22B} o'tkazuvchanlik bo'lgani uchun,

$$I = h_{22B}U_{KB} = -(1+h_{21B})I_E.$$

Kirxgofning ikkinchi qonunidan foydalanib, 4.17.2,b-rasmning chiqish konturi uchun quyidagini yozish mumkin:

$$h_{11B}I_E + h_{21B}U_{KB} - U_{KB} + U_{KE} = 0.$$



4.17.2-rasm

So'ngi ikki tenglikda kichik o'zgartirishlarni bajarib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$-\frac{h_{11B}h_{21B}}{1+h_{21B}}U_{KB} + h_{21B}U_{KB} - U_{KB} + U_{KE} = 0$$

yoki

$$U_{KB}/U_{KE} = \frac{1+h_{21B}}{h_{11B}h_{22B} + (1-h_{12B})(1+h_{21B})}.$$

Demak,

$$h_{12E} = 1 - \frac{U_{KB}}{U_{KE}} = \frac{h_{11B}h_{22B} - (1+h_{21B})h_{12B}}{h_{11B}h_{22B} + (1-h_{12B})(1+h_{21B})}.$$

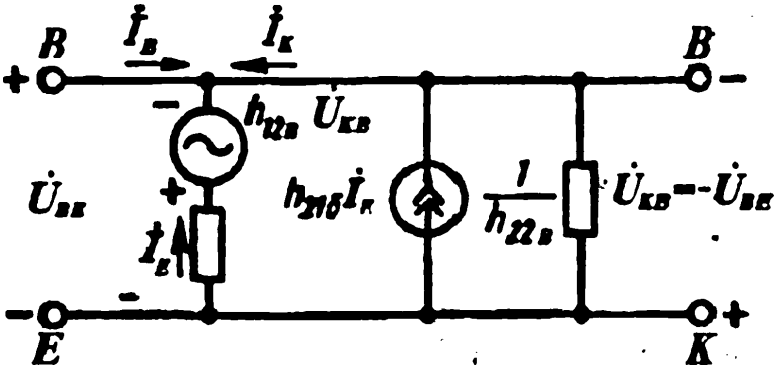
Agar $h_{12B} \ll 1$ va $h_{22B}h_{11B} \ll 1 + h_{21B}$ ekanligini inobatga olsak, yuqoridagi formula soddalashadi:

$$h_{12E} = 1 - \frac{U_{KB}}{U_{KE}} = \frac{h_{11B}h_{22B}}{(1+h_{21B})} - h_{12B}.$$

Aniqlanishiga ko'ra $h_{11Э}$ qarshilik bo'lgani uchun, uni chiqishda qisqa tutashuv bo'lgan rejimda aniqlanadi:

$$h_{11E} = \frac{U_{BЭ}}{I_B} I_{U_{KE}=0}.$$

4.17.2,a-rasmning chiqish qisqichlarini qisqa tutashtirib, 4.17.3-rasmda ko'rsatilgan sxemani olamiz. Ta'kidlash joizki, bu holda $U_{KB} = -U_{BE}$.



4.17.3-rasm

Kirish konturi uchun Kirxgofning ikkinchi qonunini qo'llab quyidagi tenglamani olamiz:

$$U_{KB} - h_{11B}I_E - h_{12B}U_{KB} = 0.$$

Co'ngi ikki ifodadan foydalanib, emitter tokini topamiz:

$$I_E = \frac{1-h_{21B}}{h_{11B}} U_{KB}.$$

Nuqta B uchun Kirxgofning birinchi qonunini qo'llab quyidagi tenglamani olamiz:

$$I_B + I_E + h_{21B}I_E - h_{22B}U_{BE} = 0$$

yoki

$$I_B = (1 + h_{21B})\frac{1-h_{21B}}{h_{11B}}U_{BE} + h_{22B}U_{BE}.$$

Demak,

$$h_{11E} = \frac{U_{BE}}{I_B} = \frac{h_{11B}}{h_{11B}h_{22B} + (1-h_{12B})(1+h_{21B})}.$$

Bu ifoda qarshilikning aniq ifodasi hisoblanadi. Agar $h_{12B} \ll 1$ va $h_{11B}h_{22B} \ll 1 + h_{21B}$ ekanligini inobatga olsak, oxirgi tenglama quyidagi sodda ko'rinishni oladi:

$$h_{11E} \approx \frac{h_{11B}}{1+h_{21}}.$$

Rezyume

-Tranzistor–uch qatlamdan iborat bo'lgan qurilma bo'lib, quvvat va kuchlanishni kuchaytirish uchun qo'llaniladi.

-Tranzistorlar n–p–n va p–n–p konfiguratsiyali bo'ladi.

-Tranzistorning o'rta sohasi baza, ikki chet sohalari–emitter va kollektor deb ataladi.

-Tranzistorlar o'tkazuvchanlik tipi (n–p–n yoki p–n–p), materiali (kremniy yoki germaniy), quvvati (kichik yoki katta), qo'llanish usuli (qayta ulovchi yoki chastotali) bo'yicha sinflanadi.

-Tranzistorlarning shartli belgilari harflar va raqamlarni o'z ichiga olgan elementlardan iborat.

-Tranzistor korpuslari himoya, issiqlikni chiqarish va tranzistorlarni sxemaga ulash uchun xizmat qiladi.

-To'g'ri kuchlanish berilganda tranzistorning emitter-baza o'tishi siljishi to'g'ri yo'nalishda, kollektor-baza o'tish siljishi teskari yo'nalishda bo'ladi.

-Tranzistorning p–n–p tipida siljitish manbalari n–p–n tipdagi siljitish manbalariga qarama-qarshi qutblarda bo'ladi.

-Germaniyli tranzistorning ichki potensial to'sig'i 0,3 volt, kremniyli uchun 0,7 volt.

-Kollektor-baza o'tishga qo'yilgan teskari siljish kuchlanishi emmiter-baza o'tishga qo'yilgan to'g'ri siljish kuchlanishidan katta.

-Tranzistorni ommetr yordamida tekshirishda har bir o'tish to'g'ri siljishda kichik qarshilikni, teskari o'tish vaqtida yuqori qarshilikni ko'rsatadi.

-Tranzistorlarni tekshirish uchun maxsus asboblar tranzistorlarni ham zanjirda , ham zanjirdan tashqari bo'lganda tekshirish imkonini beradi.

-Maydonli tranzistorl signalni boshqarish uchun kanaldan foydalanadi (oddiy tranzistorlarda p–n o'tishlardan foydalaniladi).

-Maydonli tranzistorlarning uchta chiqishi kirish (istok), chiqish (stok) va tamba (zatvor) larga ulangan.

-Kirish signali zatvor (tamba) va istok (kirish) orasiga beriladi va maydonli tranzistor signal kattaligini boshqarishi mumkin.

-Maydonli tranzistorlar juda katta kirish qarshiligiga ega.

Nazorat uchun savollar

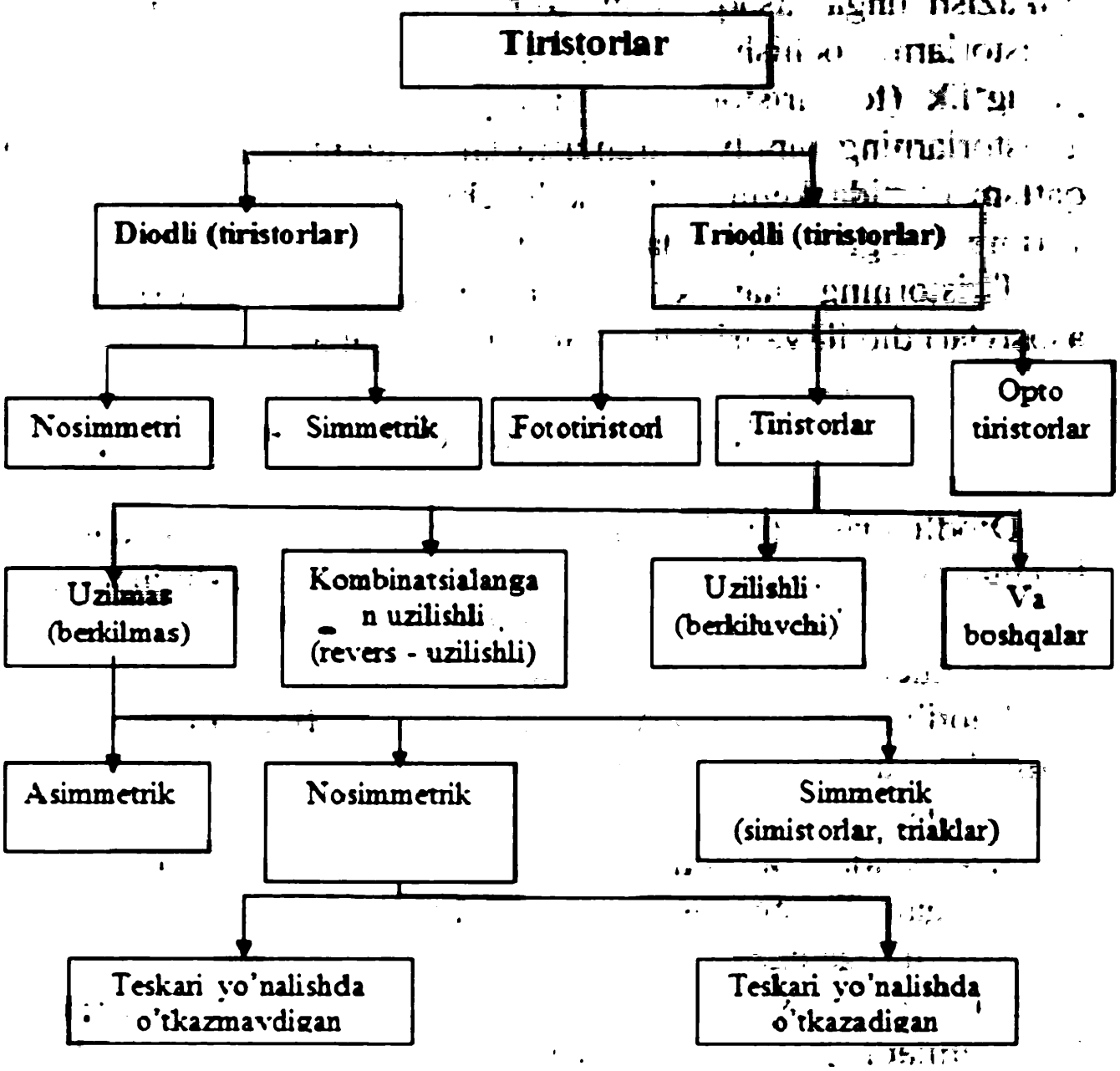
1.Qanday asbob tranzistor deb ataladi ?
2.Tranzistor qanday tuzilishga ega ?
3.Tranzistorning ishlash asosi nimadan iborat ?
4.Bipolyar tranzistorlar qanday tranzistorlar ?
5.Tranzistorning boshqarilish xususiyati nimadan iborat ?
6.Umumiy emitter bilan ulangan BT sxemasini tasvirlang.
7.Umumiy emitterli tranzistor sxemasi signalni qanday kuchaytiradi?
8.Umumiy emitterli sxema bo'yicha ulangan tranzistorda tokning uzatish koeffitsiyenti nimaga teng ?
9.Umumiy emitter bilan ulangan BT ning xarakteristikalari qanday ?
10.Umumiy kollektr bilan ulangan BT ish xarakteristikalari qanday sxemaga ko'ra olinadi ?

11.Umumiy baza bilan ulangan BT ish xarakteristikalari qanday sxemaga ko'ra olinadi ?
12.Maydonli tranzistor (MT) ishlash asosi qanday ?
13.MT ning qanday turlari mavjud ?
14.MT ning chiqish xarakteristikasi qanday olinadi ?
15.MT ning ulanish sxemalari (umumiy kirishli, umumiy chiqishli, umumiy tambali) qanday ?

5.Tiristorlar

5.1. Tiristorlarning qo'llanilishi va sinflanishi

Tiristor ikki turg'un holatga ega bo'lgan yarimo'tkazgich asbob bo'lib, u ochiq holatdan yopiq holatga va aksincha qayta ulanishi mumkin. Uning nomi ham shundan kelib chiqqan holda grekcha "tyra"-"eshik" nomini bildiradi.



5.1-rasm. Tiristorlarning sinflanishi

Tiristor ochiq eshikka o'xshash holda tokni o'tkazadi, yopiq holda tok yo'lini to'sib qo'yadi. Tiristorlar aloqa qurilmalari va energetikada ta'mirlash zanjirlarida rostlagichlar sifatida qo'llaniladi.

Tiristorlarning elektr harakat tarkibida va tortuvchi nimstansiyalarda qo'llanilishi to'g'rilangan tokni tekis rostlashni, tokni inverslashni va boshqa funksiyalarni bajarish imkonini beradi. Elektr zanjirida tiristorni yopiq holatdan ochiq holatga o'tkazish unga tashqi ta'sir ko'rsatish orqali amalga oshiriladi. Tiristorlarni ochish omillariga unga kuchlanish (tok) yoki yorug'lik (fototiristorlar) ta'sirlarini ko'rsatish keng tarqalgan. Tiristorlarning bipolyar tranzistorlar strukturasidan farqi - uchta qatlam o'rnida ketma - ket keluvchi to'rt (yoki undan ko'proq) yarimo'tkazgich qatlamdan iborat.

Tiristorning har xil turlari mavjud (5.1-rasm). Ulardan asosiylari diodli va triodli tiristorlar hisoblanadi.

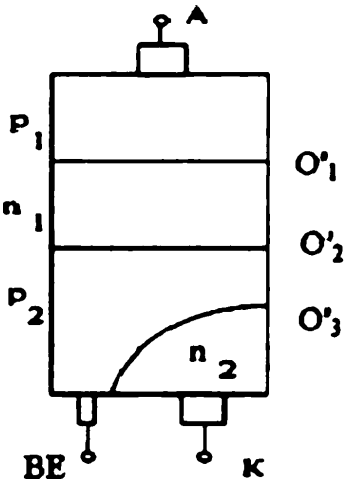
5.2. Diodli va triodli tiristorlar

Diodli tiristor(dinistor)larda asbobning yopiq holatdan ochiq holatga o'tishi anod va katod orasidagi kuchlanishning ma'lum chegaraviy qiymati, ya'ni asbobning parametri hisoblangan, ulanish kuchlanishi U_{ul} ga yetgan qiymat bilan bog'liq.

Triodli tiristor(trinistor)larda asbob holatini boshqarish zanjirdagi uchinchi - boshqaruvchi elektrod yordamida amalga oshiriladi.

5.2-rasmda boshqaruvchi elektrodli tiristorning tuzilishi ko'rsatilgan. Tiristor uchta p–n o'tishli (O'$_1$ – O'$_3$) $p_1 - n_1 - p_2 - n_2$ strukturaga ega.

Tiristorni tayyorlashda n-tipdagi kremniyli plastinkadan foydalaniladi. Avval akseptorli aralashmani diffuziya yo'li bilan har ikkala tomonda $p_1 - n_1 - p_2$ tranzistorli strukturani hosil qilinadi. So'ngra, p_2 qatlamningsirt qismiga ishlov berilib, donorli aralashma kiritiladi va to'rtinchi n_2 - qatlam kiritiladi.



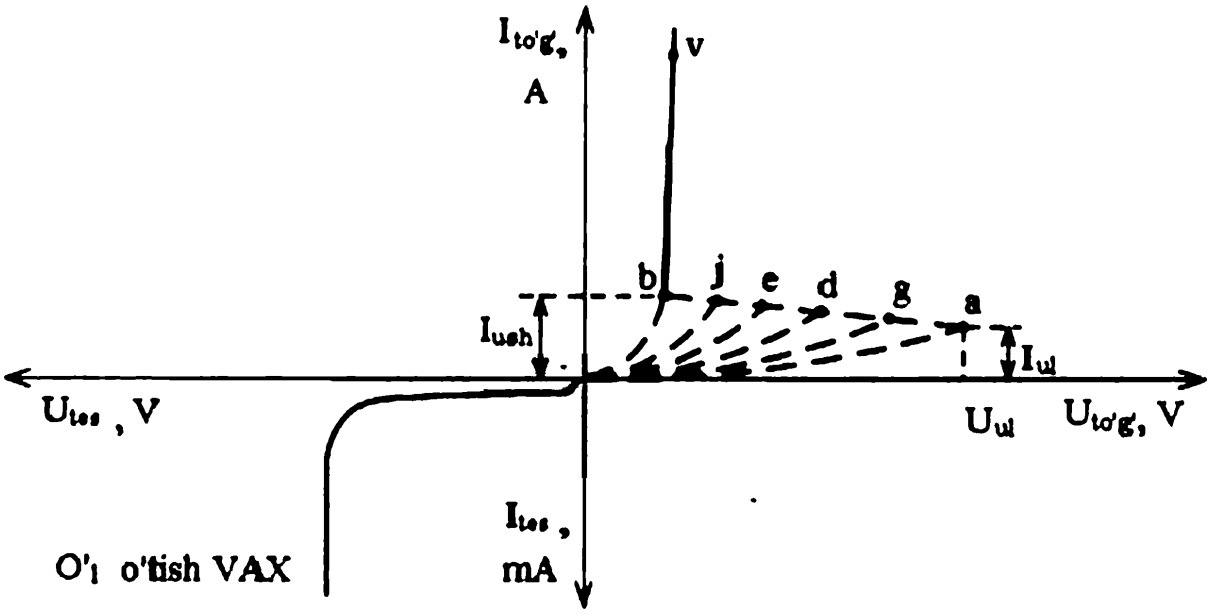
5.2-rasm. Boshqaruvchi elektrodli tiristor tuzilishi

Tiristorga teskari va to'g'ri qutbli kuchlanish berilgan hollardagi uning strukturasi va volt-amper xarakteristikasini ko'rib o'taylik (5.3 va 5.4-rasmlar).

Tiristor volt-amper xarakteristikasi teskari shoxchasini ko'ramiz. Uning bu qismi boshqaruv toki nolga teng (I_b =0) bo'lganda olinadi. Teskari kuchlanishga 5.3-rasmda qavslarsiz ko'rsatilgan qutblar to'g'ri keladi. Teskari kuchlanish U_{tes} berilganda O'_1 va O'_3 o'tishlar yopiq , O'_2 o'tish esa ochiq bo'ladi. O'_2 o'tishdagi kuchlanish pasayishi kam, shuning uchun teskari kuchlanish U_{tes} O'_1 va O'_3 o'tishlar orasida tekis taqsimlangan deb hisoblasa bo'ladi.

Tiristorlarni tayyorlash jarayonida p_2 va n_2 qatlamlar aralashmalari konsentratsiyalari p_1 va n_1 qatlamlar aralashmalari konsentratsiyalariga qaraganda yuqoriroq tanlanadi , shuning uchun O'_3 o'tish kichik (tor) o'lchamga ega. Teskari kuchlanish berilganda O'_3 o'tish tiristorning ishchi kuchlanishidan kichik kuchlanishda elekt teshilish rejimiga kiradi, ya'ni teskari kuchlanish asosan O'_1 o'tishga berilgan bo'lib chiqadi.

Tiristor volt-amper xarakteristikasining teskari shoxchasi O'_1 o'tish yoki diodning volt-amper xarakteristikasi teskari shoxchasidan iborat bo'ladi (5.3-rasm).



5.3-rasm. Tiristorning volt-amper xarakteristikasi

Aynan O'$_1$ o'tishda tiristorni o'ta kuchlanishlardan himoyalash uchun (ya'ni, ko'chkili tiristor yaratish uchun) ko'chkili xarakteristikani olish masalasi hal etiladi.

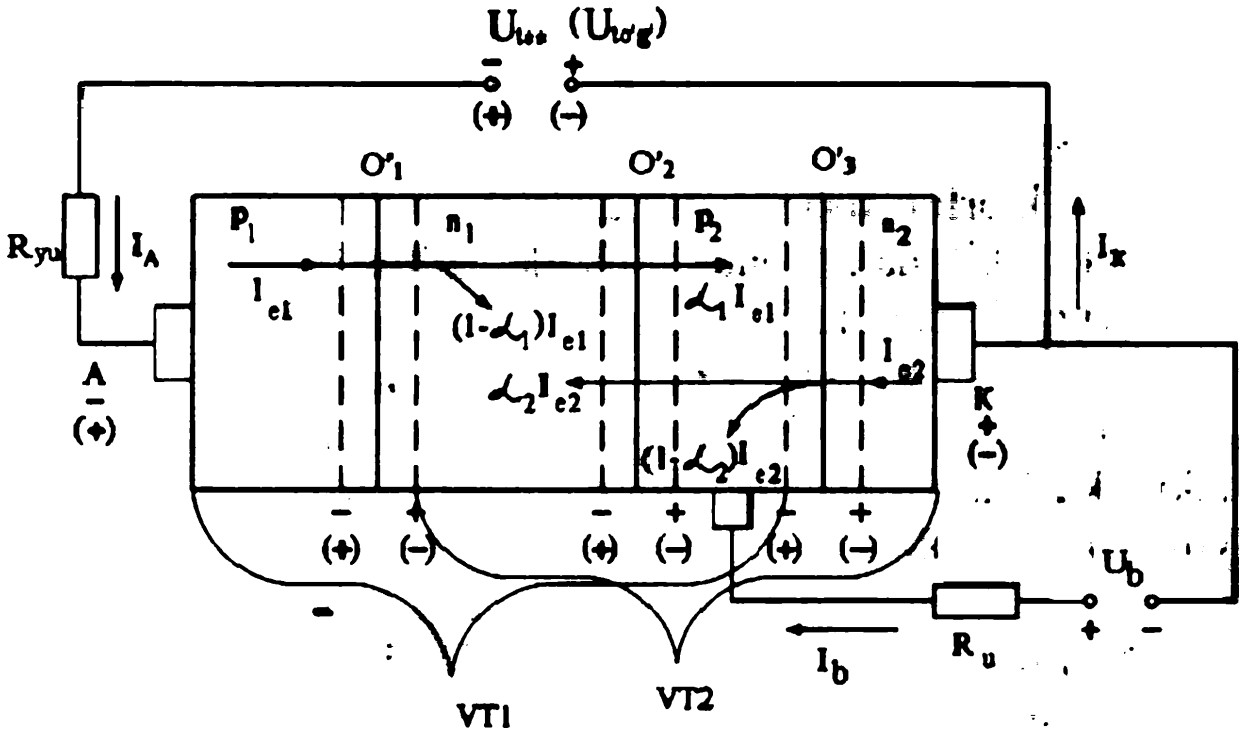
Tiristor volt-amper xarakteristikasining to'g'ri shoxchasini ko'raylik. To'g'ri kuchlanish berilganda O'$_1$ va O'$_3$ o'tishlar ochiq, O'$_2$ o'tish esa yopiq bo'ladi.

Tiristor ishini boshqaruv toki nolga teng bo'lganda (I_b =0) ko'ramiz. Bu rejim tiristorning dinistor rejimida ishlashiga mos keladi.

Tiristorning ishlash prinsipini uning ikki tranzistorga o'xshashligidan foydalanib ko'rib o'tamiz. 5.4-rasmdagi tiristor strukturasini p_1– n_1– p_2 qatlamli VT_1 tranzistor, n_2– p_2– n_1 qatlamni VT_2 tranzistor ko'rinishida tasvirlash mumkin.Bunda O'$_1$ va O'$_3$ o'tishlar ikki tranzistorning emitterli o'tishi, O'$_2$ o'tish esa har ikki tranzistoruchun umumiy kollektorli o'tish hisoblanadi. Tranzistorlar VT_1 va VT_2 emitterli o'tishi orqali I_{e1} va I_{e2} toklar oqib o'tadi , bu toklarning uzatish koeffitsiyentlari - α_1 va α_2 ga teng.

O'$_2$ o'tishning qarshiligi katta bo'lgani sababli tiristor yopiq holatda bo'ladi.

Tiristorni ochish uchun n_1 va p_2 qatlamlar chegarasidagi potensial to'siqni balanslash kerak. To'g'ri kuchlanish ta'sirida emitterli o'tishlar (O'$_1$ va O'$_3$) orqali tranzistorning mos bazalari n_1 va p_2 ga asosiy zaryad tashuvchilar injeksiyasi yuzaga keladi. Tranzistor VT_2 da elektronlar emitter (n_2– qatlam) dan baza (p_2– qatlam)ga o'tadi va unda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchiga aylanadi. Bu elektronlarning bir qismi bazada rekombinatsiyalanadi, qolgan qismi esa kollektor n_1 ga o'tadi va unda ortiqcha manfiy zaryad hosil qiladi. Shuningdek, kovaklar p_2 qatlamda ortiqcha musbat zaryad hosil qiladi.



5.4-rasm. Tiristorning teskari va to'g'ri qutbli kuchlanish berilgandagi struktura sxemasi

Ammo teskari kuchlanish hisobiga O'$_2$ o'tishning n_1 sohasida musbat zaryad, p_2 sohasida manfiy zaryad mavjudligi potensial to'siqni yuzaga keltiradi. n_1 qatlamdagi elektronlar va p_2 qatlamdagi kovaklarning ortiqcha qismlari yig'ilib, o'zlarining elektr maydonini hosil qiladi va bu maydon potensial to'siqni kamaytiradi. To'g'ri kuchlanish $U_{to'g'}$ qancha katta bo'lsa, bu maydon ham shuncha katta bo'ladi. Natijada, bu maydon

potensial to'siqni kompensatsiyalash darajasiga yetishi mumkin va bunda to'g'ri kuchlanish qiymati $U_{to'g'}$ ulanish kuchlanishi U_{ul} qiymatiga erishadi.

Tiristor toki keskin ortadi, tiristor ochiladi, uning volt-amper xarakteristikasi diodnikiga o'xshaydi. O'_2 o'tish qarshiligi (O'_1 va O'_3 o'tishlarniki kabi) kamayib kyetadi. 5.3-rasmda ulanish kuchlanishi U_{ul} qiymati a nuqtadagi kuchlanishga teng.

Tiristorning yopiq holatdan ochiq holatga sakrab o'zgarishini matematika nuqtayi nazaridan ham oson tushuntirish mumkin.

Tranzistorlar VT_1 va VT_2 ning kollektor toklari quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{k1} = \alpha_1 I_{e1};$$
$$I_{k2} = \alpha_2 I_{e2}. \qquad (5.1)$$

Kollektorli o'tish orqali bu o'tishning teskari toki bo'lgan I_{ko} (issiqlik toki) ham oqadi. Shunday qilib, kollektorli o'tishning natijaviy toki quyidagiga teng bo'ladi:

$$I_{kol} = I_{k1} + I_{k2} + I_{ko} = \alpha_1 I_{e1} + \alpha_2 I_{e2} + I_{ko}. \qquad (5.2)$$

Tiristordagi barcha o'tishlar ketma-ket ulangan va tiristor ikkita kuch kirishiga ega, shuning uchun natijaviy tok quyidagicha yozilishi mumkin:

$$I_A = I_K = I_{e1} = I_{e2}. \qquad (5.3)$$

(5.3) tenglikni hisobga olgan holda (5.2) ifodadan anod tokini aniqlash mumkin:

$$I_A = \frac{I_{Ko}}{1-(\alpha_1+\alpha_2)}. \qquad (5.4)$$

Tokning kichik qiymatlarida α_1 va α_2 birdan ancha kichik hamda ularning yig'indisi ham birdan kichik. Bunday hollarda anod toki qiymati (5.4) ifodaga ko'ra nisbatan katta bo'lmaydi. Tokning ortishi bilan α_1 va α_2 ortadi bu esa anod toki I_A ning ortishiga olib keladi. Tokning ulash toki I_{ul} qiymatida $\alpha_1 + \alpha_2$ yig'indi birga teng bo'ladi va agar bu tok yuklama qarshiligi R_{yu} (5.3-rasmda b-v bo'lak) bilan cheklanmasa, uning qiymati cheksiz ortib ketishi mumkin.

Boshqaruv toki I_b bo'lmagan holda tiristor har doim ulanish kuchlanishi U_{ul} berilgan vaqtdayoq ochiladi (5.3-rasmda a nuqta), ammo uni boshqarib bo'lmaydi, ya'ni tiristor dinistor rejimida ishlaydi.

Bir qator hollarda dinistor elektr zanjirlarda razryadlovchi sifatida masalan, elektr harakat tarkibida o'zgartiruvchi transformator ventilli chulg'amlarini himoyalash uchun qo'llaniladi. Uning ishlashi quyidagicha bo'ladi: o'ta kuchlanish yuzaga kelib, natijada dinistor teshilsa, o'zgartiruvchi transformatorning ventilli chulg'ami qisqa tutashtiriladi, ammo bunda halokatli o'ta kuchlanish yuklamaga o'tkazilmaydi.

Dinistorlarning kamchiligi katta toklar o'tgan hollarda ulanish kuchlanishi U_{ul} qiymati juda katta bo'ladi.

Uchinchi elektrodni yaratgan holda tiristorni ochish onini boshqarish mumkin. Bunday tiristor (uch elektrodli) trinistr deb ataladi.

Boshqaruv kuchlanishi U_b ortishi bilan boshqaruv toki I_b qiymati ortadi. Boshqaruv toki n_2 sohadagi elektronlarning p_2 sohaga harakatini yuzaga keltiradi. p_2 soha uchun elektronlar asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchi, ular uchun O'_2 o'tish maydoni so'ruvchi (ekstraksiya) ta'sir ko'rsatadi.

Bu elektronlar hajmiy zaryad musbat zaryadni kompensatsiyalashni tezlashtiradi va tiristor to'g'ri kuchlanish $U_{to'g'}$ ning ulanish kuchlanishi U_{ul} qiymatidan kichik qiymatida ochiladi. Tiristorda α_2 qiymat ortadi,

$(\alpha_1 + \alpha_2)$ yig'indi kuchlanish $U_{to'g'} < U_{ul}$ bo'lganda bir qiymatga intiladi. Boshqaruv toki I_b qiymati bir necha milliamper, bunda anod toki I_A qiymati bir necha o'n va yuz ampyerga yetadi. 5.3-rasmdagi g, d, e ,j, nuqtalar ulanish kuchlanishi U_{ul} va boshqaruv toki I_b larning turli qiymatlariga mos kelgan bog'lanish (U_{ul1}, va I_{b1}; U_{ul2}, va I_{b2} va h.k.)ni ko'rsatadi.

Boshqaruv tokining shunday qiymati mavjudki, bunda tiristor bir zumda ochiladi. Bu tok to'g'rilash boshqaruv toki deyiladi.

Bunda tiristorning volt-amper xarakteristikasi diod volt-amper xarakteristikasiga aylanadi.

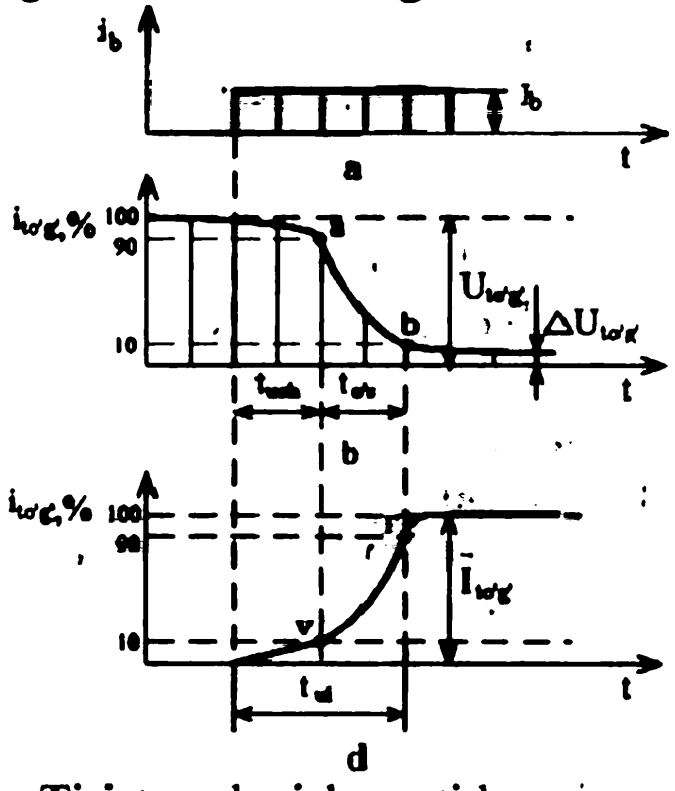
.Tiristor - qisman boshqariluvchi ventil, chunki uning faqat ochilish oninigina boshqarish mumkin. Tiristor boshqaruv toki I_b ni kamaytirganda yopilmaydi va faqat anod toki I_A ushlab turish toki I_{ush} qiymatidan kichik bo'lgan ($I_A < I_{ush}$) holdagina yopilishi mumkin.

5.3.Tiristorni ulash va uzish vaqtidagi o'tkinchi jarayonlar

Tiristorni ulash jarayonini ko'rib o'tamiz. .Tiristorning boshqaruvchi elektrodiga tok impulsli berib, uni ulanadi. Ventil ochilgach boshqaruvchi tok I_b uning ishiga boshqa ta'sir etmaydi. Shuning uchun tiristorni boshqarish uchun qisqa muddatli (bir necha yuz mikrosekund) impuls qo'llaniladi.

Tiristor aniq ishga tushishi uchun tok impulsi yyetarli darajadagi o'zgarishga (tiklikka) ega bo'lishi kerak (S=1-5A/mks).

5.5-rasmda tiristor ulanganda yuzaga keluvchi elektromagnit jarayonlar vaqt diagrammalari keltirilgan.



5.5-rasm.Tiristor ulanish vaqtida yuzaga keluvchi elektromagnit jarayonlarning vaqt diagrammalari

Boshqaruv impulsi berilganda (5.5,b-rasm) tiristor yopiq holatdan ochiq holatga bir zumda o'tmaydi, chunki zaryad tashuvchilarni p_2 va n_1 qatlamlarga injeksiyalash uchun ma'lum vaqt talab etiladi.

Ulash vaqti t_{ul} (5.5,d-rasm) deb impuls berilgan vaqtdan to to'g'ri kuchlanish $U_{to'g'}$ o'zining dastlabki qiymatidan 10% gacha kamayguncha qadar ketgan vaqt oralig'iga aytiladi.

5.5,d-rasmdan ko'rinib turibdiki, ulash vaqti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$t_{ul} = t_{ush} + t_{o's}, \qquad (5.5)$$

Bunda t_{ush} – ushlanish vaqti;

$t_{o's}$ – o'sish vaqti.

Ushlanish vaqti t_{ush} davomida kuchlanish $U_{to'g'}$ 100% dan 90% gacha kamayadi, to'g'ri tok $I_{to'g'}$ barqaror qiymatidan 0 dan 10% gacha ortadi. O'sish vaqti $t_{o's}$ davomida to'g'ri kuchlanish $U_{to'g'}$ 90% dan 10% gacha kamayadi to'g'ri tok $I_{to'g'}$ esa barqaror qiymatidan 10% dan 90% gacha ortadi.

Tiristor quvvatiga qarab ulanish vaqti t_{ul} = 2–20 mks.

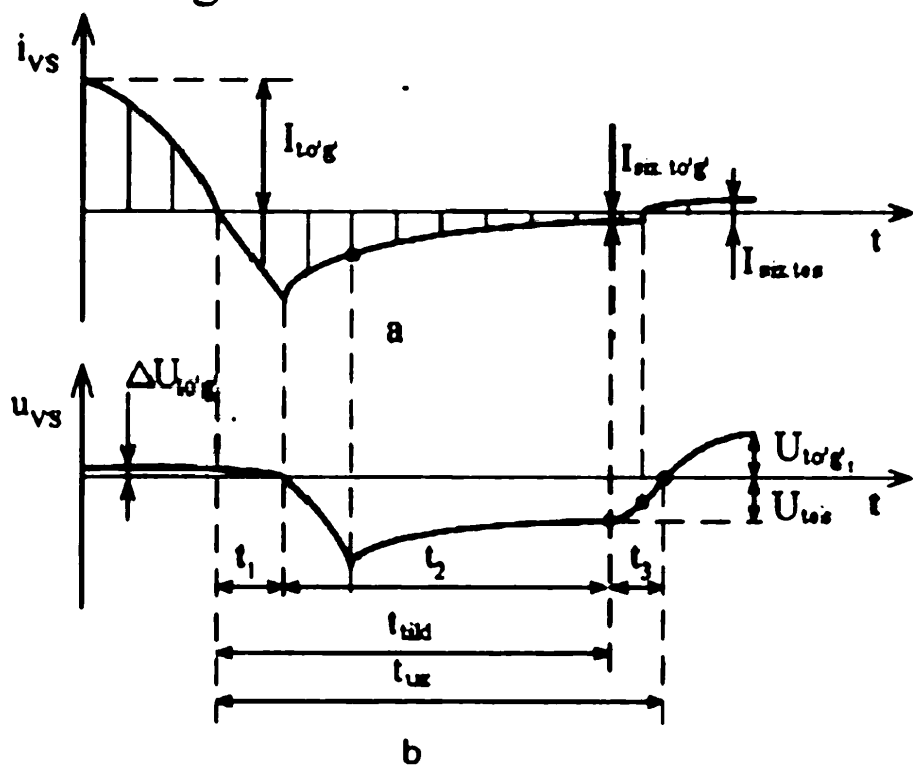
Fizik jihatdan ushlanish vaqti t_{ush} davomida elektronlarning emitterli soha O'_2 dan baza soha p_2 ga boshlang'ich injeksiyalanish yuz beradi. Bu vaqt davomida ventil orqali o'tuvchi tok nisbatan sekin orta boradi va asosan O'_2 o'tish orqali o'tgan elektronlar soni bilan aniqlanadi. O'sish vaqti $t_{o's}$ ortishi davomida O'_2 o'tish qarshiligi keskin kamayadi, bu esa to'g'ri tok $I_{to'g'}$ ning ko'chkili tarzda ortishiga sabab bo'ldi.

O'tkinchi jarayon asbobdagi kuchlanish $\Delta U_{to'g'}$, to'g'ri tok esa barqaror $I_{to'g'}$ qiymatga erishganda nihoyasiga yetadi. Boshqaruvchi tok impulsi amplitudasi va tiklik fronti ortishi bilan ushlash vaqti t_{ush} va o'sish vaqti $t_{o's}$ kamayadi.

Tiristorni to'g'ri tok $I_{to'g'}$ qiymatini ushlab turish toki qiymatidan kamaytirgan holda uzish mumkun ammo bu holda uzish vaqti katta bo'ladi. Bu vaqtni kamaytirish uchun tiristorga teskari kuchlanish berish kerak. Bunda zaryad tashuvchilarning

rekombinatsiyalashuvi hisobiga barcha qatlamlardan yo'qolishi va p–n o'tishdan ketish jarayoni boshlanadi.

Tiristorni uzish jarayonini ko'rib o'tamiz. 5.6-rasmda tiristor uzilganda yuzaga keluvchi elektromagnit jarayonlarning vaqt diagrammalari keltirilgan.



5.6-rasm.Tiristor uzilish vaqtidagi vaqt diagrammalari

Jarayon bir nechta bosqichdan iborat:

1) t_1 vaqt davomida kovaklar va elektronlarning O'$_1$va O'$_3$ o'tishlarga yondosh bo'lgan zonalardan chiqib ketishi yuzaga keladi, bu o'z navbatida ventil zanjirida teskari tokni keltirib chiqaradi ammo $\Delta U_{to'g'}$ kuchlanish musbat bo'lib qolaveradi.

2) t_2 vaqt davomida O'$_1$ va O'$_3$ o'tishlar o'zlarinig berkituvchi xususiyatini tiklaydi va teskari tok qiymati sizish toki $I_{siz.tes}$ qiymatiga qadar kamayadi. Bunda tiristordagi kuchlanish teskari kuchlanish U_{tes} ga teng bo'ladi (tok manbayi bilan aniqlanadi).

Vaqt (t_1+t_2)– teskari yo'nalishda ventilning berkituvchi xususiyatlari tiklanish vaqti. Ammo tiristorga to'g'ri kuchlanish berilganda bu vaqt davomida ventil o'zining berkituvchi xususiyatlarini tiklay olmaydi, chunki O'$_2$ o'tishga yondosh

zonalarda kovak va elektronlarning yetarli darajadagi konsentratsiyalari mavjud bo'ladi. Konsentratsiyalar sonini kamaytirish rekombinatsiya natijasida amalga oshiriladi va buning uchun ma'lum vaqt t_3 kerak bo'ladi. Faqat shundan keyingina O'$_2$ o'tish berkiladi va ventilga to'g'ri kuchlanish $U_{to'g'}$ berish imkoni yuzaga keladi.

Vaqtlar yig'indisi $(t_1+t_2+t_3) = t_{uz}$ – tiristorni uzish vaqti yoki to'g'ri yo'nalishda ventilning berkituvchi xususiyatlarining tiklanish vaqti. Odatda tiristorni uzish vaqti uni ulash vaqtidan ancha katta bo'lib, unga ko'ra tiristorni ulash chastotasi tanlanadi (t_{uz} =12–250 mks).

Uzish vaqtiga ko'ra tiristorlar 9 guruhga bo'linadi.

Tiristorning ishlashi uchun ventil yopiq bo'lganda to'g'ri kuchlanish o'sish tezligi katta ahamiyatga ega. Berk tiristor o'zidan zaryadlovchi tok o'tkazuvchi kondensatorga o'xshaydi. Bu tok kondensatorga berilgan kuchlanish o'zgarishi tezligiga mutanosib bo'lib, agar buning qiymati ulash tokiga teng bo'lsa boshqaruv signali bo'lmaganda ham, $U_{to'g'} < U_{ul}$ shart bajarilsa tiristor ochiq holatga o'tishi mumkin.

Nominal kuchlanish va boshqaruv elektrodida signal bo'lmagan holda ham tiristor ulanishini yuzaga keltiruvchi to'g'ri kuchlanish $U_{to'g'}$ ning o'sishi minimal tezligi to'g'ri kuchlanish o'sishining kritik tezligi $(\frac{dU}{dt})_{kr}$ deyiladi.

Kuchlanish o'sishining kritik tezligiga ko'ra tiristorlar yetti guruhga (0 dan 6 gacha) bo'linadi. Elektr harakat tarkibi va tortuvchi nimstansiyalarda kuchlanish o'sishining kritik tezligi ($\frac{dU}{dt})_{kr} \geq 200$ V/mks bo'lgan tiristorlar qo'llaniladi.

To'g'ri tokning o'sish tezligi ham cheklangan bo'ladi. Bu kattalik qiymatlariga ko'ra tiristorlar to'qqizta (1 dan 9 gacha) guruhga bo'linadi.

Elektr harakat tarkibi va tortuvchi nimstansiyalarda tok o'sishining kritik tezligi ($\frac{di}{dt})_{kr} \geq 70$ A/mks bo'lgan tiristorlar qo'llaniladi.

5.4. Tiristorlarning asosiy parametrlari

Tiristorlarning asosiy parametrlari diodlar uchun bo'lganidek quyidagilardan iborat:

-chegaraviy to'g'ri tok $I_{to'g'}$;

-o'ta yuklanish xususiyati;

-to'g'ri kuchlanish pasayishi $\Delta U_{to'g'}$;

-takrorlanuvchi va takrorlanmaydigan to'g'ri yoki teskari kuchlanish;

-ventilning to'g'ri va teskari yo'nalishdagi qarshiligi;

-temperatura rejimi.

Bundan tashqari bir qator o'ziga xos parametrlarga ega:

-ulanish kuchlanishi;

-ulash va ushlab turish (uzish) toklari;

-teskari va to'g'ri sizish toklari;

-ulash vaqtida to'g'ri tokning o'sishi tezligi;

-yopiq ventilda to'g'ri kuchlanishning o'sish tezligi;

-ulanish va uzilish vaqtlari;

-boshqaruv zanjirida tok, kuchlanish va quvvatning chegaraviy qiymati.

Tiristorda to'g'ri tok $I_{to'g'}$ ga mos keluvchi to'g'ri kuchlanish pasayishi $\Delta U_{to'g'}$ diodlardagiga (1,75–2,3) ga qaraganda katta bo'ladi. Bunga to'g'rilovchi elementning katta qalinlikda bo'lishi va tok uchta p–n o'tish qarshiligini yengib o'tishi sabab.

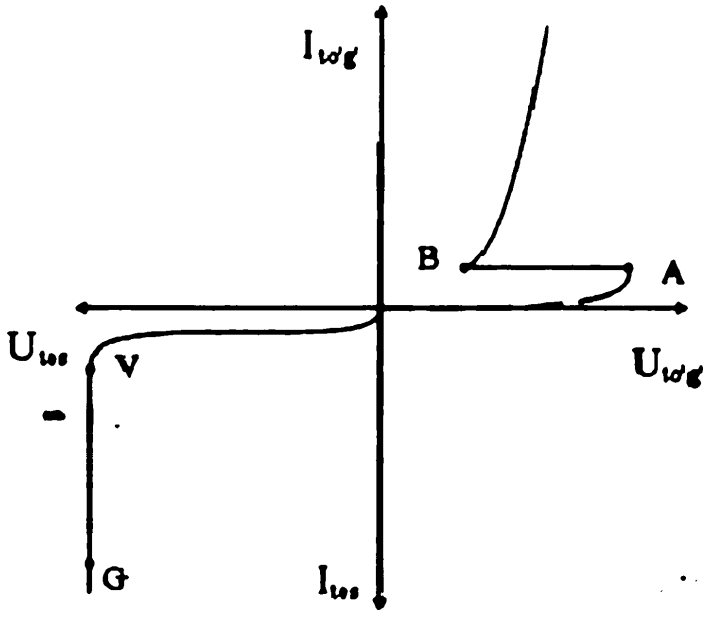
Diodlar kabi tiristorlar ham ruxsat etilgan takrorlanuvchi kuchlanish, bo'yicha sinflarga bo'linadi.Tiristorning ulanish kuchlanishi U_{ul} taxminan maksimal teskari teshuvchi kuchlanish U_{tesh} ga teng, chunki bu har ikkala kattalik ikkita p–n o'tish elektr chidamligi bilan aniqlanadi, demak, ular ventil sinfiga bog'liq kattaliklar hisoblanadi.

Temperatura ortganda ulash kuchlanish U_{ul} qiymati teshilish kuchlanish U_{tesh} qiymati kabi kamayadi.To'g'ri va teskari sizish toklari yopiq tiristorning to'g'ri va teskari yo'nalishlarida ventil xususiyatlarini xarakterlaydi. Katta quvvatli tiristorlar uchun

berilgan kuchlanishning chegaraviy qiymati va strukturaning maksimal ruxsat etilgan temperaturasi T_{jm} da bu toklar qiymatlari 20–40 mA ni tashkil yetadi.

5.5. Ko'chkili tiristorlar

Tiristorlarda ham diodlardagi kabi maxsus texnologiyalar yordamida shunday strukturani yaratish mumkinki; agar unga teskari kuchlanish berilsa, ko'chkili teshilish yuzaga keladi. Bunday tiristorlar teskari kuchlanishning katta qiymatlari berilganda ham ishdan chiqmaydi. Ularni TL (tiristor lavinniy) harflari bilan markalanadi. Oddiy tiristorlardan farqli holda ular volt-amper xarakteristikaning to'g'ri shoxchasida (5.7-rasmda AB soha) va teskari shoxchasida(VG soha) ko'chkili sohalarga ega.



5.7-rasm.Ko'chikli tiristorning volt-amper xarakteristikasi

Ko'chkili sohalar tiristorni faqat boshqaruv toki yordamidagina emas, balki ulanish kuchlanishidan katta bo'lgan to'g'ri kuchlanish berish orqali ham ulash imkonini beradi. Bundan tashqari, ko'chkili tiristorlar to'g'rilovchi ko'chkili diodlar kabi qisqa muddatli kuchlanish impulslarini cheklaydi. Bunda p–n o'tishda sochiluvchi energiya 1 jouldan ortmasligi kerak.

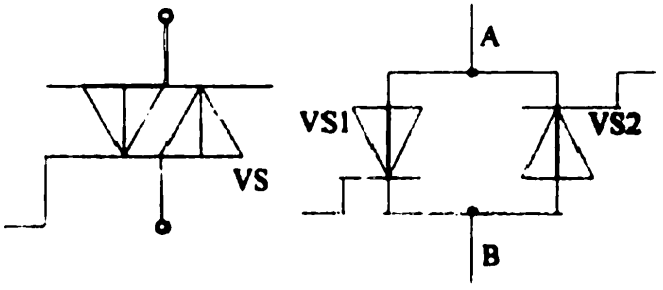
Bu asboblarda yuqori darajadagi bir jinsli va toza kremniylar qo'llanilgani kremniyli element temperaturasini 140° C gacha oshirish imkonini beradi va o'z navbatida p–n o'tishning yuzasini oshirmagan holda tiristor nominal tokini oshirish imkonini beradi.

Ko'chkili tiristorlarning o'zgartirgich qurilmalarida qo'llanilishi natijasida o'zaro ketma-ket ulangan ventillar orasida kuchlanishni tekkis taqsimlovchi va himoyalovchi elementlarga hojat qolmaydi.

5.6. Simmetrik tiristor (simistor)

Ba'zi sxemalarda ham to'g'ri, ham teskari yo'nalishda ulash mumkin bo'lgan asboblar kerak bo'ladi. Bunday talablarga simistorlar javob beradi.

Simistorning shartli grafik belgilanishi 5.8-rasmda keltirilgan.



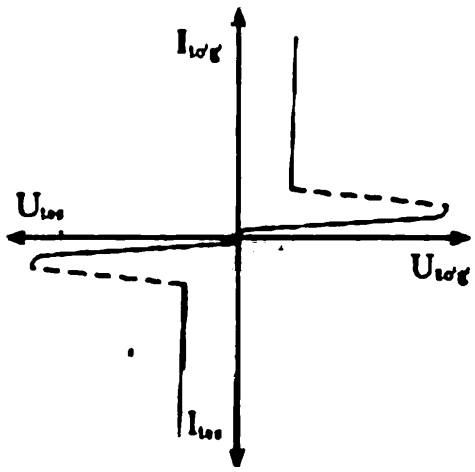
a) b)

5.8-rasm. Simistorning shartli grafik belgilanishi (a) va uning qarama-qarshi parallel ulangan ikki tiristor ko'rinishida tasvirlanishi (b)

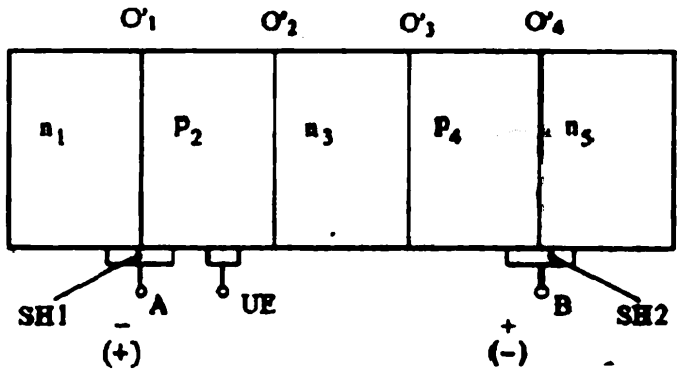
Boshqaruvchi elektrodga boshqaruv toki impulsi berilganda simistor anod kuchlanishining har qanday qutbida ulanadi. Uning uzilishi oddiy tiristorniki kabi amalga oshadi.

Simistorning volt-amper xarakteristikasi o'zaro qarama-qarshi parallel ulangan ikki tiristor volt-amper xarakteristikasiga o'xshaydi (5.9-rasm).

Simistorning to'g'rilovchi elementi besh qatlamli (n–p–n–p–n) strukturaga ega (5.10-rasm). Uning chet o'tishlari A va B elektrodlarning metall kontaktlari (Sh_1 , Sh_2 shuntlar) bilan qamralgan. Boshqaruvchi elektrod P_2 sohaga ulangan.



5.9-rasm. Simmetrik tiristorning volt – amper xarakteristikasi



5.10-rasm. Simistor strukturasi

Agar berilgan kuchlanish qutbi quyidagicha bo'lsa (5.10-rasmda qavslarsiz ko'rsatilgan): "minus" A elektrodga va "plyus" B elektrodga ulangan bo'lsa, u holda O'_4 o'tish yopiq. Boshqaruvchi elektrod (BE) ga musbat impuls berilganda tok oddiy tiristordagi kabi n_1–p_2–n_3–p_4 yo'l bo'yicha o'tadi.

Teskari qutbli bo'lganda: "plyus" A elektrodga va "minus" B elektrodga ulangan bo'lsa, u holda O'_1 o'tish yopiq. Kuchlanish p_2-n_3-p_4-n_5 qatlamlarga qo'yilgan.Boshqaruvchi elektrod (BE) ga musbat impuls berilsa, elektronlar boshqaruv zanjiridan p_2 qatlamga tushadi va O'_2 o'tish maydoni ta'sirida n_3 qatlamga o'tadi va uning potensialini kamaytiradi.Bu o'z navbatida p_2 qatlamdan n_3 qatlamga kovaklar injeksiyasini keltirib chiqaradi. So'ngra , kovaklar potensiali manfiy bo'lgan p_4 qatlamga o'tadi. Tokning ko'chkili oshish jarayoni yuzaga keladi va simistor ochiladi.

Simistor volt-amper xarakteristikasining to'g'ri va teskari shoxchalari bir xil xaraktyerga ega va oddiy tiristorning to'g'ri shoxchasi parametrlari bilan aniqlanadi.

Simistorlar oddiy tiristorlar kabi kuchlanishning o'rtacha pasayishi bo'yicha guruhlarga va nominal ishchi kuchlanishiga ko'ra sinflarga bo'linadi.

Simistorlar elektr tokini o'zgartirish uchun kontaktsiz qayta ulagichlar va boshqaruvchi ventillar sifatida qo'llaniladi.

5.7. To'liq boshqariluvchi tiristorlar

To'liq boshqariluvchi tiristorlar turli manbalarda turlicha nomlanadi: berkiluvchi (запираемые), uzilishli (выключаемые), ikki amalli (двух операционные), GTO-tiristorlar.

Oddiy tiristorlarda ulanish onlarini boshqarish mumkin, lekin tok o'tkazuvchanligining tugash vaqtini boshqarish mumkin emas. Shuning uchun tiristorlar o'zgarmas tok zanjirlarida qo'llanilganda hamda invertorlarda ishlatilganda tokni o'chiruvchi maxsus jihozlar (kommutatsiyaning induktiv-sig'im konturli sxemalari) dan foydalanish talab etiladi.

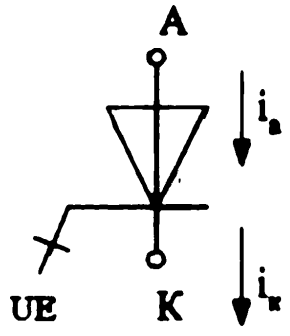
5.11-rasmda berkiluvchi tiristorning shartli grafik belgilanishi keltirilgan.

Berkiluvchi tiristorlarda musbat boshqaruv impulsi tiristorni ulanish holatiga, manfiy impuls esa uzilish holatiga o'tkazadi.

Berkiluvchi tiristorning volt-amper xarakteristikasi oddiy tiristor volt-amper xarakteristikasiga o'xshash. Shuningdek, ulanish jarayoni ham oddiy tiristornikidek amalga oshadi.

Berkiluvchi tiristor oddiy tiristor kabi to'rt qatlamli strukturaga ega, shuning uchun unga tranzistorli o'xshatishni qo'llash mumkin.

Strukturaning bazali qatlamiga manfiy boshqaruv toki impulsi berilganda tranzistorlarning har ikki bazasida zaryad kamayadi. Bunda tiristordagi barcha tok tashkil etuvchilari kamayadi va u uziladi.



5.11-rasm. Berkiluvchi tiristorning shartli grafik belgisi

Boshqaruv zanjirida berkiluvchi tiristorning tok bilan uzilish o'tkinchi jarayoni uch bosqichda amalga oshadi.

Birinchi bosqichda I_A= const tok o'tish vaqtida boshqaruvchi elektrodga boshqaruv toki I_b impulsi beriladi (5.12,a-rasm). Bunda katod toki kamayadi ($I_k = I_A - I_b$). Birinchi bosqich ikkinchisiga o'tishi uchun boshqaruvchi elektrodning berkituvchi toki ma'lum qiymatga erishgan bo'lishi talab etiladi, ya'ni bu tok qiymati ulash toki qiymatida ancha katta ($I_{b\ berk} \gg I_{b\ ul}$) bo'lishi kerak. Berkituvchi tok $I_{b\ berk}$, va anod toki I_A o'zaro uzish vaqtidagi kuchaytirish koeffitsiyenti bilan bog'liq:

$$G = \beta_0 = \frac{I_A}{I_{bberk}} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1+\alpha_2-1}.$$

Odatda, $G = \beta_0 = 3 \div 5$.

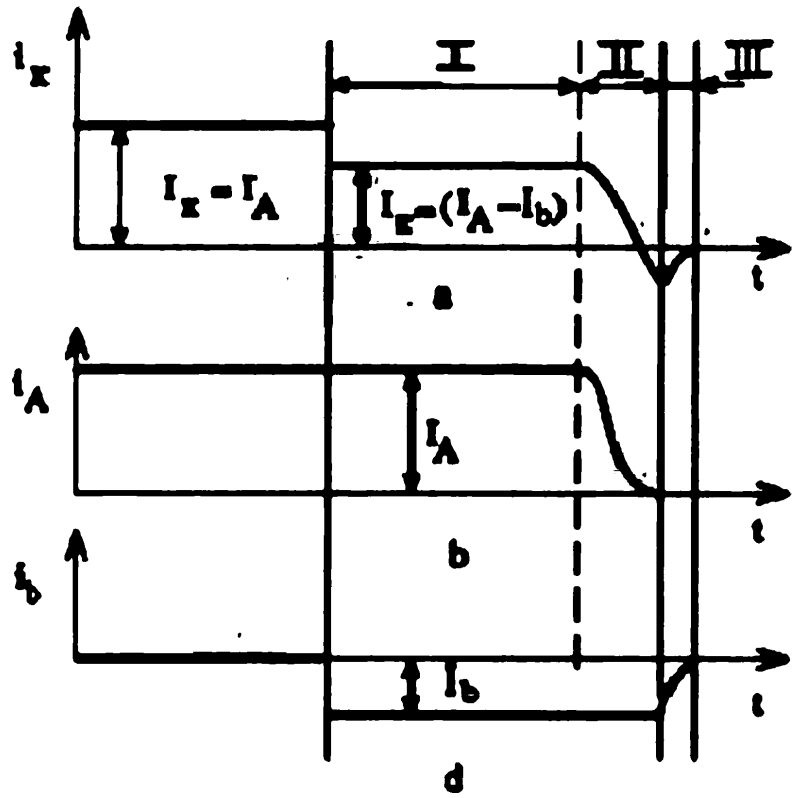
Ikkinchi bosqich I_A va I_k toklarning keskin kamayishi bilan (5.12,b-rasm) xarakterlanadi. Bu bosqich davomida har ikkala struktura bazalarida zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi kamaya boshlaydi. Bosqich va konsentratsiyalar nolga teng bo'lganda bosqich nihoyasiga yetadi. Bunda boshqaruvchi elektrod va katod zanjiri bo'ylab teskari tok oqadi.

Uchinchi bosqichda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar so'riladi va tiristor toki nolga qadar kamayadi (5.12,d - rasm).

Berkiluvchi tiristorlarning oddiy (berkilmas) tiristorlardan konstruktiv farqi n va p o'tkazuvchanlikli gorizontal va vertikal qatlamlarning boshqacha joylashganidadir.

Ayniqsa, katod n qatlami tuzilishi sezilarli o'zgartirilgan. U yuza bo'yicha tekis taqsimlangan va o'zaro parallel ulangan bir necha yuzta elementar yacheykalarga bo'lingan. Bu konstruktsiya asbob o'chirilgan vaqtda yarimo'tkazgich strukturasining barcha yuzasi bo'yicha tok tekis kamayishini ta'minlash maqsadida bajarilgan.

Baza p qatlami bir yaxlit tarzda yasalganiga qaramasdan yuza bo'yicha tekis taqsimlangan va o'zaro parallel ulangan boshqaruvchi elektrodning ko'p sonli (taxminan katod yacheykalari soniga teng) kontaktlariga ega. Baza n qatlami oddiy tiristorning ana shunday qatlamiga o'xshash holda yasalgan.



5.12-rasm. Berkiluvchi tiristorni uzish vaqtidagi o'tkinchi jarayonlar

Anod p qatlami shuntlar (n-tipdagi o'tkazuvchanlikli zonalar) ga ega bo'lib, bu shuntlar n bazani anod kontaktlari bilan katta bo'lmagan qiymatdagi taqsimlangan qarshiliklar orqali ulaydi. Anodli shuntlar tiristorlarda baza hisoblangan n sohadan zaryad tashuvchilarni ajratib olish sharoitlarini yaxshilash hisobiga asbobning uzilish vaqtini qisqartirish uchun qo'llaniladi.

Berkiluvchi tiristorlar sovitkichlarga o'rnatiluvchi shtirli va tabletkali korpuslar holida ishlab chiqariladi.

5.8. Tiristorlarning maxsus turlari

Optotiristorlar

Bunday tiristorlar asosini to'rt qatlamli strukturadan va nurlanuvchi dioddan iborat opto juftlik tashkil yetadi. Nurlanuvchi diodning zanjiri kremniyli strukturadan elektr izolyatsiyalanganligi va boshqaruv faqat yorug'lik diodidan chiquvchi yorug'lik nuri energiyasi hisobiga amalga oshirilishi

sababli bunday asbob kuch zanjiridan boshqaruv zanjirining elektr izolyatsiyasini ta'minlaydi. Sanoat miqiyosida optotiristorlarning 6,3; 10; 40; 100; 160; 250; 320 A toklarga mo'ljallangan turlari ishlab chiqariladi. Ularning farqi:

- 6,3; 10 A tokka mo'ljallangan tiristorlar – qisib qo'yiluvchi konstruksiyaga ega (sovitkichga vintlar bilan mahkamlanadi);
- 40; 100; 160 A tokka mo'ljallangan tiristorlar – shtirli konstruksiyaga ega;
- 250; 320 A tokka mo'ljallangan tiristorlar – tabletkasimon konstruksiyaga ega.

Kuch va boshqaruv kirishlari orasidagi elektr izolyatsiya maksimal ishchi kuchlanishi 1000 V ni tashkil yetadi.

Yaxshilangan dinamik xususiyatli tiristorlar

Oddiy tiristorlar 500 Hz chastotada ishlash uchun mo'ljallangan. Tiristorlarning dinamik xususiyatlari ulash vaqti t_{ul} va uzish vaqti t_{uz} davomiyligi bilan aniqlanadi. Tiristorlarda uzish vaqti doimo uning ulash vaqtidan ancha katta bo'lgan va shuning uchun u hal qiluvchi hisoblanadi.

Sanoat tiristorlarning yaxshilangan xususiyatli TD (dinamik),TB (tezkor) va TCh (chastotali) markalarini ishlab chiqargan.

Dinamik tiristorlar 500 Hz chastotada ishlashga mo'ljallangan bo'lsada, amalda undan yuqori chastotalarda ishlashi ham mumkin.

Tiristorning p–n–p–n strukturasida qisqa tutashgan lokal uchastkalarga ega bo'lgan emitter qo'llangan bo'lib, bu uchastkalar sig'im toklardan shuntlaydi.

Maxsus texnologiyalar qo'llanib yasalgan p–n o'tish va uning parametr-larining yarimo'tkazgich strukturasi barcha yuzasi bo'yicha yuqori darajada bir jinsliligi tiristorlarning impulsli tok yuklamasiga chidamliligini oshirgan va ulash vaqtida tokning o'sish tezligi yuqori bo'lgan hollarda ham normal ishlashini ta'minlagan.

Tezkor tiristorlar

Bu tiristorlar katta qiymatdagi chegaraviy tok va takrorlanmas kuchlanishlarda sezilarli darajada qisqartirilgan uzish t_{uz} va ulash t_{ul} vaqtlariga ega. Shuningdek, to'g'ri kuchlanish va tokning o'sish tezligiga juda chidamli (t_{uz}=20–50 mks, t_{ul} = 5mks). Tiristorning bu xususiyatlaridan 10 kHz chastota-larda ham qo'llanish imkoniyati bor.

Chastotali tiristorlar

Ular 25 kHz chastotada (t_{uz} =12–30 mks, t_{ul} =5mks) ishlash uchun mo'ljallangan. Bu tiristorlarning tezkorligini oshirish maqsadida p–n o'tishni (baza sohalar qalinligi kamaytirilgan) maxsus yo'l bilan bajarilgan va elektron va kovaklar rekombinatsiyalash jarayonini tezlashtirish uchun legirlovchi aralashma sifatida oltin ishlatilgan. Bu choralar p–n o'tishning n - bazasida kovaklarning yashash vaqtini qisqartiradi, bu o'z navbatida yarimo'tkazgichli strukturada to'g'ri tok o'tish vaqtida zaryadlarning so'rilishini tezlashtiradi. Bu zaryad va uning so'rilish tezligiga bog'liq holda ventilning yopilish jarayoni amalga oshadi.

Tiristorlarning TB va TU turlari invertorlar, impulsli rostlagichlar va chastota o'zgartirgichlarda qo'llaniladi.

Teskari yo'nalishda o'tkazuvchi (asimmetrik) tiristor

Tiristor yupqaroq kuchsiz legirlangan n_1 qatlamga ega bo'lib, bu qatlam bilan p_1 qatlam o'rtasiga oraliq qatlam n_1^+ kiritilgan. Natijada tiristor ulangan holatda impulsli to'g'ri kuchlanish kamayadi va uzish vaqti qisqaradi. Ammo teskari kuchlanish vaqtida O'_1 o'tish baza n_1 tomoniga kengayish imkoniga ega bo'lmaydi va shuning uchun atiga bir necha volt teshish kuchlanishiga ega bo'ladi.

Teskari o'tkazuvchanlikli tiristor (tiristor -diod)

Bu tiristor oddiy tiristorga teskari yo'nalishdagi diod ulangan ko'rinishga ega. Bir qator afzalliklarga ega bo'lgan nosimmetrik tiristor lar texnologiyasi qo'llaniladi va strukturaga antiparallel diodlar kiritiladi.

Kombinatsiyalashgan–uzishli tiristor (KVK)

Berkitish jarayonida boshqaruvchi o'tish O'$_3$ ni teskari yo'nalishda siljitilgani tufayli uzish vaqti sezilarli darajada kamaytirilgan oddiy tiristorga o'xshash tiristor. p_2 qatlam kichik qarshilikli, katod esa taroq ko'rinishli strukturaga ega bo'lib, bu berkitish jarayonida uzish samaradorligini oshiradi.

Maydonli tiristor

Bu kuchlanish bilan boshqariluvchi tiristorning yangi tipi bo'lib, kelajakda berkiluvchi tiristorlarning o'rnini egallashi mumkin. Maydonli tiristor to'r ko'rinishidagi boshqaruvchi elektrodli p–i–n dioddan yasalgan quvvat qayta ulagichdan iborat.

Anod katodga nisbatan musbatroq bo'lib, to'rdagi kuchlanish past bo'lganda, anod kovaklarni i -qatlamga injeksiyalaydi, uning qarshiligi kamayadi. Ochiq holatda anod va katod orasidagi kuchlanish 1V ga teng.

Agar to'rga yuqori manfiy kuchlanish berilgan bo'lsa, zaryadlari kambag'allashgan sohaning kuchli kengayishi natijasida to'r atrofida katod ostida ham kambag'allashgan qatlam yuzaga keladi.

To'r n qatlamdan kovaklarni qabul qiluvchi samarali kollektor vazifasini bajaradi. Katod n_1^+ dan injeksiyalanuvchi elektronlar uchun potensial to'siq hosil bo'ladi. Elektronlar bo'lmaganda anod ham o'zidan kovaklarni injeksiya qila olmaydi. Asbob yopiq holatda bo'ladi. Berkilish jarayonida anod toki I_A to'r zanjiriga qayta ulanadi.

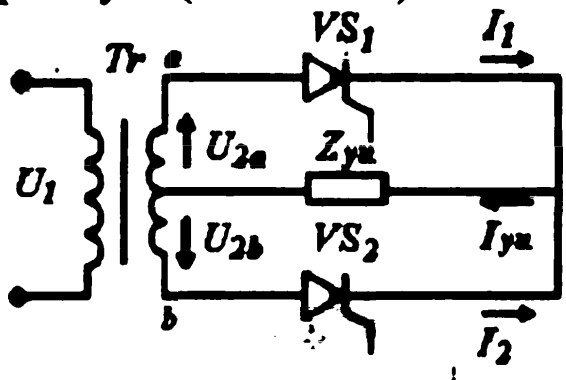
To'rdagi manfiy kuchlanish ortganda asbobni ochuvchi anod kuchlanishi ortadi.

5.9. Tiristorli o'zgartgichlar

Hozirgi zamon elektr energetikasida tiristorli o'zgartirgichlardan keng foydalaniladi. Ular o'zgaruvchan tokni to'g'rilash, o'zgarmas tokni invertorlash, tok chastotasini o'zgartirish uchun ishlatiladi.

Dastlab tiristorli o'zgartirgichlardan o'zgarmas tok dvigatellariga o'zgarmas kuchlanish berishda foydalanilgan. Tiristorli o'zgartirgich yordamida o'zgarmas tok dvigatellariga berilayotgan kuchlanishni o'zgartirib dvigatelning aylanish tezligini boshqarish mumkin. Boshqariladigan to'g'rilagichlardan shu maqsadda foydalaniladi.

Bu to'g'rilagichlarda tiristor boshqariladigan ventil vazifasini bajaradi. Bir fazali ikkita yarim davrli boshqariladigan to'g'rilagichning ishlashini ko'rib chiqamiz. Mazkur to'g'rilagichning sxemasi boshqarilmaydigan to'g'rilagich-nikidan deyarli farq qilmaydi (5.13-rasm).



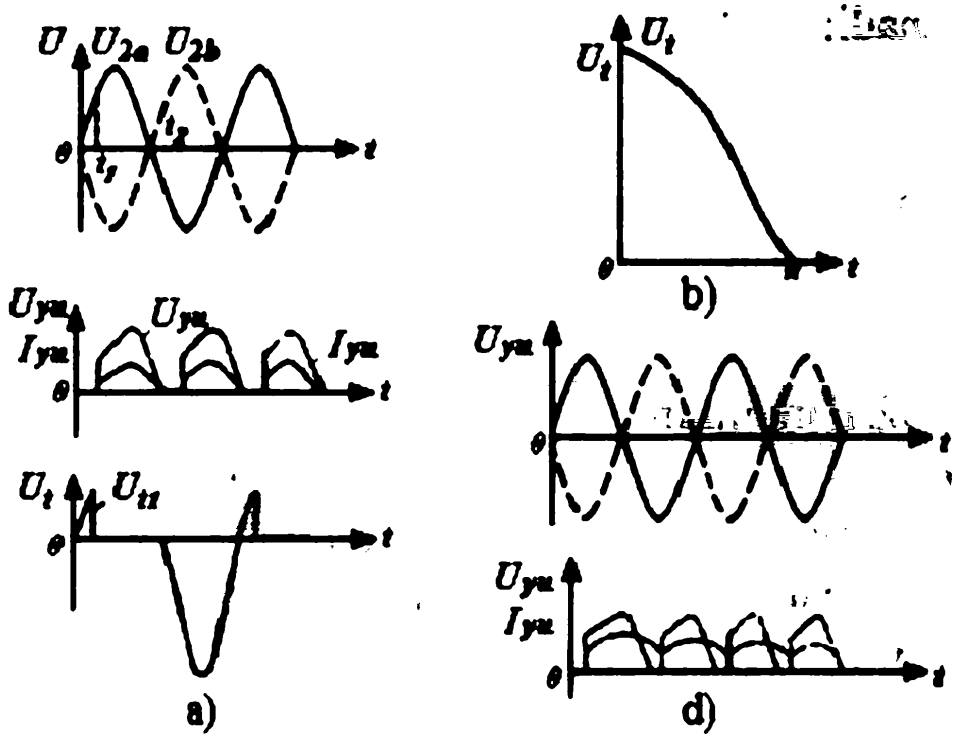
5.13-rasm. Bir fazali ikkita yarim davrli boshqariladigan to'g'rilagichning sxemasi

Faqat ventil elementi sifatida tiristordan foydalanilgan. Tok davrning birinchi yarmida VS_1 ventildan, ikkinchi yarmida esa VS_2 dan o'tadi. Iste'molchidagi tok va kuchlanishning yo'nalishi o'zgarmasdir.

Boshqariladigan ventillarning qo'llanilishi kuchlanish qiymatini rostlash imkonini beradi. Ventil unga ochuvchi impuls berilganidan keyingina ulanadi. Bu impuls ventilning tabiiy ulanish vaqtida emas, balki qandaydir kechikish bilan beriladi. Ventilning tabiiy ulanish vaqtidan boshlab hisoblanadigan kechikish burchagi *α boshqarish burchagi* deyiladi va elektrik graduslarda o'lchanadi.

To'g'rilagichga aktiv xaraktyerga ega bo'lgan iste'molchi ulangan bo'lsin.

$t = 0$ vaqtda VS_1 va VS_2 ventillar yopiq, iste'molchidan tok o'tmaydi. $t = t_1$ bo'lganda VS_1 ventilga ochuvchi impuls beramiz. Bunda ventil va iste'molchidan tok o'tadi. Iste'molchidagi kuchlanish keskin ortadi va shu lahzada transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi u_{21} kuchlanishga tenglashadi (5.14-rasm).



5.14-rasm. To'g'rilagichga ulangan aktiv xaraktyerga ega bo'lgan iste'molchida kuchlanish o'zgarishi

Keyin iste'molchining kuchlanishi transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanishning o'zgarish qonuniga binoan o'zgaradi. $t = t_2$ bo'lganda u_{21} kuchlanish nolga teng bo'lib, o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Ventil VS_1 dagi tok kamayib, nolga tenglashadi va u yopiladi.

Iste'molchidagi tok va kuchlanish nolga tenglashadi va ikkinchi ventil VS_2 ga oquvchi impuls berilmaguncha o'zgarmaydi. VS_2 ga oquvchi impuls berilganda iste'molchidan tok o'tadi va undagi kuchlanish transformatorning shu vaqtdagi ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanish u_{23} ga teng bo'ladi.

Iste'molchidagi kuchlanish mazkur chulg'amdagi kuchlanishning o'zgarish qonuni bo'yicha o'zgaradi. Ventil VS_2 dan o'tayotgan tok nolga teng bo'lganda iste'molchidagi tok va kuchlanish ham nolga teng bo'lib qoladi. Iste'molchidagi tok va kuchlanish to'g'rilangan va pulsatsiyalanuvchidir.

To'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{n\alpha} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}\sqrt{2}U_{21}\sin\omega t\, d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi}U_{21}(1+\cos\alpha)$$

$\frac{2\sqrt{2}U_{21}}{\pi} = U_0 = 0{,}9U_{21}$ ekanligini hisobga olsak,

$$U_{n\alpha} = \frac{U_0}{\pi}(1+\cos\alpha)$$

deb yozish mumkin.

$\alpha=0$ bo'lganida iste'molchidagi kuchlanish boshqarilmaydigan to'g'rilagichlarnikidagi kabi U_0 ga teng, α = 180° bo'lganda $U_{n\alpha}$ = 0. α ning qiymatini 0 dan 180° gacha o'zgartirib, $U_{n\alpha}$ ning turli qiymatlarini olish mumkin (5.14,b-rasm).

To'g'rilangan tokning o'rtacha qiymati:

$$I_{o'rt} = \frac{U_{n\alpha}}{R_n} = \frac{U_0}{R_n}\frac{1+\cos\alpha}{2}.$$

Ventildagi to'g'ri kuchlanish α ga bog'liqdir. α = 90° bo'lganida to'g'ri kuchlanish maksimal qiymatga ega. Ventildagi maksimal teskari kuchlanish transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi liniya kuchlanishining amplitudasiga teng:

$$U_{tes} = \sqrt{2}\,U_2 = 2\sqrt{2}\,U_{21}.$$

Iste'molchidagi kuchlanish iste'molchining xarakteriga bog'liqdir. Agar iste'molchi aktivinduktiv xaraktyerga ega bo'lsa, V_1 va V_2 ventillarning yopiq holatida ham iste'molchidan tok o'tadi. Induktiv iste'molchining magnit maydoni energiyasi hisobiga tok uzluksiz bo'ladi.

Iste'molchidagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

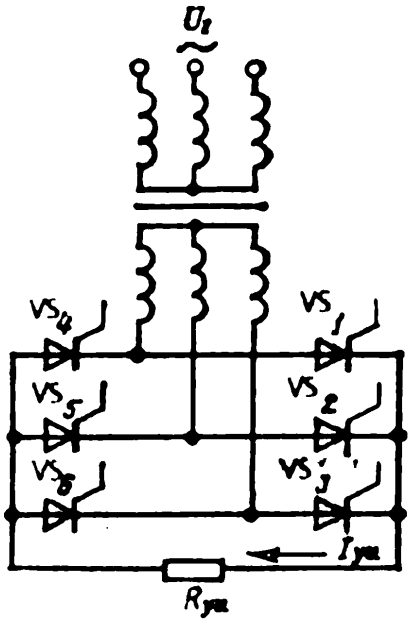
$$U_{ua} = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha}\sqrt{2}U_{21}\sin\omega t\, d\omega t = \frac{\sqrt{2}U_{21}}{\pi}\times$$

$$\times[-\cos(\pi+\alpha)+\cos\alpha] = \frac{2\sqrt{2}U_{21}}{\pi}\cos\alpha = U_0\cos\alpha.$$

To'g'rilangan kuchlanishning qiymati, iste'molchining xarakteridan qat'i nazar α ga bog'liqdir.

5.14-rasmda iste'molchi va ventildagi kuchlanishlarning egri chiziqlari keltirilgan. Ventil VS_1 ni ulashdan oldin unga transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi U_{21} to'g'ri kuchlanish beriladi. $\alpha = \omega t$ bo'lganida VS_1 ochiladi va undagi kuchlanishning pasayuvi nolga teng bo'ladi. $\omega t = 180°$ bo'lganida VS_1 yopiladi va transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanish ostida bo'ladi. VS_2 dagi kuchlanish qiymati VS_1 dagi kuchlanish kabi bo'ladi, faqat faza ji hatdan yarim davrga siljiydi.

Uch fazali tokni to'g'rilash uchun chulg'amning o'rtasidan sim chiqarilgan sxema va ko'prik sxemalardan foydalaniladi. Ko'prik sxemali boshqariladigan to'g'rilagichning ishlashini ko'rib chiqamiz (5.15-rasm).

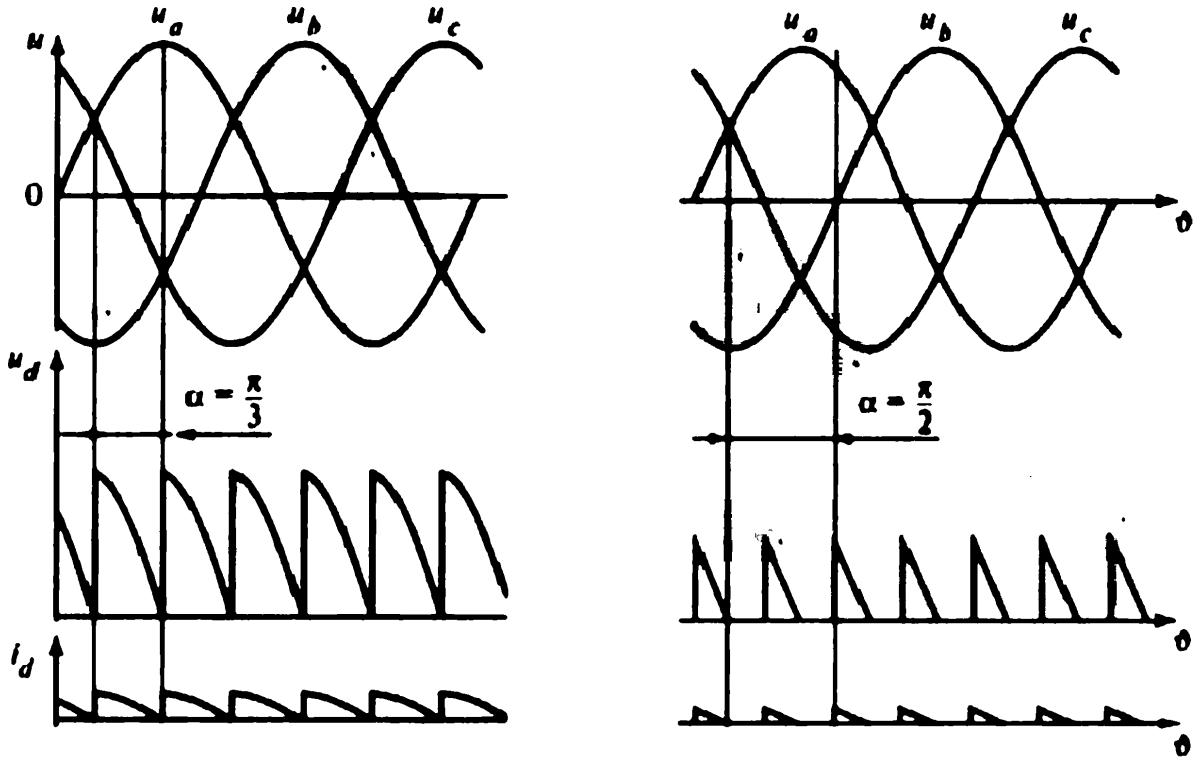


5.15-rasm. Ko'prik sxemali boshqariladigan to'g'rilagichning sxemasi

Sxemada uch fazali transformator va oltita ventildan foydalanilgan.

Bunda hamma vaqt juft ventillar ishlaydi, masalan, VS_1 va VS_4, VS_2 va VS_5, VS_6 va VS_3 va hokazo. Sxemaning normal ishlashi uchun tegishli ventillarga ochuvchi boshqarish impulslarini baravariga berish lozim.

Boshqarish burchagi $\alpha<60°$ bo'lganida (5.16,a-rasm) to'g'rilangan kuchlanish uzluksizdir, $\alpha>60°$ bo'lganda esa uzluklidir(5.16,b-rasm).



5.16-rasm. To'g'rilagich chiqishidagi kuchlanishni boshqarish burchagi α orqali o'zgartirish

Kuchlanishning qiymati $\alpha<60°$ bo'lganida $U_{n\alpha} = U_0\cos\alpha$ (U_0–uch fazali boshqarilmaydigan to'g'rilagichning chiqishidagi kuchlanish), $\alpha>60°$ bo'lganda esa:

$$U_{n\alpha} = U_0\left[1+\cos\left(\frac{\pi}{3}+\alpha\right)\right].$$

Shunday qilib, boshqarish burchagi α ni o'zgartirish orqali to'g'rilagichning chiqishidagi kuchlanishning qiymatini o'zgartirish mumkin. Boshqariladigan to'g'rilagichlar o'zgarmas tok elektr yuritmalarini boshqarishda ishlatiladi. G–D sistemalardagi generator o'rniga boshqariladigan to'g'rilagich o'rnatib, uning chiqish kuchlanishini boshqarish orqali elektr yuritmaning tezligini boshqarish mumkin. Katta quvvatli tiristorlarni simobli to'g'rilagichlar o'rnida ishlatish mumkin.

Yuqorida qayd etilganidek, tiristorli to'g'rilagichning chiqishidagi kuchlanish tiristorning boshqarish burchagiga bog'liqdir. Tiristorni ochish uchun signal boshqarish sistemasidan beriladi. Boshqarish sistemasining vazifasi quyidagilardan iborat:

- impulsning ventilni ochishga yetarli bo'lgan tok va kuchlanish amplitudasini ta'minlash;
- boshqarish impulslarining tikligini ta'minlash;
- boshqarish impulslarining fazalar bo'yicha simmetrik bo'lishini ta'minlash;
- rostlashni keng doirada amalgä oshirish.

Boshqaruvchi impuls tiristorning ochilish burchaginigina rostlaydi. Tiristorning yopilishi esa anod toki nolga teng bo'lganida o'z o'zidan ro'y beradi. Shu sababli, boshqarish impulslari qisqa, lekin anod toki ishlab ketish tokiga teng bo'lishini ta'minlab beradigan vaqt ichida ta'sir etishi kerak.

5.10. Tiristorlarning belgilanishi (markalanishi) tizimi

Namuna sifatida VL 80[r] va VL 85 elektrovozlarida VIP 4000 to'g'rilovchi-inverslovchi o'zgartirgich tarkibida qo'llanilgan kuchli tiristorning markalanishini keltiramiz.

T 353-800-28-61 UXL 2: T-tiristor ; 3-konstruktsiyani modifakatsiyasi tartib raqami; 5-ГОСТ 20859.1-89 ga asosan korpus diametri bo'yicha (73mm) modifikatsiya; 3-Gost 20859.1-89 ga asosan korpus konstruktsiyasi ko'rinishi (tabletkasimon); 800-korpus temperaturasi berilgan holda tokning chegaraviy

(o'rtacha) qiymati, A; 28-kuchlanish bo'yicha sinfi; 6-kuchlanish o'sishi kritik tezligi ($\frac{dU}{dt}$)$_{kr}$ bo'yicha guruhi -250; 1- uzilish vaqti bo'yicha guruhi -=500 mks dán katta bo'lmagan; UXL-ГOCT 15150-69 bo'yicha kuchsiz va sovuq iqlimlarga mo'ljallab bajarilgan; 2-ГOCT 15150-69 bo'yicha joylanish toifasi - temperatura tebranishi va namlik tashqi muhitnikidan katta farq qilmaydigan xonalarda o'rnatiladi.

5.11. Bo'limga doir masala yechish namunalari

5.1-namuna. П91 tipidagi o'zgarmas tok motorining uyg'otish chulg'amini ta'minlash uchun tiristorli o'zgartgich tanlang. Motorning nominal quvvati $P_н$=14 kW , nominal toki $I_н = 81$ A , nominal kuchlanishi $U_н$=220 V; tiristor-ning ruxsat etilgan parametrlari: to'g'ri toki I_d=10 A, to'g'rilangan kuchlanish U_d=110 V. To'g'rilagich nol chiqishli bir fazali sxema bo'yicha yig'ilgan va kuchlanishi 220 V bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmog'idan ta'minlanadi.

Yechish.

1.Tiristor tokining o'rtacha qiymati:

$I_т = 0{,}5I_d^{|} = 0{,}5 \cdot 10 = 5A,$

bunda $I_d^{|} = 10$ A tiristordan o'tuvchi ruxsat etilgan tok.

2. Tiristordagi maksimal teskari kuchlanish:

$$U_{tes.max}=3{,}14 \cdot U_d = 3{,}14 \cdot 110 = 345 \text{ V}.$$

Ma'lumotnomalardan parametrlari I_N=25 A , U_N= 600 V bo'lgan T25 tipdagi tiristorni tanlaymiz.

3.Kuch transformatorining hisobiy quvvati quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$P_{tr.his.} = k_s \cdot k_l \cdot k_a \cdot k_i^{|} \cdot U_d \cdot I_d \cdot 10^{-3},$$

bunda $k_s = \frac{P_{тр}}{U_d \cdot I_d} = 1{,}34$ – nol chiqishli bir fazali ideal to'g'rilagich uchun quvvatlar nisbati ($P_{тр}$ – kuch transformatorining standart quvvati, kVA);

$k_l = \frac{U_{2f}}{U_d} = 1{,}1$ nol chiqishli bir fazali ideal to'g'rilagich sxemasi uchun transformator ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanishning hisobiy qiymati U_{2f} ning to'g'rilangan kuchlanish U_d ga nisbatini xarakterlaydi;

$k_a = 1{,}05 \div 1{,}1$ tiristorning to'liq ochilmasligini hisobga oluvchi koeffitsiyent;

$k_i^{|} = 1{,}05 \div 1{,}1$ tiristorning anod toki shaklining to'g'ri burchakli ko'rinishdan og'ishini hisobga oluvchi koeffitsiyent. Bu qiymatlarni formulaga qo'yib, kuch transformatorining hisobiy quvvati aniqlanadi:

$$P_{tr.his.} = 1{,}34 \cdot 1{,}11 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}1 \cdot 110 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 1{,}98 \text{ kVA}.$$

4.Ikkilamchi chulg'am kuchlanishi:

$$U_2 = k_l \cdot k_c \cdot k_a \cdot k_T \cdot U_d = 1{,}11 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}05 \cdot 110 = 155\ V,$$

bunda $k_T = 1{,}05$ transformator chulg'amlarida va tiristorlarda kuchlanish pasayishini hisobga oluvchi koeffitsiyent;

$k_c = 1{,}05 \div 1{,}1$ tarmoq kuchlanish pasayishi mumkinligini hisobga oluvchi zahira koeffitsiyenti.

Rezyume

-Tiristorlarga kremniyli boshqaruv ventili (KBV), triak va diaklar kiradi.

-KBV boshqaruv elektrodidagi musbat signal yordamida bitta yo'nalishdagi tokni boshqaradi.

-KBV anod-katod kuchlanishi nolgacha kamaytirilganda yopiq holatga o'tadi.

-KBV o'zgarmas va o'zgaruvchan tok zanjirlarida tokni boshqarish uchun qo'llanilishi mumkin.

-Triaklar-bu ikki tomonlama yo'nalishli triodli tiristor.

-Triaklar boshqaruv elektrodidagi musbat yoki manfiy signal yordamida ixtiyoriy yo'nalishda oqib o'tuvchi tokni boshqarishi mumkin.

-Triaklarning ishga tushirish xarakteristikasi nosimmetrik bo'lganligi uchun ularni ishga tushirish uchun diaklar zarur.

-Diaklar-bu ikki tomonlama ishga tushiruvchi diodlardir.

-Diaklar asosan triaklar uchun ishga tushiruvchi sifatida qo'llaniladi.

-Tiristorlar tranzistorlarni tekshirish uchun maxsus asboblar va ommetrlar yordamida tekshirilishi mumkin.

Nazorat uchun savollar

1. *Tiristorlarning vazifalari nimadan iborat ?*
2. *Tiristorning tuzilishi va ishlash asosini tushuntiring.*
3. *Tiristorning volt - amper xarakteristikasi qanday qismlardan iborat ?*
4. *Tiristorning ish rejimlari grafik usulda qanday aniqlanadi ?*
5. *Teshilish kuchlanishi nima ?*
6. *O'tish kuchlanishi nima ?*
7. *Ikki yarim davrli boshqariladigan to'g'rilagich ishlashi qanday?*
8. *Boshqarish burchagi nima ?*
9. *Aktiv iste'molchi ulangan to'g'rilagich chiqishidagi tok va kuchlanish o'rtacha qiymatlari qanday ?*
10. *Ventil to'g'ri kuchlanishining boshqarish burchagiga bog'liqligi qanday ?*
11. *Aktiv – induktiv xarakterli iste'molchi ulangan to'g'rilagich chiqishidagi kuchlanish qanday aniqlanadi ?*
12. *Ko'prik sxemali boshqariladigan to'g'rilagichning ish asosi qanday ?*
13. *Uning chiqishidagi kuchlanish qanday aniqlanadi ?*
14. *Boshqarish sistemasi nima ?*
15. *Boshqarish sistemasining vazifalari nimalardan iborat ?*

6. O'zgaruvchan tokni to'g'rilagichlar

6.1. Bir fazali o'zgaruvchan tokni to'g'rilash sxemalari

O'zgaruvchan elektr tokidan o'zgarmas tok olinishi anchadan beri ma'lum. Katta quvvatli o'zgarmas tokni kimyoviy, magnito-gidrodinamik va boshqa qurilmalar yordamida hosil qilish imkoniyati bo'lmaganligi uchun u o'zgaruvchan tokni o'zgarmasga aylantirish yo'li bilan olinadi. O'zgaruvchan tokni o'zgarmasga aylantirishni mustaqil manbayi hisoblanmish o'zgarmas tok generotorlarida ham amalga oshirish mumkin. Sinusoidal EYuK dan hosil bo'lgan tokning bir yo'nalishda o'tishini cho'tka kollektor qurilmasi ta'minlab beradi.

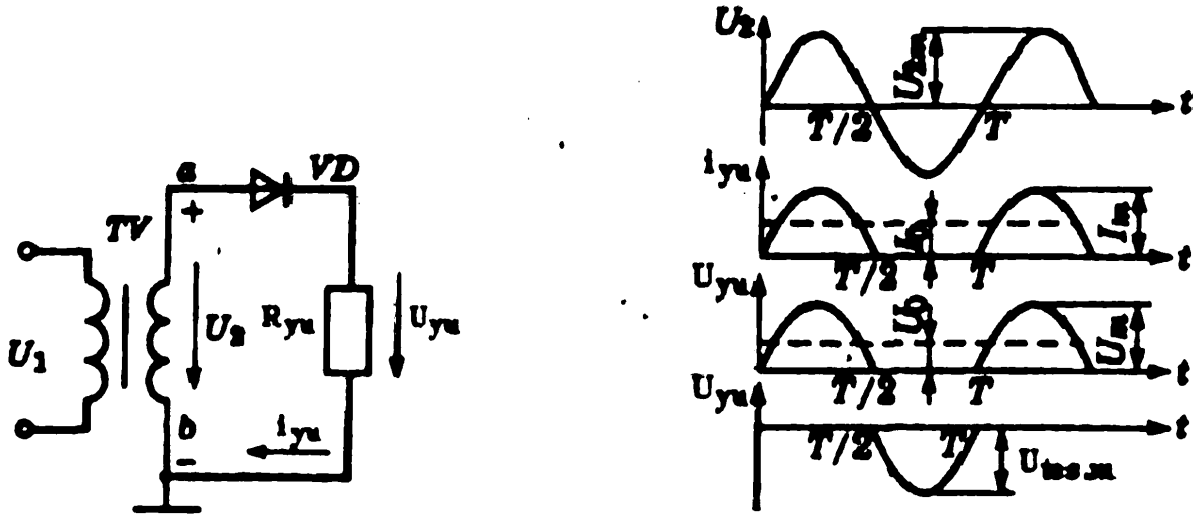
Bir tomonlama o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan elektron va yarimo'tkazgichli diodlar ixtiro qilingandan so'ng o'zgarmas tokni xalq xo'jaligining hamma tarmoqlariga sanoat elektronikasi yetkazib bera boshladi. To'g'rilash texnikasi boshqariladigan va boshqarilmaydigan yarimo'tkazgichli diodlarni takomillashtirish, ularning quvvatini oshirish hisobiga yanada rivojlanmoqda. Hozirgi vaqtda o'zgaruvchan tokni to'g'rilash elektron zanjirlari EHM, radiotexnika va aloqa vositalarini tok bilan ta'minlovchi manbalarning asosiy qismidir.

O'zgaruvchan tokni bevosita o'zgarmas tokka aylantiruvchi qurilma to'g'rilagich deb ataladi. To'g'rilagichlar elektr ventillar va yordamchi qurilmalar (transformator yoki avtotransformator, filtrlar va hokazo) dan iborat.

Ko'p hollarda zamonaviy to'g'rilagichlarda yarimo'tkazgichli kremniyli, germaniyli, kichik quvvatlar va kuchlanishlar uchun esa selenli ventillar ishlatiladi. Ion ventillarning qo'llanish sohasi tez kamaymoqda; ular ichida boshqariladigan ventillar-tiratronlar amaliy ahamiyatga ega 6o'lib, kichik quvvatlarni to'g'rilashda ishlatiladi. Bundan tashqari elektron apparatlarda, ba'zan elektron diodlarda ishlatiladigan kichik quvvatli to'g'rilagichlardan ham foydalaniladi.

To‘g‘rilagich sxemasi ventilning ishlash prinsipiga, qurilmalarning quvvati va boshqa texnik talablarga qarab tanlanadi.

Bir va ko‘p fazali o‘zgaruvchan tokni to‘g‘rilash sxemalari keng tarqalgan bo‘lib 6.1, a-rasmda bir fazali sinusoidal tokning bitta yarim davrli to‘g‘rilash sxemasi ko‘rsatilgan. Ikki chulg‘amli transformator Tr ning W_1 o‘ramli birlamchi chulg‘ami U_1 sinusoidal kuchlanishli zanjirga ulangan. Mazkur kuchlanish W_2 o‘ramli ikkilamchi chulg‘amdan olinadigan U_2 kuchlanishga aylantiriladi. Kuchlanish U_2 ning qiymati $\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$ bog‘lanishdan aniqlanadi. Kuchlanish U_2 ning to‘g‘rilangan qismi $U_{to‘g‘} = R_{yu} \cdot i_{to‘g‘}$. Kuchlanish U_2 to‘g‘rilangan tok $i_{to‘g‘}$ va diodning parametrlari mosligini ta’minlashi kerak.



a) b)

6.1-rasm. Bir fazali sinusoidal tokning bitta yarim davrli to‘g‘rilash sxemasi(a) va to‘g‘rilangan tok grafigi(b)

6.1-rasmdagi grafiklardan tok R_i qarshilikdan $U_2 = U_{2m}\sin\omega t$ kuchlanishning musbat yarim davrlaridagina, ya’ni 0 dan π gacha, 2π dan 3π gacha bo‘lgan oraliqlarda o‘tishini ko‘ramiz. Agar diodning ichki qarshiligi hisobga olinmasa (r_d=0), to‘g‘rilangan kuchlanishning bir davrdagi o‘rtacha qiymati quyidagicha bo‘ladi:

$$U_{o'r} = U_{to'g'} = \frac{1}{T}\int_0^{T/2} u_2 dt = \frac{1}{T}\int_0^{T/2} U_{2m} \sin \omega t dt =$$

$$= \frac{U_{2m}}{\omega T}\int_0^{\pi} \sin \omega t dt = \frac{\sqrt{2}U_2}{2\pi f T}(-\cos \omega t)\Big|_0^{\pi} = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \approx 0{,}45U_2$$

Bu yyerda U_2 – transformatorning W_2 chulg'amidagi kuchlanishning effektiv qiymati, V.

Iste'molchining qarshiligi R_{yu} dan o'tuvchi tok (rasmda shtrixlangan) yo'nalish jihatdan o'zgarmas, qiymat jihatdan pulsatsiyalanuvchi. Uning bir davrdagi o'rtacha qiymati quyidagiga teng:

$$I_{o'r} = I_{to'g'} = \frac{U_{to'g'}}{R_{yu}} = 0{,}45U_2/R_{yu}$$

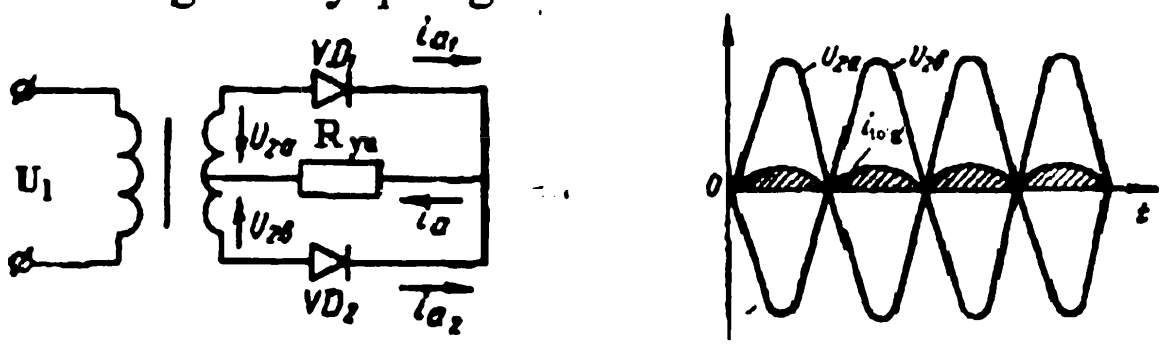
ya'ni $I_{o'r}$ to'g'rilangan kuchlanish va iste'molchi qarshiligiga bog'liqdir.

Bu holda sinusoidal o'zgaruvchan kuchlanishda ideal ventilda (to'g'ri qarshiligi $r_{to'g'} = 0$, teskari qarshiligi $r_{to'g'} = \infty$) to'g'rilangan tokning o'rtacha qiymati pulslanuvchi tokning o'zgarmas tashkil etuvchisi amplituda qiymati I_m bilan nisbat $I_o = I_m/\pi = 0{,}32\ I_m$ bo'yicha, to'g'rilangan tokning ta'sir etuvchi qiymati esa nisbat $I = I_m/2$ bo'yicha bog'langan. To'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymati $U_{o'r} = U_m/\pi$: Zanjirning aktiv quvvati $P = U_1/\sqrt{2} = 0{,}707S$, bunda U butun zanjir qismalaridagi kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati. Bitta yarim davrli to'g'rilagichning kamchiliklari: to'g'rilangan tok to'g'rilangach kuchlanishning faqat bitta yarim davri davomida mavjud va unda juda ko'p o'zgaruvchan tashkil etuvchilar bo'ladi.

To'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyalanuvchi bo'lganligi uchun bunday sxema juda kam qo'llaniladi. Undan radiosignallarni detektorlash, akkumulyatorlarni zaryadlash, magnit o'zaklarni impulsli magnitlash va boshqa maqsadlarda foydalanish mumkin.

Transformator ikkilamchi chulg'amining o'rta nuqtasida chiqishi bo'lgan ikki yarim davrli to'g'irlagichda (6.2–rasm) to'g'irlangan tokni o'zgaruvchan kuchlanishning har ikkala yarim to'lqiniga mos holda olish mumkin.

Ikki yarim davrli to'g'rilash sxemasi mukammalroq va sifatliroq bo'lib, bunda transformatorning ikkilamchi chulg'ami (W_2) ikkita bir xil seksiyadan iborat ($W_2=\frac{1}{2}W$). Bu chulg'amlarning oxirgi uchlari bir xil diodlar (VD_1 va VD_2) orqali R_{yu} qarshilikning musbat qutbiga ulanadi. Bosh uchlari esa iste'molchining manfiy qutbiga ulanadi.



a) b)

6.2- rasm. Bir fazali sinusoidal tokning ikki yarim davrli to'g'rilash sxemasi(a) va to'g'rilangan tok grafigi(b)

Bu sxemada to'g'rilash quyidagicha amalga oshiriladi. Transformatorning kirish zanjiriga ta'sir etuvchi $U_1(t)$ kuchlanishning bitta yarim davrida w_2 seksiyalarida induksiyalangan U_2 kuchlanish pastdan yuqoriga yo'nalgan bo'lsin. U holda kuchlanishdan hosil bo'ladigan tok $w'_2-VD_1-R_{yu}$ zanjirdan o'tadi, pastdagi $w_2-R_{yu}-VD_2$ zanjirda esa tok o'tmaydi, chunki VD_2 diod bu tokni o'tkazmaydi (tokning yo'nalishi teskari bo'lgani uchun). R_{yu} qarshiligida tok o'ngdan chapga o'tadi (6.2-rasm).

Ikkinchi yarim davrda w'_2 seksiyalarda $U_2 = -U_2$ kuchlanish hosil bo'ladi. Bu kuchlanish yuqoridan pastga yo'naladi va $VD_2 - R_{yu} - w_2$ va $R_{yu} - VD_1 - w'_2$ konturlarda soat milining harakatiga qarshi yo'nalgan tokni hosil qiladi. Bunda VD_1 diodi

yopiq bo'lib, tok faqat pastki konturdan (iste'molchi R_{yu} da Yana o'ngdan chapga) o'tadi. Bir davr ichida R_{yu} qarshilik $u_2 = U_{2m}\sin\omega t$ kuchlanishning to'g'ri va 180° ga ag'darilgan teskari yarim to'lqinlari ostida ikki marta bo'ladi (6.2,-rasmning quyi qismi). Ikkilamchi kuchlanishning qiymati $\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$ va to'g'rilangan kuchlanishga bog'liq holda aniqlanadi. Agar diodlarning ichki qarshiligi hisobga olinmasa (r_d = 0), qarshilik uchlaridagi kuchlanishning o'rtacha qiymati:

$$U_{o'r} = U_{to'g'} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} u_2 dt = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} U_{2m}\sin\omega t dt =$$

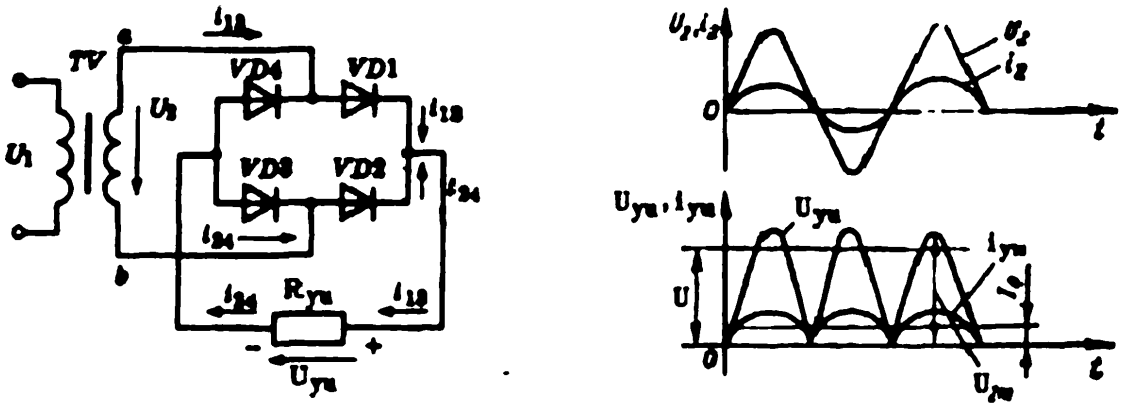
$$= \frac{2U_{2m}}{\omega T}\int_0^{\pi}\sin\omega t dt = -\frac{\sqrt{2}U_2}{\pi}\cos\omega t\Big|_0^{\pi} = \frac{2\sqrt{2}U_2}{\pi} \approx 0{,}9U_2$$

6.1-rasmdagi grafikdan ikki yarim davrli to'g'rilash sxemasiga o'tilganda chiqish kuchlanishining pulsatsiyalanish chastotasi ikki marta ortishi va pulsatsiya chuqurligi kamayishi kuzatiladi. Bunday sxema ikki yarim davrli bitta taktli to'g'rilagich sxemasi deb yuritiladi.

Ko'rib chiqilgan sxemalarda to'g'rilagichlardan tashqari transformatorlar ham bor. Ular hisobiga to'g'rilagichlarning vazni va o'lchamlari ortib kyetadi. Transformator sxemaga manba o'zgaruvchan kuchlanishining qiymatini to'g'rilagichning chiqishidagi kuchlanish bilan moslash uchun ulanadi.

Agar o'zgaruvchan sinusoidal kuchlanishning qiymati transformatsiya qilinmagan holda to'g'rilanishi kerak bo'lsa, 6.3-rasmda ko'rsatilgan ikki yarim davrli ko'prikli sxemadan foydalaniladi. Bu sxemada to'g'rilashni ko'prik shaklida ulangan 4 ta bir xil elektron yoki yarimo'tkazgichli diodlar (VD_1, VD_2, VD_3, VD_4) bajaradi.

Ko'prik diagonallarining biriga o'zgaruvchan kuchlanish manbayi U, ikkinchisiga esa iste'molchi qarshiligi R_{yu} ulanadi. O'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka to'g'rilash quyidagicha bajariladi.



6.3- rasm. Bir fazali sinusoidal tokning ko'prik to'g'rilash sxemasi(a) va to'g'rilangan tok grafigi(b)

Kirish kuchlanishining musbat yarim davrida (manbaning yuqori qismasi musbat, pastki qismasi manfiy zaryadlangan) tok manbadan VD_1, R_{yu} va VD_2 lar orqali berilgan kuchlanishning musbat qutbidan manfiy qutbiga o'tadi.

Ikkinchi yarim davrda esa tok VD_3, R_i va VD_4 lar orqali o'tadi. Binobarin, tokning har bir yarim davrida to'g'rilagichdagi ma'lum juftlik (masalan, VD_1 va VD_2) ishlaydi, ikkinchi juftlikka esa (masalan, VD_3 va VD_4) teskari kuchlanish berilgan bo'ladi.

Bunda to'g'rilash koeffitsiyenti 6.2-rasmda ko'rsatilgan sxemaniki kabi

$U_{o'rt} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} u_1\, dt \approx 0{,}9U_1$ ga teng, chunki U_1 kuchlanish bevosita to'g'rilanadi (U_1 – zanjirning kirishidagi kuchlanishning effektiv qiymati). Ikki yarim davrli to'g'irlagichning har ikkala sxemasi uchun:

$$U_{o'rt} = \frac{2U_m}{\pi},\ I_{o'rt} = 0{,}64I_m,\ P = UI,\ I = I_m/\sqrt{2}$$

va to'g'irlangan tokning egri chizig'i faqat juft garmonik tashkil etuvchilarga ega bo'ladi lekin asosiy to'lqin pulslanish chastotasi to'g'rilangan o'zgaruvchan kuchlanish chastotasidan ikki marta ortiq bo'ladi.

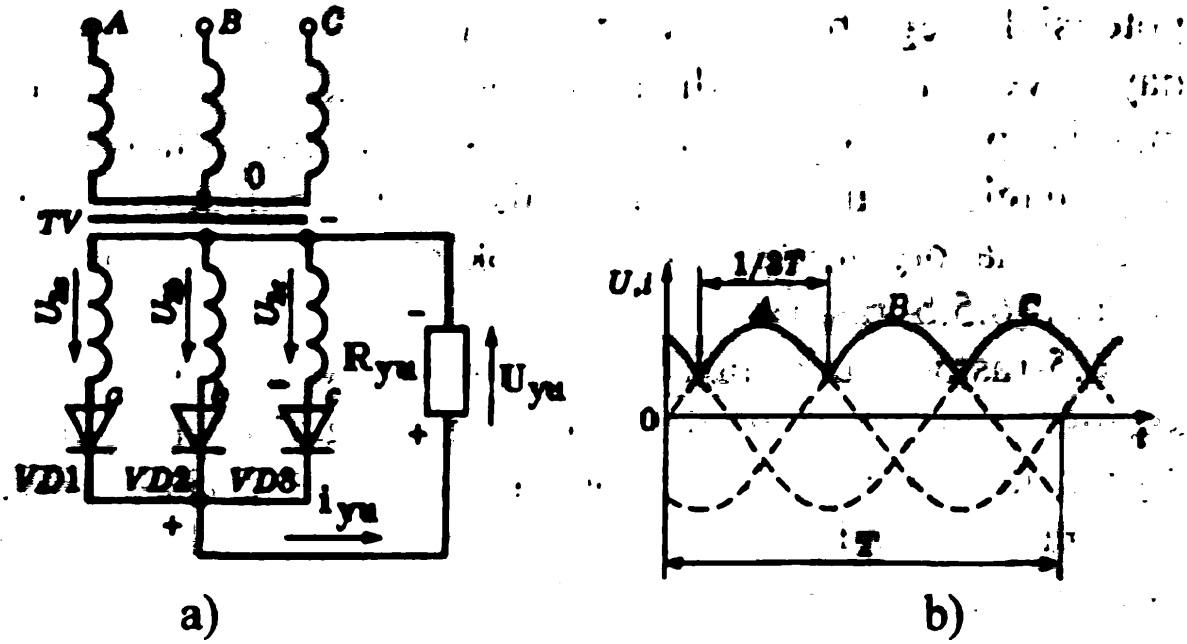
To'g'rilangan tokning o'zgarish grafigi 6.3,b-rasmda ko'rsatilgan.

6.2. Uch fazali o'zgaruvchan tokni to'g'rilash sxemalari

Uch fazali o'zgaruvchan tokni to'g'rilash sxemalari mashhur elektrotexniklar Mitkevich va Larionovlar tomonidan ishlab chiqilgan. Mitkevichning eng sodda sxemasi «ko'prik to'rtdan birinung uchtasi parallel» deb nomlanadi.Buning ma'nosi uch fazali transformatorning ikkilamchi chulg'amlariga parallel ulangan uchta diodni bildiradi.

Larionov sxemasi murakkabroq bo'lib, «ko'prik yarmining uchtasi parallel» deb nomlanadi. Uning ma'nosi sxema ko'rinishidan yaqqol ko'zga ko'rinadi.

6.4-rasmda uch fazali o'zgaruvchan tokni to'g'rilash sxemasi (a) va to'g'rilangan uch fazali kuchlanish (tok)ning diagrammasi (b) ko'rsatilgan.



6.4 - rasm. Uch fazali sinusoidal tokning bitta yarim davrli to'g'rilash sxemasi(a) va to'g'rilangan tok grafigi(b)

Uch fazali bitta yarim davrli to'g'rilagichda (6.4,a-rasm,Mitkevich sxemasi) har bir berilgan momentda qaysining ventil anodi transformator chulg'amlarining qismalariga ulangan bo'lsa va chulg'amning neytral nuqtasiga nisbatan qaysi ventil

anodining musbat potensiali yuqoriroq bo'lsa, shu ventil orqali tok yo'nalgan bo'ladi.

Shuning uchun to'g'rilangan kuchlanish ikkilamchi chulg'am faza kuchlanishlarining musbat yarim to'lqinlarining egiluvchi egri chizig'i bo'yicha o'zgaradi.

Bu yerda pulslanish chastotasi to'g'rilanayotgan o'zgaruvchan tokning chastotasidan uch marta katta (6.4,b-rasm).

Bir taktli ko'p fazali to'g'rilagichlar katod tipida bo'lishi mumkin, bunda hamma katodlar bitta tugunga birlashtiriladi yoki anod tipida bo'ladi, bunda hamma anodlar bitta tugunga biriktiriladi.

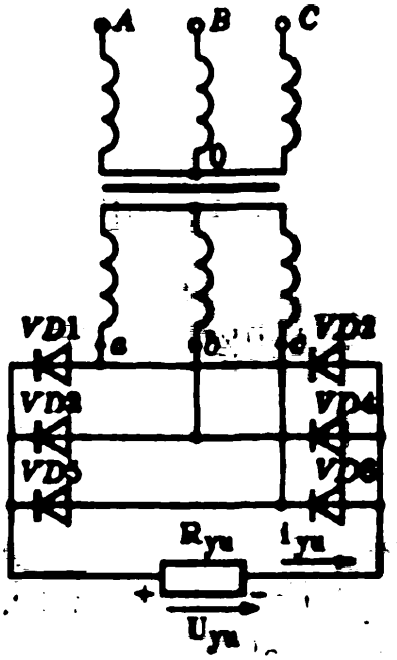
Ikkita yarim davrli uch fazali to'g'rilagichda (6.5,a-rasm, Larionov sxemasi) ventillarning birinchi yarmi katod guruhini, ventillarnint boshqa yarmi anod guruhini hosil qiladi. Har qaysi berilgan momentda katod guruhidan anodi yuqoriroq musbat potensialga ega bo'lgan ventil tokni o'tkazadi va anod guruhidan qaysi ventilning katodi absolyut qiymati bo'yicha eng ko'p manfiy potensialga ega bo'lsa, shu ventil o'tkazadi. Bunday to'g'rilagich uchun kuchlanishning pulslanish chastotasi to'g'rilanayotgan o'zgaruvchan tok chastotasidan olti marta ortiq bo'ladi (6.5,b–rasm).

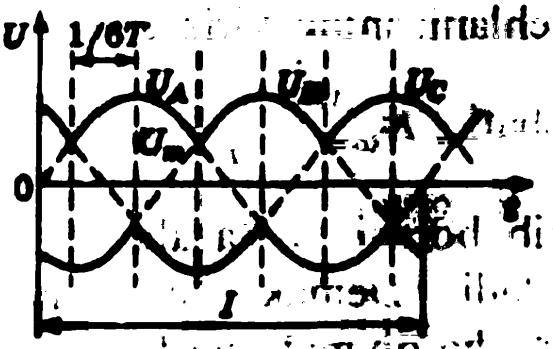
6.5-rasmda uch fazali tokni ikkita yarim davrli to'g'rilash sxemasi (a) va to'g'rilangan tokning grafigi (b) ko'rsatilgan. Ayrim fazalardagi tok va kuchlanishlarni to'g'rilash quyidagicha amalga oshiriladi. Transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi faza kuchlanishlari bir-biriga nisbatan $2\pi/3$ burchakka siljigan:

$$u_a = U_m \sin \omega t; \quad u_b = U_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right);$$

$$u_c = U_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right).$$

Bu sinusoidalarning musbat yarim to'lqinlaridagi maksimumlar davrning uchdan bir qismi ($\frac{1}{3}T$) da almashib turadi.





a) b)

6.5- rasm. Uch fazali sinusoidal tokning ikkita yarim davrli to'g'rilash sxemasi(a) va to'g'rilangan tok grafigi(b)

Shu vaqt ichida bir tomonlama harakatlanuvchi i_a, i_b, i_c toklar hosil bo'ladi. Bu sxemada VD_1, VD_2 yoki VD_3 diodlardan o'tuvchi tok berilayotgan kuchlanishning butun musbat yarim to'lqini davrida emas, balki $T/3$ ichida o'tadi. Masalan, i_a toki a fazada $t_1 = \frac{\pi}{6\omega}$ vaqtda hosil bo'lib, $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$ vaqtda tugaydi, tok i_b esa $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$ vaqtda hosil bo'lib, $t_3 = \frac{3\pi}{2\omega}$ vaqtda tugaydi va hokazo.

To'g'rilangan kuchlanish (tok) o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{o'rt} = U_{to'g'} = \frac{2}{T/3}\int_{t_1}^{t_2} u dt$$

$$U_{o'rt} = \frac{3}{T}\int_{T/12}^{5\pi/12} u dt = \frac{3}{\omega t}\int_{\pi/6}^{5\pi/6} U_m \sin \omega t d\omega t =$$

yoki

$$= -\frac{3U_m}{2\pi}(-\cos \omega t)\Big|_{\pi/6}^{5\pi/6} = \frac{3\sqrt{3}U_m}{2\pi} = \frac{3\sqrt{6}U}{6{,}28} = 1{,}17U.$$

$$I_{to'g'} = \frac{U_{o'r}}{R_{yu}} = \frac{1{,}17U}{R_{yu}}.$$

Uch fazali sxemada to'g'rilangan tokning pulsatsiyalanish chuqurligi bir fazalidagiga nisbatan ancha kamdir. To'g'rilash koeffitsiyenti, ya'ni chiqishdagi to'g'rilangan $U_{to'g'} = U_{o'r}$ kuchlanishning kirishdagi kuchlanish U ning effektiv qiymatiga nisbati $\left(K_{to'g'} = \frac{U_{o'r}}{U}\right)$ to'g'rilagichning fazalar soni ortishi bilan ortib boradi va fazalar soni $m \to \infty$ bo'lganida $K_{to'g'} \to 1{,}41$ bo'ladi. Demak, ideal holatda to'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymati berilgan o'zgaruvchan kuchlanish amplitudasiga tengdir.

Uch fazali ko'prik sxemada (uch fazali ikki taktli to'g'rilagichning A.N.Larionov sxemasida) uch fazali o'zgaruvchan tokning to'g'rilash jarayonini ko'rib chiqamiz (6.5-rasm). Agar VD_1 ...VD_6 diodlarning tok o'tkazayotgandagi qarshiliklari hisobga olinmasa, R_i ning uchlaridagi kuchlanish uch fazali sistemaning liniya kuchlanishiga teng bo'ladi.

Sxema elementlarining ulanishi U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} kuchlanishlarning qiymati musbat bo'lganida ham, manfiy bo'lganida ham tokning o'tishini ta'minlay oladi.

0 dan t_1 gacha bo'lgan vaqt ichida $U_{CB} = -U_{BC}$ kuchlanish eng katta qiymatga ega bo'ladi va bu kuchlanish ta'sirida tok manbaning C fazasi uchidan , VD_3, R_i va VD_5 orqali B fazaning boshiga o'tadi.

$T_1 - t_2$ vaqt ichida tok A fazadan VD_1 va VD_5 diodlar va R_i orqali B fazaga o'tadi. $T_2 - t_3$ vaqt ichida VD_1 va VD_6 diodlar ishlaydi.

$t_3 - t_4$ vaqt ichida VD_2 va VD_6, $t_4 - t_5$ da VD_2 va VD_4, $t_5 - t_6$ vaqt ichida VD_3 va VD_4 diodlar ishlaydi. Keyin jarayon yana boshidan takrorlanadi.

Har bir diod davrning uchdan bir qismida uzluksiz ishlaydi, boshqa vaqt esa yopiq holatda bo'ladi.

T_1–t_3 vaqt ichida VD_1 ishlaydi.

T_2 –t_4 vaqt ichida VD_6 ishlaydi va hokazo. To'g'rilangan tokning o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{to'g'} = \frac{U_{to'g'}}{R_{yu}} = \frac{U_m(AB)}{R_{yu}T/6}\int_{t_1}^{t_3}\sin\ \omega t dt = \frac{6I_m}{2\pi}\int_{\pi/3}^{2\pi/3}\sin\ \omega t d\omega t =$$

$$= \frac{3\sqrt{2}I}{\pi}(-\cos\ \omega t)\Big|_{\pi/3}^{2\pi/3} = 1{,}346\ I = 1{,}346\frac{U_{AB}}{R_{yu}}.$$

Zanjirning chiqishidagi to'g'rilangan kuchlanishning qiymati: $U_{to'g'} = I_{to'g'}\ R_i = 1{,}346U_{AB}$.

Demak, olti fazali ko'prik sxema tok va kuchlanishlarni nisbatan sifatli to'g'rilab beradi. Shuningdek, mazkur sxema transformatorsiz bo'lib, ancha soddadir.

Pulslanishni taqqoslash uchun pulslanish koeffitsiyenti $q_n = U_m / U_{o'r}$ me'zon bo'lib xizmat qiladi. U kuchlanishning asosoy garmonik tashkil etuvchilarining amplitudasining kuchlanishining o'rtacha qiymatiga bo'lgan nisbatiga teng. Ikki yarim davrli bir fazali to'g'rilagich uchun $q_n = 0{,}667$ uch fazali bir taktli to'g'rilagich uchun $q_n = 0{,}25$, uch fazali ikki taktli to'g'rilagich uchun $q_n = 0{,}057$.

Pulslanishni kamaytirish uchun to'g'rilagich va iste'molchi orasiga ko'pincha tekislovchi elektr filtrlar ulanadi.

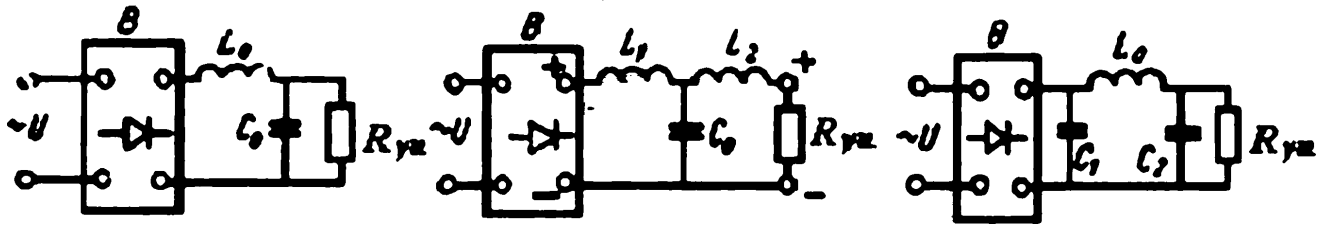
6.3. Tekislovchi filtrlar va ularning turlari

To'g'rilangan tokning shaklini o'zgarmas tok shakliga yaqinlashtirish va eng avvalo, pulsatsiyalanishni kamaytirish yoki butunlay yo'qotish maqsadida to'g'rilagichning chiqishiga iste'molchidan oldin tekislovchi filtrlar o'rnatiladi.

To'g'rilangan kuchlanishdagi pulsatsiyalar egri chizig'i Fure qatoriga yoyilganida asosiy va bir nechta yuqori garmonikalardan iborat bo'lgani uchun yuqori garmonikalarni ushlab qolish yoki

susaytirish maqsadida sxemaga ulangan induktivlik va sig'imlardan foydalaniladi. Bunday sxemalar *filtrlar* deyiladi.

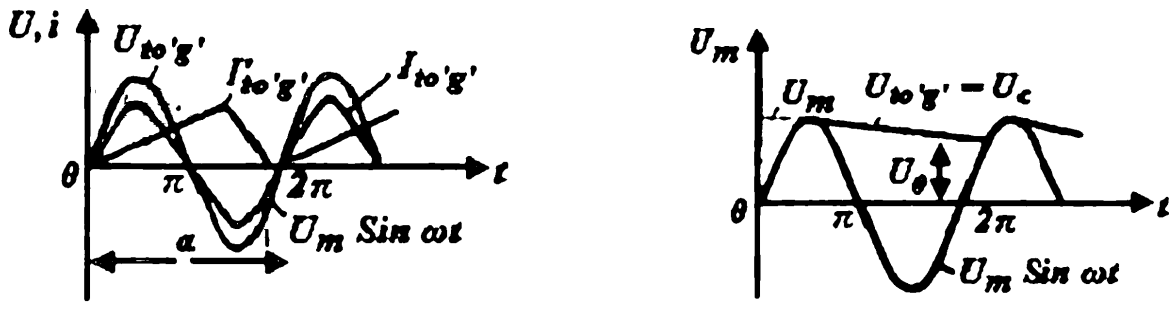
Oddiy filtrlarning keng tarqalgan sxemalari Г-simon, T-simon va П-simondir (6.6,a,b,d-rasm).



a) b) d)

6.6- rasm. Filtrlarning keng tarqalgan sxemalari:
Г-simon (a), T-simon(b) va П-simon(d)

Ular ketma-ket ulangan induktivlik va parallel ulangan sig'im elementlardan iboratdir. Induktivlik L_0 (6.6,a-rasm) tokning o'zgaruvchan tashkil etuvchilari (garmonikalar) ga qo'shimcha qarshilik ko'rsatadi, o'zgarmas tokka esa qarshilik ko'rsatmaydi. Sig'im C_0 ning esa, aksincha, o'zgaruvchan tashkil etuvchilarga qarshiligi kichik. Shuning uchun garmonikalar iste'molchi R_{yu} dan emas sig'im orqali o'tadi. Kondensator esa o'zgarmas tokni o'tkazmaydi.



a) b)

6.7- rasm. Induktiv (a) va sig'im (b) filtrlar yordamida tekislangan tok va kuchlanish grafiklari ω

6.7,a,b-rasmda induktiv va sig'im filtrlar yordamida tekislangan tok hamda kuchlanish grafiklari ko'rsatilgan. R_{yu}–L_0 zanjirdagi o'tish jarayoni hisobiga tok $i_{to'g'}$ ning yarim to'lqini

to'g'rilangan kuchlanish $U_{to'g'}$ ning yarim to'lqinidan faza jihatdan orqada qoladi. Shu sababli bu tokning oqib o'tish vaqti faza jihatdan $\alpha>\pi$ burchakka ortadi va π dan 2π gacha bo'lgan pauza qisman to'latiladi.

Parallel ulangan sig'imning to'g'rilangan kuchlanishga ta'siri 6.7,b-rasmda ko'rsatilgan 0 dan $\pi/2$ gacha bo'lgan fazada to'g'rilangan kuchlanish 0 dan U_m gacha ortadi va kondensatorni $U_c = U_m$ gacha zaryadlaydi.

$\pi/2$ dan π gacha bo'lgan keyingi fazada kuchlanish U_m dan 0 gacha kamayadi. Bu vaqt ichida kondensator iste'molchi R_i orqali zaryadsizlanib ulgurmaydi va π dan 2π gacha bo'lgan faza davomida zaryadlanish davom yetadi. Bu vaqt ichida kondensator kuchlanish U_0 gacha zaryadsizlanadi. Bu kuchlanishning qiymati kondensatorning vaqt doimiysi $\tau=R_iC$ ga bog'liqdir. Shuning hisobiga kuchlanish $U_{to'g'} = U_c$ filtrsiz to'g'rilangan kuchlanish o'rtacha qiymatidan ortib kyetadi.

Shunday qilib, tekislovchi filtrlardan foydalanish chiqishdagi tok (kuchlanish) pulsatsiyasini kamaytirishi bilan birga, to'g'rilash koeffitsiyentini ham bir qancha orttiradi (ayniqsa, yarim davrli sxemalar uchun).

To'g'rilagichlar uchun Γ-simon LC-filtr (bir zvenoli yoki ikki zvenoli) yoki Π-simon C_1 L C_2-filtrni hisoblash tavsiya etiladi. Filtrlarning ko'rsatilgan turlarini hisoblashni quyidagi formulalarga ko'ra bajarish mumkin:

$$K_{sil} = \frac{K_{P1}}{K_{P2}} = \omega^2 n^2 LC \cdot 10^{-8} \approx \frac{LC}{2,5};$$

$$K_{sil.um} = K_{sil.1} K_{sil.2} = \frac{K_{P1}}{K_{P2}}.$$

bir xil Γ-simon LC zvenoning har biri uchun quyidagini olamiz:

$$L_1 = L_2 = L; \qquad C_1 = C_2 = C;$$

$$K_{sil.1} = K_{sil.2} = \sqrt{K_{sil.um}} \approx \frac{LC}{2,5}$$

Π-simon filtr uchun:

$$K_{sil.} = \frac{K_{P1}}{K_{P2}} = \omega^2 \cdot n^2 \cdot C_1 \cdot L \cdot C_2 R_{yu} \cdot 10^{-12}$$

Barcha formularlarda *C-mkf*; *L-Gn*; *n*-to'g'rilagich fazalari soni: $\omega=2\pi f_t=314$; $f_t=50$ *Hz*; K_{p1}, K_{p2} – % larda.

Hisoblash jarayonida filtrgacha bo'lgan to'g'rilagich chiqishidagi to'g'rilan-gan tok va kuchlanishlarning pulsatsiya koeffitsiyenti K_{p1} ni aniqlab, filtrdan keyingi yuklamadagi berilgan pulsatsiya koeffitsiyenti $K_{sil} = \frac{K_{P1}}{K_{P2}}$ hisoblanadi.

Parametr (sig'im *C* yoki induktivlik *L*) lardan birining qiymati berilib, ikkinchi parametr qiymati topiladi. Filtrning o'lchamlari va narxidan kelib chiqqan holda filtr drosselining induktivligini uncha kata bo'lmagan (*5÷25 Gn*) holda tanlash lozim.

Elektrolitik kondensator sig'imini *10÷150 mkF* atrofida tanlash maqsadga muvofiq. Bunda ruxsat etilgan nominal ishchi kuchlanishni hisobiy kuchlanish bilan moslashtirish ($U_x \approx 1{,}4\, U_d < U_{ном}$) lozim.

6.4. Kuchlanish stabillagichlar

Agar to'g'rilagichning chiqishidagi kuchlanishning stabilligi talab qilinsa, u holda to'g'rilagich bilan iste'molchining orasiga *kuchlanish stabillagichi* ulanadi.

Stabillagichlar parametrik va kompensatsion xillarga bo'linadi. Parametrik stabillagichlarda stabilitron turdagi asboblardan foydalaniladi. Bu asboblarda tokning qiymati o'zgargani bilan kuchlanish o'zgarmaydi.

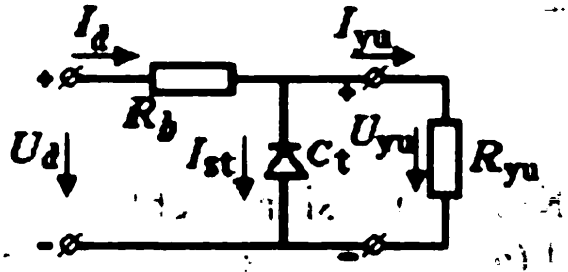
Kompensatsion stabillagichlarda iste'molchiga berilayotgan kuchlanishni avtomatik rostlash prinsipidan foydalaniladi.

Parametrik kuchlanish stabillagichi ballast qarshilik R_b va stabilitrondan tuzilgan (6.8-rasm).

Manba kuchlanishining yoki iste'molchi qarshiligining o'zgarishi to'g'rilangan kuchlanish U_d ning o'zgarishiga sabab

bo'lishi mumkin. Biroq iste'moldagi kuchlanish (U_{yu}) o'zgarmaydi, chunki bu kuchlanish stabilitronning teskari kuchlanishiga bog'langan.

Stabillagichni hisoblash iste'moldagi kuchlanishga qarab stabilitron turi va ballast qarshilik (R_b) ning qiymatini tanlashdan iboratdir.



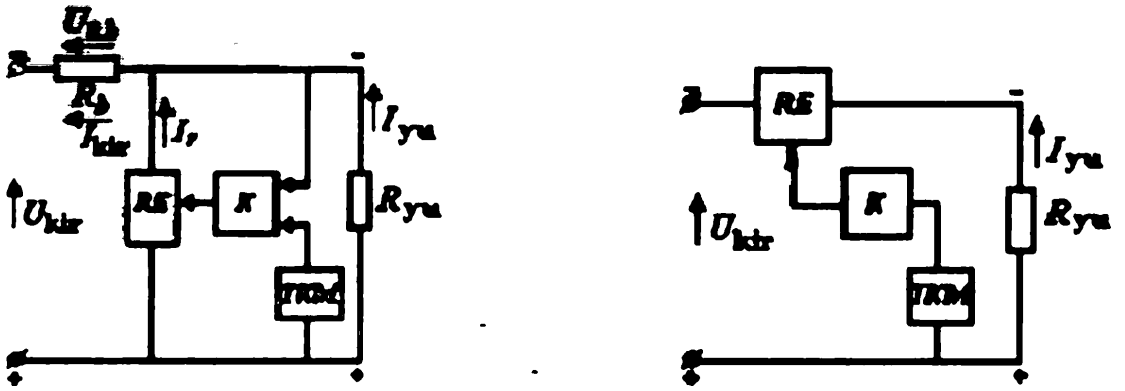
6.8 - rasm. Parametrik kuchlanish stabillagich sxemasi

Kuchlanishni stabillashning sifat ko'rsatkichi stabillash koeffitsiyentidir. Bu koeffitsiyent chiqishdagi kuchlanishning nisbiy o'zgarishini ko'rsatadi: $K_{st} = \frac{\Delta U_d}{U_d} + \frac{\Delta U_{yu}}{U_{yu}}$. Odatda, K_{st} = 20+50 bo'ladi.

6.9-rasmda kompensatsiyali kuchlanish stabillagichining parallel (a) va ketma-ket (b) ulanish sxemalari ko'rsatilgan.

Kompensatsiyali kuchlanish stabillagichi (KKS) ning ishlashi iste'molchidagi kuchlanishning o'zgarishi rostlovchi element (RE) ga uzatilishiga asoslangan. Bu element kuchlanishning o'zgarishiga to'sqinlik qiladi.

RE ga o'zgarmas tok kuchaytirgichi (K) va tayanch kuchlanish manbayi (TKM) dan tashkil topgan boshqarish sxemasi ta'sir yetadi. TKM yordamida iste'molchidagi kuchlanish tayanch kuchlanishi bilan taqqoslanayotgan kuchlanishlarning ayirmasini kuchaytirib RE ga uzatadi 6.9,b-rasmdagi sxemada RE iste'molchi bilan ketma-ket ulangan. Bunda RE dagi kuchlanishning o'zgarishi iste'molchi kuchlanishining stabilligini ta'minlab beradi. RE va iste'molchidan bir xil tok o'tadi. RE ning qarshiligi kuchaytirgichning chiqish kuchlanishi ta'sirida o'zgaradi.



a) b)

6.9- rasm. Kompensatsion kuchlanish stabillagichining parallel (a) va ketma-ket (b) ulanish sxemalari

Kompensatsion kuchlanish stabillagichlarining stabillash koeffitsiyenti nisbatan yuqori, chiqish qarshiligi esa parametriklarnikiga qaraganda ancha kichik.

6.5. Invertorlarning vazifasi va ularning ish rejimlari

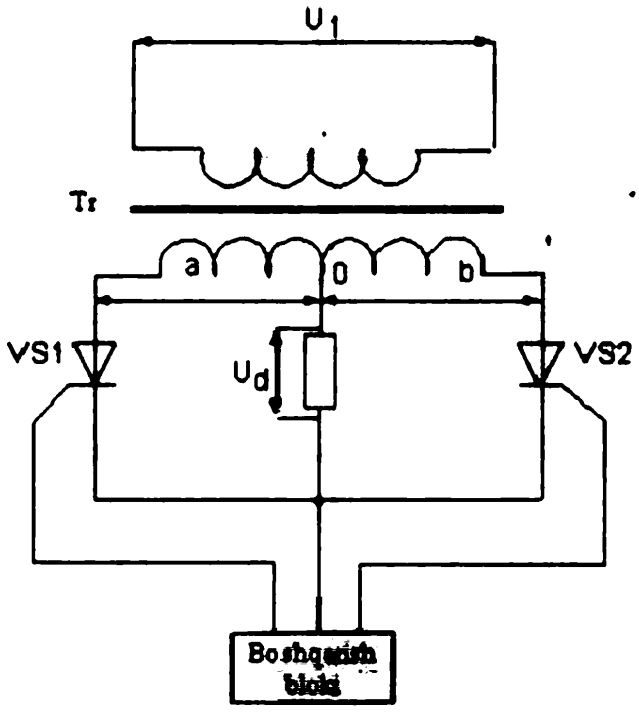
Ko'pincha, o'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokka aylantirish talab etiladi. O'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokka aylantirib beruvchi qurilma *invertor* deb ataladi.

Invertorlar o'zgarmas tok zanjiridagi energiyani o'zgaruvchan tok zanjiriga uzatishi mumkin. Bunda invertorning ishi manbaning o'zgaruvchan kuchlanishi bilan belgilanadi. Invertor esa manbaga bog'langan deyiladi. Agar invertor iste'molchini manba bilan bog'lanmagan holda energiya bilan ta'minlasa, u avtonom invertor deyiladi.

Inverslash jarayoni to'g'rilash jarayoniga teskaridir. Shu bois invertorlash jarayonini sxemasi 6.10-rasmda keltirilgan boshqariladigan ikki yarim davrli to'g'rilagich misolida ko'rib chiqish mumkin.

Sxemada boshqariluvchi ventillarning qo'llanilishi sxemaning o'ziga xos ish rejimlarini keltirib chiqaradi. Bunda to'g'rilash

sxemasi elementlarida tok va kuchlanishlar shakli o'zgaradi va ventillarning ish rejimlari turlicha bo'ladi.



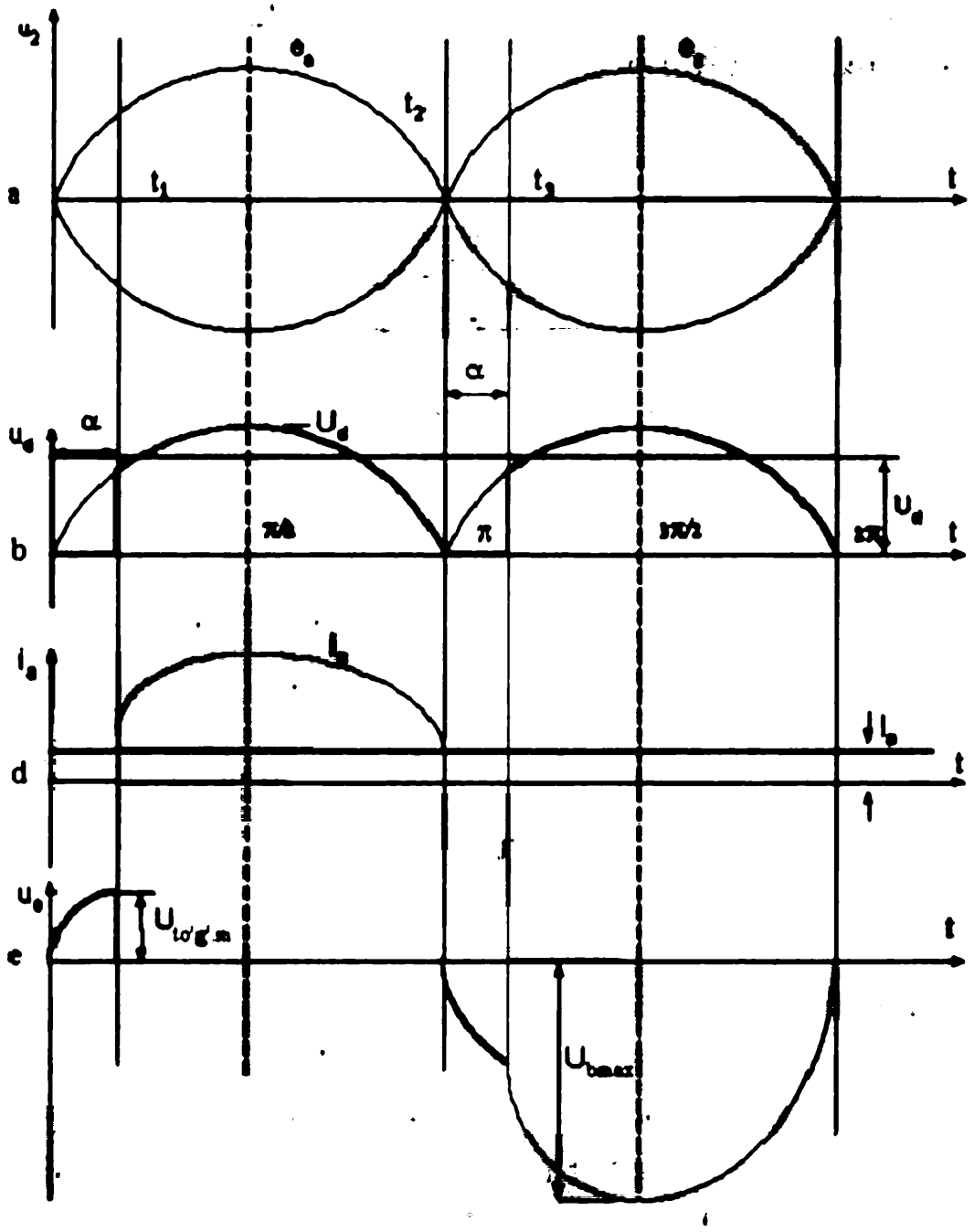
6.10-rasm. Bir fazali ikki yarim davrli boshqariluvchi to'g'rilagich sxemasi

Sxemada tiristorlarning qo'llanilishi navbatdagi ishga tushuvchi ventil orqali o'tuvchi tok oqimini boshlaniwini ventilning tabiiy ochilish oni $t_1 = 0$ (6.11, a-rasm) ga nisbatan ushlab qolish imkonini beradi. Bu vaqt ventilning tabiiy ochilish oni deyiladi. Agar boshqaruvchi impuls tiristor VS_1 ga vaqtning t_1 onida berilgan bo'lsa (6.11 a,b-rasm), u holda tiristor biroz kechikib ochiladi. Natijada vaqtning $t_0 = t_1$ oralig'ida yuklama R_{yu} dagi kuchlanish nolga teng.

Vaqtning t_1 onida boshqarish bloki dan boshqaruvchi elektrodga berilgan impuls bilan ventil VS_1 ochiladi. Yuklamadagi kuchlanish to'g'ri kuchlanish qiymatiga qadar sakrab ortadi va u quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$U_{d\alpha} = \sqrt{2}U_2 \sin\alpha,$$

bunda α – rostlash burchagi.



6.11- rasm. Bir fazali ikki yarim davrli boshqariluvchi to'g'rilagich vaqt diagrammalari

Keyinchalik to'g'rilangan kuchlanish transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi faza kuchlanishi sinusoida qonuni bo'yicha o'zgaradi. Kechikish burchagi α bilan belgilanadi va u ventilning tabiiy ochilishi onidan boshlab hisoblanadi. Bu burchak boshqarish yoki rostlash burchagi deyiladi va u elektr graduslarda ifodalanadi.

Vaqtning t_2 onida (6.11 b, e - rasm) faza-kuchlanish ishorasini o'zgartiradi, ventil VS_1 toki nolga tushadi va u yopiladi. Vaqtning $t_2 - t_3$ oralig'ida burchak α teng bo'lganda har ikkala ventil yopiq bo'ladi. Vaqtning t_3 onida VS_2 boshqariluvchi ventil ishga tushadi. Vaqtning t_4 onida VS_2 ventil yopiladi va burchak α ga teng oraliqdan keyin VS_1 tiristor yana ishga tushadi.

Barcha vaqt diagrammalar transformator ideal, yuklama esa aktiv bo'lgan holga mos keladi. Vaqt diagrammasidan to'g'rilangan tok I_d egri chizig'i kuchlanish U_d rostlash burchagi α ning funksiyasi ekanligini ko'rish mumkin va quyidagicha yozish mumkin:

aktiv yuklama uchun:

$$U_{d0\alpha} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \frac{\cos\alpha + 1}{2}$$

aktiv–induktiv yuklama uchun:

$$U_{d0\alpha} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \cos\alpha$$

Tiristordagi teskari kuchlanishning maksimal qiymati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$U_{bmax} = 2U_{2m} = 2\sqrt{2}U_2$$

bunda U_2 – transformator ikkilamchi chulg'ami fazasi kuchlanishining ta'sir etuvchi qiymati.

Yopiq ventildagi to'g'ri kuchlanishning maksimal qiymati $U_{to'g'max}$ kuchlanishi U_2 va rostlash burchagi α ga bog'liq:

$$U_{to'g'} - U_2 \sin\alpha$$

Ventildagi tokning o'rtacha qiymati boshqarilmaydigan to'g'rilagichdagi kabi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$I_a = I_d/2$$

Transformator ikkilamchi chulg'amidagi tokning ta'sir etuvchi qiymati I_2 bilan yuklamadagi to'g'rilangan tok o'rtacha qiymati

I_d orasidagi bog'lanish ham boshqarilmaydigan to'g'rilagichdagi kabi ifoda bilan aniqlanadi:

$$I_2 = \frac{I_d}{\sqrt{2}}$$

Agar integrallash o'qini koordinatalar boshida olingan bo'lsa, rostlash burchagini hisobga olgan holda ikkilamchi chulg'am toki quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$I_2 = \frac{\pi}{2} I_d \frac{\sqrt{\frac{1}{\pi}\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{4}\sin\alpha\right)}}{1 + \cos\alpha}$$

Burchak α ning ortishi bilan ta'sir etuvchi tok qiymatining uning o'rtacha qiymatiga nisbati ortadi. Bu hol to'g'rilagich sxemasi elementlarini hisoblash chog'ida inobatga olinishi kerak.

Transformatorning birlamchi chulg'amidagi tokning ta'sir etuvchi qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I_1 = \frac{\sqrt{2}}{K_t} I_2$$

bunda K_t - to'g'rilagish transformatorining, transformatsiya koeffisienti.

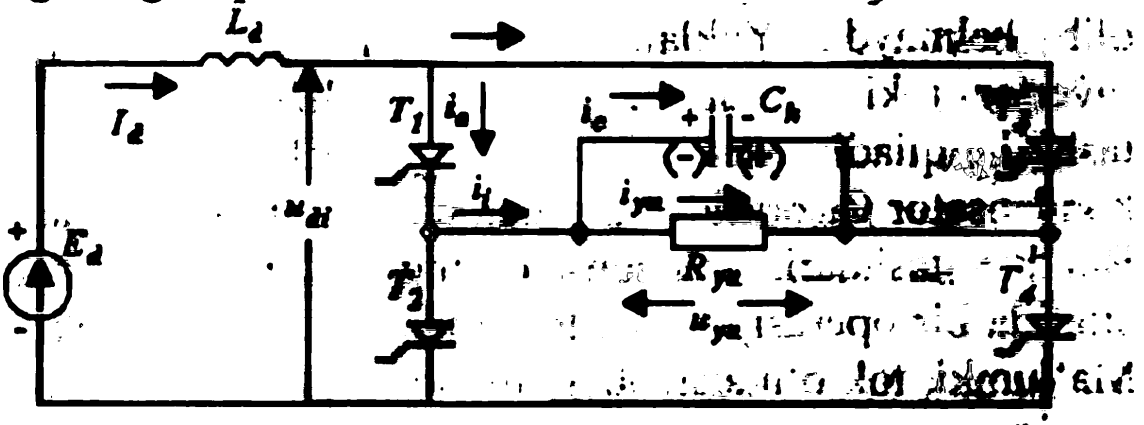
6.6. Avtonom invertorlar va ularning ishlash asoslari

Mustaqil ishlovchi invertorlar avtonom invertorlar deyiladi. Avtonom invertorlar tok invertorlari va kuchlanish invertorlariga bo'linadi.

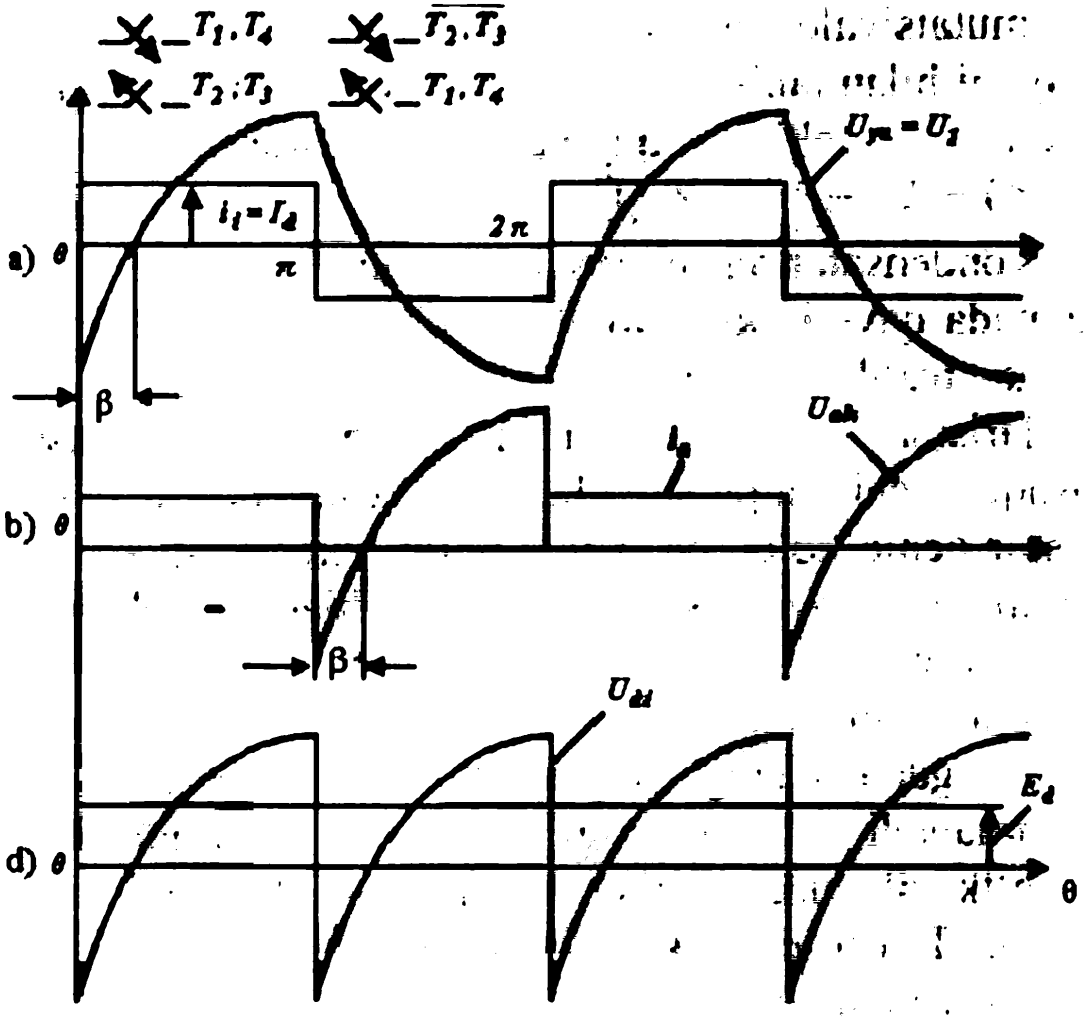
6.12,a-rasmda bir fazali avtonom tok invertori (ATI) sxemasi ko'rsatilgan.

ATIning o'ziga xos hususiyati, kirishdagi drossel induktivligi katta induktivlikka ega bo'lgan ($L_d \to \infty$)ligi uchun, ta'minlash manbayi E_d tok manbayi deb qaralishi mumkin. Yuklama koprik sxema dioganaliga ulangan.Bu holda, ko'prik dioganali orqali o'tuvchi invertor toki i_i ishorasi o'zgaruvchi to'g'ri burchak shaklida bo'ladi va uning chastotasi o'zaro diagonallar bo'yicha

joylashgan tiristorlar (T_1, T_4 va T_2, T_3) ning qayta ulanish chastotasiga bog'luq.



a)



(b)

6.12-rasm. Tok invertorini sxemasi (a) va uning ish rejimi (b)

Ta'minlash manbayi zanjirida katta induktivlikning bo'lishi teskari diodlarning ulanib qolishidan saqlaydi.

Aktiv-induktiv yuklama bo'lganda invertor toki i_i yonalishining o'zgarishi yuklamadagi tokning oniy o'zgarishiga olib kelmaydi. Yuklamaga parallel ulangan kondensator C_k invertor toki o'zgarishi vaqtida yuklama bilan kontur tokini tashkil qiladi va yuklamaning reaktiv elementlari bilan kondensator C_k orasida energiya almashish imkoniyatini yaratadi. Bundan tashqari, kondensatorning mavjudligi kalit element sifatida bir operasiyali tiristorlardan foydalanish imkonini beradi. Ma'lumki, tok o'tkazayotgan tiristorni uzish uchun anod va katod orasiga manfiy kuchlanish berish kerak. Ana shunday kommutatsiyalovchi kuchlanishni hosil qilish uchun ham kommutatsiyalovchi sig'im C_k qo'llaniladi. Tiristorlarni uzish jarayoni bilan tanishib chiqamiz. Tiristorlar T_1, T_4 ulangan vaqtda invertor toki quyidagi kontur orqali o'tadi: $(+Ed) - L_d - T_1 - R_{yu}(C_k) - T_4 - (-E_d)$.

Kondensator eksponensial qonun bo'yicha, 6.12,a-rasmdagi sxemada qavssiz ko'rsatilgan qutb bilan, vaqt doimiysi $\tau = R_{yu}C_k$ bo'lgan tezlik bilan zaryadlanadi (6.12,b-rasm).

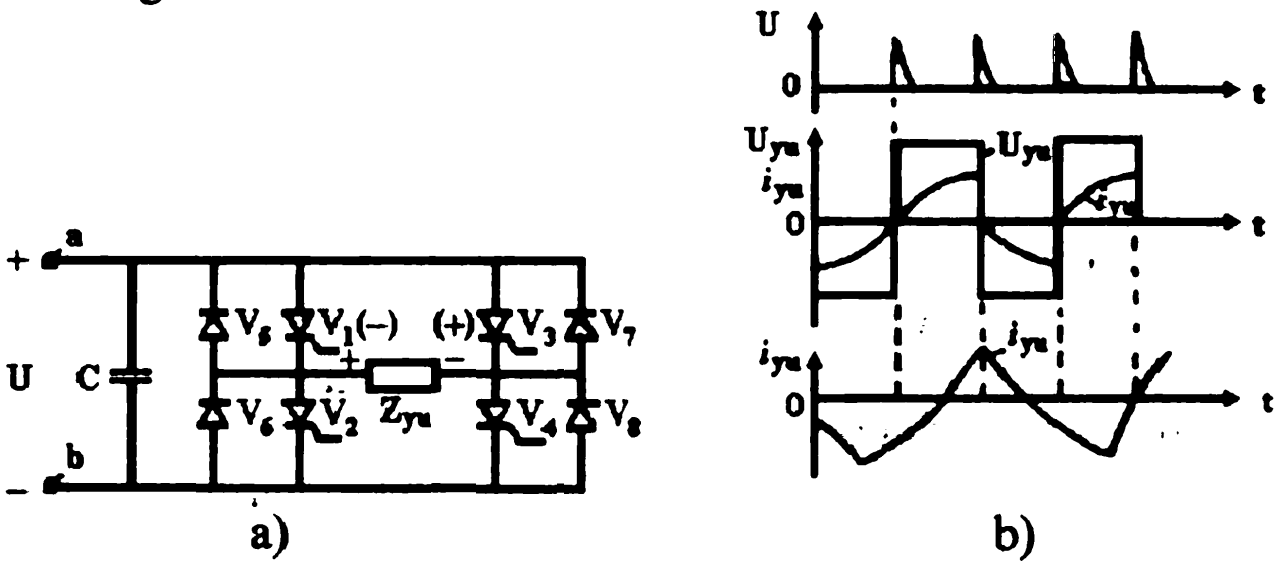
Tiristor T_2, T_3 larning ochilishiga ruxsat beruvchi boshqaruvchi impulslar berilgan vaqt boshida barcha to'rtta tiristor ochiq holda bo'ladi.U holda, sxemadan ko'rinib turibdiki, kommutasiyalovchi kondensator kuchlanishi tok o'tkazib turgan tiristorlarga ularni uzishga olib keluvchi qutb bilan beriladi.Keyinchalik, tok T_2, T_3 tiristorlardan o'tadi, yuklamadagi tok o'ngdan chapga oqadi, kondensator qavs ichida qutbda zaryadlanadi va navbatdagi tiristor T_1, T_4 larning ulanish vaqtida tok o'tkazib turgan tiristorlarning uzilishi uchun sharoit yaratib beradi. Tiristordagi kuchlanish U_{ak} va tiristor toki o'zgarishi 6.12,b-rasmda ko'rsatilgan.

Vaqt diagrammasudan ko'rinib tuibdiki, biror β burchak oralig'ida tiristorga manfiy kuchlanish beriladi va vaqtnung $t_{tikl} = \beta/\omega$ oralig'ida tiristor o'zining boshqarish xususiyatini tiklaydi. Agar tiristor bu vaqt davomida boshqarish xususiyatini tiklayi olmasa, u uzilmaydi. Bunda bir elkaning ikkala tiristori (masalan,

T_1, T_2) tok qtkazadi va ta'minlash manbayi qusqa tutashuv rejimida bo'ladi.

O'z-o'zidan va'lumki, dioganal bo'yicha joylashgan tiristorlar ochilgan vaqtda invertorning kirish kuchlanishi U_{di} kondensator C_k dagi kuchlanishning o'zgarish qonuniyati bilan o'zgaradi. Bu kuchlanishning o'rtacha qiymati ta'minlash manbaining kuchlanishiga teng bo'lishi kerak, chunki induktivlikda o'zgarmas tokdan kuchlanish pasayishi yuzaga kelmaydi.

Kuchlanish invertorlarida kirish kuchlanishining o'zgarmas bo'lishini ta'minlash uchun ular manbaga kondensator *C* orqali ulanadi. 6.13-rasmda avtonom kuchlanish invertorining sxemasi ko'rsatilgan.



6.13- rasm. Avtonom kuchlanish invertorining sxemasi (a) va uning ish rejimi (b)

V_1 va V_4 ventillar ochiq bo'lganida tok V_1 ventil, Z_i iste'molchi va V_4 ventillar orqali o'tadi. Bu vaqtda V_2 va V_3 ventillar yopiq bo'ladi.

Iste'molchidagi Bunda u qisman V_4 va V_6 ventillar, qisman V_1 va V_7 ventillar orqali to'tashadi va nolga tenglashadi. Manbadan kelayotgan tok ochilgan V_2 va V_3 ventillar orqali iste'molchidan o'tadi. tok V_1 ventilga ulangan uchlikdan V_4 ventilga ulangan uchlikka oqib o'tadi. Agar iste'molchi aktiv xaraktyerga ega bo'lsa, tok kuchlanishning shaklini takrorlaydi.

Agar iste'molchi aktiv-induktiv xapaktyerga ega bo'lsa, V_1 va V_4 ventillar yopilib, V_2 va V_3 ventillar ochilganida tok o'z yo'nalishini saqlab qolishga harakat qiladi.

Mazkur tokning yo'nalishi oldingi toknikaga nisbatan qarama-qarshidir. So'ngra V_2 va V_3 ventillar yopilib, V_1 va V_4 ventillar ochiladi va jarayon takrorlanadi. Boshqarilmaydigan V_5, V_6, V_7, va V_8 ventillar boshqariladigan ventillarni shuntlash uchun ishlatiladi. Iste'molchidagi tok va kuchlanishlarning o'zgarish grafigi 6.13, b-rasmda ko'rsatilgan.

6.7. Mustaqil bo'lmagan (Manba bilan bog'langan) invertorlar

Ma'lumki, boshqaruvchi to'g'rilagichning asosiy afzalliklaridan biri – uni inverslovchi rejimga o'tkazish imkonining mavjudligidir. Invertorlar o'zgarmasdan energiyasini o'zgaruvchan tok energiyasiga o'zgartirib beradi. Agar bu o'zgartirish energiyani tarmoqqa berish bilan amalga oshirilsa, bunday invertorlar bog'liq yoki tarmoq manbaiga bog'langan deb ataladi. O'zgaruvchan tok elektr tortish qurilmalarida bir fazali bog'liq invertorlar qo'llaniladi. Sanoat elektr yuritmalarida ham bir fazali ham uch fazali bog'liq invertorlar ishlatiladi.

Inverslash elektrlashgan temir yo'l transportida, metropolitan va shahar transportida asosan rekuperativ tormozlash uchun qo'llanadi.

Temir yo'l elektr harakat tarkibida dvigatelning generator rejimiga, to'g'rilagichning invertar rejimiga o'tishi tufayli harakatlanuvchi poyezd vaznining mehnik energiyasi elektr energiya ko'rinishida tortuvchi tarmoqqa qaytariladi. Shunday qilib, poyezdning to'xtash jarayoni bilan bir vaqtda bu energiya shu zonada bo'lgan boshqa elektrovozni tortish uchun berilishi mumkin.Bir fazali invertorning kuch qismi va boshqarish sxemasi boshqariluvchi to'g'rilagichning ana shunday sxemasiga o'xshash,

shuning uchun boshqariluvchi to'g'rilagichni inverslovchi rejimga o'tkazish qiyin emas.

Boshqariluvchi to'g'rilagich inverslovchi rejimga o'tishi uchun quyidagi shartlar bajarilishi kerak:

1) To'g'rilagich yuklamasi sifatida E.Yu.K. (akkumlyator yoki generator rejimida ishlovchi o'zgarmas tok dvigateli) mavjudligi;

2) Tok yo'nalishi elektr mashinaning E.Yu.K. qarama – qarshi yo'nalishiga mos kelishi kerak;

3) Tok yo'nlishi va transformatorning ventilli chulg'midagi E.Yu.K. yo'nalishlari qarama – qarshi bo'lishi kerak;

4)Transformatorlarning boshqarish burchagi 90^0 el. dan kata bo'lishi kerak;

5) Yuklamada uzluksiz tok bo'lishi rejimi yuklama zanjiriga katta qiymatli induktivlik ulangan holda ta'minlanadi.

Sxema inverslovchi rejimda ishlashi uchun teskari E.Yu.K. E_d kb dvigatel manba vazifasini, transformator – energiya iste'molchisi vazifasini bajarishi kerak. Ma'lumki, manbada E.Yu.K. vat ok yo'nalishlari mos tushadi, iste'molchida ular qarama – qarshi tomonga yo'nalgan. Bunday rejimni ta'minlash uchun transformatorlarni vaqtlarda ulash kerakki, bunda teskari E.Yu.K. E_d ning musbat yo'nalishida transformator ikkilamchi chulg'ami kuchlanishi manfiy bo'lishi kerak. Elektrvozda elektr mashina E.Yu.K. sining ventillarga nisbatan musbat yo'nalishi uyg'otish chulg'amini ta'minlash qutbini o'zgartirish orqali ta'minlanadi. Ikkilamchi chulg'am E.Yu.K. ning qarama-qarshi yo'nalishini tanlash boshqarish tizimi yordamida boshqaruv burchagi $\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \pi$ oralig'ida ta'minlanadi.

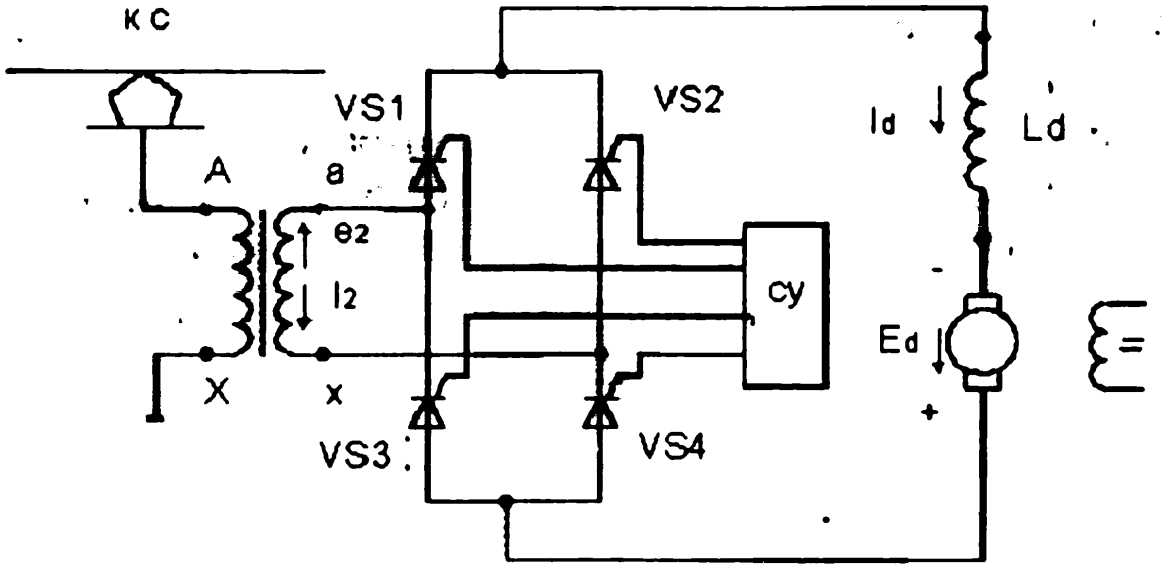
6.14-rasmda o'zgaruvchan tok elektr harakat tarkibida qo'llanuvchi manbaga bog'liq invertorning bir fazali ko'prik sxemasi ko'rsatilgan. Sxemaning ishlashini quyidagi shartlarda ko'rib chiqamiz: transformator va ventillar ideal (X_T=0; $R_{d.to'g'}$=0) va elektr mashinaga ketma- ket ulangan reaktor induktiv qarshiligi zanjirning barcha aktiv qarshiligiga nisbatan yetarli darajada katta qiymatga ega ($X_d \rightarrow \infty$).

Tiristorlar VSI va VSU ning ochiq holatlari vaqtida tok generator (E_d E.Yu.K. li generator) ning musbat qutbidan quyidagi zanjir bo'yicha oqadi:+E_d,VSU, Transformator chulg'ami chiqishi X, chulg'ami boshi a, tiristor VSI, induktivlik X_d, manba E_d ning manfiy qutbi. Tok i_d yo'nlishi E.Yu.K. (bu manba) yo'nlishi bilan mos keladi, transformator chulg'amida tok va kuchlanish yo'nalishlari qarama-qarshi bo'ladi (energiya iste'molchi).

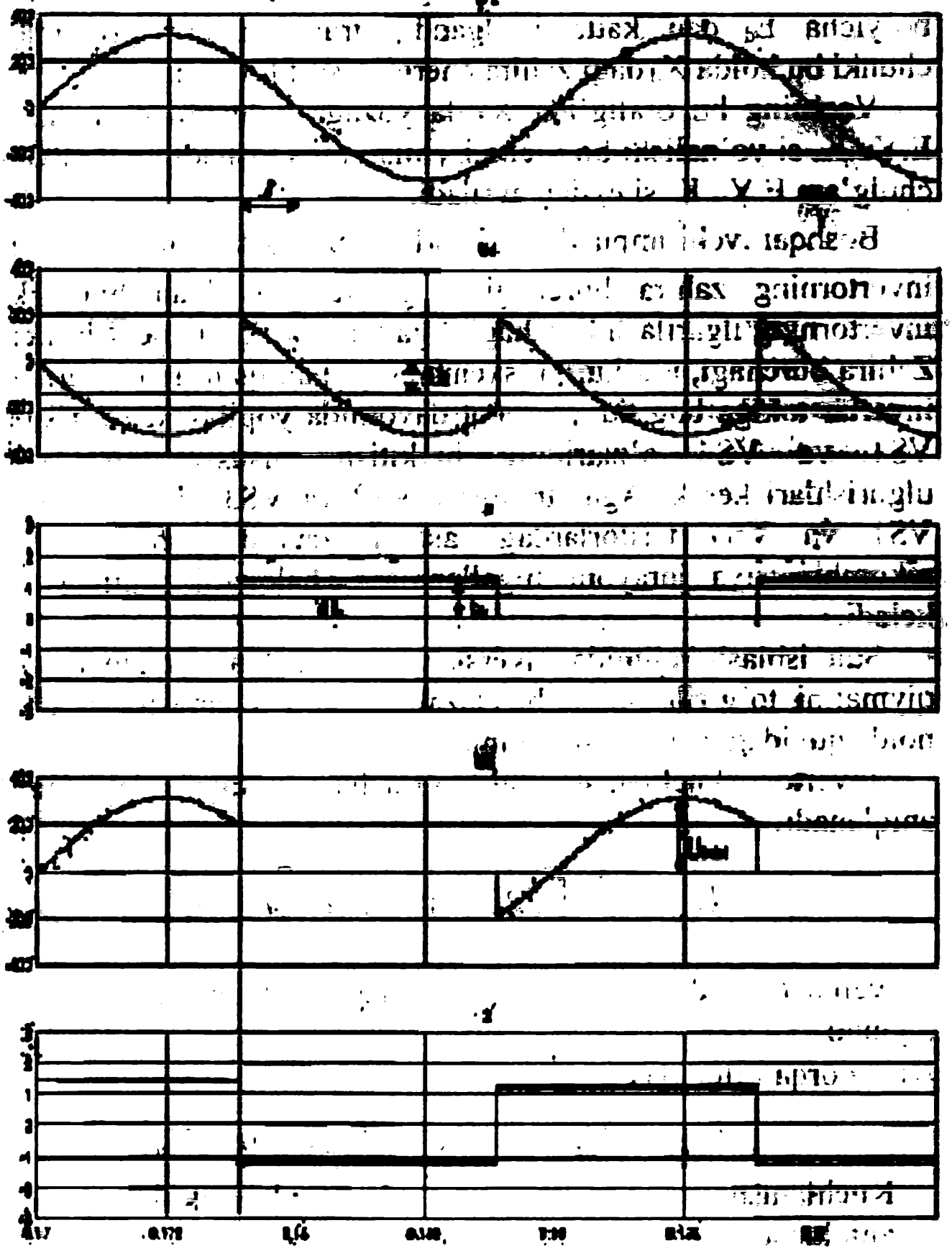
Vaqrning navbatdagi onida boshqaruv tizimi (BT) tiristorlar VS2 va VS3 larni ochadi va transformatorlar VS1 va VS4 yopiladi. Tok manba E_d bo'yicha ilgargi yo'nalishda, transformator chulg'ami bo'yicha teskari yo'nalishda oqadi. Transformator ikkilamchi chulg'ami E.Yu.K. yo'nalishi os xolda teskariga o'zgaradi.

6.14,b - rasmda bir fazali ko'prik sxemali invertorning tok va kuchlanishlari vaqt diagrammalari transformator ideal va yuklama zanjiridagi induktivlik cheksiz katta bo'lgan hol uchun tasvirlngan.

Induktivlik L_d orqali 0 dan T vaqt oralig'ida tok o'tganda E.Yu.K. E_d ning e_2 ning oniy qiymatidan katta va induktivlikda energiya yig'ila boshlaydi.



a)



b)

6.14-rasm. Manba bilan bog'langan invertorning bir fazali ko'prik sxemasi (a) va uning ish rejimi (b)

Transformator ikkilamchi chulg'ami E.Yu.K. si e_2 amplitudasi bo'yicha E_d dan katta bo'lganda, transformator yopilmaydi, chunki bu holda X_d dagi zahira energiya sarf bo'ladi.

Vaqtning bu oralig'ida X_d da yuzaga keluvchi o'zinduksiya E.Yu.K. si yo'nalishi bo'yicha E_d bilan mos tushadi va ikkilamchi chulg'am E.Yu.K. si e_2 dan ayriladi.

Boshqaruvchi impulslar tiristorlar VS2 va VS3 ni π dan oldin invertorning zahira burchagi δ ga teng bo'lgan burchak – invertorning ilgarilash burchagi β ga teng bo'lgnda ochishi kerak. Zahira burchagi, ma'lumki, sxemada qo'llanilgan tristor turiga va invertar tokiga bog'liq. Bu vaqt davomida yopilayotgan tristorlar VS1 va VS4 o'zlarining berkitish xususiyatlarini tiklab ulgurishlari kerak. Agar tristorlar VS2 va VS3 ulanish onlarida VS1 va VS4 tristorlardagi asosiy zaryad tashuvchilarning rekombinatsiya jarayoni tugallanmasa, halokatli rejim yuzaga keladi.

Salt ishlash rejimida inverslanuvchi kuchlanishning o'rtacha qiymatini to'g'rilashning bir fazali ko'prik sxemasiga o'xshash holda quyidagicha yozish mumkin.

Invertor kuchlanishining o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{н\beta} = \frac{1}{\pi}\int_{-\beta}^{\beta}\sqrt{2}U_2 \sin\ \omega t\ d\ \omega t = -U_{но}\cos\ \beta,$$

bu yerda $U_{no} = 0{,}9U_2$ $-\beta = 0$ bo'lgandagi kuchlanishning o'rtacha qiymati.

β ni α orqali ifodalasak:

$$U_{n\beta} = -\ U_{no}\cos(\pi-\alpha) = U_{no}\cos\alpha = U_{n\alpha}.$$

Kuchlanishning o'rtacha qiymati to'g'rilagichniki kabi aniqlanadi:

$$U_{n\alpha} = U_{no}\cos\alpha$$

$\alpha > \frac{\pi}{2}$ bo'lganda o'zgartirgich invertor rejimida ishlaydi.

$\alpha < \frac{\pi}{2}$ bo'lganda o'zgartirgich to'g'rilash rejimida ishlaydi.

$\alpha = \frac{\pi}{2}$ bo'lganda, o'zgartirgich faqat reaktiv quvvat ishlab chiqaradi ($U_{n\alpha} = 0$ bo'ladi).

Ikkita bir xil tiristorli o'zgartirgichlarning ochilish burchaklarini rostlash orqali ulardan birini to'g'rilagich, ikkinchisini esa invertor sifatida ishlatsa bo'ladi. O'zgarmas tok EUL (elektr uzatish liniyalari) da to'g'rilagich sifatida ishlovchi tiristorli o'zgartirgichlar o'rnatiladi. Ular uch fazali o'zgaruvchan tokni pulsatsiyalanuvchi o'zgarmas tokka aylantirib beradi.

EUL orqali o'zgarmas tok uzatiladi. Liniyaning oxirida invertor rejimida ishlovchi tiristorli o'zgartirgich o'rnatiladi. U pulsatsiyalanuvchi o'zgarmas tokni uch fazali o'zgaruvchan tokka aylantiradi. Bunda to'g'rilagich ham, invertor ham bir xil tiristorlarga ega bo'lib, seksiyalardan yig'iladi.

Tiristorli o'zgartirgichlar o'zgarmas tok dvigatellarining tezligini boshqarish va aylanish yo'nalishini o'zgartirishda keng qo'llanadi.

6.8. To'g'rilagich qurilmalarning asosiy parametrlari va ularni hisoblash

Berilgan to'g'rilagich sxemasiga ko'ra chiqishiga aktiv yuklama ulangan «ideal» ventilli va «ideal» transformatorli to'g'rilagich qurilmasini hisoblang. Ventil turi, yuklamadagi to'g'rilangan kuchlanish U_d va tok I_d ning o'rtacha qiymatlari, shuningdek o'zgaruvchan tok bilan ta'minlovchi tarmoq kuchlanishining ta'sir etuvchi qiymati U_l lar berilishiga ko'ra quyidagilarni bajarish lozim:

1.To'g'rilagich qurilmaning prinsipial sxemasini chizish.

2.Ventillar tanlash.

3.Transformatorning asosiy loyiha parametrlarini aniqlash.

4. Kuchlanish va toklarning vaqt diagrammalarini quyidagilar uchun quring:

a) transformatorning birlamchi chulg'amida;

b) transformatorning ikkilamchi chulg'amida;

d) yuklamada;

e) ventilda.

5. Tekislovchi filtrni tanlang va hisoblang.

To'g'rilagich ventilini shunday tanlanadiki, bunda ventil orqali o'tuvchi o'rtacha I_a va maksimal $I_{a\ max}$ toklar qiymatlari va undagi teskari kuchlanish $U_{v\ max}$ ruxsat etilgandan ortib ketmasligi kerak. Bu qiymatlar to'g'rilash sxemasiga bog'liq holda to'g'rilangan tok I_d va kuchlanish U_d larning berilgan qiymatlariga ko'ra aniqlanadi.

To'g'irlagich sxemalariga mos holda toklar va kuchlanishlar orasidagi munosabatlar 6.1-jadvalda keltirilgan va quyidagi belgilashlar kiritilgan:

U_d –to'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymati;

$U_{v\ max}$-teskari kuchlanishning maksimal qiymati;

I_a –ventil orqali o'tuvchi tokning o'rtacha qiymati;

$I_{a\ max}$ –ventil orqali o'tuvchi tokning maksimal qiymati;

I_d –to'g'rilangan tokning o'rtacha qiymati;

$P_d = U_d I_d$ - to'g'rilangan tokning quvvati;

K_t –transformatorning $\frac{U_1}{E_2}$ (bunda E_2 –transformator bitta o'rami fazasining e.yu.k.) nisbatdan aniqlanuvchi transformatsiya koeffitsiyenti;

K_{pl} –filtr kirishidagi pulsatsiya koeffitsiyenti;

P_t –transformator quvvati.

Jadvalning 2, 3 va 4 kataklarida ko'rsatilgan nisbatlardan olingan kattaliklar qiymatlari shunday parametrlarki, ular asosida katologdan ventillar tanlanadi.

6.1-jadval

To'g'irlagich sxemalariga mos holda toklar va kuchlanishlar orasidagi munosabatlar

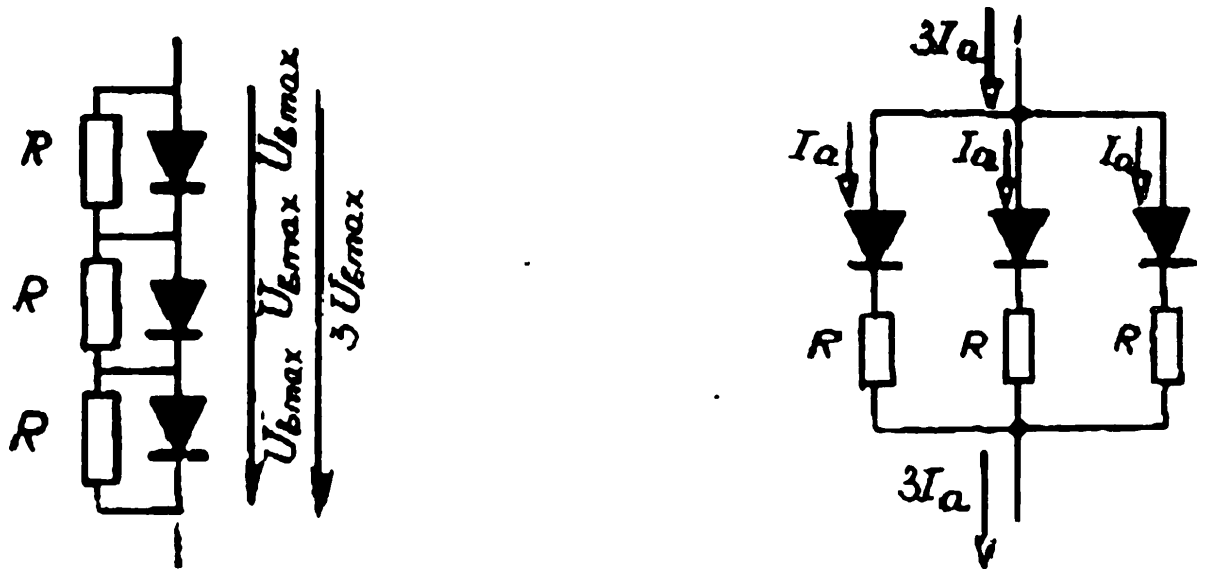
To'g'rilash sxemasi	Ventillar parametrlari			Transformator parametrlari				
	$\frac{I_{a\,max}}{U_d}$	$\frac{I_a}{I_d}$	$\frac{I_{a\,max}}{I_d}$	$\frac{U_2}{U_d}$	$\frac{I_2}{I_d}$	$\frac{I_1}{I_d}$	$\frac{P_1}{P_d}$	K_{n1}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nol chiqishli ikki yarim davrli	3,14	0,5	1,57	1,11	0,787	$\frac{1,11}{K_T}$	1,48	0,667
Bir fazali ko'prik	1,57	0,5	1,57	1,11	1,11	$\frac{1,11}{K_T}$	1,23	0,667
Nol chiqishli uch fazali	2,09	0,33	1,21	0,855	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{2}}{3K_T}$	1,35	0,25
Uch fazali ko'prik (Larionov sxemasi)	1,05	0,33	1,47	0,437	0,817	$\frac{0,817}{K_T}$	1,05	0,057

Agar to'g'rilagichning hisobiy teskari kuchlanishi bitta ventilning U_{vmax} teskari kuchlanishidan oshib ketsa, ventillarni ketma-ket ulash qo'llaniladi (6.15,a-rasm).

Buning uchun ventillardan har birini ventilning teskari qarshiligidan darajasi bir tartibga kichik (yuzlab *kOm*) bo'lgan qarshilik bilan shuntlanadi. Bu o'z navbatida teskari kuchlanishning ventillar o'rtasida tekis taqsimlanishini ta'minlaydi.

Katta qiymatli to'g'ri toklarni o'tkazish uchun ventillar parallel ulanadi (6.15,b- rasm). Agar germaniyli va kremniyli ventillar ishlatilayotgan bo'lsa, u holda to'g'ri tokni tekis taqsimlash uchun

uncha kata bo'lmagan (*Om* ning ulushiga teng) qo'shimcha qarshilik ulash kerak.



a)

b)

6.15 – rasm. Ventil(diod)larni ketma-ket (a) va parallel (b) ulash

Selenli ventillar parametrlari bo'yicha unchalik farq qilmaganligi sababli ular muvozanatlovchi qarshiliklarsiz ketma-ket va parallel ulanishlari mumkin.

Transformatorning asosiy loyiha parametrlarini undagi isroflarni hisobga olmagan holda taqriban aniqlanadi. Uning loyiha parametrlariga quyidagilar kiradi: ikkilamchi chulg'am fazasining kuchlanishi va toki (ta'sir etuvchi qiymati), birlamchi chulg'am fazasining kuchlanishi va toki, transformatorning tipik quvvati. Bu kattaliklarning to'g'rilangan kuchlanish va toklarga nisbatlari odatda, 6.1-jadval shaklida keltiriladi.

Chizig'iy yoki vaqt diagrammasi deb bir sxemaning turli qismlaridagi kuchlanishlar va toklarning vaqt bo'yicha o'zgarish grafigiga aytiladi.

Diagrammalar abssissa o'qi bo'yicha vaqtning yagona masshtabida biri boshqasi ustida shunday joylashtiriladiki, bunda grafikning ixtiyoriy vertikal kesimidagi barcha kattaliklar qiymatlari ayni bir vaqt qiymati mos keladi. Toklar va kuchlanishlar ordinata o'qlari bo'yicha ixtiyoriy masshtabda

ko'rsatiladi. Diagrammalar kamida bir yarim davr oralig'i uchun quriladi.

To'g'rilagichlar juda kam hollardagina sof aktiv yuklamaga ulanadi, chunki to'g'rilagich chiqishidagi to'g'rilangan kuchlanishning katta pulsatsiyalari iste'molchi ishiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Masalan, tortuvchi dvigatellarni pulsatsiyali kuchlanish bilan oziqlantirish vaqtida dvigatelda tok kommutatsiyasi sharoitlari yomonlashadi va isroflar ortadi. Shuning uchun yuklamadagi kuchlanish pulsatsiyalarini qurilmalar ishiga salbiy ta'siri bo'lmaydigan darajada kamaytirish kerak.

6.9. Bo'limga doir masala Yechish namunalari

6.1- namuna. П – simon induktiv - sig'imli filtrga ega bo'lgan to'g'rilagich sxemasi 6.9.1-rasmda keltirilgan.

Yuklamaning nominal kuchlanishi 100 V, nominal quvvat 50 W ruhsat etilgan pulsatsiya koeffitsiyenti 0,5% , o'zgaruvchan tok tarmog'idan chastotasi 50 Hz bo'lgan 220 V kuchlanish berilgan.

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

Yechish.

1. Ventillarni tanlash.

Yuklama toki quyidagi ifodadan topiladi:

$$I_d = \frac{P_H}{U_d} = \frac{50}{100} = 0{,}5\ A$$

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

$$I_a = \frac{I_d}{2} = \frac{0{,}5}{2} = 0{,}25\ A$$

Ventildagi teskari maksimal kuchlanish:

$$I_{a.max} = 1.57 \cdot U_d = 1.57 \cdot 100 = 157\ B$$

Ventilning KD105B turini tanlaymiz, ular uchun:

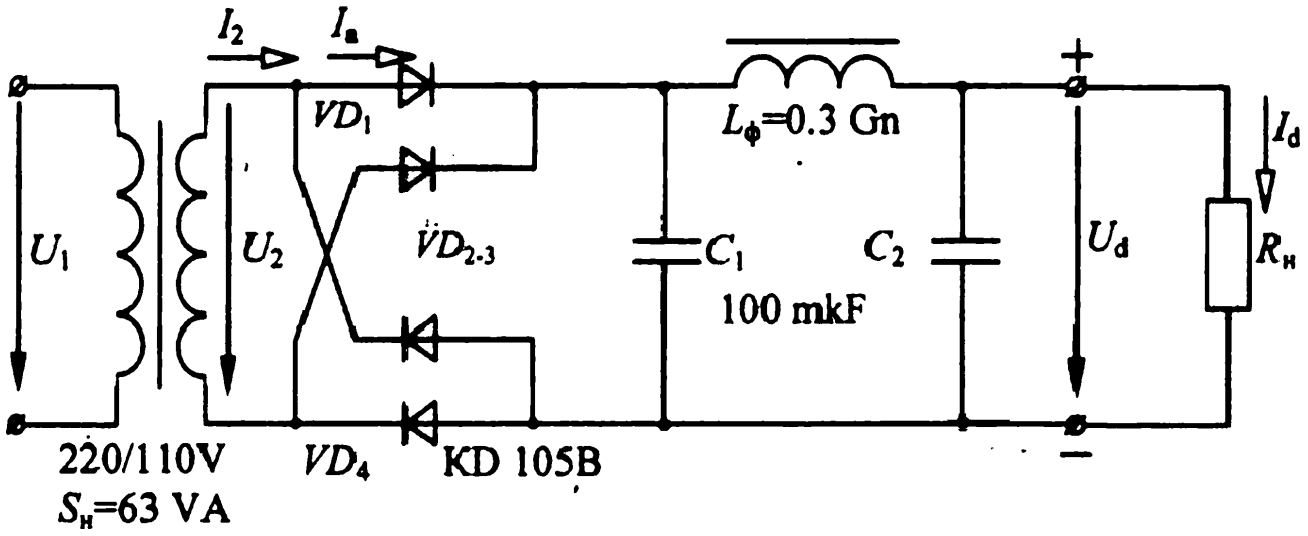
$$I_{a\ rux} = 0{,}3\ A > I_a = 0{,}25\ A$$

$$U_{b\,ruxs} = 400\,B > U_{b\,max} = 157\ B$$

2. Transformator parametrlarini aniqlash.

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

$$U_2 = 1{,}11 \cdot U_d = 1{,}11 \cdot 100 = 111\ B$$



6.9.1- rasm

Bunga asosan transformatorning transformatsiya koeffitsiyentini topamiz:

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

Transformatorning hisobiy quvvati:

$$S_{his} = 1{,}23 \cdot P_l = 1{,}23 \cdot 50 = 61{,}5\ B.A$$

Hisoblangan kattaliklar asosida standart transformatorni tanlaymiz:

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

3. Filtr parametrlarini aniqlash.

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

$$q_1 = 0{,}67$$

Talab etilgan pulsatsiyalar koeffitsiyenti:

$$q_2 = 0{,}005$$

Filtrning tekislash koeffitsiyenti:

$$K_F = \frac{q_1}{q_2} = \frac{0,67}{0,005} = 134$$

П – simon filtr oddiy С – filtrdan va Г – simon LC – filtrdan iborat. Uning tekislash koeffitsiyenti:

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

Filtr kondensatorlari sig'imini $C_1 = C_2 = 100$ *мкF* deb qabul qilamiz. U holda,

$$K_C = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot m \cdot C_1 R_I = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \doteq 12,6$$

Bunda m - to'g'rilangan kuchlanishning bir davr ichidagi pulsatsiyalari soni;

R_{yu} – yuklama qarshiligi, u quyidagicha aniqlanadi:

$$R_{yu} = \frac{U_d}{I_d} = \frac{100}{0,5} = 200\ Om$$

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

$$K_{LC} = \frac{K_\Phi}{K_C} = \frac{134}{12.6} = 10,6$$

LC - filtr uchun:

$$L_F C_2 = \frac{K_{LC}}{(2\pi f m)^2} = \frac{10.6}{(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2)^2} = 26,8 \cdot 10^{-6}\ Gn \cdot F$$

$C_2 = 100\ mkF$ ekanligini hisobga olsak , u holda

$$L_\Phi = \frac{L_\Phi C_2}{C_2} = \frac{26,8 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-6}} \approx 0,3\ Gn$$

Filtrning parametrlari $C_1 = C_2 = 100\ mkF$, $L_F = 0,3\ Gn$ uning quyidagi samarali ishlash shartini qanoatlantiradi:

$$\frac{1}{m\omega C_F} << R_I \text{ va } m\omega L_F >> R_I$$

Rezyume

- To'g'rilagich-o'zgaruvchan tokni bevosita o'zgarmas tokka aylantiruvchi qurilma.
- Ta'minlash tarmog'i fazalari soniga ko'ra to'g'rilagichlarning bir va uch fazali sxemalari mavjud.
- To'g'rilagich sxemasi ventilning ishlash prinsipiga, qurilmalarning quvvatiga va boshqa texnik talablarga qarab tanlanadi.
- To'g'rilagichlarning bir fazali sxemalarida to'g'rilash bir yoki ikki pulsli bo'ladi.
- To'g'rilagichlarning ko'p fazali sxemalarida to'g'rilash q = km (k=1,2,3...) pulsli bo'ladi.
-To'g'rilagich chiqishidagi to'g'rilangan kuchlanishning pulsatsiyalari iste'molchi ishiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.
- To'g'rilagich chiqishidagi to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyalarini qurilmalar ishiga salbiy ta'siri bo'lmaydigan darajada kamaytirish kerak.
- To'g'rilangan tokning shaklini o'zgarmas tok shakliga yaqinlashtirish (pulsatsiyalanishni kamaytirish) maqsadida to'g'rilagichning chiqishiga iste'molchidan oldin tekislovchi filtrlar o'rnatiladi.
-To'g'rilagichlarni hisoblashda o'zgartiruvchi transformator parametrlari, to'g'rilagichning bitta yelkasiga to'g'ri keluvchi ventillar tipi va soni, tekislovchi filtrlar sxemasi va parametrlari, to'g'rilagichning energetik ko'rsatkichlari aniqlanadi.
- Hisoblash uchun dastlabki ma'lumotlar sifatida to'g'rilangan kuchlanish, tok va ta'minlash tarmog'ining nominal qiymatlari beriladi.
- Kuchlanish stabillagichi -to'g'rilagichning chiqishidagi kuchlanishning stabilligini ta'minlash uchun to'g'rilagich bilan iste'molchining orasiga ulanadi.
- Parametrik stabillagichlarda tokning qiymati o'zgargani bilan kuchlanish o'zgarmaydigan stabilitron asboblardan foydalaniladi.

- Kompensatsion stabillagichlarda iste'molchiga berilayotgan kuchlanishni avtomatik rostlash prinsipidan foydalaniladi.

- Invertor-o'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokka aylantirib beruvchi qurilma.

- Inverslash jarayoni to'g'rilash jarayoniga teskaridir.

- Avtonom invertorlar - mustaqil ishlovchi invertorlar.

Nazorat uchun savollar

1. To'g'rilagichlarning vazifasi nimadan iborat ?

2. Bir fazali o'zgaruvchan tok to'g'rilagich ishlash asosi qanday?

3. O'zgaruvchan tok to'g'rilagich xarakteristikalarini ko'rsating.

4. To'g'rilanish koeffitsiyenti nima ?

5. Uch fazali o'zgaruvchan toklar qanday to'g'rilanadi ?

6. To'g'rilangan tokni o'rtacha qiymati qanday aniqlanadi ?

7. Iste'molchidagi to'g'rilangan kuchlanish qiymati qanday ?

8. Filtrlarning vazifalari nimadan iborat ?

9. Filtr sxemalarining turlari qanday ?

10. Filtr va kuchlanish grafiklari qanday ko'rinishga ega ?

11. Stabillagichning vazifasi nimadan iborat ?

12. Stabillagichning qanday turlarini bilasiz ?

13. Parametrik kuchlanish stabillagich ish asosi qanday ?

14. Kompensatsion kuchlanish stabillagich ish asosi qanday ?

15. Stabillash koeffitsiyentlari qanday qiyoslanadi ?

16. Invertor deb qanday qurilmaga aytiladi ?

17. Invertorlarning ishlash asosi qanday ?

18. Invertorlarning qanday turlari mavjud ?

19. O'zgartirgich to'g'rilash rejimidan inverslash rejimiga qanday o'tkaziladi?

20. Avtonom tok invertori ishlash asosi qanday ?

21. Manba bilan bog'langan invertorning ishlashini tushuntiring.

7. Kuchaytirgichlar

7.1. Kuchaytirgichlarning sinflanishi, asosiy parametrlari va xarakteristikalari

Avtomatik boshqarish sistemalari, radiotexnika, radiolokatsiya va boshqa sistemalarda kichik quvvatli signallarni kuchaytirish uchun kuchaytirgichlardan foydalaniladi. Kichik quvvatli o'zgaruvchan signalning parametrlarini buzmasdan doimiy kuchlanish manbayining quvvati hisobiga kuchaytirib beruvchi qurilma kuchaytirgich deb ataladi.

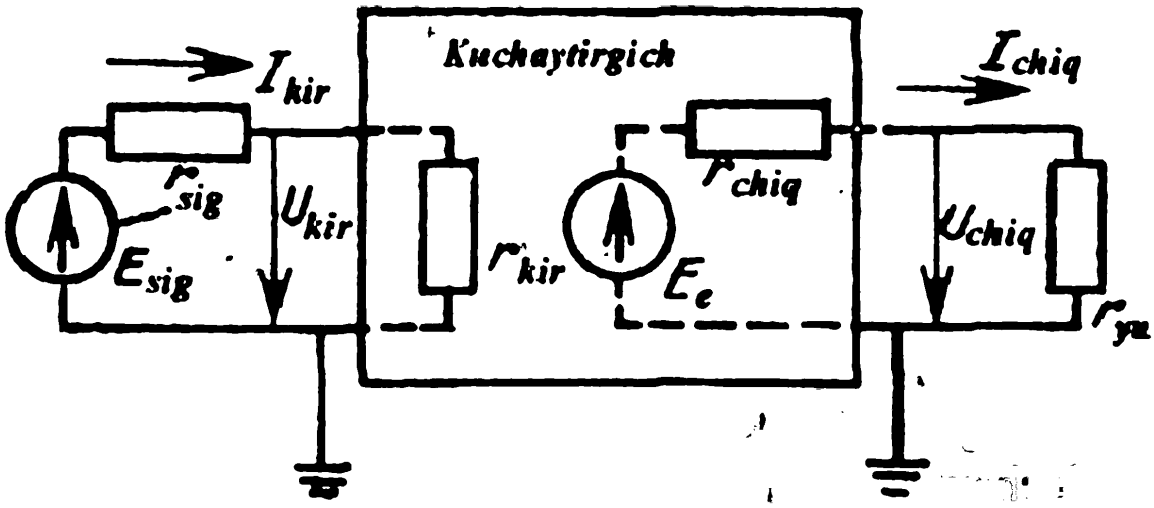
Kuchaytirgichning vazifasi signal quvvatini oshirishdan iboratdir, ya'ni kuchaytirgich chiqishidagi tebranishlar quvvati uning kirishidagi tebranishlar quvvatidan katta bo'lishi kerak. Ammo bu quvvatning kuchayishi ko'pincha kuchaytirgich ishining xususiyatiga xos emas. Ko'p hollarda dastlab signal kuchlanishi yoki toki tebranishining amplitudasini kattalashtirish kerak va faqat shundan keyingina quvvatni oshirish uchun kuchaytirgich kirishiga kuchaytirilgan signal berish kerak. Bunday dastlabki kuchaytirishda signal quvvati oshadi, lekin absolyut kattaligi oz bo'ladi. Bu yerda tok yoki kuchlanishni kuchaytirish anchagina o'ziga xos va ahamiyatlidir. Shu sababga ko'ra kuchaytirish texnikasida kuchlanish, tok va quvvat kuchaytirgichlariga ajratish qabul qilingan.

Har qanday kuchaytirgich 7.1-rasmda ko'rsatilganidek kirish qismalari tomonidan qandaydir kirish qarshiligi r_{kir} ga ega.

Signal manbayini xuddi manba eyuk E_{sig} kabi qarash mumkin, u ichki r_{sig} ga ega. Kuchaytirgich chiqish qismasi tomonidan energiya manbayi bo'lib, ichki qarshilik r_{chiq} ga ega.

Kuchlanish kuchaytirgichi nisbatan katta kirish qarshiligi r_{kir} ga ega bo'lishi kerak, shunda signal manbayini u eng kam yuklamalaydi, uning chiqish qarshiligi r_{chiq} esa bir necha marta

yuklama qurilmasining qarshiligi r_{yu} dan yoki keyingi kuchaytirish kaskadining kirish qarshiligidan katta bo'lishi kerak.



7.1-rasm. Kuchaytirgichning namunaviy sxemasi

Quvvat kuchaytirgichi yuklama qurilmasining ma'lum qarshiligida eng ko'p quvvatni uzatish uchun mo'ljallangan. Bunday uzatishning asosiy sharti qarshiliklarni moslashdir. Quvvat kuchaytirgichining chiqish qarshiligi taxminan yuklama qurilmasining qarshiligiga teng bo'lishi kerak. U vaqtda energiya uzatish fik faqat 50% ni tashkil qiladi, ya'ni taminlash manbayi energiyasining yarmi kuchaytirgich ichida yo'qoladi. Lekin bu yo'qolish absolyut kattaligi bo'yicha odatda juda kam bo'lib ta'minlash manbayi hisobiga qoplanadi, shuning uchun ular hal qiluvchi ahamiyatga ega emas.

Kuchaytirgich qurilmasi kuchaytiruvchi element, rezistor, kondensator, chiqish zanjiridagi doimiy kuchlanish manbayi hamda iste'molchidan iborat. Bitta kuchaytiruvchi elementi bo'lgan zanjir kaskad deb ataladi. Kuchaytiruvchi element sifatida qanday element ishlatilishiga qarab kuchaytirgichlar elektron, magnitli va boshqa xillarga bo'linadi. Ish rejimiga ko'ra ular chiziqli va nochiziqli kuchaytirgichlarga bo'linadi. Chiziqli ish rejimida ishlovchi kuchaytirgichlar kirish signalini uning shaklini o'zgartirmasdan kuchaytirib beradi. Chiziqli bo'lmagan ish

rejimida ishlovchi kuchaytirgichlarda esa kirish signali ma'lum qiymatga erishganidan so'ng chiqishdagi signal o'zgarmaydi.

Chiziqli rejimda ishlaydigan kuchaytirgichlarning asosiy xarakteristikasi amplituda - chastota xarakteristikasi (AChX) dir. Ushbu xarakteristika kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentining moduli chastotaga qanday bog'liqligini ko'rsatadi. AChX siga ko'ra chiziqli kuchaytirgichlar tovush chastotalar kuchaytirgichi (TChK), quyi chastotalar kuchaytirgichi (QChK), yuqori chastotalar kuchaytirgichi (YuChK), sekin o'zgaruvchan signal kuchaytirgichi yoki o'zgarmas tok kuchaytirgichi (O'TK) va boshqalarga bo'linadi.

Kuchaytirgichning eng muhim miqdoriy xarakteristikasi uning kuchaytirish koeffitsiyentidir. Bu chiqish kattaligi son qiymatining o'zgarishini kirish kattaligi son qiymatining o'zgarishiga bo'lgan nisbatidir. Agar kuchaytirilayotgan kattalik garmonik tebranishli bo'lsa, bu holda kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti $K_U = U_{mchiq} / U_{mkir}$, tokni kuchaytirish koeffitsiyenti I_{mchiq} / I_{mkir}, quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti $K_P = P_{mchiq} / P_{mkir}$, bunda P- tegishli o'rtacha quvvati, U_m, I_m, esa kuchlanishlar va toklarning tegishli amplituda qiymatlari.

Bitta tranzistor yoki elektron lampa orqali olinayotgan kuchaytirish ko'p hollarda ish mexanizmini ishga tushirish uchun yetarli bo'lmaydi.

Signalni kuchaytirishni oshirish uchun kuchaytirgich kaskadlari ketma-ket ulanadi bir qancha kaskadlar dan tashkil topgan murakkab kuchaytirgich vujudga keladi. Unda birinchi kaskadning chiqish zanjiridagi kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi ikkinchi kaskadning kirishiga beriladi va hokazo.

Ko'p kaskadli kuchaytirgichlarda ko'pincha birinchi kaskadlar kuchlanish kuchaytirgichlari, oxirgi ikkitasi esa quvvat kuchaytirgichlari bo'lib xizmat qiladi, lekin kuchaytirgich bitta tipli, ya'ni faqat kuchlanish kuchaytirgichlardan tashkil topgan bo'lishi mumkin.

Kuchaytirgichning qator xususiyatlari kaskadlar orasidagi bog'lanishni amalga oshirish usuliga bog'liq. Asosiy usullar: sig'imli (kondensator orqali), transformatorli (transformator orqali) va galvanik (rezistor orqali) turlarga bo'linadi. Kuchaytirgichlarda hammadan ko'ra sig'imli va galvanik bog'lanishlar ko'proq qo'llaniladi. Transformatorli bog'lanish ba'zan, quvvat kuchaytirgichining chiqishida yuklama qurilmasining qarshiligi r_{yu} ni kuchaytirgichning chiqish qarshiligi bilan moslash uchun qo'llaniladi.

Transformatsiya koeffitsiyenti $n_{12} = \omega_1 / \omega_2$ bo'lgan transformator orqali ulangan yuklama qurilmasining qarshiligi chiqish zanjiriga bevosita ulangan rezistor qarshiligiga ekvivalent, uning qarshiligi $r'_{yu} = n_{12}^2 r_{yu}$ bo'ladi. Shunday qilib, qarshiliklarni transformatorning tegishli transformatsiya koeffitsiyentini (o'ramlar sonining nisbatini) tanlash yo'li bilan moslash mumkin, bunda $r_{chiq} = n_{12}^2 r_{yu}$ bo'lishi kerak.

Reaktiv elementlar kondensator va transformatorlarning kuchaytirgich kaskadlari orasidagi bog'lanish uchun ishlatilishi kuchaytirgichning hamma kaskadlarini ta'minlash maqsadida bitta energiya manbayidan foydalanish masalasini soddalashtiradi, chunki bu elementlar ayrim kaskadlarning o'zgarmas tok zanjirlarini ajratadi.

Ko'p kaskadli kuchaytirgichning umumiy kuchaytirish koeffitsiyenti uning ayrim kaskadlarining kuchaytirish koeffitsiyentlari ko'paytmasiga teng.

Ko'pincha kuchaytirish zanjiri reaktiv elementlardan iborat bo'ladi. Ulardan ba'zilari kondensator va transformatorlar. Ammo ulardan tashqari kuchaytirgichda parazit reaktiv elementlarning mavjudligi muqarrar, ular kuchaytirgichning ayrim qismlari orasidagi sig'imlarni, elektron lampalarning ichki sig'imlari va hokazoni belgilaydi.

Hamma reaktiv elementlarning o'tkazuvchanligi chastotasiga bog'liq bo'lganligi uchun kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti u yoki bu darajada chastotaga ham bog'liq. Shuning uchun kuchaytirgichning muhim xarakteristikalaridan biri uning o'tkazish polosasi bo'ladi. U chastotalarning yuqorigi va pastki chegaralari bilan aniqlanadi. Shu chastotalar orasidagi chegaralarda ushbu kuchaytirgichning ishi ma'lum talablarni qanoatlantiradi deb hisoblash mumkin.

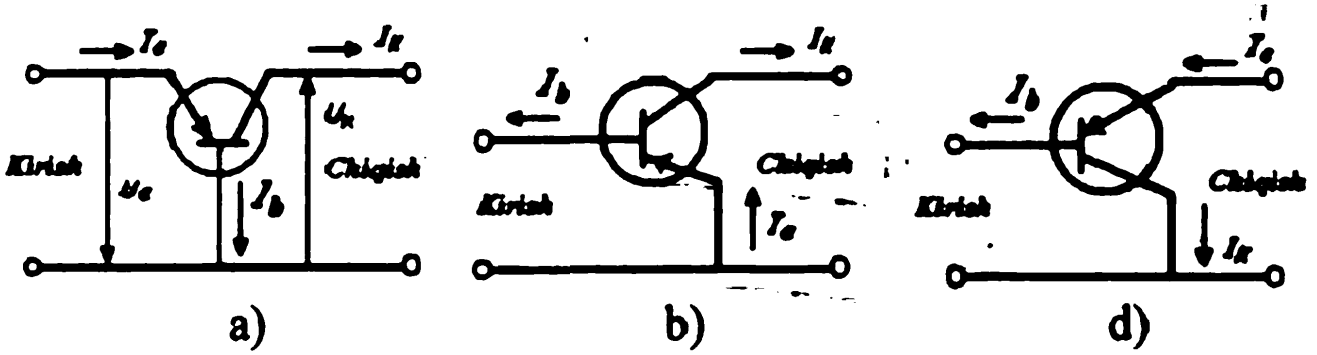
Kuchaytirish koeffitsiyentining nominal qiymati kuchaytirgichdagi reaktiv elementlarning ta'sirini hisobga olmasa bo'ladigan chastotaga mos keladi.

7.2. Bipolyar va maydonli tranzistorlardagi kuchaytirgichlar

Hozirgi vaqtda eng keng tarqalgan kuchaytirgichlarda kuchaytiruvchi element sifatida ikki qutbli yoki bir qutbli tranzistorlar ishlatiladi. Kuchaytirish quyidagicha amalga oshiriladi. Boshqariladigan element (tranzistor) ning kirish zanjiriga kirish signalining kuchlanishi (u_{kir}) beriladi. Bu kuchlanish ta'sirida kirish zanjirida kirish toki hosil bo'ladi. Bu kichik kirish toki chiqish zanjiridagi tokda o'zgaruvchan tashkil etuvchini hamda boshqariladigan elementning chiqish zanjirida kirish zanjiridagi kuchlanishdan ancha katta bo'lgan o'zgaruvchan kuchlanishni hosil qiladi. Boshqariladigan elementning kirish zanjiridagi tokning chiqish zanjiridagi tokka ta'siri qancha katta bo'lsa, kuchaytirish xususiyati shuncha kuchliroq bo'ladi. Bundan tashqari, chiqish tokining chiqish kuchlanishiga ta'siri qancha katta bo'lsa (ya'ni R_i katta), kuchaytirish shuncha kuchliroq bo'ladi.

Tranzistorli kuchaytirgichlar uchun kuchaytirgich kaskadining umumiy elektrodini (bu elektrod bir vaqtda asbobning kirish va chiqish zanjirlariga kiradi) tanlashga qarab tranzistorni ulashning uchta asosiy sxemasi mavjud. Umumiy elektrod, odatda yerga

ulanadi. Umumiy bazali tranzistorlarni ulash sxemasi qisqacha UB sxema deb atalib, 7.2-rasmda keltirilgan.



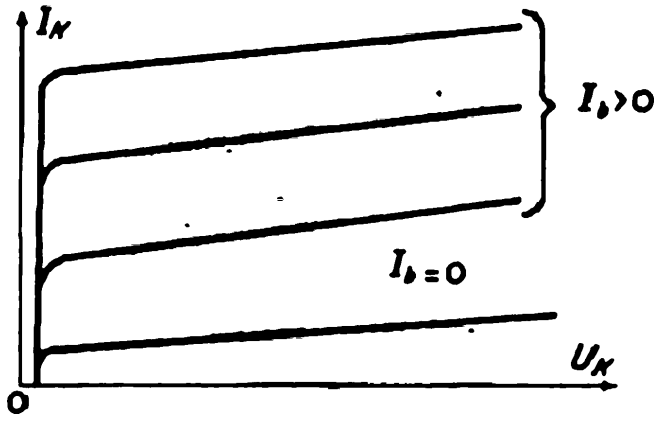
7.2-rasm. Tranzistorlarni ulashning umumiy bazali(a), umumiy emitterli(b) va umumiy kollektorli(d) sxemalari

Bu sxema tranzistorning fizik xususiyatlarini ko'proq yaqqol ko'rsatish imkonini beradi. Lekin unda quyidagi kamchiliklar bor: tranzistorni bunday ulashda tok kuchaymaydi, kuchaytirgichning kirish qarshiligi nisbatan kichik, chiqishi $r_{chiq} = r_K = \Delta U_K / \Delta I_K$ esa katta, quvvat nisbatan oz kuchayadi, chunki faqat kuchlanishga bog'liqdir! Shu sabablarga ko'ra, ko'p hollarda tranzistorni ikkinchi ulash sxemasi umumiy emitterli UE sxema (7.2-rasm afzal hisoblanadi. Bu yerda kirish toki baza toki $I_б$, chiqishda esa kollektor toki $I_к$ bo'ladi. Bu toklarning nisbati, UE sxema bo'yicha kuchaytirgich kaskadining tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentini aniqlaydi. Umumiy holda kuchaytiriladigan o'zgaruvchan tokning berilgan chastotasi uchun tokning kuchaytirish koeffitsiyenti K_i xuddi shunday tokning uzatish koeffitsiyenti α kabi kompleks miqdordir.

Kirxgofning birinchi qonuniga asosan $I_K = I_E - I_B$, agar $I_K = \alpha I_E$ bo'lsa, u holda $\kappa_i = I_K / I_B = \alpha/(1-\alpha) = \beta$.

Bunda $\alpha/(1-\alpha) = \beta$ – kattalikni baza tokini uzatish koeffitsiyenti deb atash qabul kilingan. Ushbu sxema uchun u tok β kuchaytirish koeffitsiyentiga teng (taxminan, chunki I_{KO} hisobga olinmagan). $\alpha = 0{,}95–0{,}98$ ning odatdagi qiymatida bu koeffitsiyent $\beta = 20–50$.

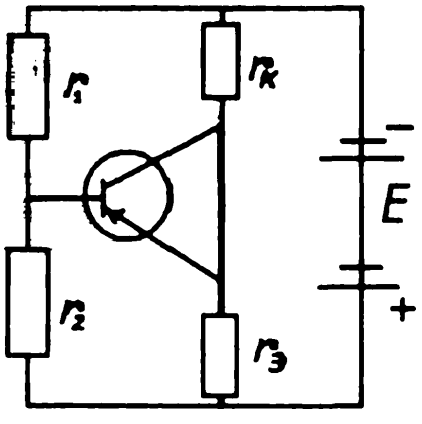
Bu sxema uchun kollektor xarakteristikasi 7.3-rasmda keltirilgan bo'lib UB sxema xarakteristikasiga o'xshash juda qiya emas.



7.3-rasm. Umumiy emitterli sxemaning kollektor (chiqish) xarakteristikasi

Buning natijasida β emitter toki va kollektor kuchlanishiga α ga qaraganda ko'proq bog'liq. Ammo UE sxemaning u yoki bu kamchiliklari katta quvvat kuchaytirilishi va tok kuchaytirilishi kabi afzalliklari bilan qoplanadi. Umumiy kollektorli UK sxemadan (7.2-rasmga qarang) uncha foydalanilmaydi.

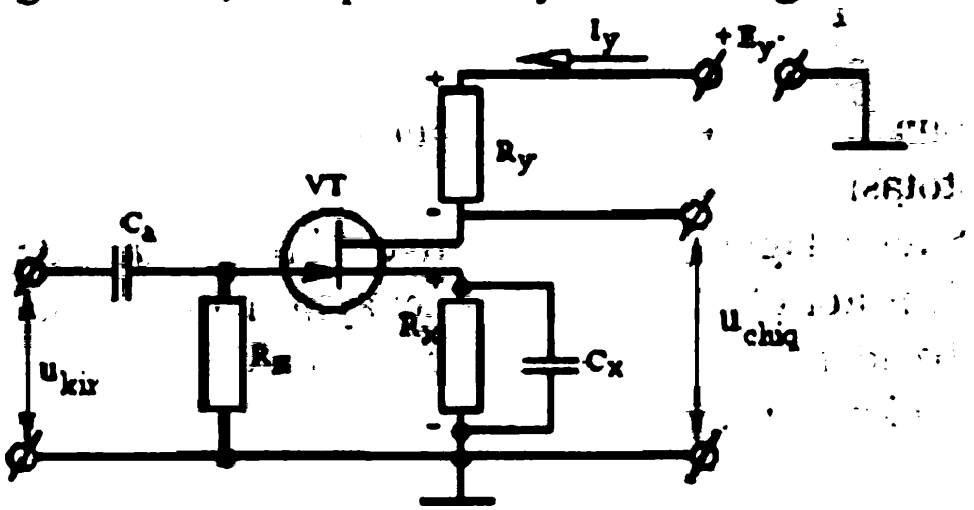
Emitter va kollektor zanjirlarini ta'minlash uchun, odatda, ikkita ayrim elektr energiyasi manbayiga zarurat yo'q. Ular kuchlanish bo'lgich r_1, r_2 bilan ulangan bitta manba bilan 7.4-rasmdagidek almashtirilishi mumkin.



7.4-rasm. Kuchlanish bo'lgich r_1, r_2 bilan ikkita ayrim elektr energiyasi manbayini hosil qilish

Shuni ta'kidlash kerakki, tranzistorli kuchaytirgichni har qanday usulda ulashda umumiy elektrod tarmog'i orqali teskari bog'lanish vujudga keladi, buni kuchaytirgichlarni hisoblashda e'tiborga olishga to'g'ri keladi.

Maydonli tranzistorlardagi kuchaytirgichlar yuqorida ko'rsatilganidek katta kirish qarshiligiga ega, shunga muvofiq ular hozirgi vaqtda keng qo'llanilmoqda. Umumiy kirishli (istokli) o'zgar kaskadi eng ko'p tarqalgan bo'lib, uning sxemasi 7.5-rasmda keltirilgan. Bu kaskadda rezistor R_y chiqish (stok) zanjiriga ulangan bo'lib, u orqali kuchaytirish amalga oshiriladi.



7.5-rasm. Umumiy kirishli (istokli) kuchaytirish kaskadining sxemasi

Mayidonli tranzistorning sokinlik rejimida ishlashi o'zgarmas tok i_{ysok} va unga mos keluvchi kirish-chiqish kuchlanish U_{xysok} bilan ta'minlanadi. Bu rejim o'z navbatida, mayidonli tranzistorning tambasidagi siljish kuchlanish U_{xzsok} bilan yuzaga keltiriladi. Siljish kuchlanishi ($UR_x = i_{ysok} \cdot R_x$) rezistor R_x da chiqish toki i_{ysok} o'tgan vaqtda hosil bo'ladi va unga galvanik bog'langan rezistor R_z orqali tambaga beriladi. Rezistor R_x tambada siljish kuchlanishini ta'minlash bilan bir qatorda tok i_{ysok} stabillagan holda, kuchaytirgich ish rejimini temperaturali stabillash uchun ham xizmat qiladi. Rezistor R_x da kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi yuzaga kelmasligi uchun uni

kondensator C_x bilan shuntlanadi va shu tariqa kaskadning kuchaytirish koeffitsiyenti doimiyi bo'lishi ta'minlanadi.

Kondensator C_x qarshiligi chastotaning eng kichik qiyimatida rezistor R_x ning qarshiligidan ancha katta bo'lishi kerak. Bu qarshilik quyidagicha aniqlanadi:

$$R_x = \frac{U_{xz\,sok}}{I_{z\,sok}}$$

bunda U_{xzsok}, i_{ysok} – kirish signali bolmagan vaqtdagi kirish-tamba kuchlanishi va chiqish toki.

Kondensator C_x sig'imi quyidagi shartdan tanlanadi:

$$C_x = \frac{10 \div 20}{2\pi f_{min} R_x}$$

bunda f_{min} – kirish signalinung eng kichik qiyimatli chastotasi.

Sxemadagi C_a sig'im ajratuvchi kondensator deyiladi.Bu kondensator o'zgarmas tok kuchaytirgichini kirish signali manbasidan ajratib turish uchun qo'llaniladi.

Bu kondensator sig'imi:

$$C_a = \frac{10 \div 20}{2\pi f_{min} R_z}$$

Rezistor R_y chiqish zanjirida tamba va kirish orasidagi kuchlanish U_{xz} bilan boshqariluvchi tok I_z oqib o'tishi hisobiga kuchlanishni yuzaga keltirish uchun xizmat qiladi.

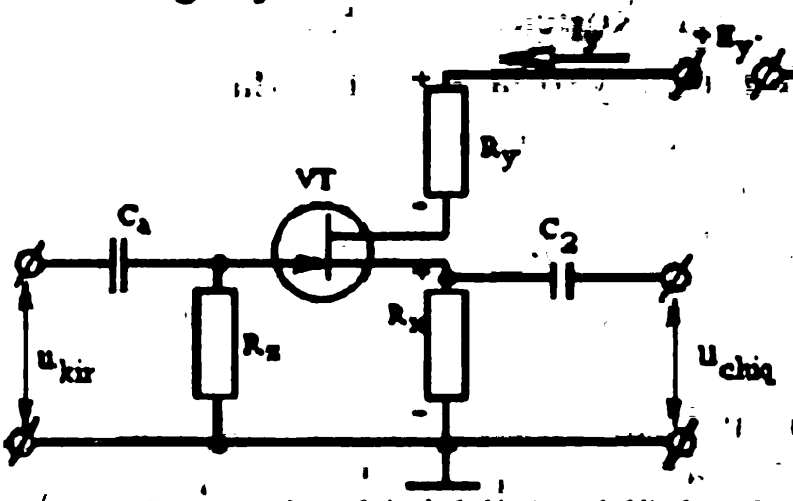
Kuchaytiruvchi kaskad kirishiga o'zgaruvchan kuchlanish berilganda, kirish-tamba kuchlanishi vaqt bo'yicha o'zgaradi: $\Delta U_{xy}(t) = U_{kir}$; chiqish toki ham vaqt bo'yicha o'zgaradi, ya'ni bu tokning o'zgaruvchan tachkil etuvchisi yuzaga keladi: $\Delta I_y(t) = i_y$. O'z navbatida, bu tokning o'zgarishi kirish va chiqish orasidagi kuchlanish U_{xy} ning o'zgarishiga olib keladi; uning o'zgaruvchan tachkil etuvchisi U_y rezistor R_y dagi kuchlanish pasayishiga qiyimati bo'yicha teng, fazasi bo'yicha qarama-qarshi bo'lib, kuchaytiruvchi kaskadning kirish kuchlanishi $\Delta U_{xy}(t) = U_y = U_{chiq} = -i_x R_x$ hisoblanadi.

Umumiy kirishli maydonli tranzistordagi kuchaytiruvchi kaskadning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentini quyidagi formula bo'yicha aniqlash mumkin:

$$K_U = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = \frac{R_x R_y}{R_x + R_y} \cdot S,$$

bunda R_y –chiqishning differensial qarshiligi S-maydonli tranzistor o'tish xarakteristikasining tikligi.

Umumiy kirishli kuchaytiruvchi kaskadlardan tashqari 7.6-rasmda ko'rsatilgan umumiy chiqishli kuchaytiruvchi kaskadlardan ham keng foydalaniladi.



7.6-rasm. Umumiy chiqishli (stokli) kuchaytirish kaskadining sxemasi

Bu kaskadda yuklama rezistori R_x kirish zanjiriga ulangan, chiqish esa tok va kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchilari bilan kuchaytiruvchi kaskadning umumiy nuqtasi bilan birlashtirilgan. Kirish kuchlanishi kondensator C_1 orqali rezistor R_Z ga beriladi.

Chiqish kuchlanishi rezistor Rx dagi kuchlanish pasayishining o'zgaruvchan tashkil etuvchisiga teng bo'lib kondensator C_2 orqali olinadi. U taxminan kirish kuchlanishiga teng, ($K_U = U_{chiq} / U_{kir} \approx 0{,}9$) va u fazasi bo'yicha bir xil. Shuning uchun umumiy chiqish kuchaytiruvchi kaskad ko'pincha Kirishli takrorlagich deb ataladi. U katta kirish va kichik chiqish

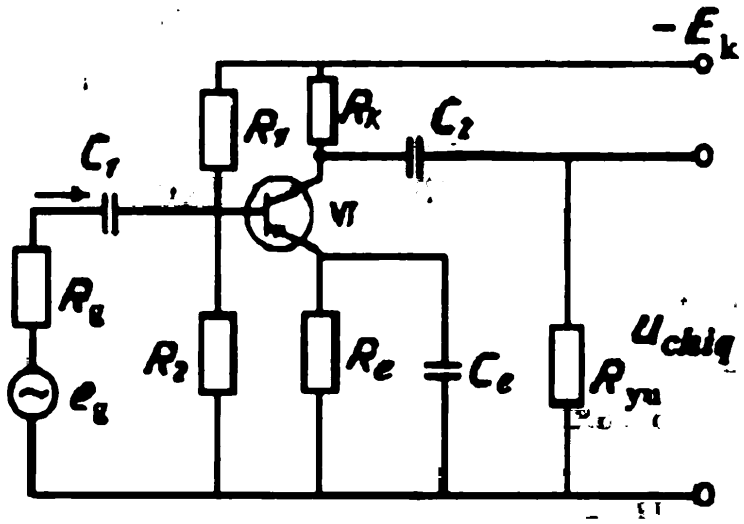
qarshiliklariga ega bo'ladi hamda juda katta tok bo'yicha $K_I = I_{chiq} / I_{kir}$ kuchaytirish koeffitsiyentiga ega.

Kirishli takrorlagich ko'pincha yordamchi kuchaytiruvchi kaskad sifatida yuqori omli kuchaytirilayotgan kuchlanish manbayini past omli yuklama qurilmasi bilan moslashda ishlatiladi.

7.3. Kuchaytirish kaskadi va uning xarakteristikalari

Kuchaytirish kaskadlari UE, UB, UK sxemalar bo'yicha yig'iladi. Umumiy kollektorli (UK) sxema tok va quvvat bo'yicha kuchaytirish imkoniyatiga ega. Bunda $K_u \leq 1$. Sxema, asosan, kaskadning yuqori chiqish qarshiligini kichik qarshilikli iste'molchi bilan moslash uchun ishlatiladi va emitterli takrorlagich deb ataladi. Umumiy bazali (UB) sxema bo'yicha yig'ilgan kaskadning kirish qarshiligi kichik bo'lib, kuchlanish va quvvat bo'yicha kuchaytirish imkoniyatiga ega. Bunda $K_i \leq 1$. Chiqishdagi kuchlanishning qiymati katta bo'lishi talab etilganda, mazkur kaskaddan foydalaniladi. Ko'pincha, umumiy emitterli (UE) sxema bo'yicha yig'ilgan kaskadlar ishlatiladi (7.7-rasm).

Bunday kaskad tokni ham, kuchlanishni ham kuchaytirish imkoniyatiga ega. Kuchaytirish kaskadining asosiy zanjiri tranzistor (*VT*), qarshilik R_k va manba E_k dan iborat. Qolgan elementlar yordamchi sifatida ishlatiladi. C_1 kondensator kirish signalining o'zgarmas tashkil etuvchisini o'tkazmaydi va bazaning tinch holatidagi U_{bd} kuchlanishning R_g qarshilikka bog'liq emasligini ta'minlaydi. Kondensator C_2 iste'molchi zanjiriga chiqish kuchlanishining doimiy tashkil etuvchisini o'tkazmay o'zgaruvchan tashkil etuvchisinigina o'tkazish uchun xizmat qiladi. R_1 va R_2 rezistorlar kuchlanish bo'lgich vazifasini o'tab, kaskadning boshlang'ich holatini ta'minlab beradi.



7.7-rasm. Umumiy emitterli kuchaytirish kaskadining sxemasi

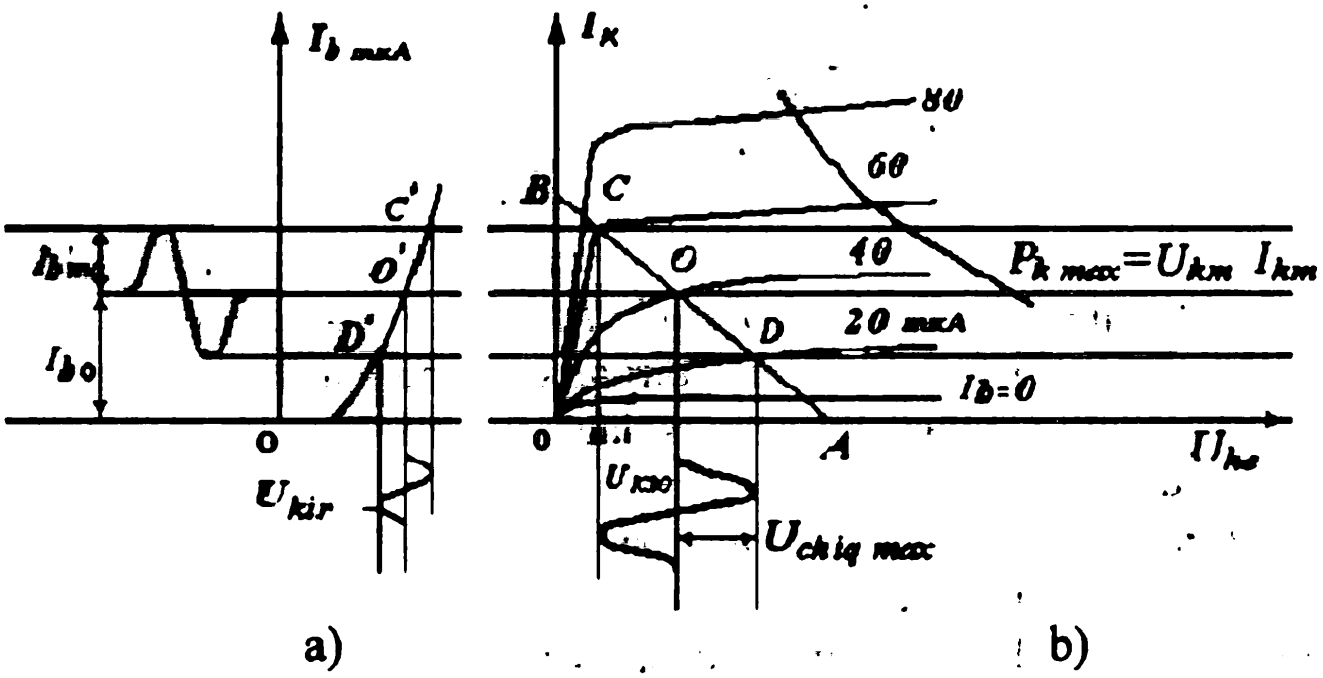
Kollektorning dastlabki toki (I_{kd}) bazaning dastlabki toki I_{bd} bilan aniqlanadi. Rezistor R_1 tok I_{bd} ning o'tish zanjirini hosil qiladi va rezistor R_2 bilan birgalikda manba kuchlanishining musbat qutbi bilan baza orasidagi kuchlanish U_{bd} ni yuzaga keltiradi.

Rezistor R_e manfiy teskari bog'lanish elementi bo'lib, dastlabki rejimning temperatura o'zgarishiga bog'liq bo'lmasligini ta'minlaydi. Kaskadning kuchaytirish koeffitsiyenti kamayib ketmasligi uchun qarshilik R_e ga parallel qilib kondensator C_e ulanadi. Kondensator C_e rezistor R_e ni o'zgaruvchan tok bo'yicha shuntlaydi.

Sinusoidal o'zgaruvchi kuchlanish ($u_{kir} = U_{kir\ max} \sin \omega t$) kondensator C_1 orqali baza emitter sohasiga beriladi. Bu kuchlanish ta'sirida, boshlang'ich baza toki I_{bd} atrofida o'zgaruvchan baza toki hosil bo'ladi. I_{bd} ning qiymati o'zgarmas manba kuchlanishi E_k va qarshilik R_1 ga bog'liq bo'lib, bir necha mikroamperni tashkil qiladi. Berilayotgan signalning o'zgarish qonuniga bo'ysunadigan baza toki iste'molchi (R_{yu}) dan o'tayotgan kollektor tokining ham shu qonun bo'yicha o'zgarishiga olib keladi. Kollektor toki bir necha milliampyerga teng.

Kollektor tokining o'zgaruvchan tashkil etuvchisi iste'molchida amplituda jihatdan kuchaytirilgan kuchlanish pasayuvi (U_{chiq}) ni hosil qiladi. Kirish kuchlanishi bir necha millivoltni tashkil etsa, chiqishdagi kuchlanish bir necha voltga tengdir.

Kaskadning ishini grafik usulda tahlil qilish mumkin. Tranzistorning chiqish xarakteristikasida AB yuklama chizig'ini o'tkazamiz (7.8-rasm).



a) b)

7.8-rasm. Kaskadning ishini grafik usulda tahlil qilish

Bu chiziq $U_{ke} = E_k$, $I_k = 0$ va $U_{ke} = 0$, $I_k = \frac{E_k}{R_l}$ koordinatali A va B nuqtalardan o'tadi. AB chiziq $I_{k\,max}$, $U_{ke\,max}$ va $R_k = U_{k\,max} \cdot I_{k\,max}$ bilan chegaralangan sohaning chap tomonida joylashishi kerak. AV chiziq chiqish xarakteristikasini kesib o'tadigan qismda ish uchastkasini tanlaymiz. Ish uchastkasida signal eng kam buzilishlar bilan kuchaytirilishi kerak.

Yuklama chizig'ining C va D nuqtalar bilan chegaralangan qismi bu shartga javob beradi. Ish nuqtasi O, shu uchastkaning o'rtasida joylashadi. DO kesmaning absissalar o'qidagi proyeksiyasi kollektor kuchlanishi o'zgaruvchan tashkil

etuvchisining amplitudasini bildiradi. *SO* kesmaning ordinatalar o'qidagi proyeksiyasi kollektor tokining amplitudasini bildiradi.

Boshlang'ich kollektor toki (I_{ko}) va kuchlanishi (U_{keo}) *O* nuqtaning proyeksiyalari bilan aniqlanadi. Shuningdek, *O* nuqta boshlang'ich tok I_{bo} va kirish xarakteristikasidagi *O* ish nuqtasini aniqlab beradi. Chiqish xarak-teristikasidagi *C* va *D* nuqtalarga (7.8, b-rasmga qarang) kirish xarakteris-tikasidagi *C'* va *D'* nuqtalar mos keladi. Bu nuqtalar kirish signalining buzilmas-dan kuchaytiriladigan chegarasini aniqlab beradi.

Kaskadning chiqish kuchlanishi

$$u_{chiq} = i_{yu} \cdot R_{yu}.$$

Kaskadning kirish kuchlanishi

$$u_{kir} = i_b \cdot R_{kir},$$

bu yerda R_{kir} – tranzistorning kirish qarshiligi.

Tok $i_{yu} >> i_b$ va qarshilik $R_{yu} >> R_{kir}$ bo'lgani uchun sxemaning chiqishidagi kuchlanish kirish kuchlanishidan ancha kattadir. Kuchaytirgichning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenta K_u quyidagicha aniqlanadi:

$$K_u = \frac{U_{chiq\ max}}{U_{kir\ max}},$$

yoki garmonik signallar uchun:

$$K_u = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}}.$$

Kaskadning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti:

$$K_i = \frac{I_{chiq}}{I_{kir}},$$

bu yerda: I_{chiq} – kaskadning chiqish tomonidagi tokning qiymati; I_{kir} – kaskadning kirish tomonidagi tokning qiymati.

Kuchaytirgichning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti:

$$K_p = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}},$$

bu yerda P_{chiq}–iste'molchiga beriladigan quvvat; P_{kir}–kuchaytirgichning kirish tomonidagi quvvat.

Kuchaytirish texnikasida bu koeffitsiyentlar logarifmik qiymat – detsibellda (amerikalik injener Bell sharafiga qo'yilgan) o'lchanadi.

$$K_u(\text{dB}) = 20 \lg K_u \quad \text{yoki} \quad K_u = 10^{\frac{K_u(dB)}{2}};$$

$$K_i(\text{dB}) = 20 \lg K_i \quad \text{yoki} \quad K_i = 10^{\frac{K_i(dB)}{2}};$$

$$K_p(\text{dB}) = 10 \lg K_p \quad \text{yoki} \quad K_p = 10^{K_p(dB)}.$$

Odamning eshitish sezgirligi signalning 1 dB ga o'zgarishini ajrata olgani uchun ham shu o'lchov birligi kiritilgan. Har bir kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyentlaridan tashqari quyidagi parametrlarga ham egadir.

Kuchaytirgichning chiqish quvvati (iste'molchiga signalni buzmasdan beriladigan eng katta quvvat):

$$P_{chiq} = \frac{U^2_{chiq\ max}}{R_l}.$$

Kuchaytirgichning foydali ish koeffitsiyenti

$$\eta = \frac{P_{chiq}}{P_{um}},$$

bu yerda P_{um} – kuchaytirgichning hamma manbalardan iste'mol qiladigan quvvati. Kuchaytirgichning dinamik diapazoni kirish kuchlanishining eng kichik va eng katta qiymatlarining nisbatiga teng bo'lib, dB da o'lchanadi:

$$D = 20 \lg \frac{U_{kir\ max}}{U_{kir\ min}}.$$

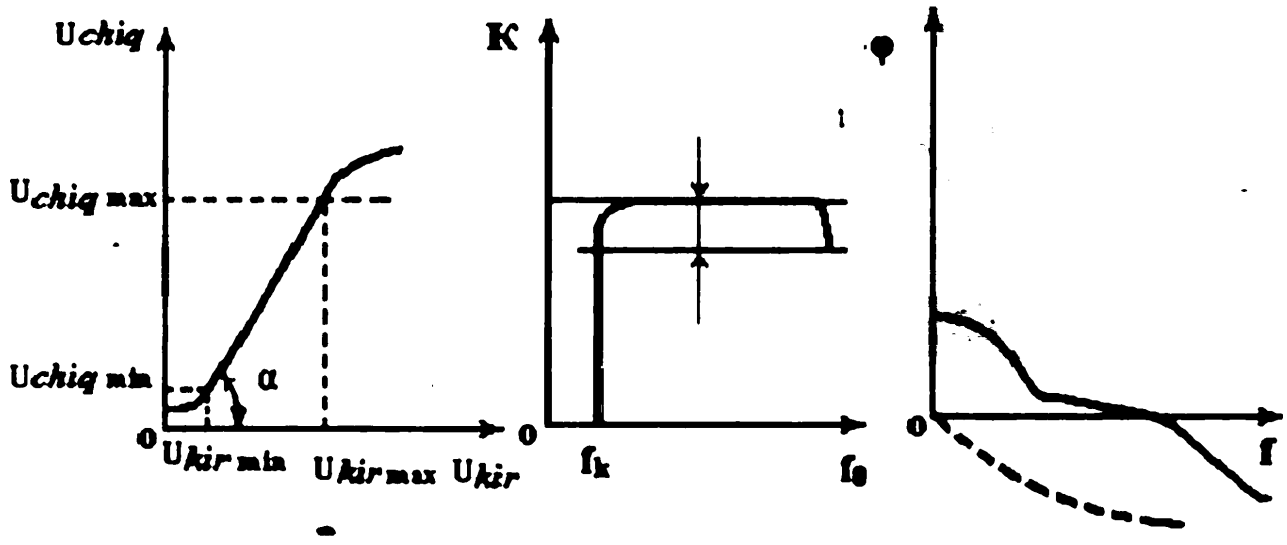
Chastotaviy buzilishlar koeffitsiyenti $M(f)$ o'rta chastotalardagi kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti K_{u0} ning ixtiyoriy chastotadagi kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentiga nisbatidir: $M(f) = \frac{K_{u0}}{K_{uf}}$.

Chiziqli bo'lmagan buzilishlar koeffitsiyenti γ yuqori chastotalar garmonikasi o'rta kvadratik yig'indisining chiqish kuchlanishining birinchi garmonikasiga nisbatidir:

$$\gamma = \frac{\sqrt{U^2_{m_2chiq} + U^2_{m_3chiq} + ... + U^2_{m_nchiq}}}{U^2_{m_1chiq}};$$

Sifatli kuchaytirgichlar uchun $\gamma \leq 4$ %, telefon aloqasi uchun $\gamma \leq 1{,}5$ %.

Kuchaytirgichning shovqkin darajasi shovqin kuchlanishining kirish kuchlanishiga nisbatini ko'rsatadi. Bulardan tashqari, kuchaytirgichlar amplituda, chastota va amplituda-chastota xarakteristikalari bilan ham baholanadi.



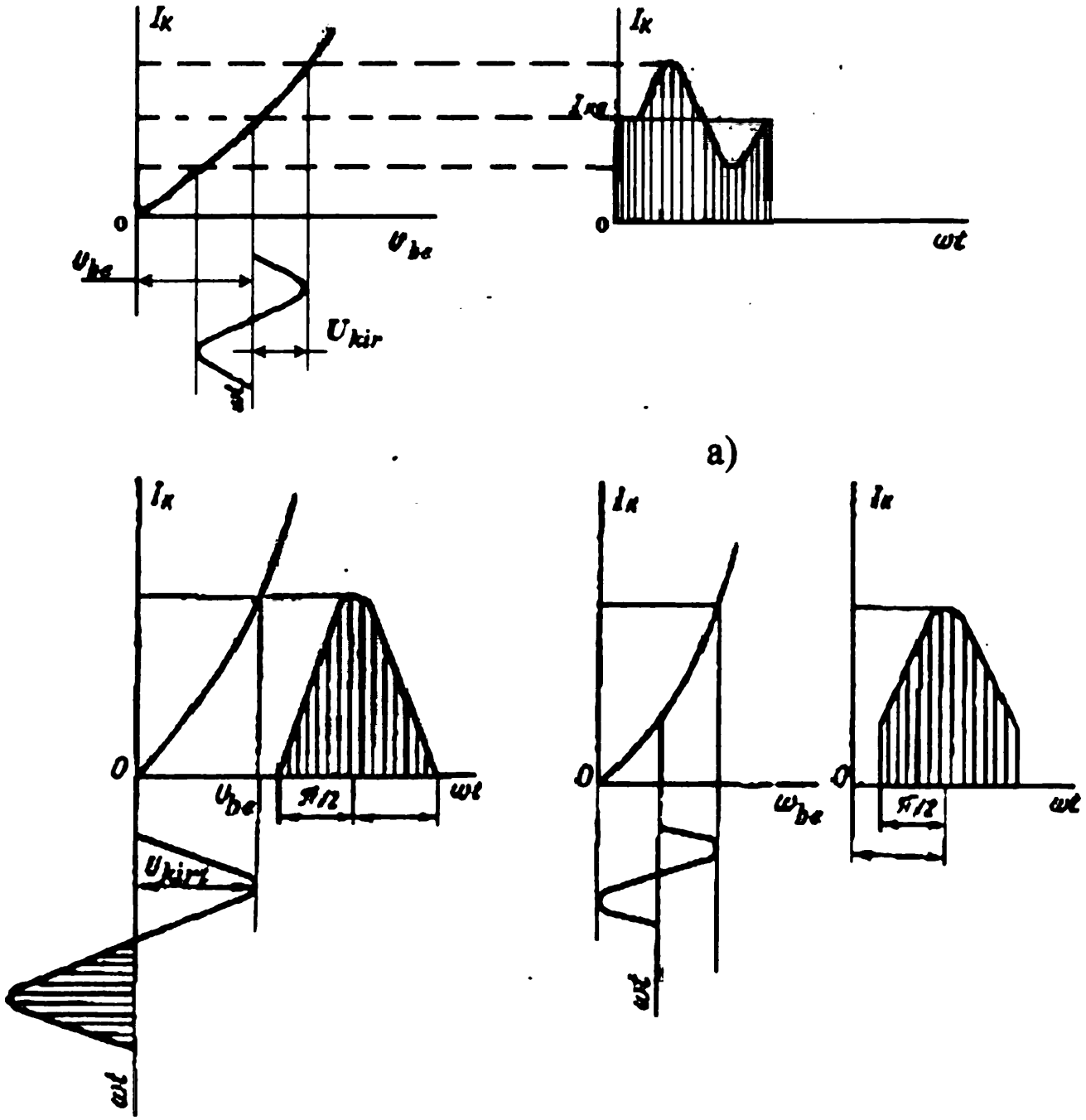
a) b) d)

7.9 - rasm. Kuchaytirgichning amplituda (a), amplituda-chastota (b) va faza-chastota xarakteristikalari (d)

Amplituda xarakteristikasi chiqish kuchlanishining kirish kuchlanishiga qanday bog'langanligini ko'rsatadi ($U_{chiq} = f(U_{kir})$).

7.9-rasmda kuchaytirgichning amplituda, amplituda-chastota va faza-chastota xarakteristikalari ko'rsatilgan. Bu xarakteristikalar o'rta chastotalarda olinadi.

Ish nuqtasining kirish xarakteristikasida qanday joylashishiga qarab kuchaytirgichlar *A*, *B* va *AB* rejimlarda ishlashi mumkin. 7.10-rasmda kuchaytirgichning ish rejimlariga oid grafiklar ko'rsatilgan.



7.10 - rasm. Kuchaytirgichning ish rejimlariga oid grafiklar

A rejimda, asosan, boshlang'ich kuchaytirish kaskadlari va kichik quvvatli chiqish kaskadlari ishlaydi.

Bu rejimda ishlaydigan kaskadning bazaga berilgan siljish kuchlanishi (U_{beo}) ish nuqtasining dinamik o'tish xarakteristikasi chiziqli qismining o'rtasida joylashishini ta'minlab beradi.

Bundan tashqari, kirish signalining amplitudasi siljish kuchlanishidan kichik ($U_{kirt} < U_{beo}$) bo'lishi va boshlang'ich

kollektor toki I_{ko} chiqish toki o'zgaruvchan tashkil etuvchisining amplitudasidan katta yoki tengligi ($I_{ko} \geq I_{kt}$) shartiga amal qilinadi. Natijada kaskadning kirishiga sinusoidal kuchlanish berilganda chiqish zanjiridagi tok ham sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi (7.10,a-rasm).

A rejimda signalning chiziqli bo'lmagan buzilishlari eng kam bo'ladi. Ammo kuchaytirgich kaskadining mazkur rejimdagi foydali ish koeffitsiyenti 20–30% dan oshmaydi.

B rejimda ish nuqtasi shunday tanlanadiki, bunda *osoyishtalik toki* nolga teng bo'ladi ($I_{ko}=0$). Kirish zanjiriga signal berilganda chiqish zanjiridan signal o'zgarish davrining faqat yarmidagina tok o'tadi.

Chiqish toki impulslar shaklida bo'lib, ajratish burchagi $\theta = \frac{\pi}{2}$ bo'ladi (7.10,b-rasm). *B* rejimda chiziqli bo'lmagan buzilishlar ko'p bo'ladi. Lekin bu rejimda kaskadning FIK 60 – 70% ni tashkil qiladi. Mazkur rejimda, asosan, ikki taktli katta quvvatli kaskadlar ishlaydi.

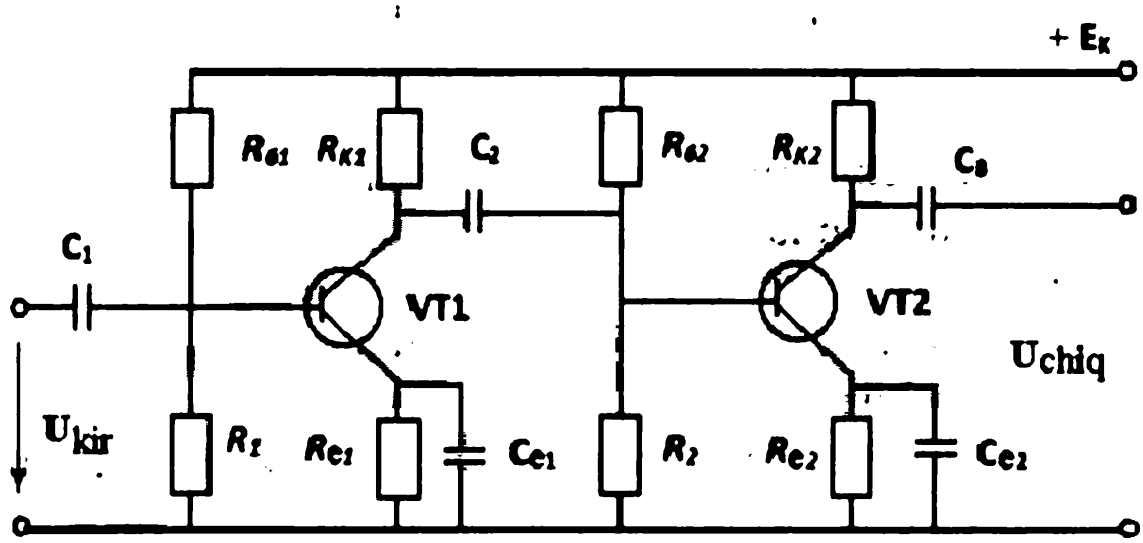
AB rejimi *A* va *B* rejimlar oralig'idagi rejim bo'lib (7.10,d-rasm), chiqishda katta quvvat olish, shuningdek chiziqli bo'lmagan buzilishlarni kamaytirish maqsadida qo'llaniladi.

7.4. Rezistiv- sig'im bog'lanishli kaskadlar

Kuchaytirgichlar $U=10^{-7}$ V kuchlanish va $U=10^{-14}$ A toklarni kuchaytira oladi. Bunday signallarni kuchaytirib berish uchun bitta kaskad yetarli bo'lmagani uchun bir nechta kaskad ishlatiladi. Ular bir nechta dastlabki kuchaytirish kaskadi (kaskad kuchlanishni kuchaytirib beradi) va quvvatni kuchaytiruvchi chiqish kaskadlaridan iboratdir. Kaskadlar bir-biri bilan rezistor (rezistiv bog'lanish), transformator (transformatorli bog'lanish), sig'im va rezistor (rezistiv-sig'im bog'lanish) va boshqa elementlar yordamida ulanishi mumkin.

Rezistiv-sig'im bog'lanishli kaskadlarning ishlashi bilan tanishib chiqamiz Bu kaskadlar keng tarqalgan bo'lib, mikro-sxema shaklida ham ishlab chiqariladi (7.11-rasm).

Kuchaytirgich ikkita umumiy emitterli (UE) kuchaytirish kaskadidan iborat. Bu kaskadlar C kondensator orqali o'zaro bog'langan. Mazkur kondensator tranzistor BT_1 ning kollektor zanjiriga, tranzistor BT_2 ning baza zanjiriga ulangan. U birinchi tranzistordan chiqayotgan signalning o'zgarmas tashkil etuvchisini ikkinchi tranzistorga o'tkazmaydi. Tranzistorlarning ish nuqtalarini R_{b_1} va R_{b_2} qarshiliklar ta'minlab beradi. Ish nuqtalarining stabilligini rezistor va kondensatorlar (R_{e1}, C_{e1} va R_{e2}, C_{e2}) ta'minlab beradi.



7.11 – rasm. Rezistiv-sig'im bog'lanishli kaskadning sxemasi

Bir nechta kaskadli kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti har bir kaskad kuchaytirish koeffitsiyentlarining ko'paytmasiga teng:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \ldots \cdot K_n.$$

Kerakli kuchaytirish koeffitsiyentiga ko'ra va har bir UE li kaskad kuchlanish bo'yicha 10–20 marta, quvvat bo'yicha esa 100– 400 marta kuchaytirib berishini hisobga olib, kaskadlar soni aniqlanganidan keyin har bir kaskad alohida hisoblanadi. Dastlabki kuchaytirish kaskadlari A rejimda ishlaydi. Kaskadni

hisoblash quyidagi tartibda bajariladi. Manba kuchlanishi E_k va iste'molchining qarshiligiga qarab

$$U_{ke.j} \geq (1,1 \div 1,3)\, E_k;$$

$$I_{kj} > 2I_{н\ max} = 2\frac{U_{chiq\ max}}{R_н},$$

bu yerda: k. e. j – kollektor emitter o'tishdagi kuchlanishning joiz qiymati; $I_{k.j}$ – kollektor zanjiridagi tokning joiz qiymati.

Yuqoridagi shartlarni qanoatlantiradigan tranzistor tanlanadi. Uning chiqish xarakterietikasida ish nuqtasi aniqlanadi. Shu dastlabki ish nuqtasini ta'minlab beruvchi baza toki I_{bo} o'tish xarakteristikasidan aniqlanadi va R_b qarshilikka bog'liq bo'ladi. Bu qarshilik quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$R_{b1} = \frac{U_{ko} - (I_{ko} + I_b)R_E}{I_{bo}}.$$

R_k va R_e qarshiliklarni aniqlash uchun chiqish xarakteristikalardan

$R_{um} = R_k + R_e$ aniqlanadi. $R_{um} = \dfrac{E_K}{I_K}$, $R_e = (0,15 - 0,25)\, R_k$ deb hisoblab,

$$R_K = \frac{R_{um}}{1,1 \div 1,25},$$

$$R_e = R_{um} - R_k.$$

Kaskadning kirish qarshiligi

$$R_{kir} = \frac{2U_{kir\ max}}{2I_{b\ max}}.$$

Agar baza toki kuchlanish bo'lgichi orqali beriladigan bo'lsa, bo'lgichning R_1 va R_2 qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi.

$R_{12} \geq (8 \div 12)\, R_{kir}$ va $R_{12} = \dfrac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ shartlardan

$$R_1 = \frac{E_к R_{12}}{I_{ко} R_э}; \quad R_2 = \frac{R_1 \cdot R_{12}}{R_1 - R_{12}}$$

larni aniqlaymiz.

Ajratuvchi kondensatorning sig'imi quyidagicha aniqlanadi:

$$C = \frac{1}{2\pi f_к R_{chiq} \sqrt{M_к^2 - 1}},$$

bu yerda: M_k – quyi chastotalardagi chastotali buzilishlar koeffitsiyenti; f_k – quyi chastotalar chegarasi; $R_{chiq} = R_k + R_i$.

Kondensatorning sig'imi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$C_э \geq \frac{10}{2\pi f_к R_э}.$$

Kaskadning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti:

$$K_u = \frac{U_{chiq\ max}}{U_{chiq\ max}},$$

Kuchaytirgichning oxirgi kaskadi chiqish kaskadidir. Chiqish kaskadi, asosan, quvvatni kuchaytirib beradi va bir taktli yoki ikki taktli bo'ladi (7.12- rasm).

Kaskadning chiqishidagi signal transformator orqali kichik qarshilikka ega bo'lgan iste'molchiga uzatiladi. Kollektordagi kuchlanish o'zinduktsiya EYuK hisobiga E_{ke} dan ikki marta katta bo'lishi mumkin (7.12- rasm). Shuning uchun

$$E_{ke} \leq U_{ke.j}/2$$

qilib olinadi.

Kaskadning chiqishidagi quvvat:

$$P_{chiq\ max} = 0{,}5\ U_{k\ max} \cdot I_{k\ max} \cdot \eta_{tr},$$

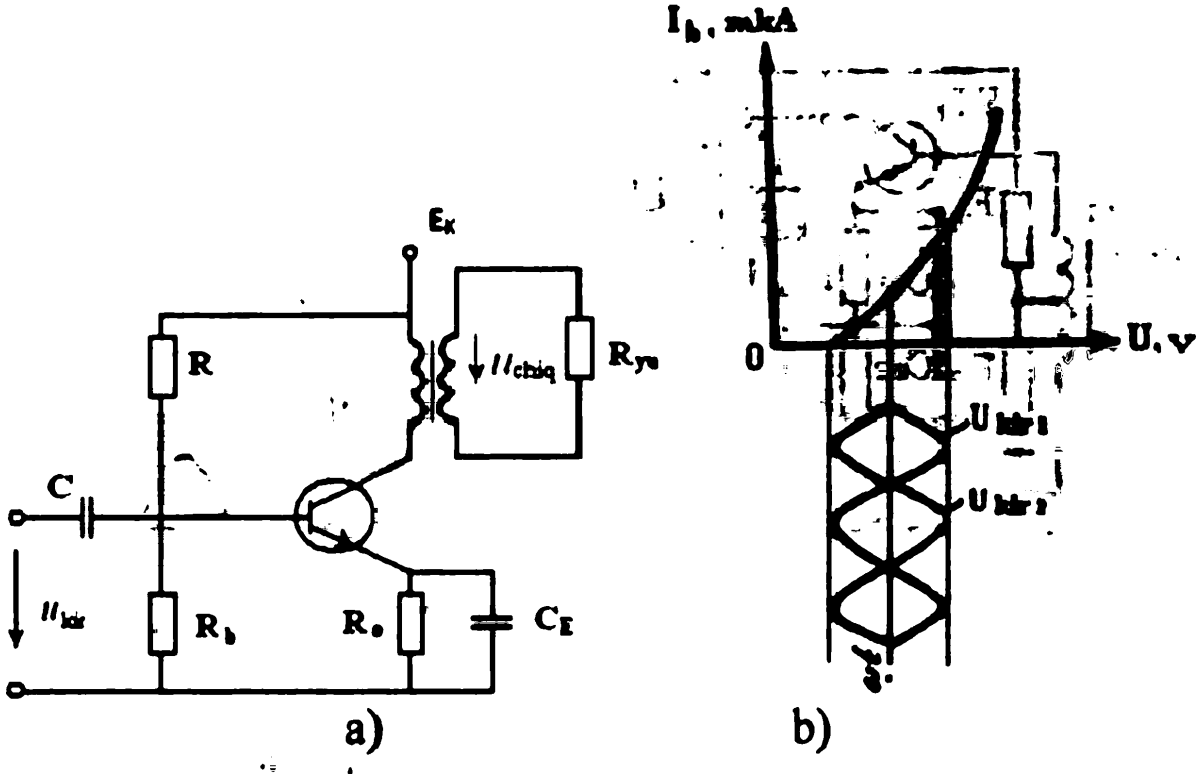
bu yerda η_{tr} – transformatorning foydali ish koeffitsiyenti.

Kirish zanjiridagi quvvat va kuchaytirish koeffitsiyenti:

$$P_{kir\ max} = 0{,}5\ I_{b\ max} \cdot U_{be\ max};$$

$$K_p = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}}.$$

Transformator kaskad chiqish qarshiligining iste'molchining kirish qarshiligiga yaxshi mos tushishini va quvvatning uzatilishi uchun eng yaxshi sharoit yaratilishini ta'minlaydi.



7.12 – rasm. Bir taktli quvvatni kuchaytirgich kaskadi (a) va uning ish rejimi (b)

Transformatorning transformatsiya koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$n = \sqrt{\frac{R_{chiq}}{R_1}}$$

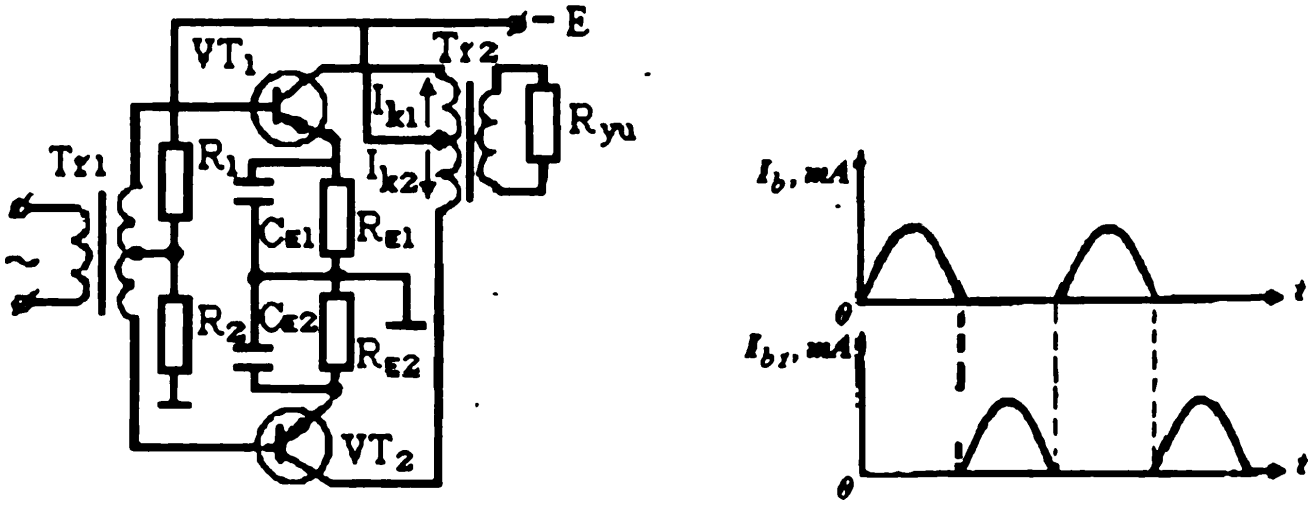
Agar kuchaytirgichning chiqishidagi quvvat 20 W dan ortiq bo'lsa, ikki taktli simmetrik sxemalardan foydalaniladi (7.13-rasm).

Bu sxemadagi ikki tranzistorning hap biri *V* rejimda ishlaydi. Bunday sxemalarning foydali ish koeffitsiyenti (70–75)% ga yetadi. Tinch holatla $I_b = 0$ va boshlang'ich holatda sxema iste'mol qiladigan quvvat:

$$P_0 = 2\, E_{ke}\, I_{be}.$$

Birinchi yarim davrda birinchi tranzistor, ikkinchi yarim davrda esa ikkinchi tranzistor ishlaydi (7.13, b-rasm). Bitta tranzistorning chiqishidagi quvvat:

$$P'_{chiq} = \frac{U_{k\ max} \cdot I_{k\ max}}{2} = \frac{(I_{k\ max} - I_{ko})E_{ko}}{4}$$



a) b)

7.13-rasm. Ikki taktli quvvatni kuchaytirgich kaskadi (a) va uning ish rejimi (b)

Ikki taktli kaskadning chiqishidagi quvvat:

$$P_{chiq} = 2P'_{chiq} == \frac{E_{ko}(I_{k\ max} - I_{ko})}{2}.$$

Ko'pincha, kuchaytirgichning barqaror ishlashini ta'minlash uchun teskari bog'lanishdan foydalaniladi. Chiqish zanjiridagi signal ma'lum qismining kirish zanjiriga uzatilishi *teskari bog'lanish* deb ataladi. Teskari bog'lanish manfiy va musbat bo'lishi mumkin. Musbat teskari bog'lanish generator kaskadlarida qo'llanadi. Kuchaytirish kaskadlarida manfiy teskari bog'lanishdan foydalaniladi (musbat teskari bog'lanish kuchaytirgichlar uchun zararlidir). Teskari bog'lanish kuchlanishi chiqish kuchlanishining ma'lum qismini tashkil qiladi va teskari bog'lanish koeffitsiyenti (R) bilan xarakterlanadi. Teskari bog'lanishli kuchaytirgichlarda:

$$K = \frac{u_{chiq}}{u_{siig}};$$

$$u_{siig} = u_{kir} - u_{tB} \cong u_{kir} - \beta u_{chiq} = u_{kir}(1 - \beta K).$$

Demak,

$$K_{tB} = \frac{Ku_{kir}}{u_{siig}} = \frac{Ku_{kir}}{u_{kir}(1-\beta K)} = \frac{K}{1-\beta K}.$$

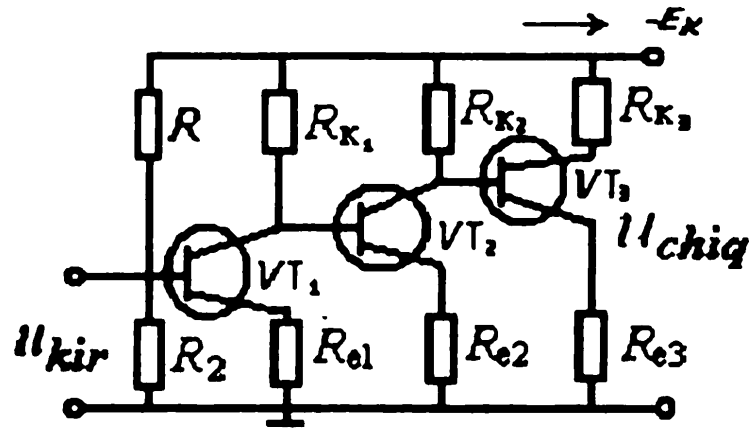
Teskari bog'lanish manfiy bo'lganida $\beta<0$ bo'ladi va $K_{tB} = \frac{K}{1+\beta K}$, ya'ni kuchaytirish koeffitsiyenti kamayadi. Lekin kuchaytirgichning chastota va faza buzilishlari kamayadi.

R_e qarshiligi teskari bog'lanish zanjiri bo'lib, chiqish zanjiridagi kuchlanishni qisman kirish zanjiriga uzatadi. Shuning hisobiga boshlang'ich ish nuqtasining parametrlari stabillashadi. Yuqorida ko'rib chiqilgan kaskadlarning barchasi sinusoidal o'zgaruvchan kuchlanishni kuchaytirib beradi. Ayrim hollarda yo'nalish jihatdan o'zgarmay, faqat qiymati sekin o'zgaruvchi signallarni ham kuchaytirish talab qilinadi. Bunday hollarda galvanik bog'langan o'zgarmas tok kuchaytirgichlaridan foydalaniladi. 7.14,- rasmda asta-sekin o'zgaruvchi signallar kuchaytirgichi ko'rsatilgan.

Kuchaytirgich uch kaskaddan iborat. Har bir kaskad UE sxema bo'yicha yig'ilgan. Ajratuvchi kondensatorlar bo'lmaganligi uchun har bir kaskadning o'zgarmas tashkil etuvchisi keyingi kaskadning bazasiga uzatiladi va shuning uchun mazkur tashkil etuvchi kompensatsiyalanishi kerak.

Oldingi kaskadning o'zgarmas tashkil etuvchisini kompensatsiyalash uchun keyingi kaskadning R_e qarshiligidan olinuvchi o'zgarmas kuchlanishdan foydalaniladi.

Tranzistorlar (VT_2 va VT_3) ning baza-emitter normal kuchlanishlarini R_{e2} va R_{e3} qarshiliklar ta'minlab beradi. Tranzistor VT_1 ning osoyishtalik rejimini R_1 va R_2 kuchlanish bo'lgich va R_{e1} qarshiliklar ta'minlaydi.



7.14 – rasm. Sekin o'zgaruvchi signallarni kuchaytirgich sxemasi

R_{e1}, R_{e2} va R_{e3} qarshiliklar tok bo'yicha manfiy teskari bog'lanishni hosil qilib, kuchaytirgich nolining ko'chishini kamaytiradi. Kuchaytirgich nolining ko'chishi deb chiqish signali kirish signaliga bog'liq bo'lmagan o'zgarishiga aytiladi.

Ko'chishning asosiy sababi manba kuchlanishining, atrof-muhitning harorati va sxema parametrlarining o'zgarishidir. Ko'chish kuchlanishi signal kuchlanishi bilan tenglashib signalning ancha buzilishiga olib kelishi mumkin. Nol ko'chishini kamaytirish maqsadida parallel-balans yoki differensial kaskadlardan foydalaniladi.

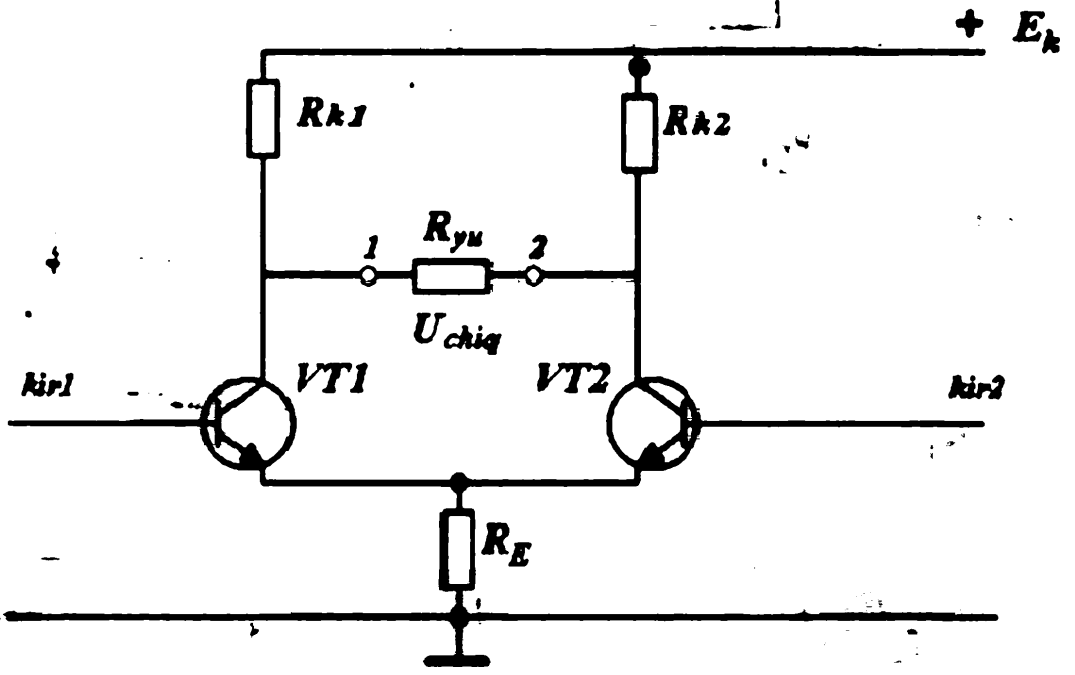
7.5. Differensial va operatsion kuchaytirgichlar

Ikki signal farqini kuchaytiruvchi qurilma *differensial kuchaytirgich* deb ataladi. Chiqishdagi signal har bir kirish signaliga emas, balki ularning ayirmasiga bog'liqdir. Eng oddiy differensial kuchaytirgich umumiy emitter qarshilik ulangan ikkita bir xil tranzistor asosida quriladi (7.15- rasm).

Kirish kuchlanishlari tranzistorlar (VT_1 va VT_2) ning baza-emitter o'tishiga beriladi. Bu kuchlanishlarning ayirmasi bir necha millivoltdan ortmasa, kuchaytirgich VAX ning chiziqli qismida ishlaydi.

Uning kuchaytirish koeffitsiyenti 100 ga yaqindir. Chiqish qismalari 1′ va 2′ dan chiqish kuchlanishi U_{chiq} olinadi. Kuchaytirgichning uzatish koeffitsiyenti:

$$K(p) = \frac{U_{chiq}}{U_{kir1} - U_{kir2}}.$$

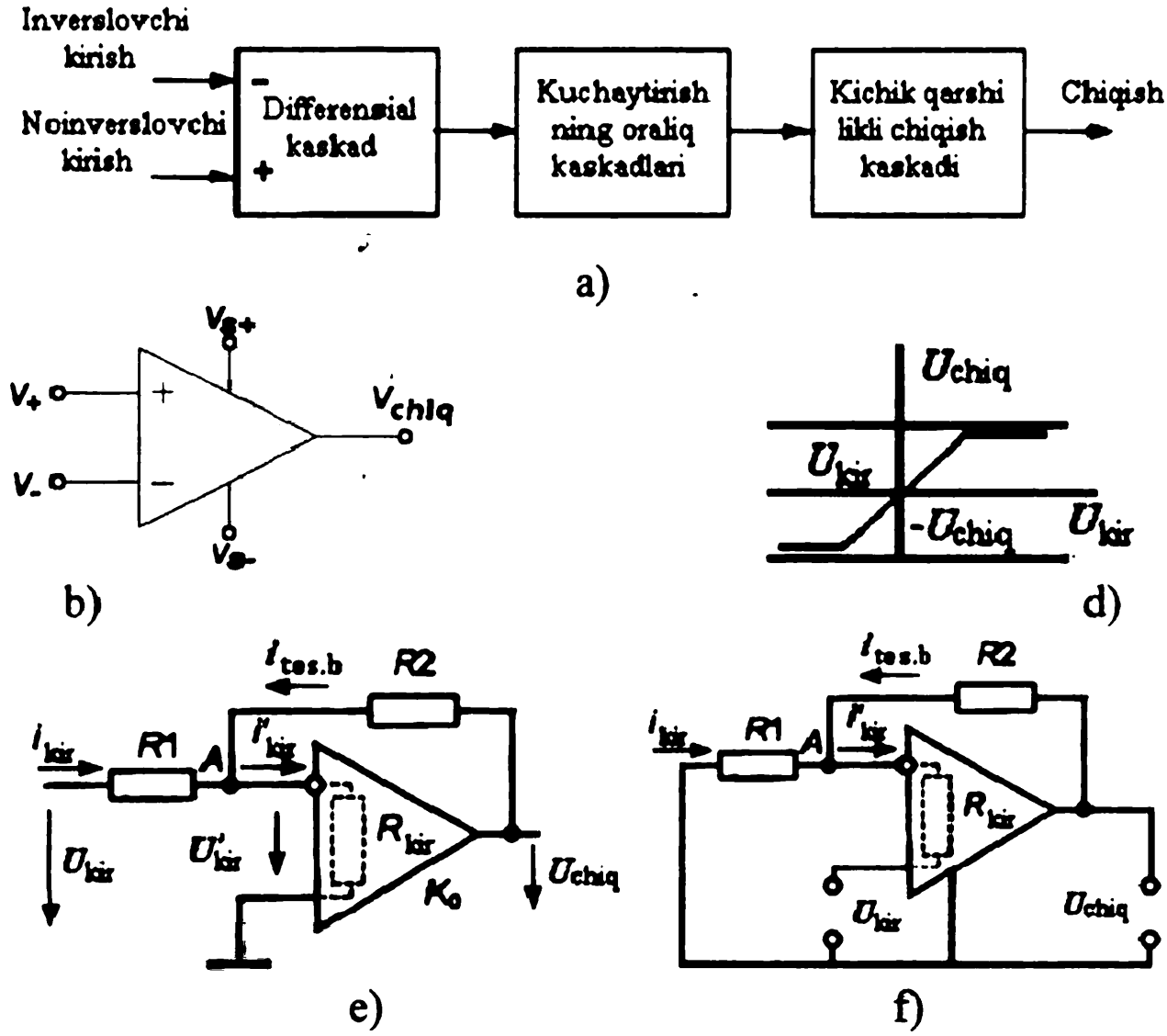


7.15 – rasm. Eng oddiy differensial kuchaytirgich sxemasi

Kuchaytirgichlarda bir xil tranzistorlarni topish juda qiyin. Shu sababdan mikrosxema asosida tuzilgan differensial kuchaytirgich kaskadlaridan foydalaniladi. K118UL1 shunday sxemalarning namunasi bo'la oladi. O'zgarmas tok kuchaytirgichlari asosida turli matematik operatsiyalarni bajaruvchi operatsion kuchaytirgichlar qurish mumkin.

Operatsion kuchaytirgichlar (OK) yuqori kuchaytirish koeffitsiyenti, katta kirish va kichik chiqish qarshiligi bilan xarakterlanadi. OK kirishi differensial kuchaytirgichlardan iboratdir (7.16,a-rasm). Kuchaytirgich inverslovchi (–) va noinverslovchi (+) kirishga ega.

Sxemalarda OK uchburchak shaklida tasvirlanadi (7.16,b-rasm). Signal qaysi kirishga berilganiga qarab OK inverslash va noinvers usullarda ulanadi.



16.2- rasm. Operatsion kuchaytirgichlar va ularning ish rejimlari

Inverslash usulda kirish kuchlanishi OK ning inverslovchi kirishiga beriladi (7.16,e-rasm), noinverslovchi kirish esa nol potensialga egadir.

Kirish toki:

$$I'_{kir} = \frac{(U'_{kir} - 0)}{Z_1}.$$

Chiqish kuchlanishi:

$$U'_{chiq} = -I'_{kir} Z_{boo}.$$

Kuchlanishni uzatish kozffitsienti:

$$K(p)=\frac{U_{chiq}}{U_{kir}}=\frac{-I'_{kir}Z_{бог}}{I'_{kir}Z_1}=-\frac{Z_{бог}}{Z_1}.$$

Bunday uzatish koeffitsiyenti ideallashtirilgan OK ga hos bo'ladi. $R_{kir}=\infty$, $R_{chiq}=0$ va kuchlanishni kuchaytirish koeffitsiyenti $K=\infty$ deb hisoblasak, OK ideallashtirilgan bo'ladi. Aslida, real OK larning uzatish koeffitsiyenti $K(r)$ ideal OK ning $K(r)$ idan taxminan 0,03% ga farq qiladi.

OK noinvers usulda ulanganda kirish kuchlanishi uning noinverslovchi kirishiga beriladi (7.16,a-rasm). Chiqishdan kuchlanish inverslovchi kirishga beriladi. Bunda teskari bog'lanish kuchlanishi:

$$u_{tb}=\beta\cdot u_{chiq},\ \beta=\frac{Z_1}{Z_1+Z_{бог}}.$$

OK ning kirishidagi kuchlanish:

$$u_{kir}=u'_{kir}-u_{tb}.$$

Chiqishidagi kuchlanish:

$$u_{chiq}=K(u'_{kir}-\beta u_{chiq}).$$

yoki

$$u_{chiq}=\frac{Ku_{kir}}{1+\beta K}.$$

Kuchaytirish koeffitsiyenti:

$$K=\frac{u_{chiq}}{u_{kir}}=\frac{Ku'_{kir}}{(1+\beta K)u'_{kir}}=\frac{K}{(1+\beta K)}=\frac{1}{\frac{1}{K}+\beta}=\frac{1}{\beta}\cdot\frac{1}{1+\frac{1}{\beta K}},$$

$\beta K>>1$ bo'lganida

$$K'=\frac{1}{\beta}.$$

OK lar yordamida signallarni qo'shish, differensiallash, integrallash va ular ustida boshqa matematik operatsiyalar bajarish mumkin. Kirish signalini integrallovchi sxemani ko'rib chiqamiz (7.17-rasm).

Kirish signali invertorlovchi kirishga beriladi. Kirish zanjiriga rezistorni, teskari bog'lanish zanjiriga esa kondensator ulaymiz. Rezistoridan o'tayotgan tok:

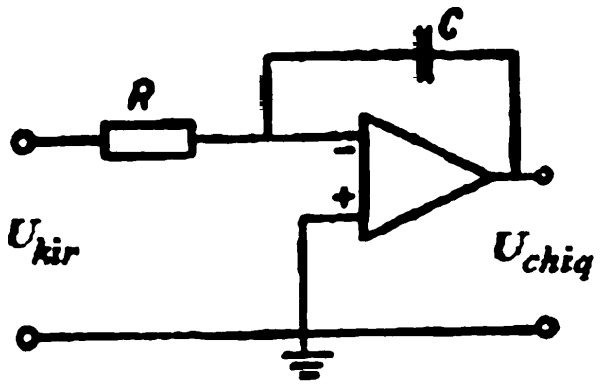
$$i = u'_{kir}/R.$$

Bu tok kondensatordan o'tib, uni zaryadlaydi va u_c kuchlanishni hosil qiladi (ushbu kuchlanish chiqish kuchlanishidir):

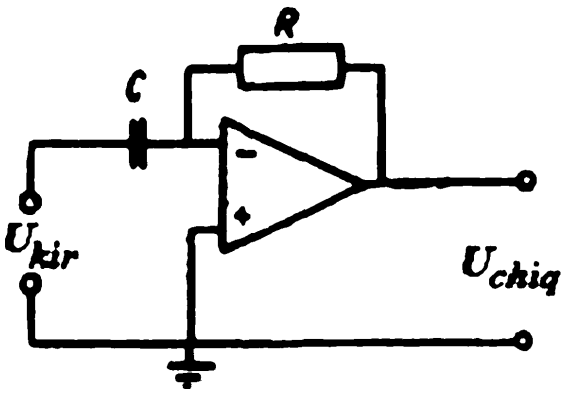
$$u_c = -\frac{1}{RC}\int_0^7 u'_{kir}dt.$$

Differensiallovchi kuchaytirgichda kirish zanjiriga kondensator C ni, bog'lanish zanjiriga esa rezistor R ni ulaymiz (7.18-rasm). Kirish kuchlanishi kondensatorni zaryadlaydi va undagi kuchlanish kirish kuchlanishiga teng bo'ladi: $u_s=u'_{kir}$. Kondensatordan o'tayotgan tok:

$$i = C\frac{du'_{kir}}{dt}.$$



7.17 - rasm. Kirish signalini integrallovchi sxema



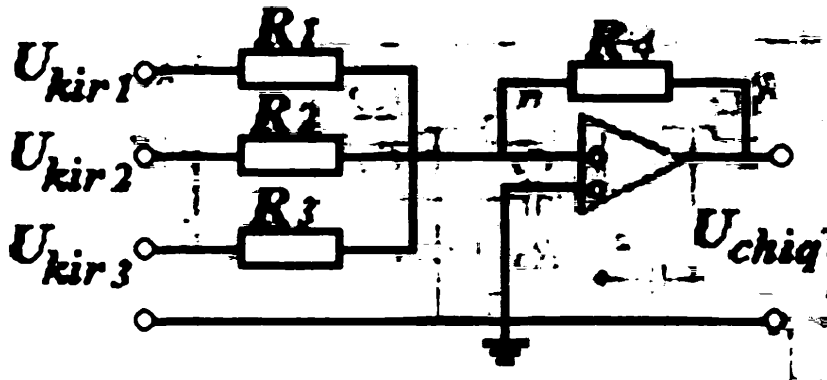
7.18 - rasm.Kirish signalini differensiallovchi sxema

Bu tok kuchaytirgichga bormay, R qarshilikdan o'tib, unda kuchlanish pasayuvini hosil qiladi:

$$u_{chiq} = -\,i\,R = -\,RC\frac{du'_{kir}}{dt}.$$

OK summator sifatida ishlatilganda bir nechta kirish kuchlanishlarining yig'indisini aniqlash amalini bajaradi. Bunda

OK ning invertorlovchi kirishiga qo'shiladigan signallar beriladi, chiqishidan esa ularning yig'indisi olinadi. 7.19-rasmda jamlovchi OK ning sxemasi ko'rsatilgan.



7.19 – rasm. Jamlovchi OK (summator)ning sxemasi

Kirxgofning birinchi qonuniga binoan *A* tugundagi toklar yig'indisi nolga teng:

$$i_{kir\,1} + i_{kir\,2} + i_{kir\,3} - i_4 = 0.$$

Toklarni kuchlanishlar orqali ifodalasak,

$$\frac{u_{kir\,1}}{R_1} + \frac{u_{kir\,2}}{R_2} + \frac{u_{kir\,3}}{R_3} = \frac{u_{chiq}}{R_4} = 0.$$

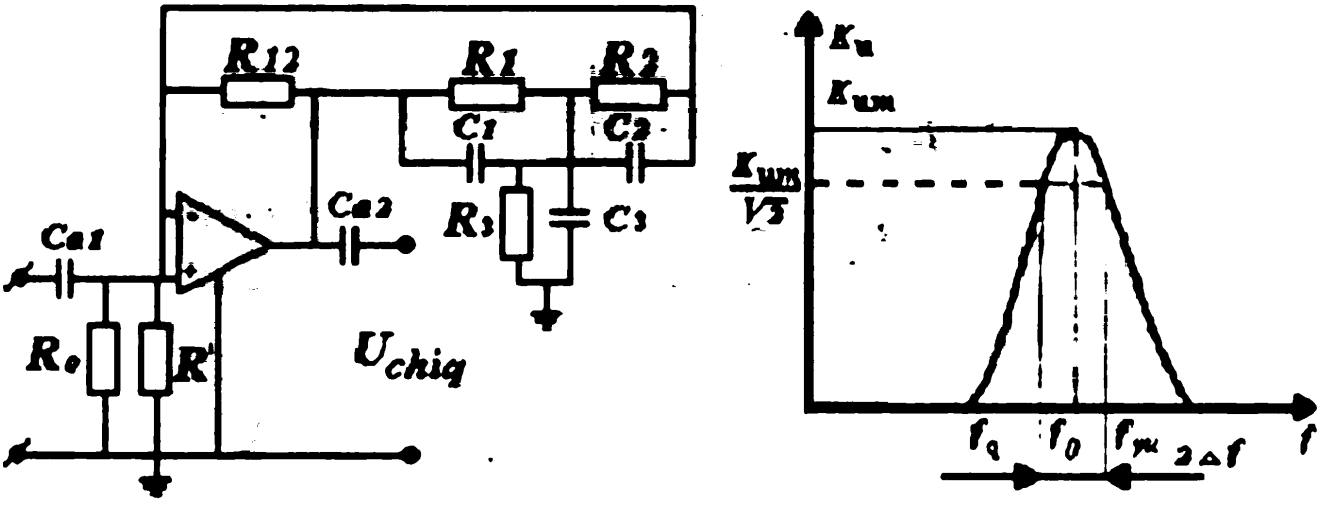
Bundan

$$u_{chiq} = \frac{u_{kir\,1}}{R_1} \cdot R_4 + \frac{u_{kir\,2}}{R_2} \cdot R_4 + \frac{u_{kir\,3}}{R_3} \cdot R_4.$$

Bulardan tashqari, OK lar logarifmlash, potentsirlash va boshqa operatsiyalarni ham bajara oladi. Ular radioelektronika sxemalarida ham keng ko'llanadi.

OK ning teskari bog'lanish zanjiriga ikkilangan Г-simon *RC* ko'prikli zanjir o'rnatilsa, sxema yuqori chastota ajratish hususiyatiga ega bo'ladi. 7.20-rasmda chastota kuchaytirgichning sxemasi va amplituda-chastota xarakteristikasi ko'rsatilgan. Sozlash chastotasi deb ataluvchi $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ chastotada kuchlanishni uzatish koeffitsiyenti $\beta = \frac{u_{chiq}}{u_{kir}}$ kamayib kyetadi.

Bunda teskari bog'lanish ta'siri kamayib, kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti ($K_{u.tb}$) shu kaskadning teskari bog'lanishda bo'lmagandagi koeffitsiyenti ($K_{u\,max}$) ga tenglashadi.



a) b)

7.20- rasm. Chastota kuchaytirgichning sxemasi (a) va amplituda-chastota xarakteristikasi

Sozlash chastotasi (f_0) dan farq qiluvchi chastotalarda teskari bog'lanish koeffitsiyenti birga yaqinlashib, chiqishdagi signal butunlay kirishga beriladi. Kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti juda kichik bo'ladi. Ayrim chastotalar va chastotalar doirasida kuchaytiruvchi kuchaytirgichlar *chastota ajratuvchi kuchaytirgichlar* deyiladi. Bunday kuchaytirgichlarning yuqori va quyi chastotalar nisbati f_{yu}/f_q birga yaqin, ya'ni 1,001 dan 1,1 gacha bo'ladi (7.20,b-rasm). Chastota ajratuvchi kuchaytirgichlar radiotexnika, televidenie, ko'p kanalli aloqa sistemalarida keng qo'llaniladi.

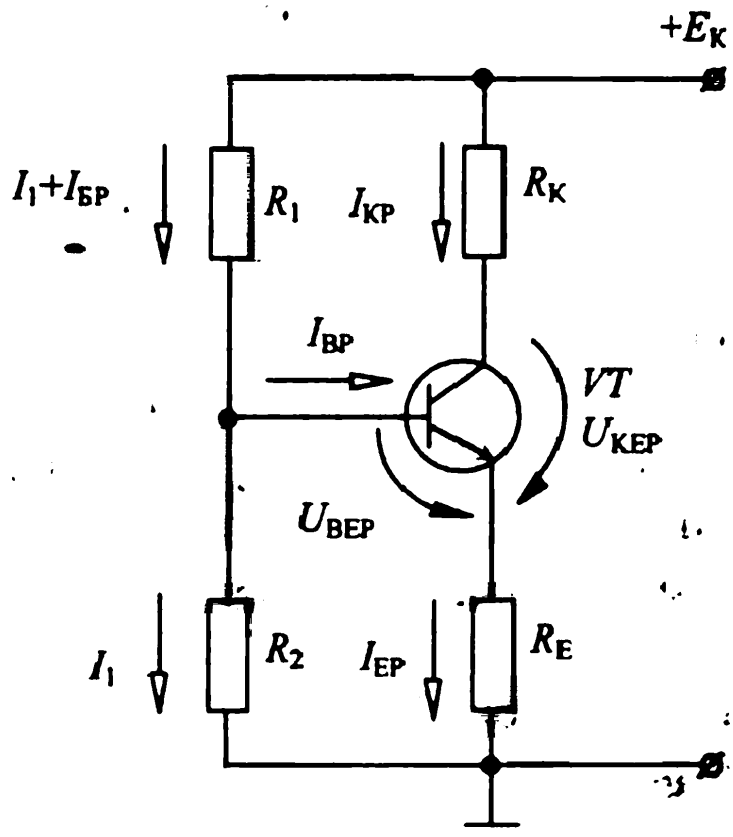
Manbadan tarqaladigan elektr signallar (tovush, video-impulslar) chastotasiga sozlangan chastota ajratuvchi kuchaytirgich faqat shu chastotadagi signalnigina kuchaytirib beradi. Yuqorida ko'rib chiqilgan sxemamiz tovush va sanoat chastotalarida ishlaydi va chastota ajratish uchun uning *RC* zanjiri

parametrlari $R_1=R_2=R$, $R_3=\frac{R}{2}$, $C_1=C_2=C$, $C_3=2C$ shartlarni kanoatlantirishi kerak.

Yuqori chastotali ajratuvchi kuchaytirgichlarda oddiy kuchaytirgichning kollektor zanjiriga LC kontur ulanadi. LC kontur rezonans rejimida ishlaydi. $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ chastotada kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti maksimal qiymatga ega bo'ladi.

7.6. Bo'limga doir masala yechish namunalari

7.1-namuna. O'zgaruvchan tokni kuchaytirish kaskadi sxemasi 7.6.1- rasmda keltirilgan. Tranzistor $n-p-n$ tipli. Ta'minlash manbayi kuchlanishi $E_K=36\,V$, yuklama quvvati $P_{io}=30\,mW$, chiqish kuchlanishi amplitudasi maksimal qiymati $U_{chiq.t}=9V$.



7.6.1-rasm

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

Yechish.

1. Yuklama parametrlarini aniqlash.

Berilgan ma'lumotlar $P_{yu} = 30\ mW$ va $U_{chiq.t} = 9\ V$ asosida yuklama qarshiligini hisoblaymiz:

$$R_{yu} = \frac{U^2_{chiq.t}}{2 \cdot P_{yu}} = \frac{9^2}{2 \cdot 30 \cdot 10^{-3}} = 1{,}35\ кOm = 1{,}35 \cdot 10^3\ Om$$

Yuklama toki amplitudasi:

$$I_{chiq.t} = \frac{U_{chiq.t}}{R_{yu}} = \frac{9}{1{,}35 \cdot 10^3} = 6{,}7\ mA$$

2. Sokin nuqtani tanlash.

Chiqish signalida nochiziqli buzilishlar yuzaga kelmasligi uchun, sokin nuqta parametrlari quydagi shartlar asosida tanlanadi:

$$I_{KP} \geq I_{chiq.t}$$

$$U_{KEP} \geq U_{chiq.t} + \Delta U$$

Bunda ΔU – to'yinish rejimi vaqtida tranzistordagi kuchlanish, uning qiymati 1...1,5 V oralig'ida qabul qilinadi.

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

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

3. Tranzistorni tanlash.

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

$$U_{KE.ruk} \geq E_K = 36V$$

$$I_{K\ ruk} \geq I_{KP} + I_{chiq.t}\ \ 12 + 6{,}7 = 18{,}7\ mA$$

$$P_{K.ruk} \geq I_{KP} \cdot U_{KEP} = 12 \cdot 10 = 120\ mW$$

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

Mazkur tranzistor quyidagi h - parametrlarga ega:

$$h_{11} = 0{,}14\ kOm,\ h_{21} = 50,\ h_{22} = 0{,}3\ mkCm$$

Uning h_{12} parametrni hisobga olmaymiz, sokin rejimidagi baza – emitter kuchlanishining tavsiya etilgan qiymati $U_{BEP} = 1{,}0\ V$.

4. Statik rejim.

Statik rejimda signal manbasi uzilgan bo'lib, kaskad faqat ta'minlash manbayi E_K ostida ishlaydi. Shuning uchun kondensatorlar qarshiligi cheksizga teng va hisobiy sxema quydagi ko'rinishda bo'ladi. (2.1 – rasm)

Yuklama static chizig'i tenglamasi Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra quydagicha yoziladi:

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

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

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

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

$$E_K = 1{,}1 \cdot I_K \cdot R_K + U_{KE}$$

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

Qarshiliklar: $R_K = \frac{E_K - U_{KEP}}{1{,}1 \cdot I_{KEP}} = \frac{36-10}{1{,}1 \cdot 12} = 1{,}97\,кOm$

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

$$I_{BP} = \frac{I_{KP}}{h_{21}} = \frac{12}{50} = 0{,}24\,mA$$

$$I_1 = 5I_{BP} = 5 \cdot 0{,}24 = 1{,}2\,mA$$

Sxemadagi R_2 - baza emitter $R_Э$ kontur uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan quydagi tenglamalarni olamiz.

$$-R_2 I_1 + U_{BEP} + I_{KP} R_Э = 0$$

Bundan

$$R_2 = \frac{U_{BEP} + I_{KP} \cdot R_E}{I_1} = \frac{1 + 12 \cdot 0{,}2}{1{,}2} = 2{,}8\,кOm$$

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

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

Bundan

$$R_1 = \frac{E_K - I_1 R_2}{I_1 + I_{BP}} = \frac{36 - 1{,}2 \cdot 2{,}8}{1{,}2 + 0{,}24} = 22{,}7\,кOm$$

5. Dinamik rejim.

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

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{22{,}7 \cdot 2{,}8}{22{,}7 + 2{,}8} = 2{,}5\ кOm$$

Kaskadning kirish qarshiligi:

$$R_{kir} = \frac{R_B \cdot h_{11}}{R_B + h_{11}} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}14}{2{,}5 + 0{,}14} \approx 0{,}14\ кOm.$$

Kaskadning chiqish qarshiligi:

$$R_{chiq} = \frac{R_K}{R_K \cdot h_{22} + 1} \approx R_K = 1{,}97\ кOm, \quad \left(h_{22} = 0{,}3 \cdot 10^{-6}\ Sm\right)$$

Yuklama dinamik chizig'i tenglamasi:

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

Chiqish kuchlanishi amplitudasi maksimal qiymati $I_{KE} = I_{KP}$ bo'lganda

$$U_{chiq.t} = I_{KP} \frac{R_K \cdot R_{yu}}{R_K + R_{yu}} = 12 \cdot \frac{1{,}97 \cdot 1{,}35}{1{,}97 + 1{,}35} = 9{,}6\ V$$

Masalaning shartida $U_{чик.m} = 9\ B$ edi, shuning uchun signal buzilishi sodir bo'lmaydi. Agar $U_{chiq.t}$ qiymati dastlabki (9 V)dan kichik bo'lganda edi, kollektor sokin toki I_{KP}ni oshirish kerak bo'ladi va hisoblashlar qaytadan amalgam oshirilishi zarur.

Kuchaytirish koeffitsiyentlari:

$$K_u = \frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot \frac{R_K \cdot R_p}{R_K + R_p} = 50 \cdot \frac{1{,}97 \cdot 1{,}35}{0{,}14(1{,}97 + 1{,}35)} = 286;$$

$$K_i = h_{21} \cdot \frac{R_K}{R_K + R_p} = 50 \cdot \frac{1{,}97}{(1{,}97 + 1{,}35)} = 29{,}7;$$

$$K_p = K_u \cdot K_i = 286 \cdot 29{,}7 = 8485$$

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

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

Kaskadning F.I.K. ($P_2 = P_{yo}$ 30 mW) bo'lganda

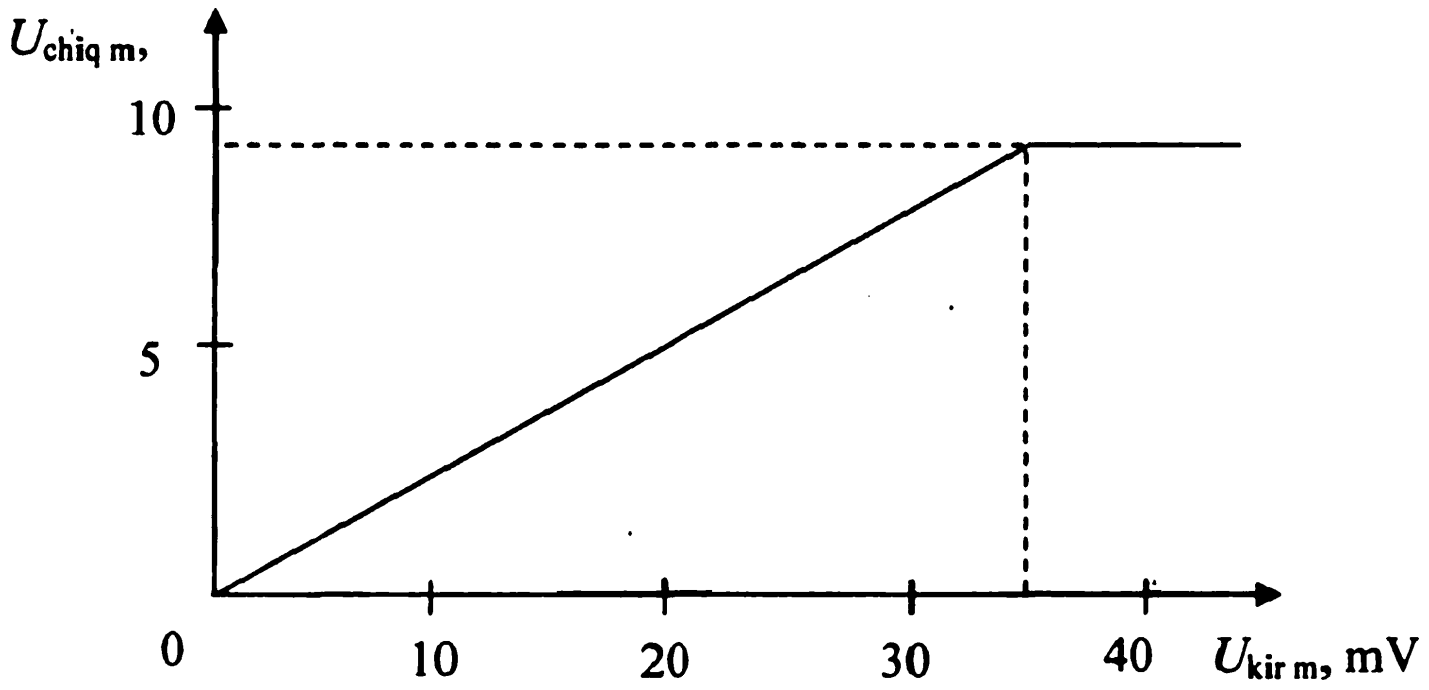
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{30}{120} = 0{,}25$$

Kaskadlarning A rejimida ishlovchi turlari uchun bu F.I.K. yetarli darajada yuqori hisoblanadi, chunki ularning maksimal F.I.K. qiymati 0,35 ga teng.

6. Kaskadning amplituda xarakteristikasi $U_{kir.t} = f(U_{kir.t})$

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

Bu chiziqli tenglama $U_{chiq.t} = 9{,}6\ V$ gacha o'rinli. Kuchlanishning yuqori qiymatlarida tranzistor berkiladi. Demak, amplituda xarakteristikasini (7.6.2- rasm) ikki nuqta bo'yicha qurish mumkin:



7.6.2 – rasm

Birinchi nuqta - koordinata boshi $U_{kir.t} = 0$, $U_{ciq.t} = 0$. Ikkinchi nuqta chiqish kuchlanishining $U_{chiq.t} = 9{,}6\ V$ va kirish kuchlanishining $U_{kir.t} = U_{chiq.t} / K_u = \frac{9{,}6}{286} = 33{,}6\ mV$ nuqtasi bo'ladi.

Rezyume

- Kuchaytirgich – kirishga berilgan kichik quvvatli signalni doimiy kuchlanish manbayining quvvati hisobiga kuchaytirib beruvchi qurilma.
- Kaskad - bitta kuchaytiruvchi elementi bo'lgan zanjir.
- Kuchaytirgich qurilmasi - kuchaytiruvchi element, rezistor, kondensator, chiqish zanjiridagi doimiy kuchlanish manbayi hamda iste'molchidan iborat.
- Kuchaytirgichlar ish rejimiga chiziqli va nochiziqli turlarga bo'linadi.
- Chiziqli ish rejimida ishlovchi kuchaytirgichlar kirish signalini uning shaklini o'zgartirmasdan kuchaytirib beradi.
- Chiziqli bo'lmagan ish rejimida ishlovchi kuchaytirgichlarda kirish signali ma'lum qiymatga erishganidan so'ng chiqishdagi signal o'zgarmaydi.
- Ko'p kaskadli kuchaytirgichning umumiy kuchaytirish koeffitsiyenti uning ayrim kaskadlarining kuchaytirish koeffitsiyentlari ko'paytmasiga teng.

Nazorat uchun savollar

1. *Qanday qurilma kuchaytirgich deyiladi ?*
2. *Kaskad nima ?*
3. *Kuchaytirgichlar ish rejimiga ko'ra qanday turlarga bo'linadi ?*
4. *Tranzistorli kuchaytirgich sxemasini tasvirlang.*
5. *Bu kuchaytirgich xarakteristikalarini tasvirlang.*
6. *Kaskad ishini grafik usulda qanday tahlil qilinadi?*
7. *Kuchaytirgich qanday parametrlar bilan xarakterlanadi?*
8. *Amplituda xarakteristikasi nima?*
9. *Kuchaytirgichning chastota xarakteristikasi nima ?*
10. *Faza–chastota xarakteristika nimani ko'rsatadi ?*

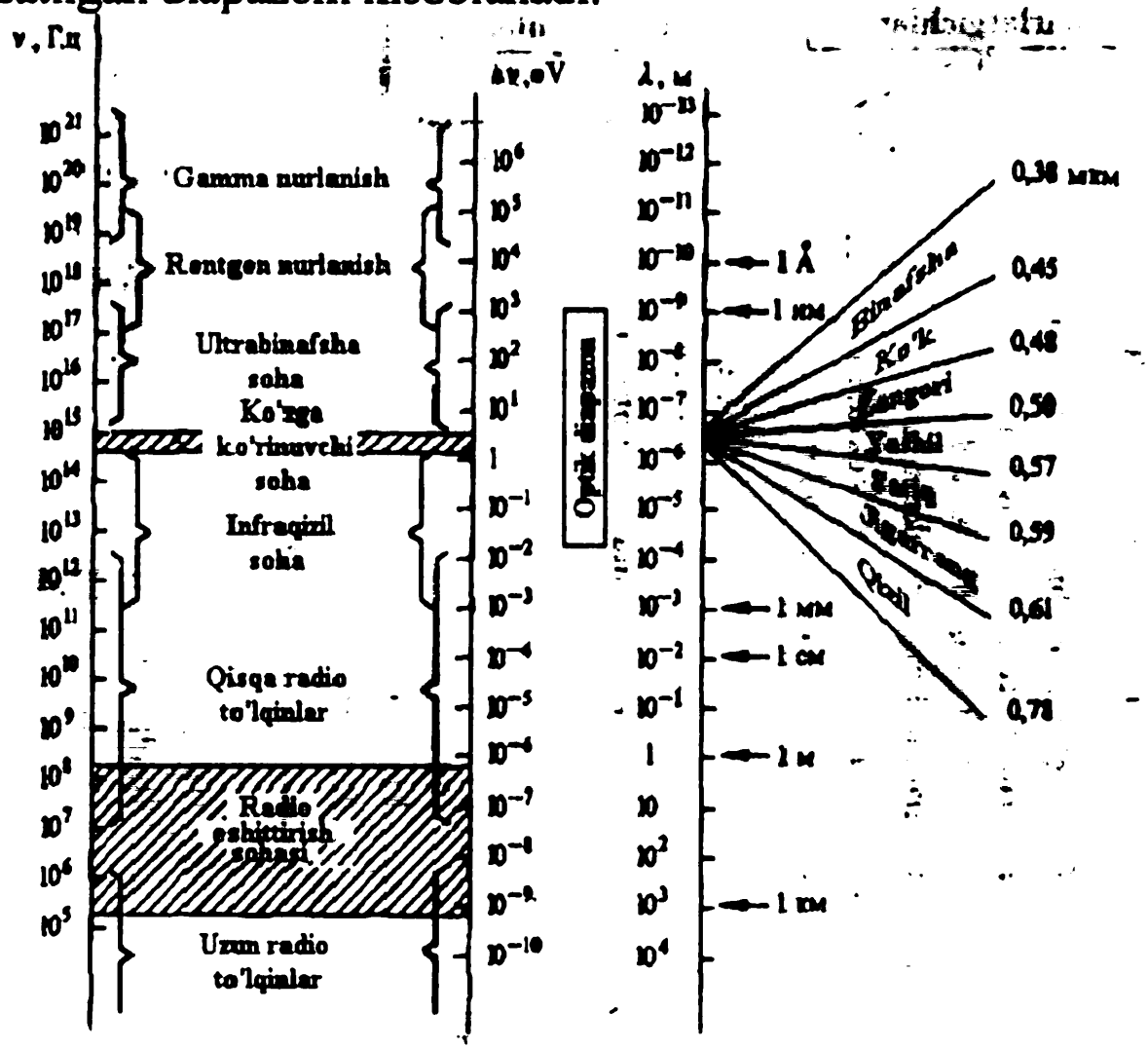
11. *Kuchaytirgichning kirish xarakteristikasiga ko'ra uning rejimlari qanday tahlil qilinadi?*
12. *Rezistiv – sig'imi bog'lanishli kaskad (RSKB) sxemasi va ish asosi qanday?*
13. *RSKB kuchaytirish koeffitsiyenti qanday ataladi ?*
14. *Kaskadni hisoblash qanday amalga oshiriladi ?*
15. *Teskari bog'lanish nima ? - U nima uchun qo'llaniladi ?*
16. *Differensial kuchaytirgichlar vazifasi nimadan iborat ?*
17. *Differensial kuchaytirgich sxemasi va uning ish asosi qanday ?*
18. *Operatsion kuchaytirgichlar qanday quriladi ?*
19. *Operatsion kuchaytirgichlar qanday usullarda ulanadi ?*

8. Optoelektron yarimo'tkazgichli asboblar

8.1. Optoelektron yarimo'tkazgichli asboblarning sinflanishi

Optoelektron yarimo'tkazgichli asbob-elektromagnit nurlanishni nurlantiruv-chi yoki o'zgartiruvchi, bu nurlanishga elektromagnit to'lqinlar spektrining ko'zga ko'rinuvchi, infraqizil va (yoki) ultrabinafsha sohalarida ta'sirchan bo'lgan yoki bu nurlanishni elementlarining o'zaro ichki ta'siri uchun qo'llovchi yarimo'tkazgichli asbobdir.

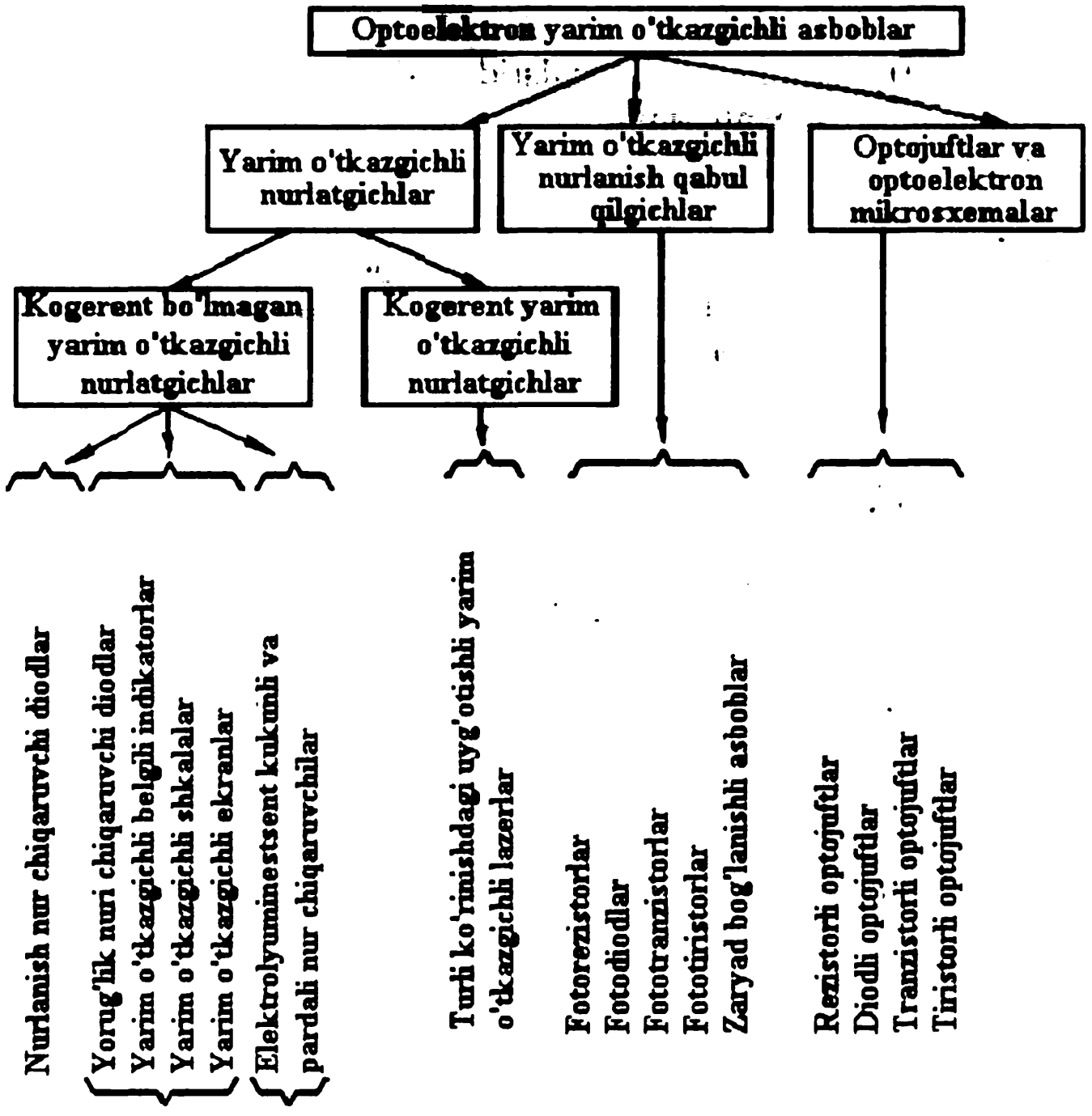
Yarimo'tkazgichli asboblar ishlashi mo'ljallangan elektromagnit tebranishlar-ning optik diapazoni shartli ravishda 1mm dan 1nm gacha to'lqin uzunliklari-ning 8.1- rasmda ko'rsatilgan diapazoni hisoblanadi.



8.1- rasm. Yarimo'tkazgichli asboblar ishlashi mo'ljallangan elektromagnit tebranishlarning optik diapazoni

Optoelektron yarimo'tkazgichli asboblarni yarimo'tkazgichli nurlatkichlar, yarimo'tkazgichli nurlanish qabul qilgichlar, optojuftlar va optoelektron integral mikrosxemalarga ajratish mumkin.

8.2-rasmda optoelektron yarimo'tkazgichli asboblarning sinflanishi keltiril-gan.



8.2 – rasm. Optoelektron yarimo'tkazgichli asboblarning sinflanishi

Yarimo'tkazgichli nurlatkich bu elektr energiyani elektromagnit to'lqinlar ko'zga ko'rinuvchi, infraqizil va ultrabinafsha sohalari nurlanish energiyasiga o'zgartirib beruvchi optoelektron yarimo'tkazgichli asbobdir.

Yarimo'tkazgichli nurlatkichlarning ko'pchiligi faqat kogerent bo'lmagan elektromagnit tebranish nurlarini tarqatadi. Ularga spektrning ko'zga ko'rinuvchi soha yarimo'tkazgichli nurlatkichlari axborotni tasvirlovchi yarimo'tkazgichli asboblar (yorug'lik chiqaruvchi diodlar, yarimo'tkazgichli belgili indikatorlar, shkalalar va ekranlar), shuningdek spektrning infraqizil nurlatkich diodlar kiradi.

Kogerent yarimo'tkazgichli nurlatkichlar bu turli ko'rinishdagi uyg'otishli yarimo'tkazgichli lazerlardir. Ular kogerent tushunchasiga mos holda amplitudali, chastotali, fazali, tarqalish va qutblanish yo'nalishli elektromagnit to'lqinlarni nurlatishi mumkin.

Yarimo'tkazgichli nurlanish qabul qilgich bu spektrning ko'zga ko'rinuvchi, infraqizil va (yoki) ultrabinafsha sohalari elektromagnit nurlanishiga ta'sirchan bo'lgan yoki elektromagnit kuchlanish energiyasini bevosita elektr energiyasiga o'zgartiruvchi optoelektron yarimo'tkazgichli asbobdir.

Yarimo'tkazgichli nurlanish qabul qilgichlarga fotorezistorlar, fotodiodlar, fotoelementlar, fototranzistorlar va fototiristorlar kiradi.

Optojuftlar bu nur tarqatuvchi va nurni qabul qiluvchi o'zaro bog'lanishga ega elementlar va elektr izolyatsiyalangan optoelektron yarimo'tkazgichli asbobdir.

Optojuftlikning bitta elementi-nurlatkich-sifatida infraqizil nurlanishli diod, yorug' chiqaruvchi diod, elektrolyuminessentli kukunli yoki pardali nurlatkich, shuningdek lazer qo'llanilishi mumkin.

Optojuftlikning ikkinchi elementi yorug'lik qabul qiluvchi sifatida fotorezistor, fotodiod, bipolyar fototranzistor va fototiristorlar qo'llanilishi mumkin.

Optoelektron integral mikrosxemalarning asosiy qismi u yoki bu optojuftlikdan iborat. Bu analog yoki mantiqiy signallarni qayti ishlash, tezkorligiga bog'liq holda va boshqa talablar asosida tanlanadi.

Quyida optoelektron yarimo'tkazgichli asboblar asosini tashkil etgan yarimo'tkazgichli nurlatkichlar, yarimo'tkazgichli nurlanish qabul qilgichlar va optojuftliklar guruhlariga kiruvchi ba'zi turlarining tuzilishi, ishlashi va xarakteristikalari bilan yaqinroq tanishib chiqamiz.

8.2. Yarimo'tkazgichli nurlatkichlar

Axborotni tasvirlovchi yarimo'tkazgichli asbob–bu ko'zga ko'rinuvchi axborotni tasvirlash uchun mo'ljallangan, spektrda ko'zga ko'rinuvchi soha energiyasining yarimo'tkazgichli nurlatkichi.

Infraqizil nurlanish diodi–bu spektrning sohasi energiyasini nurlash qobiliyatiga ega bo'lgan dioddan iborat yarimo'tkazgichli nurlatkich.

Axborotni tasvirlovchi yarimo'tkazgichli asboblar tuzilishi, konstruktsiyasi va qo'llanish maqsadlariga ko'ra yorug'lik chiqaruvchi diodlar, yarimo'tkazgichli induktorlari, shkala va ekranlarga bo'linishi mumkin (8.2-rasmga qarang).

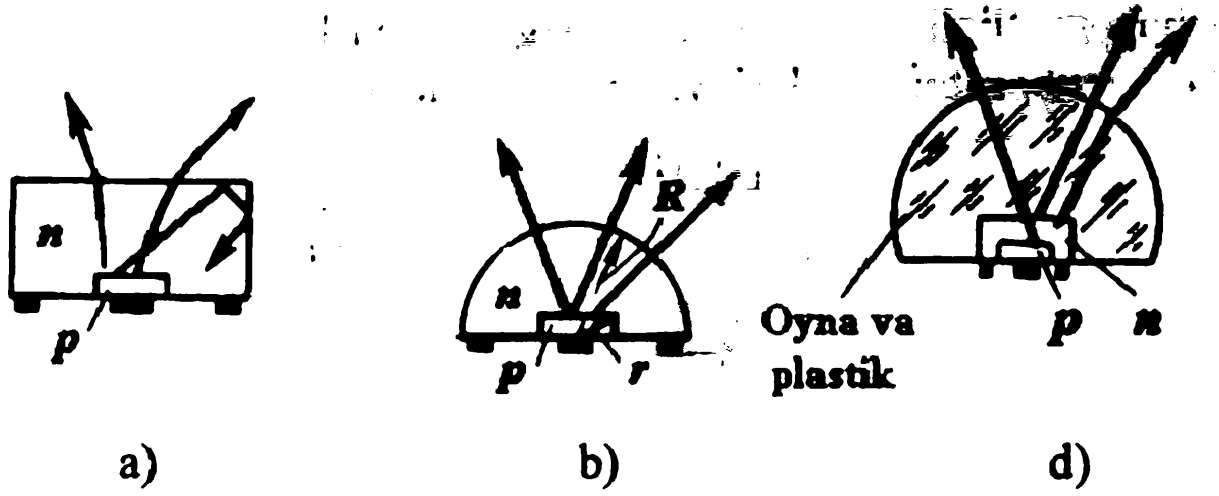
Yorug'lik chiqaruvchi diod–bu dioddan iborat axborot tasvirlovchi yarimo'tkazgichli asbob.

Shunday qilib, yorug'lik chiqaruvchi diod tarkibida faqat bitta to'g'rilovchi elektr o'tish yoki bitta yarimo'tkazgichli nurlatuvchi element bor.

8.3-rasmda kogerent bo'lmagan yarimo'tkazgichli nurlatkichlarning tuzilishi ko'rsatilgan.

Rasmda ko'rinib turibdiki, sodda yassi tuzilishiga ega yarimo'tkazgichli nurlatkich (8.3,a-rasm) dan atrof fazaga to'g'rilovchi elektr o'tish yoki uning yaqinida yuzaga kelgan fotonlarning bir qismigina chiqadi.

Kvantlarning tashqariga chiqishini oshirish uchun yarimo'tkazgichli nurlatkichning murakkab konstruksiyalaridan foydalaniladi, bunda yarimo'tkazgich kristalli yarim sferik ko'rinishda (8.3,b-rasm) yoki shaffof yarim sferik qoplamli yassi tuzilishli (8.3,d-rasm) qilib tayorlanadi.



8.3-rasm. Kogerent bo'lmagan yarimo'tkazgichli nurlatkichlarning tuzilishi

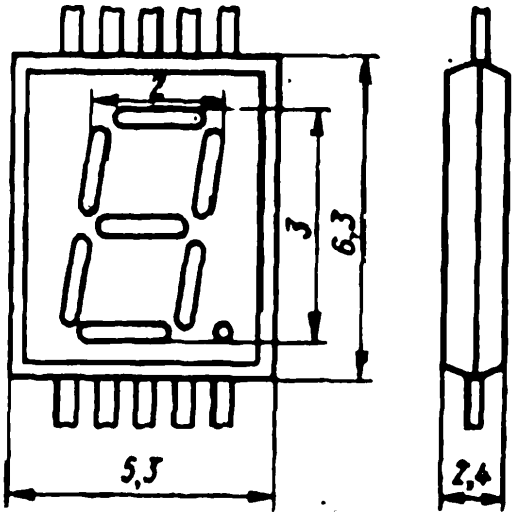
Undagi uyg'ongan elektronlar to'g'ri ulangan kuchlanish ta'sirida nisbatan pastroq energetik sathga o'tadi va kovaklar bilan ko'proq to'qnashib, rekombinatsiyalanadi. Rekombinatsiya tufayli har bir tashuvchi elektron va kovaklar juftidan foton hosil bo'ladi. Elektron va kovaklar ko'p bo'lganligi uchun fotonlar (yorug'lik energiyasi) ajralib chiqadi.nurlanish rangi yarimo'tkazgich (diod) qanday materialdan tayyorlanganligiga, nurlanish ravshanligi esa dioddan o'tayotgan tokning miqdoriga bog'liq bo'ladi.

Yarimo'tkazgichli belgi indikatori–bu axborotni belgi ko'rinishida ko'rsatish uchun mo'ljallangan va bir yoki bir nechta razryadli qilib bajarilgan yarimo'tkazgichli asbobdir.

8.4-rasmda bir razryadli indikatorning konstruktsiyasi ko'rsatilgan. Bu indikator yettita nurlanuvchi element va detsimal nuqtadan, ya'ni to'g'ri yo'nalishda tok o'tgan vaqtda o'zidan nur chiqaruvchi yarimo'tkazgich monokristallida joylashtirilgan sakkizta p–n-o'tishdan iborat.

Nurlanuvchi elementlarning turli kombinatsiyalari tashqi kommutatsiya bilan ta'minlanadi va bu 0 dan 9 gacha bo'lgan raqamlarni hamda detsimal nuqtani yuzaga keltirish imkonini beradi.

Yarimo'tkazgichli shkala – bu analogli axborotni ko'rsatish uchun mo'ljallangan yarimo'tkazgichli nurlanish elementlaridan iborat axborotni tasvilash yarimo'tkazgichli asbobdir.



8.4-rasm. Bir razryadli indikatorning konstruktsiyasi

Bunday yarimo'tkazgichli shkalalar tranzistorli qabul qilgichlarni sozlash indikatorlari sifatida, analogli axborotlarni fotoplyonkaga yozish uchun, turli o'lchov asboblar shkalasi sifatida va boshqa maqsadlarda qo'llaniladi.

Yarimo'tkazgichli ekran – bu bitta liniya bo'ylab joylashgan va nurlanuvchi elementlarning n qatoridan iborat, analog va raqamli axborotni tasvirlash qurilmalarida qo'llanilish uchun mo'ljallangan nurlanuvchi elementlari bo'lgan axborotni tasvirlash yarimo'tkazgichli asbobdir. Ular raqam va harflarni tasvirlash imkoniga ega.

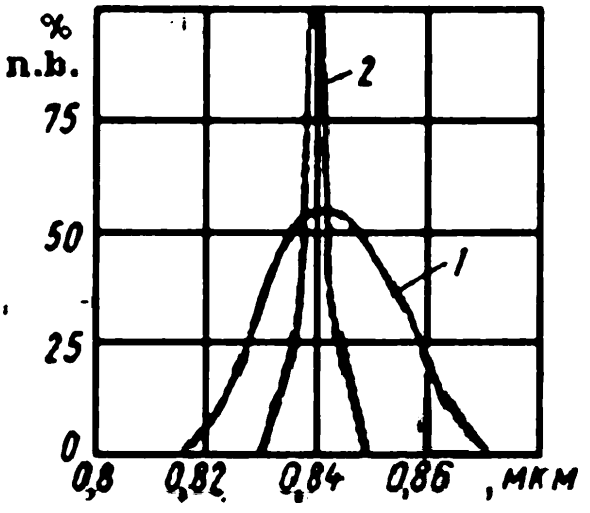
Yarimo'tkazgichli lazer – bu elektr energiyasini yoki kogerent bo'lmagan nurlanish energiyasini kogerent nurlanish energiyasiga o'zgartirish uchun mo'ljallangan yarimo'tkazgichli nurlanish asbobi.

Yarimo'tkazgichli lazerlar yoki optik kvant generatorlarda nurlanish yorug'lik chiqaruvchi diodlardagi kabi elektronlar va kovaklar rekombinatsiyayalari tufayli sodir bo'ladi. Ammo lazerlarda rekombinatsiya o'z-o'zidan emas balki majburiy holda yuzaga keltiradi va bunda nurlanish kogerent ko'rinishiga ega bo'ladi.

Lazerning asosiy xarakteristikalari va parametrlari quyidagilardan iborat. Tok zichligining quyi (ostona) qiymati temperaturaga bog'liq bo'lib, galliy arsenidi asosidagi lazerlar uchun T=4,2 K da 10^2 A/sm^2 va T=77 K da 10^4 A/sm^4 ga teng;

Lazerning spektr xarakteristikasi nurlanish intensivligining to'lqin uzunlikka bog'lanishini ko'rsatadi (8.5-rasm).

Kichik toklarda (quyi qiymatdan kichik) yuzaga keluvchi o'z-o'zidan uyg'onishli rekombinatsiya tufayli nurlanish kogerent bo'lmaydi. Shuning uchun spektral xarakteristika keng bo'lib, lazer yorug'lik chiqaruvchi diod kabi ishlaydi. Katta toklarda (quyi qiymatdan yuqori) nurlanish intensivligi sezilarli darajada yuqori bo'ladi, chunki u kogerent va qat'iy yo'nalishli holda yuzaga keladi.



8.5-rasm. Lazerning spektr xarakteristikasi nurlanish intensivligining to'lqin uzunlikga bog'lanishi

Lazer nurlanish yo'nalishli diagrammasi nurlanish intensivligining fazada taqsimlanishini xarakterlaydi. Bu parametri bo'yicha yarimo'tkazgichli lazer gazli va qattiq jismli dielektrli lazerlarga yeta olmaydi.

Lazerning foydali ish koeffitsiyenti 70% ni tashkil yetadi. Bu ko'rsatkichi bo'yicha ular boshqa turdagi lazerlardan ancha ustun.

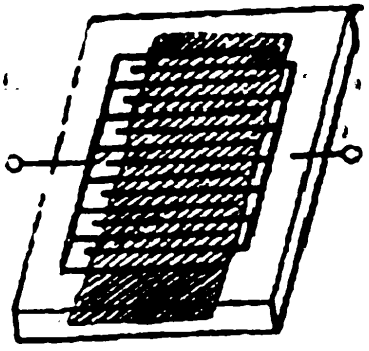
Lazerning yorqinlik xarakteristikasi, ya'ni nurlanish intensivligining lazer orqali o'tuvchi tokka bog'liqligi. Yorug'lik chiqaruvchi diod rejimida va lazer ish rejimidagi toklar diapozonidagi chiziqli bog'lanishni ko'rsatadi.

8.3. Yarimo'tkazgichli nurlanish qabul qilgichlar

Yarimo'tkazgichlarda nurlanish ta'sirida zaryad tashuvchilar jufti (elektron va kovaklar) ning hosil bo'lishi kuzatiladi va bu hodisa *ichki fotoeffekt* deyila-di. Fotonlar ta'sirida hosil bo'lgan qo'shimcha o'tkazuvchanlik *fotoo'tka-zuvchanlik* deb ataladi. Masalan, kadmiy sulfidi yoki kadmiy selenididan tayyorlangan yarimo'tkazgichli qarshilik nurlanish ta'sirida o'z qarshiligini o'zgartiradi. Bunday qarshilik *fotorezistor* deb ataladi.

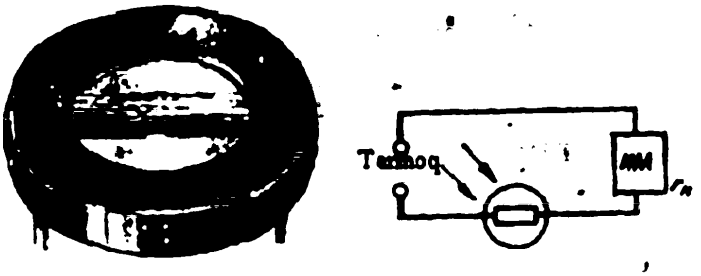
Fotorezistorlar o'zining tuzilishi va ishlatish texnikasi bo'yicha optoelektron asboblar ichida eng oddiysi hisoblanadi. Fotorezistorlarda yarimo'tkazgich (selen, vismut sulfid, kadmiy sulfid, qo'rg'oshin sulfid va hakozo) qatlamida yutilayotgan nurlanish energiyasi zaryad tashuvchilar (elektronlar yoki teshiklar)ning sonini juda ham oshiradi demak, element qarshiligini kamaytiradi. Fotorezistorlar ventil xususiyatiga ega emas. Ko'p fotorezistorlar plastinka shaklidagi shisha asosda yasaladi (8.6-rasm), unga zanglamaydigan metall-kumush, oltin, platinadan yupqa qatlam qo'yiladi. Bu metall yarimo'tkazgich bilan kontakt hosil qilish uchun xizmat qiladi. Metallda to'lqinsimon tirqish shunday kesiladiki, natijada ikkita taroqsimon elektrodlar paydo bqladi. Ustidan yarimo'tkazgich qatlami purkaladi, uning qalinligi yorug'likning o'tkazgichga kirish

o'rtacha chuqurligidan katta bo'lmasligi kerak. Shunday qilib, fotorezistor uzunligi tirqish eniga teng, ya'ni juda kichik, ko'ndalang kesimi esa nisbatan katta, chunki u yarimo'tkazgichning qalinligi bilan elektrodlar orasidagi tirqishlar uzunligi yig'indisining ko'paytmasiga teng (0,01–0,5). Bunday nisbatlarda yarimo'tkazgich solishtirma qarshiligining katta bo'lishiga qaramay fotoelektr qarshilik uncha katta emas. Bu bilan fotorezistorning yetarli sezgirligi ta'minlanadi. Yaltiroqlok qatlam yarimo'tkazgichni tashqi ta'sirlardan himoya qiladi.



a)

8.6-rasm. Fotorezistorlarning tuzilishi



b)

8.7-rasm. Fotorezistorlarning ulanishi

Fotorezistor u boshqaradigan qurilma bilan va elektr energiyasi manbayi bilan ketma-ket ulanadi (8.7-rasm). Yoritilmagan fotorezistorning qarshiligini qorog'ilikdagi qarshilik deb ataladi. Bunday sharoitda elektr energiyasi manbayi kuchlanishi U ning ta'sirida fotorezistorli zanjirda qorong'ida kichik tok vujudga keladi:

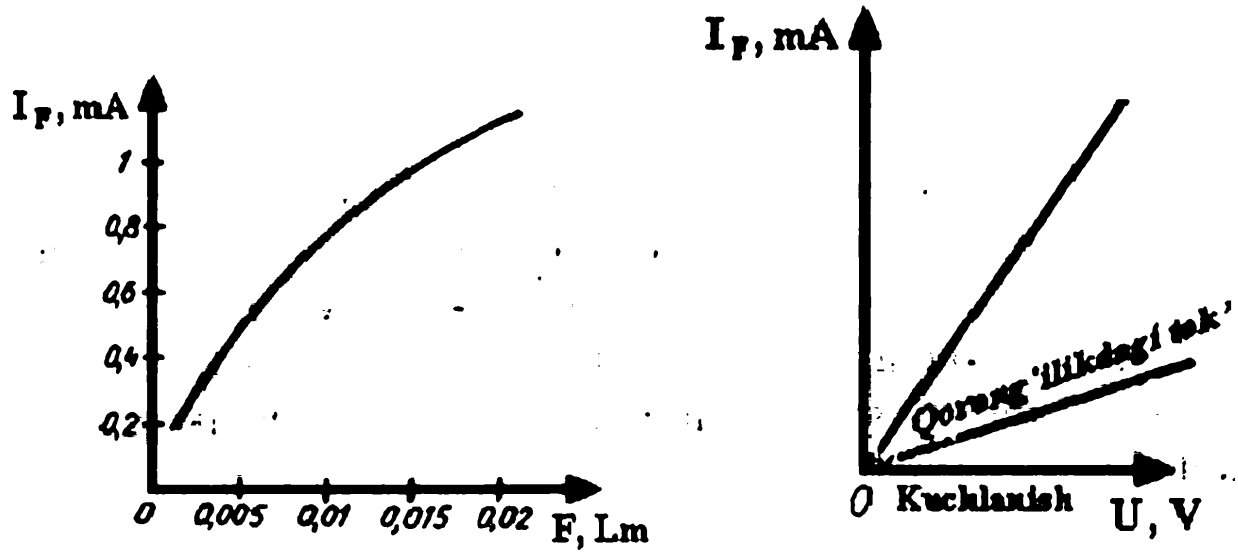
$$I_{qor} = U / r_{qor},$$

Agar fotorezistor yoritilsa, uning o'tkazuvchanligi birdaniga oshadi, natijada boshqa zanjirda tok ko'payadi, bu esa ijro mexanizmi IM ni ishga tushiradi. Ko'p hollarda fotorezistor tokini, oraliq ko'paytirgichidan foydalanmay, to'g'ridan-to'g'ri ijro mexanizmini harakatga keltirish uchun ishlatish mumkin. Fotorezistorning boshqa tipdagi optoelektron asboblardan asosiy afzalligi ham ana shundadir. Fotorezistorning dinamik sezgirligi

fototok o'zgarishini (mikroamperlarda) yorug'lik o'zgarishiga (lyumenlarda) nisbatidan iborat:

$$S_I = \Delta I / \Delta \Phi,$$

Bunda kuchlanish o'zgarmas bo'ladi. Ammo fotorezistor orqali o'tayotgan tok kuchlanishning oshishi bilan ham ko'payadi, shuning uchun fotorezistorda integral sezgirlikni farq qilish lozim, u maksimal ruxsat etilgan ish kuchlanishida aniqlanadi va mikroamperni lyumenga bo'lgan nisbatiga teng; uni kuchlanish birligiga to'g'ri keluvchi va mikroamperni lyumenvoltga bo'lgan nisbatida o'lchanuvchi sezgirlikdan farq qilish kerak. Integral sezgirlik fotorezistorlar sezgirliklarini nominal kuchlanishga ko'paytirish yo'li bilan aniqlanadi. Maksimal ish kuchlanishida (fotorezistor turiga qarab U 15 dan 400 V gacha) fotorezistor sezgirligi 1000–5000 mkA/(lm·V) bo'ladi. Fotorezistorning integral sezgirligi nisbatan yuqori 50 dan 1200 mA/(lm·V) gacha bo'ladi.



8.8-rasm.Fotorezistorlarning sezgirligi (a) va fotorezistor fototokining energetika xarakteristikasi (b)

Fotorezistorning ish sezgirligi u bilan ketma-ket ulanadigan yuklama rezistorining qiymatiga bog'liq. Kataloglarda fotorezistorlarning sezgirligi odatda qisqa tutashtirilgan zanjirda

va fotorezistor fototokining energetika xarakteristikasini tik ko'tarilish sohasida keltiriladi (8.8-rasm).

O'zgarmas kuchlanishda fotorezistor toki yorug'lik oqimi F ga nochizig'iy bog'liq. U taxminan F ga proporsional. Katta yorug'lik oqimlarida fotorezistor sezgirligi juda kamayadi.

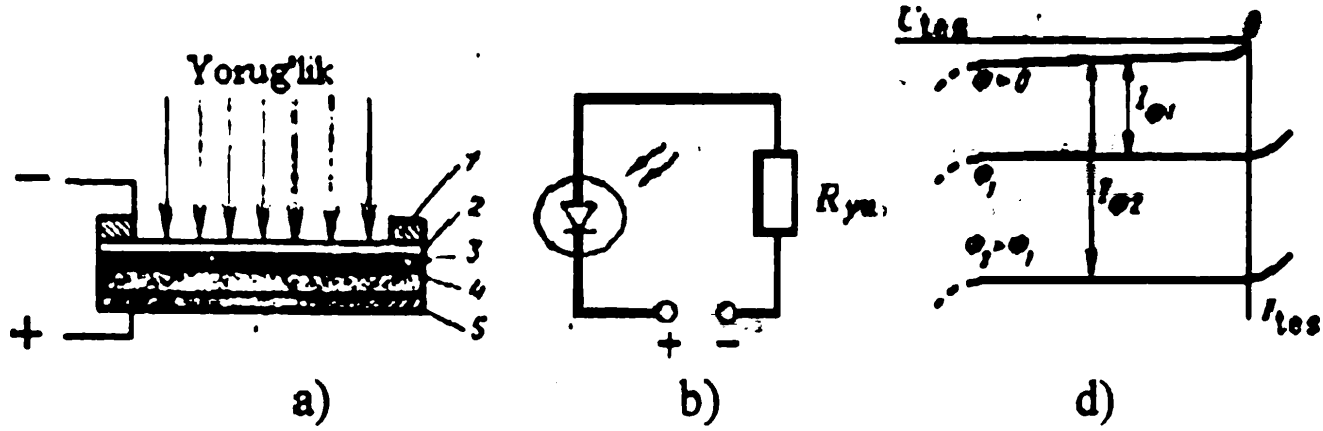
Fototokning kuchlanishga bog'liqligi ya'na fotorezistorning volt-amper xarakteristikasi deyarli chiziqli - fototok kuchlanishga proporsional o'sadi, lekin fotorezistorlarning qizishi sezgirlikni kuchlanishni ko'paytirish yo'li bilan oshirishni cheklaydi. Fotorezistor yoritilganda unda tok o'zining oxirgi qiymatiga biror vaqt oralig'idan keyingina erishadi, fotorezistor qorong'ilashtirilganda esa bir oz kechikib kamayadi. Shunday qilib, fotorezistorlar sezilarli inertsionallikka ega. Ularning doimiy vaqti odatda sekundning yuzdan bir necha ulushidagi miqdordir, shuning uchun ular qisqa muddatli yorug'lik impulslarini sezmaydi.

Fotorezistorlarning katta qismiga, xuddi hamma yarimo'tkazgichlar kabi, temperatura o'zgarishlari kuchli ta'sir qiladi. Fotorezistorlarning spektral xarakteristikasi ularning materialiga bog'liq. Materialni mos ravishda tanlab ko'rinuvchi spektrning istalgan qismiga sezgir fotorezistor yasash mumkin. Ba'zi fotorezistorlar spektrning infraqizil qismiga juda sezgir bo'ladi, bu kuchsiz qizdirilgan jismlarning nurlarini kuzatish va qayd qilish uchun ulardan foydalanish imkoniyatini beradi. Hozirgi vaqtda fotorezistorlarda asosan sulfat birikmalari ishlatilmoqda.

Yarimo'tkazgichli fotodiod – bu teskari toki yoritilganlikga bog'liq bo'lgan yarim o'tkazgichli diod. Fotodiod bitta p–n-o'tishga ega bo'lib, optoelektron asboblarning katta guruhini tashkil qilish, ularda nur energiyasining yutilishi elektron teshikli o'tish atrofidagi sohada yangi juft zaryad tashuvchilar elektronlar va teshiklarni hosil qiladi, buning natijasida fotodiod elektrodlari orasida potensiallar farqi (foto-E.Yu.K) vujudga keladi. Bu potensiallar farqini tashqi zanjirda tok paydo qilish uchun

(fotogenerator rejimida) yoki zanjirda tashqi elektr energiyasi hosil qiladigan tokni o'zgartirish uchun (foto rejimida) foydalanish mumkin. Keyingi holda fotodiodning ishlash rejimi fotorezistolarning ishlash rejimi kabi bo'ladi.

Hozirgi vaqtda selen, kumush va kremniy sulfididan tayyorlangan hamda germaniyli fotodiodlar eng ko'p tarqalgan.Fotodiodning tuzilishi va ishlash jarayonini fotogenerator rejimida, ya'ni u elektr zanjirida yagona energiya manbayi bo'lgan sharoitda ko'ramiz. Yarimo'tkazgichning yorug'lik sezgir qatlami (masalan, selen) 4 tayanch metall elektrod 5 sirtiga qoplanadi (8.9-rasm).



8.9-rasm. Fotodiodning tuzilishi (a), ulanish sxemasi (b) va xarakteristikasi (d)

Bu qatlam yupqa yaltiroq tilla bilan qoplanadi. Tashqi zanjir bilan biriktirish uchun bu plyonkaning chetlariga kontakt metall halqalar qo'yiladi. Plyonkani tashqi ta'sirlardan yaltiroqlok qatlami himoya qiladi. Tayyorlash texnologiyasiga qarab elektron - kovakli o'tishni yarimo'tkazgich ichida yaltiroq metall plyonka atrofida yoki tayanch metall-elektrod yaqinda hosil qilish mumkin. Fotodiod ishlaganda yorug'lik oqimi yaltiroq plyonka orqali yarimo'tkazgichga o'tadi. Bu yerda nur energiyasining yutilishi yangi zaryad tashuvchilar jufti kovaklar va erkin elektronlarning paydo bo'lishiga olib keladi. Lekin o'tishda asosiy zaryad tashuvchilarning bo'linishidan vujudga kelgan elektr maydoni mavjud. Bu maydonning asosiy bo'lmagan zaryad

tashuvchilarga ta'siri ostida yarimo'tkazgichning kovakli sohasidan elektronlar va elektron sohasidan kovaklar uzoqlashadi; p–n-o'tish orqali elektronlar n-sohaga kovaklar p-sohaga o'tadi. Sohalarda zaryadlarining ko'payishi natijasida kovakli soha potensiali ortadi, elektron sohaniki esa kamayadi, fotoelement qancha kuchli yoritilsa, yarimo'tkazgichda shuncha ko'p kovaklar va erkin elektronlar vujudga keladi hamda p va n sohalar orasidagi potensiallar farqi (foto-E.Yu.K) shuncha katta bo'ladi.

Ikkita o'tkazgich yaltiroq metall plyonka va tayanch elektrod yarimo'tkazgichning ikkita sohasi bilan tutashtirilgan. Shunday qilib, yorug'lik ta'sirida metall plyonkaga va u bilan birga kontakt halqaga bitta ishorali, tayanch metall elektrodga esa boshqa ishorali zaryad o'tadi.

Bunday fotoelement tok manbayi bo'lib xizmat qilishi mumkin va hech qanday yordamchi energiya manbalarini talab qilmaydi. Unda nur energiyasi to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantiriladi.

Bu fotodiodning tashqi rezistorga ulanganda (8.9-rasm) vujudga keladigan fototoki tashqi rezistor qarshiligi nisbatan kichik bo'lganda yoritilganlikka proporsional bo'ladi.

Yorug'lik oqimi yo'qligida fotodioddan oddiy boshlang'ich teskari tok I_{tes}, ya'ni qorong'ilik toki o'tadi (8.9-rasm). Yorug'lik oqimi ta'sir etganda dioddagi tok ortadi. Oqim qancha katta bo'lsa, tok ham shuncha katta bo'ladi.

Diodga ta'sir etuvchi teskari kuchlanishning ortishi tokning qiymatiga deyarli ta'sir etmaydi. Biroq ma'lum kuchlanishida teshilish yuz beradi (xarakteristikadagi uziq chiziqlar). Fototokning qiymati, asosan, yorug'lik oqimiga proporsionaldir. Kremniyli fotodiodlarning sezgirligi 3 mA/lm, germaniy fotodiodlarniki 20 mA/lm ga yetadi.

Bir tomondan, fotodiodlarning sezgirligi juda yuqori 0,5–10 mA/lm.Ikkinchi tomondan uni o'rab olgan yupqagina berkituvchi qatlam ikkita o'tkazuvchi sohasi bilan nisbatan katta sig'im hosil qiladi (odatda selenli foto elementlarda 0,25 mkF/sm^2) buning

natijasida fotodiod juda katta inertsionlikka ega. Bu fotodiodni kuchaytirgich bilan ulash ham ancha qiyin, chunki u ishlayotganda nisbatan kichik qarshilikli rezistorga ulanishi kerak.

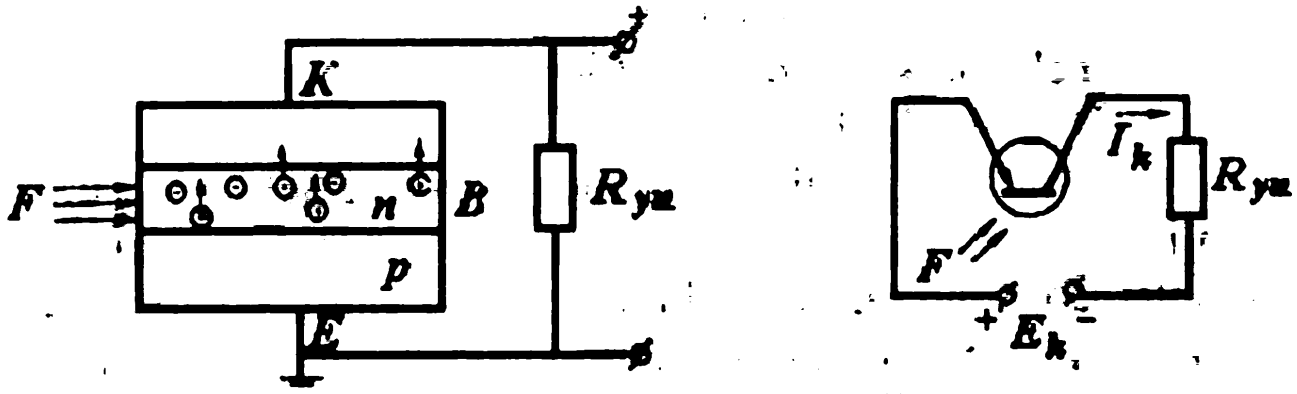
Shunga qaramay fotodiodlar ko'p hollarda, ya'ni optoelektron asboblarni yagona elektr energiyasi manbayi sifatida ishlatish maqsadga muvofiq bo'lganda undan keng foydalanilmoqda. Jumladan, o'lchash qurilmalari-lyuksmetrlar, fotometrlar, eksponometrlar, densimetrlarda (muhit yaltiroqligini o'lchash asboblarida) va hokazo, bundan tashqari juda katta miqdordagi elektr energiyalarini quyosh batareyalaridan olishda foydalaniladi.

Batareyalar, masalan, yerning sun'iy yo'ldoshlariga o'rnatiladi. Bunday batareyalar uchun ishlatiladigan kremniyli fotodiodlarning foydali ish koeffitsiyenti taxminan 10% ga teng. Bunday batareyalarning keng tarqalishiga ularning yuqori narxi va past f.i.k. hozircha qiyinchilik tug'dirmoqda.

Fototranzistor ikki *p–n* o'tishli, uch qatlamli yarimo'tkazgich bo'lib, yorug'lik energiyasi ta'sirida fototokni kuchaytirish uchun xizmat qiladi. Fototranzistorning tuzilishi oddiy yassi tranzistorning tuzilishiga o'xshaydi (8.10-rasm).

Fototranzistor ikki xil (umumiy bazali va umumiy emitterli) sxema bo'yicha ulanishi mumkin (8.10,b-rasm). Yoritilgan bazada bo'sh elektron va kovaklar hosil bo'ladi. Kovaklar bazada yordamchi tashuvchi vazifasini o'tab, kollektor o'tishida kollektorga tortib olinadi va kollektor zanjirda fototok hosil qiladi. Elektronlar emitter o'tishidagi potensial to'siqni kamaytiruvchi hajmli zaryadni hosil qiladi.

Emitter o'tishi ochilib, kovaklar bazadan kollektorga o'tadi va fotodiod tokidan β marta katta bo'lgan qo'shimcha kollektor tokini hosil qiladi. Iste'molchidagi umumiy tok qorong'ilik toki I_{qo}, fotodiod toki I_f va kuchaytirilgan fototok βI_f larning yig'indisiga teng, ya'ni $I_u = I_{qo} + I_f + \beta I_f \cong \cong (1 + \beta) I_f$. Fototranzistor UE sxema bo'yicha ulanganida chiqish toki I_u ni yorug'lik va elektrik signallar yordamida boshqarish mumkin.



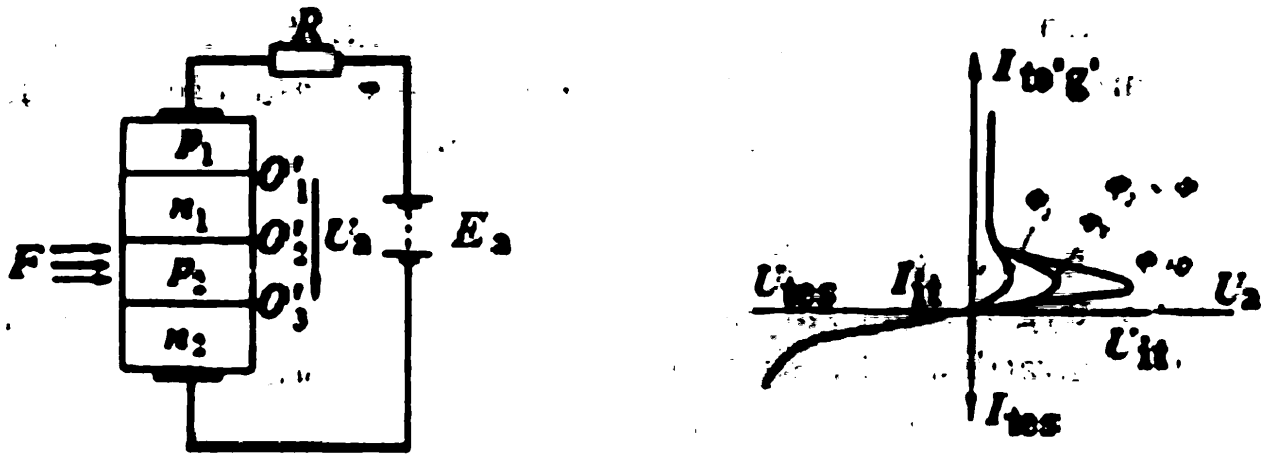
a) b)

8.10- rasm. Fototranzistorning tuzilishi (a) va uning ulanish sxemasi (b)

Fototranzistorlar avtomatik qurilmalarda, fototelegrafiyada, kinoapparatlar va optoelektronikada sezgir element sifatida ishlatiladi.

Fototiristor uchta p–n o'tishli yarimo'tkazgichdir. U p_1–n_1–p_2–n_2 qatlamlardan iborat bo'lib, oddiy tiristor kabi kremniydan tayyorlanadi. Birinchi va uchinchi o'tishlarga nisbatan kuchlanish to'g'ri, ikkinchisiga nisbatan esa teskari ulanadi.

Yorug'lik oqimi ta'sir etmaganda fototiristor oddiy tiristor kabi ishlaydi (8.11-rasm).

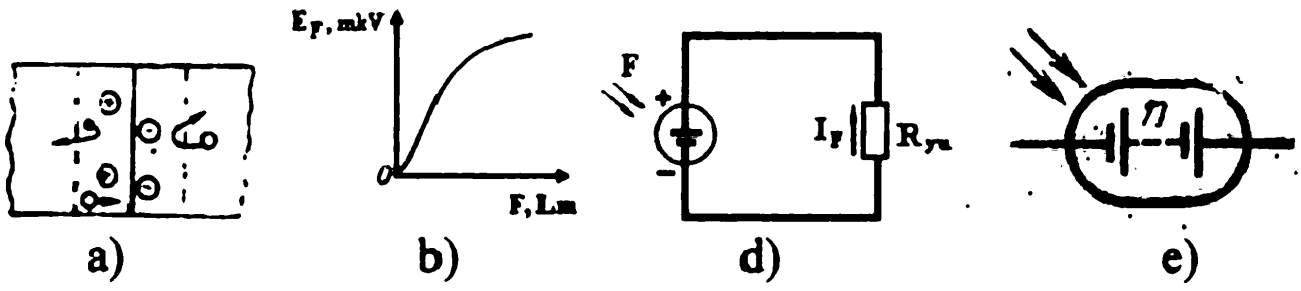


a) b)

8.11-rasm. Fototiristor tuzilishi (a) va uning xarakteristikasi (b)

Yorug'lik ta'siri boshqaruvchi tok ta'siri kabi bo'lib, uning oqimi qanchalik katta bo'lsa, fototiristorning anod kuchlanishi shunchalik kichik bo'ladi (8.11,b-rasm).

Yuqorida ko'rib chiqilgan optoelektron asboblarda yorug'lik oqimi elektr tokining faqat qiymatiga ta'sir eta oladi. Bu asboblardan tashqari, yorug'lik oqimining energiyasini EYuK ga va aksincha, elektr tokini nurlanishga aylantiruvchi asboblar ham mavjuddir. Ventil yoki galvanik fotoelement nurlanish energiyasini elektr energiyasiga aylantirish uchun xizmat qiladi. Selen, kadmiy sulfidi, kremniydan tayyorlangan diodlar tashqi kuchlanishsiz ishlab, yorug'lik nuri ta'sirida o'z EYuK ni hosil qiladi.



8.12–rasm. Galvanik fotoelementning yorug'lik ta'sirida uyg'otilgan zaryad tashuvchilarning ajratilishi (a), foto-EYuK ning yorug'lik oqimiga bog'liqligi (b), ventil fotoelementning ulanish sxemasi(d) va bu elementlarlan yasaluvchi quyosh batareyalari shartli belgisi(e)

8.12-rasm, *a–e* da galvanik fotoelementning yorug'lik ta'sirida uyg'otilgan zaryad tashuvchilarning *p–n* o'tish maydoni ta'sirida ajratilishi, foto-EYuK ning yorug'lik oqimiga bog'liqligi, ventil fotoelementning ulanish sxemasi va bu elementlarlan yasaluvchi quyosh batareyalari shartli belgisi ko'rsatilgan.

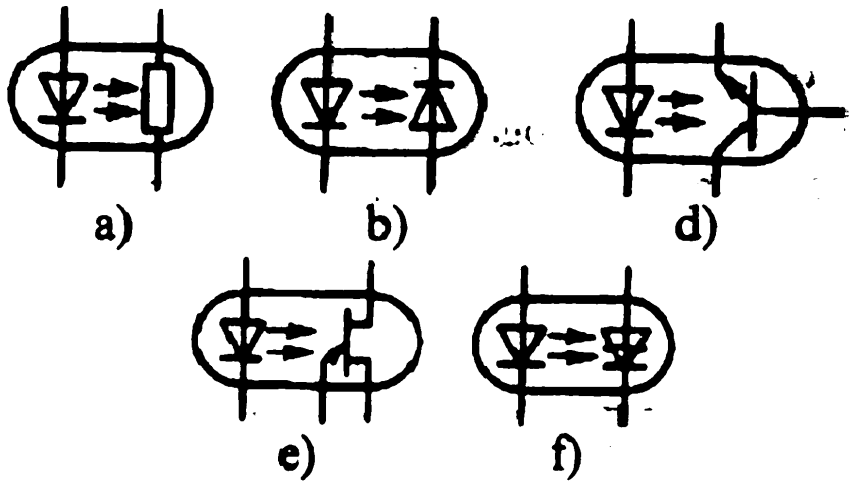
Fotonlar *p–n* o'tish joyi va unga yaqin so haga ta'sir etib, zaryad tashuvchilar juftini generatsiyalaydi. Natijada *p* va *n* so halarda ortiqcha asosiy zaryad tashuvchilar yig'ilib, foto-EYuK deb ataluvchi potensiallar ayirmasi hosil bo'ladi. Yorug'lik oqimi tushishi bilan foto-EYuK (E_f) chiziqli bo'lmagan qonun bo'yicha

o'zgaradi. Agar fotoelement zanjiriga 'iste'molchi ulansa,' bu zanjirdan fototok I_f o'tadi.

Hozirgi vaqtda ishlatiladigan kremniyli fotoelementlar quyosh nurining energiyasidan 0,4–0,5 V li EYuK ni hosil qiladi. Bunday elementlarni o'zaro ketma-ket va parallel ulash yo'li bilan quyosh batareyalari hosil qilinadi.

8.4. Optojuftliklar

Turli optojuftliklarni sxemada belgilanish namunalari 8.13-rasmda keltirilgan.



8.13-rasm. Turli optojuftliklarni sxemada belgilanish namunalari

Yorug'lik qabul qiluvchi element ko'rinishiga bog'liq holda optojuftliklar rezistorli (a), diodli (b), tranzistorli (d,e) va tiristorli (f) bo'lishi mumkin. Nur chiqaruvchi va uni qabul qiluvchi elementlar umumiy korpusga joylashtiriladi.

Optojuftliklarda kirish elektr signalini kuchaytirish yoki yarimo'tkazgichli nurlatkich orqali o'tuvchi tok o'zgarishi nurlatkich quvvatini va optojuftliklarda yorug'lik qabul qiluvchi elementiga tushuvchi fotonlar oqimini o'zgartirish bilan amalga oshiriladi.

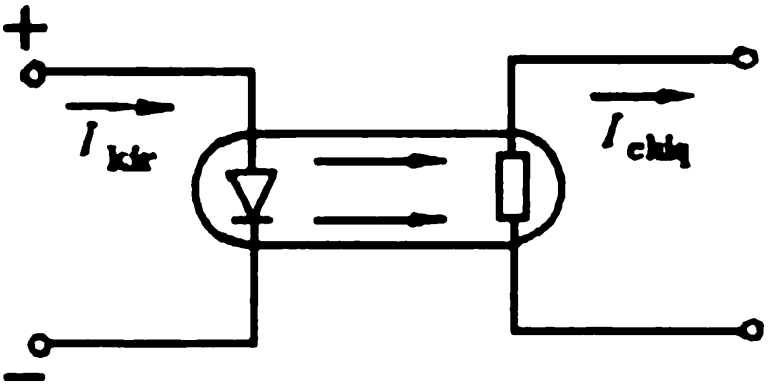
Yorug'lik qabul qiluvchi element nurlanishi o'zgargan vaqtda mos holda fotorezistor qarshiligi o'zgarishi, fotodiodning teskari

toki o'zgarishi, yorug'lik diodi fotoelement rejimida ishlaganda foto EYuK hosil bo'lishi, fototranzistorda fototok kuchayishi, fototiristor yoki bir o'tishli fototranzistorning yopiq holatdan ochiq holatga o'tishi kabi jarayonlar yuzaga keladi.

Optojuftlik uchun yorug'lik qabul qiluvchi element sifatida bir o'tishli fototranzistorlar universal bo'lib, u fotorezistor, fotoelement, fotodiod va albatta, qayta ulanuvchi asbob-bir o'tishli fototranzistor sifatida qo'llanilishi mumkin.

Optojuftliklar elementlari orasida yaxshi optik bog'lanish hosil qilish uchun ularning mos holda joylashtirishdan tashqari bu elementlarning spektral xarakteristikalari ham imkon qadar mos kelishi lozim.

Optojuftlik o'zaro optik bog'langan yorug'lik manbayi va iste'molchidan tashkil topgan. Yorug'lik manbayi kirish zanjiriga, yorug'lik iste'molchisi esa chiqish zanjiriga ulangan. Eng keng tarqalgan optojuftlik yorug'lik diod-fotorezistori va diod-fototranzistoridir (8.14-rasm).



8.14-rasm. Optojuftlik yorug'lik diod-fotorezistori sxemasi

Yorug'lik diodidan o'tayotgan kirish tokining o'zgarishi yorug'lik ravshanligini o'zgartiradi. Yorug'lik optik aloqa kanalidan o'tib, fotorezistorga kelib tushadi. Hyp oqimining o'zgarishi fotorezistorning qarshiligini o'zgartiradi. Natijada optronning chiqish zanjiridagi tokning qiymati o'zgaradi. Optojuftlik elektr signallarni kirish zanjiri chiqish zanjiridan

ajratilgan holda kuchaytirish imkonini beradi. Uning bu xususiyati optik telefon aloqa sistemalarida, fototelegrafiyada keng qo'llaniladi.

Optoelektron integral mikrosxemalarda yorug'lik qabul qiluvchi element sifatida yuqorida sanab o'tilgan elementlardan u yoki bu turi qo'llaniladi. Ulardan har biri ma'lum afzallik va kamchiliklarga ega, masalan, fotodiod katta tezkorlikga ega bo'lsada, uning fototokni kuchaytirish koeffitsiyenti birdan katta emas. Shuning uchun har doim optojuftlik chiqishi va ijro etuvchi qurilma o'rtasida moslovchi elektron sxema bor.

Hozirgi zamon darajasidagi integral texnologiyalar bunday elektron sxemalarni hech qanday muammosiz optojuftlik korpusida yaxlit ko'rinishda tayyorlash imkoniga ega. Bu o'z navbatida optoelektron integral mikrosxemalarning qo'llanilish ko'lamini yanada kengaytiradi va oddiy optojuftliklar kabi sezilarli afzalliklar saqlanib qoladi.

8.5. Bo'limga doir masala yechish namunalari

8.1-namuna. Kuchlanish qiymati 15 V bo'lganda, fotorezistorning solishtirma sezgirligi $K_0 = 300$ мкА/(мV · Lm) bo'lsa, fotorezistorning integral sezgirligini aniqlang.

Yechish.

Fotorezistorning solishtirma sezgirligi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$K_0 = \frac{I_f}{F\,U},$$

bunda I_f — fototok, mkA; F – yorug'lik oqimi, lm; U–ishchi kuchlanish, V.

Bu formuladan fotorezistorning sezgirligi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$K_f = \frac{I_f}{F} \quad \text{yoki} \quad K_f = K_0 \cdot U.$$

Fotorezistorning integral sezgirligini hisoblaymiz:

$K_f = K_0 \cdot U = 300$ мкА/(мV · Lm) · 15 V = 4500 мкА/Lm.

8.2- namuna. F = 0,02 lm yorug'lik oqimi tushayotgan fotodiodning integral sezgirligi $K_f = 15000$ мкА/Lm бўлса, fotodioddan o'tuvchi fototokni aniqlang.

Yechish.

Fotodiodning integral sezgirligi:

$$K_f = \frac{I_d}{F},$$

bundan fototok qiymatini hisoblash mumkin:

$$I_d = K_f \cdot F = 15000 \text{ мкА/}Lm \cdot 0{,}02 \text{ Lm} = 300 \text{ мкА}.$$

Rezyume

- Yorug'lik bilan o'zaro ta'sirlanuvchi yarimo'tkazgich qurilmalar yorug'lik qayd qiluvchi qurilmalarga, yorug'likni o'zgartiruvchi va yorug'lik chiqaruvchi qurilmalarga bo'linadi.
- Yorug'lik-inson ko'zi bilan ilg'anuvchi elektromagnit nurlanishdir.
- Yorug'likning chastota diapazoni quyidagicha:

infra qizil nurlanish – 400000 gigagertsdan kichik;
ko'zga ko'rinuvchi nurlanish – 400000÷750000 gigagerts;
ultrabinafsha nurlanish – 750000 gigagertsdan yuqori;

- Yorug'lik sezgir qurilmalarga foto qarshiliklar, quyosh elementlari, fotodiodlar va fototranzistorlar kiradi.
- Yorug'lik nurlatkichlarga yorug'lik diodlari (yorug'lik nurlatuvchi diodlar) kiradi;
- Optojuftlik yorug'lik sezgir qurilma va yorug'lik nurlatuvchi qurilmalardan iborat.
- Barcha foto sezgir qurilmalar ichida fotodiod yorug'lik intensivligi o'zgarishiga eng qisqa javob berish vaqtiga ega.
- Fototranzistor kengroq qo'llanish sohalariga ega, chunki uning kuchaytirishi yuqoriroq. Ammo uning yorug'lik

intensivligi o'zgarishiga javob berish vaqti fotodiodnikiga qaraganda kattaroq.

- Yorug'lik diodi orqali oqib o'tuvchi tok qancha katta bo'lsa, u chiqaruvchi nur shuncha yorqin bo'ladi. Ammo yorug'lik diodini shikastlanishidan saqlash uchun unga ketma-ket holda tokni cheklovchi rezistor ulanishi kerak.

Nazorat uchun savollar

1. Yarimo'tkazgichli nurlatkichda qanday qilib elektr energiya elektromagnit nurlanish energiyasiga bevosita o'zgartiriladi ?

2. Yorug'lik chiqaruvchi diodlar xususiyatlarini qanday parametrlar bilan xarakterlash mumkin ?

3. Yarimo'tkazgichli lazerning ishlash asosi qanday ?

4. Fotodiod nima ? U qanday vazifani bajaradi ?

5. Fototranzistor sxemalarini tasvirlang. Uning ish asosi qanday ?

6. Fotorezistor tuzilishini va volt – amper xarakteristikasini tushuntiring.

7. Ventil (galvanik element) nima uchun xizmat qiladi ?

8. Ventil fotoelementning ulanish sxemasini tasvirlang va uning xarakteristikasini ko'rsating

9. Optojuftlik nima ? Uning tuzilishi va turlari qanday ?

10. Optojuftlikning qo'llanilashi sohalarini keltiring.

9. Mikroprotsessorli qurilmalar elementlari

9.1. Integral mikrosxemalar

Hozirgi fan-texnika taraqqiyoti sanoatda EHM, avtomatlashtirilgan sistemalarning ishlatilishi bilan bog'liq EHM va bunday sistemalar juda ko'p murakkab elektron elementlarni o'z ichiga oladi.

Elementlar ko'paygan sari sistemaning ishonchliligi, uning elementlarining ulanish puxtaligi kamaya boradi. Bunda sistemaning o'lchamlari ham ortib boradi. Shu masalalarni hal qilish yo'lidagi izlanishlar asrimizning 60-yillarida elektronikaning yana bir sohasi - mikroelektronikaning vujudga kelishiga sabab bo'ldi.

Mikroelektronika o'ta kichraytirilgan elektron bloklarni va qurilmalarni yaratish va ishlatish bilan shug'ullanadi.

Mikroelektronikaning asosiy elementi integral mikrosxema – IMS (*integer* – butun, chambarchas bog'liq) dir.

Konstruktiv tugallangan, ma'lum funksiyani bajaruvchi, bir texnologik jarayonda hosil qilinib, bir-biri bilan elektr jihatdan bog'langan elementlardan tashkil topgan kichik qurilma *integral mikrosxema* deyiladi.

IMS (integral mikrosxema) kremniy kristall yoki plastinkasida hosil qilingan va bir-biri bilan sxemaga ulangan tranzistor, diod, rezistor va boshqalardan iboratdir.

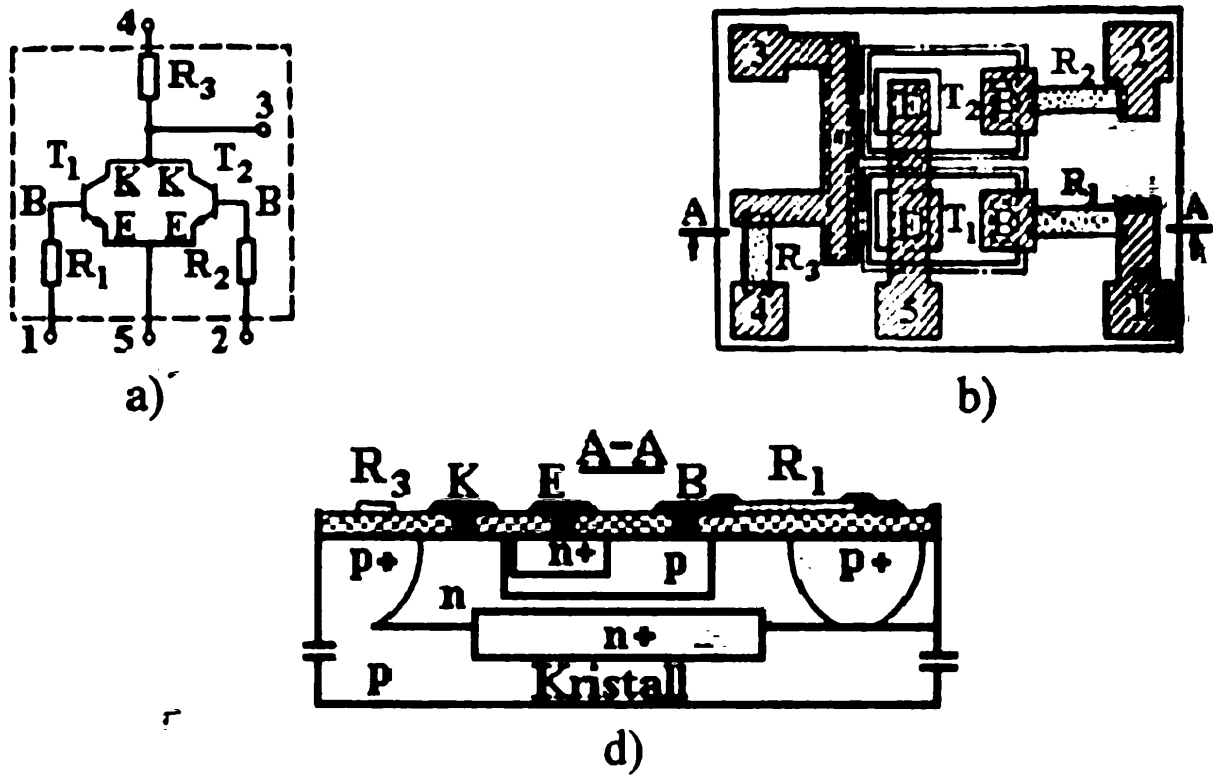
Bajarilishiga qarab IMS lar yarimo'tkazgichli, gibrid va birlashtirilgan IMS larga bo'linadi. Yarimo'tkazgichli IMS da kremniy plastinkasining ayrim joylari turli elementlar (tranzistor, rezistor, kondensator va boshqalar) vazifasini bajaradi.

Aktiv elementlar – tranzistorlar bo'lib, ularning turiga qarab yarimo'tkazgichli IMS lar bipolyar yoki MDYa (metall, dielektrik, yarimo'tkazgich) mikrosxemalarga bo'linadi. Bipolyar mikrosxemada tranzistor, uch qatlamli diod, ikki qatlamli struktura (kondensator) vazifasini teskari ulangan *p–n* o'tish,

rezistor vazifasini *p*–tipdagi yupqa polosa bajaradi. MDYa mikrosxemalarda, asosan, induktsiyalangan kanalli bir qutbli tranzistorlar ishlatiladi.

Har bir elementning egallagan joyi mikrometrlar bilan o'lchanadi. Elementlar bir-biri bilan qisman plastinka ichida, qisman sirtdagi metall yo'lakchalar orqali bog'lanadi (9.1-rasm). Bir texnologik jarayonda bir necha ming mikrosxema hosil qilinadi. Mikrosxema uchun 0,2 – 0,3 mm qalinlikdagi, diametri 30 – 50 mm bo'lgan kremniy plastinkasi olinadi. Bitta plastinka asosida 300 – 500 mikrosxema hosil qilinadi.

9.1,a-rasmda yarimo'tkazgichli IMS ning prinsipial sxemasi, 9.1, *b*- rasmda kristallning A–A bo'yicha kesimi va 9.1,d-rasmda yarimo'tkazgichli mikrosxemaning yuqoridan ko'rinishi berilgan.



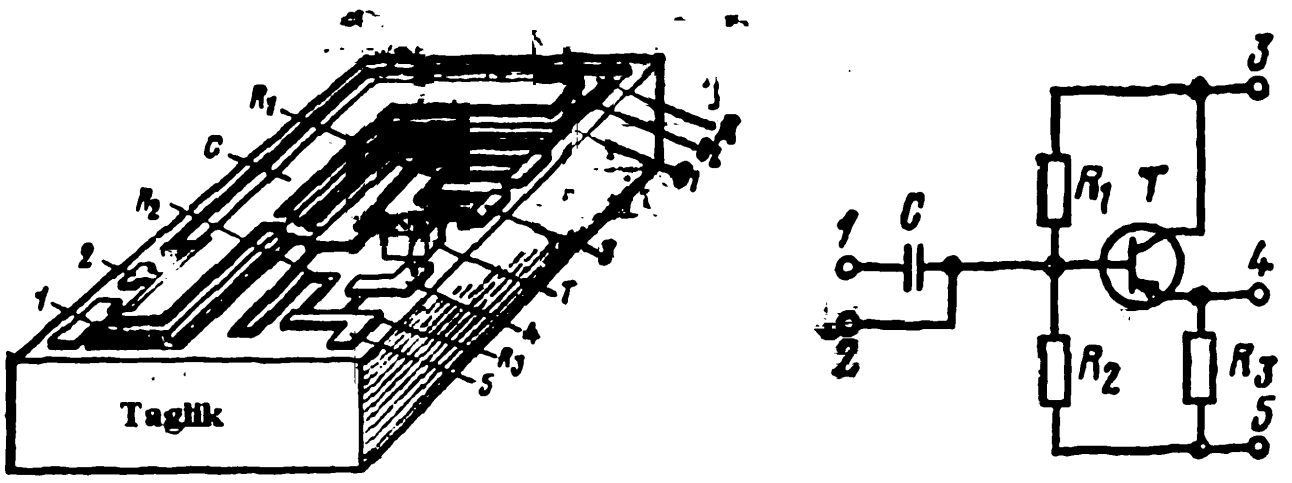
9.1-rasm. Yarimo'tkazgichli IMS ning prinsipial sxemasi (a), кristallning A–A bo'yicha kesimi (b) va yuqoridanko'rinishi (d)

Bu sxema ikkita T_1, T_2 tranzistor va uchta R1,R2,R3 rezistorlardan iborat YOKI–YO'Q mantiqiy elementiga vos keladi. Tranzistor strukturalari egallagan sohalar T_1vaT_2 , ularning chiqishlari emitter –E , kollektor–K, baza–B hamda pliyonkali rezistorlar (mayda nuqtalar) R1,R2,R3 harflar bilan belgilangan.

O'zaro ulashlar va kontakt yuzalar–1,2,3,4,5 sonlar orqali shtrixlangan holda ko'rsatilgan.Kristalda elementlaregallagan soha 1x1mm o'lchamga ega. Shuningdek, 9.1,d-rasmda tranzistor T_1 ning emitter sohasi– n+ va uning chiqishi E, p–baza sohasi va uning chiqishi B, n–soha va uning chiqishi K, taglikning yuza qismidagi izolyatsiyalovchi kremniy dvuokisi qatlami shtrixlangan va R1va R3 pliyonkali rezistorlar mayda nuqtalar orqali ko'rsatilgan.

Yarimo'tkazgichli IMS larda tranzistor va diodlar yaxshi xarakteristikalarga ega. Passiv elementlar, kondensator, rezistorlarning nominal parametrlari esa chegaralangan (C = 50–400 pF gacha, R = 10–30 kOm gacha) bo'ladi. Bu elementlar parametrlarining o'zgarishi 20% ni tashkil qiladi.

Passiv elementlarning parametrlari aniq bo'lishi uchun gibrid IMS lardan foydalaniladi. Gibrid IMS lar plyonkali passiv elementlar va korpussiz tranzistordan tashkil topgan bo'ladi. Oldin dielektrik taglik (shisha, sopol) da purkash yo'li bilan aktiv qarshilik, kondensator va etementlararo ulanishlar hosil qilinadi, bunda hosil bo'lgan plyonka qalinligi 10^{-6} m bo'ladi. So'ng termokompression payvandlash yo'li bilan tranzistorlar kontakt maydonchalarga payvandlanadi (9.2-rasm).



a) b)

9.2- rasm. Gibridli IMS ning umumiy ko'rinishi (a) va prinsipial sxemasi (b)

9.2, *a*-rasmda gibridli IMS ning umumiy ko'rinishi, 9.2, *b* - rasmda prinsipial sxemasi berilgan.

Birlashtirilgan MS larda yarimo'tkazgich hajmida aktiv elementlar hosil qilinib, passiv elementlar purkash yo'li bilan plyonka shaklida hosil qilinadi. Bir mikrosxema o'z ichiga olgan elementlar soniga qarab uning integratsiya darajasi aniqlanadi. Agar elementlar soni 100 gacha bo'lsa, bunday IS (integral sxema) lar bazaviy elementlar sifatida ko'paytirish mantiqiy operatsiyalarni bajarish uchun ishlatiladi.

10^2 – 10^3 elementga ega bo'lgan IS lar o'rta darajali (O'DIS) integratsiyaga ega. Schyotchik, registor, deshifrator va boshqa murakkab funksional vazifalarni bajara oladi.

Elementlar soni 10^3 – 10^4 gacha bo'lsa, mikrosxema yuqori daraja integratsiyali (KIS) bo'ladi va turli injenerlik hisoblarni bajara oluvchi kalkulyator sifatida ishlatiladi.

Elementlar soni 10^4 – 10^6 gacha bo'lsa, mikrosxema o'ta yuqori darajali integratsiyaga ega (O'YuDIS). Ular ko'p ishlovchi mikroprotsessorlar sifatida ishlatiladi.

Ish rejimiga qarab IMS lar analogli va raqamli IMS larga bo'linadi.

Analogli IMS lar uzluksiz elektr signallarni o'zgartirish va qayta ishlash uchun mo'ljallangan. Ular generator, kuchaytirgich va boshqa qurilmalar sifatida ishlatiladi. Raqamli IMS lar asosan mantiqiy elementlar sifatida ishlatiladi.

IMS lar quyidagi afzalliklarga ega:

1) juda ishonchli; 2) o'lchamlari va massasi kichik (bir necha grammdan ortmaydi); 3) tez ishga tushadi; 4) kam quvvat iste'mol qiladi.

Asosiy kamchiligi chiqish quvvati kamligidir.

Integral mikrosxemalarning GOST bo'yicha belgilanishidagi K harfi keng qo'llanishga mo'ljallanganligini ko'rsatadi. Bu harfdan keyingi raqam IMS ning konstruktiv texnologik bajarilishini ko'rsatadi: agar 1, 5, 7 bo'lsa, yarimo'tkazgichli, 2, 4, 6, 8 bo'lsa, gibridli bo'ladi.

Bu raqamdan keyin seriyaning nomerini ko'rsatuvchi ikki xonali raqam (00 dan 99 gacha) bo'ladi. Raqamlardan keyingi harflar mikrosxemaning funksional vazifasini ko'rsatadi (UN – kuchlanish kuchaytirgichi, LE – mantiqiy element, UD – differensial kuchaytirgich). Oxiridagi raqam seriyali ishlab chiqarish nomerini ko'rsatadi.

9.2. Mantiqiy elementlar va ularning turlari

Raqamli axborotdan foydalanuvchi qurilmalar mantiqiy va xotira elementlari asosida quriladi. Mantiqiy elementning kirish va chiqishidagi signal faqat ikki qiymatga ega bo'lishi mumkin. Bu qiymatlar "1" va "0" tarzda belgilanadi.

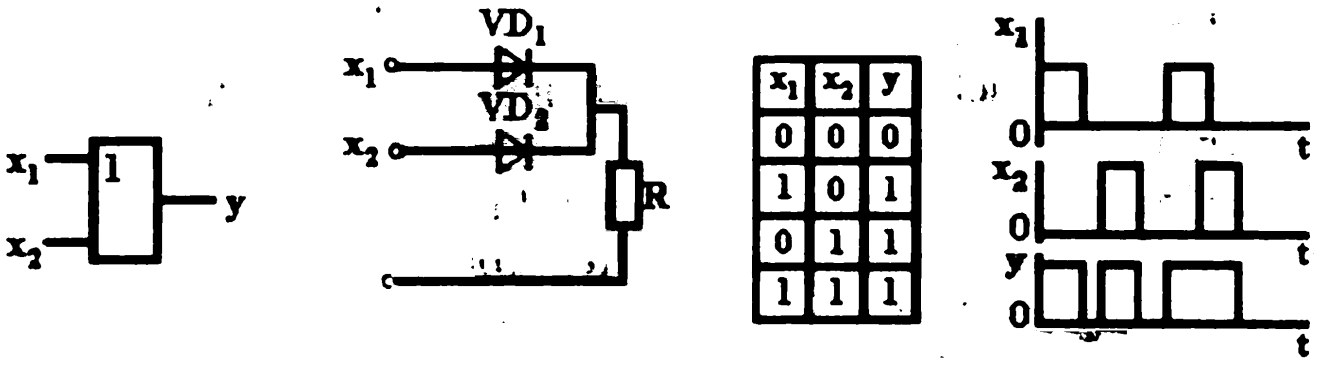
Mantiqiy elementning kirishidagi miqdor mantiqiy algebra yoki Bul algebrasi qoidalari asosida chiqishdagi miqdorga aylantiriladi. Bul algebrasi axborotning fizik xususiyatlarini hisobga olmay, uning faqat "to'g'ri" (mantiqiy "1") yoki "noto'g'ri" (mantiqiy "0") ligi tomonidan qarashga imkoniyat beradi.

Mantiqiy elementlar yordamida bir necha oddiy mantiqiy funksiyalar bajarilishi mumkin.

Asosiy mantiqiy elementlarlar diz'yunktsiya (mantiqiy qo'shish funksiyasi), kon'yunktsiya (mantiqiy ko'paytirish), inversiya (mantiqiy inkor etish) elementlaridir.

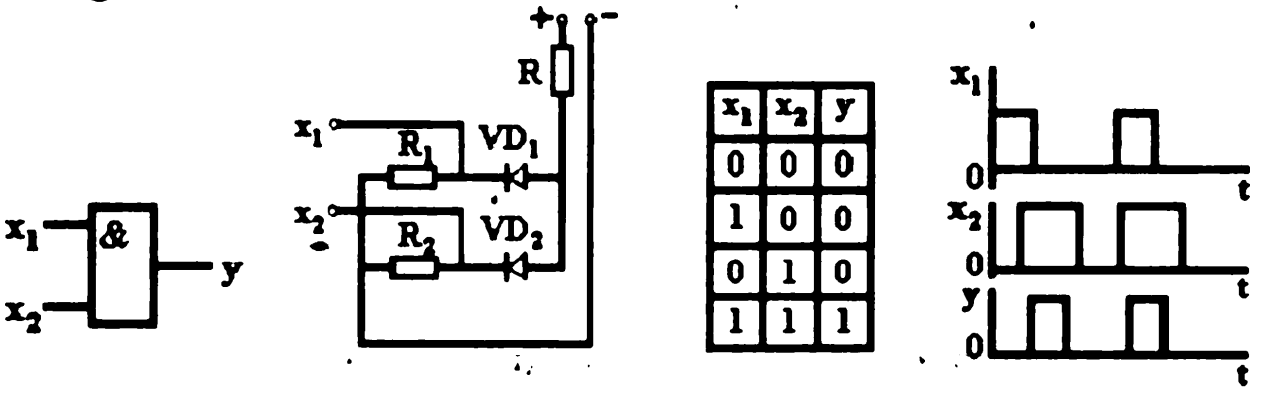
Mantiqiy qo'shish elementi "YOKI" deb ataladi. Bu element funksional sxemalarda 9.3,*a* - rasmda ko'rsatilgandek tasvirlanadi.

Uning bajarilish qoidasi quyidagicha. Kirishga berilgan signallardan loaqal bittasi mantiqiy "1" ga teng bo'lsa, chiqishdagi signal ham "1" ga teng. "YoKI" amalini bajarish qoidasi 9.3,d-rasmda va diagrammasi 9.3,e-rasmda ko'rsatilgan. Shu funksiyalarni bajarib beruvchi oddiy sxema bo'linish sxemasi bo'lib, 9.3,b - rasmda ko'rsatilgan. VD_1 yoki VD_2 dioddan yoki ikkala dioddan tok o'tgandagina qarshilik R da kuchlanish hosil bo'ladi.



9.3- rasm. Mantiqiy qo'shish elementi shartli belgisi (a), funksional sxemasi (b), bajarilish qoidasi (d) va uning diagrammasi (e)

Kon'yunktsiya yoki mantiqiy ko'paytirish elementi "VA" amali deb ataladi. 9.4-rasmda uning shartli belgisi (a), funksional sxemasi (b), bajarilishi qoidasi (d) va diagrammalari (e) ko'rsatilgan.



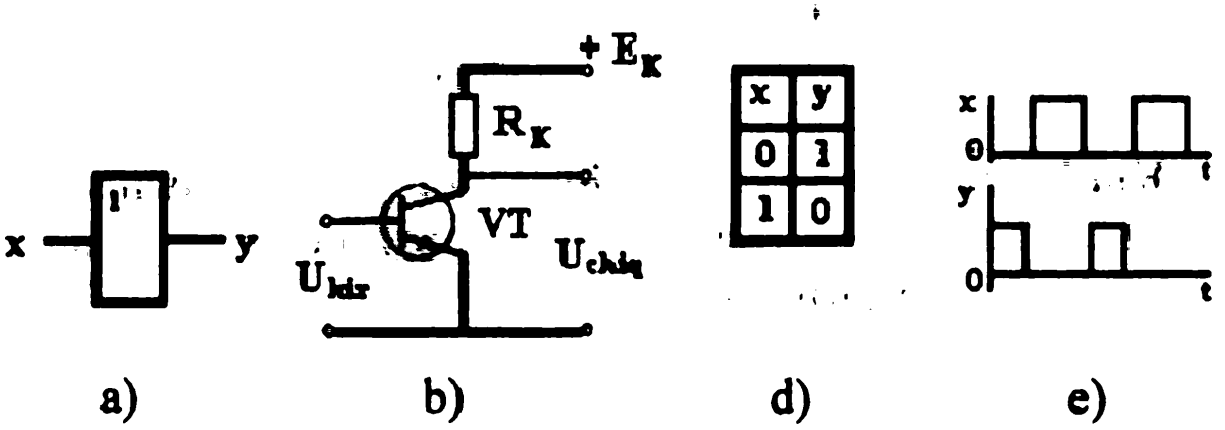
9.4 – rasm. Mantiqiy ko'paytirish elementi shartli belgisi (a), funksional sxemasi (b), bajarilish qoidasi (d) va uning diagrammasi (e)

Ikkala kirishda ham mantiqiy "1" bo'lgandagina chiqishda ham "1" bo'ladi. Kirishdagi biror signal mantiqiy "0" ga teng bo'lsa, chiqishdagi signal ham "0" ga teng bo'ladi. Shu operatsiya 9.4, *b* -rasmda, ko'rsatilgan sxema bo'yicha bajariladi. Ikkala

diodning kirishiga "0" signal berilsa, diodlar ochiq bo'lib, rezistor va diodlardan tok o'tadi.

Manba kuchlanishining kattagina qismi qarshilik *R* dagi kuchlanish pasayuvi bilan muvozanatlashib, chiqishdagi signal juda kichik, ya'ni "0" bo'ladi. Agar ikkala diodning kirishiga "1" signal berilsa, diodlar yopiladi, rezistor *R* dan tok o'tmaydi va chiqishdagi kuchlanish manba kuchlanishiga tenglashadi.

Inversiya yoki mantiqiy inkor etish elementi "YO'Q" amali deb ataladi. 9.5-rasmda uning shartli belgisi (a), funksional sxemasi (b), bajarilishi qoidasi (d) va diagrammalari (e) ko'rsatilgan.



9.5 – rasm. Mantiqiy inkor etish elementi shartli belgisi (a), funksional sxemasi (b), bajarilish qoidasi (d) va uning diagrammasi (e)

Mazkur operatsiyani bajarish qoidasi quyidagicha. Kirishdagi signal "1" bo'lsa, chiqishda "0" bo'ladi, kirishda "0" bo'lsa, chiqishda "1" bo'ladi. 9.5, *b*-rasmda ko'rsatilgan sxema "YO'Q" amalini bajaradi.

Kirishdagi kuchlanish "0" ga teng bo'lganda tranzistor yopiq, E_k kuchlanish chiqishdagi kuchlanishga teng, ya'ni "1" bo'ladi. Kirishga signal berilganda tranzistor ochilib, undan va qarshilik R_k dan tok o'tadi va R_k qarshilikda kuchlanish pasayuvi hosil bo'ladi. Chiqishdagi kuchlanish $U_{chiq} = E_k - I_k R_k$ ning qiymati kichik, ya'ni "0" bo'ladi.

Shu uch asosiy mantiqiy element yordamida har qanday mantiqiy funksiyalarni bajarish mumkin. Bu elementlar eng oddiy elementlar hisoblanadi. Shuningdek, kombinatsiyalangan, ya'ni *2* va undan ortiq operatsiya bajara oladigan (masalan, YOKI - YO'Q, VA - YO'Q va boshqalar) elementlar ham bor.

Hozirgi vaqtda EHM larda mantiqiy elementlar sistemasidan keng foydalaniladi. Funksional to'liq bo'lgan mantiqiy elementlar to'plami *mantiqiy elementlar sistemasi* deb ataladi. Bu to'plamdagi elementlar umumiy empirik, konstruktiv va texnologik parametrlarga egadir. Ularning axborotni tasvirlash usuli ham bir xil bo'ladi.

9.3. Mantiqiy funksiyalar va ularning turlari

Qanday elementlardan hosil qilinganligiga qarab mantiqiy funksiyalar rezistor-tranzistorli mantiq (RTM), diod-tranzistorli mantiq (DTM), tranzistor-tranzistorli mantiq (TTM) va MOYa (metall, oksid, yarimo'tkazgich) - tranzistorli mantiq (MOYaTM) larga bo'linadi.

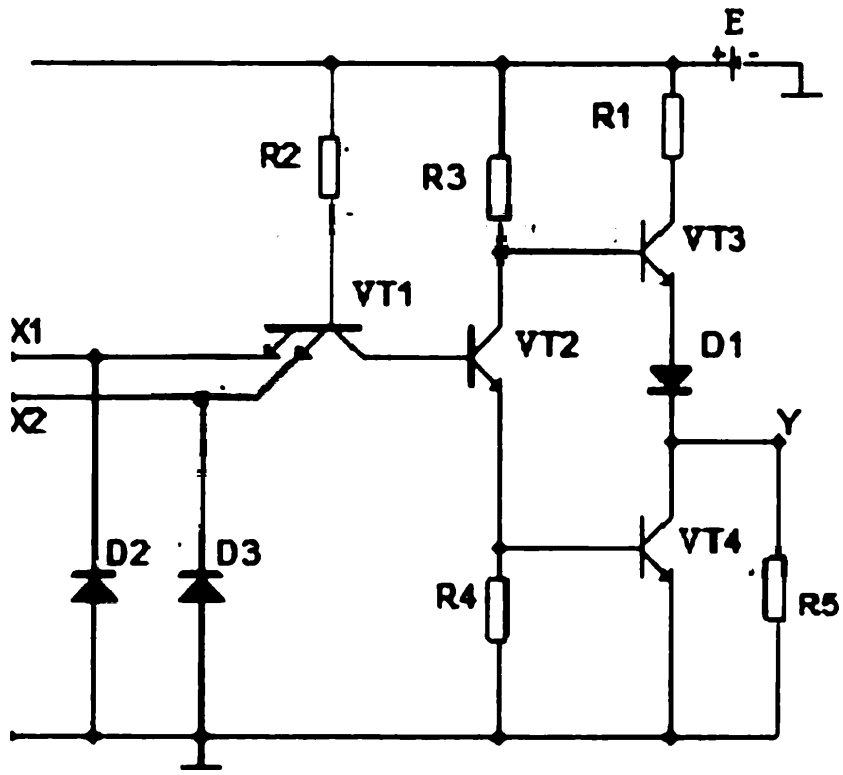
9.6-rasmda ko'p emitterli tranzistor asosida qurilgan TTM elementining sxemasi ko'rsatilgan. Bu element YOKI – YO'Q, amalini bajaradi.

Sxema ko'p emitterli VT_1 tranzistor va VT_2 tranzistordan iborat. VT_1 tranzistorning x_1, x_2 kirishlariga 0 yoki 1 qiymatga ega bo'lgan signallar beriladi. "0" deb to'yinish rejimida ishlayotgan tranzistorning U_{K3} kuchlanishiga teng bo'lgan kuchlanish qiymati tushuniladi.

Agar sxemaning biror kirishiga "0" signal berilsa, baza manba kuchlanishi E_k bilan rezistor R_{b1} orqali ulangani uchun tranzistor VT_1 to'yinish rejimiga o'tadi. Bunda I_{k1} kollektor toki katta emas va I_{b2} tokiga tengdir. U_{be2} kuchlanish esa VT_2 tranzistorni ishga tushirish uchun yetarli emas.

Elementning chiqishidagi kuchlanish E_k ga, ya'ni chiqishdagi signal "1" ga tengdir. Agar kirish zanjirlarining barchasiga "1" ga

to'g'ri keladigan signal, ya'ni E_k teng bo'lgan kuchlanish berilsa, VT_1 tranzistor inversion rejimda ishlay boshlaydi.



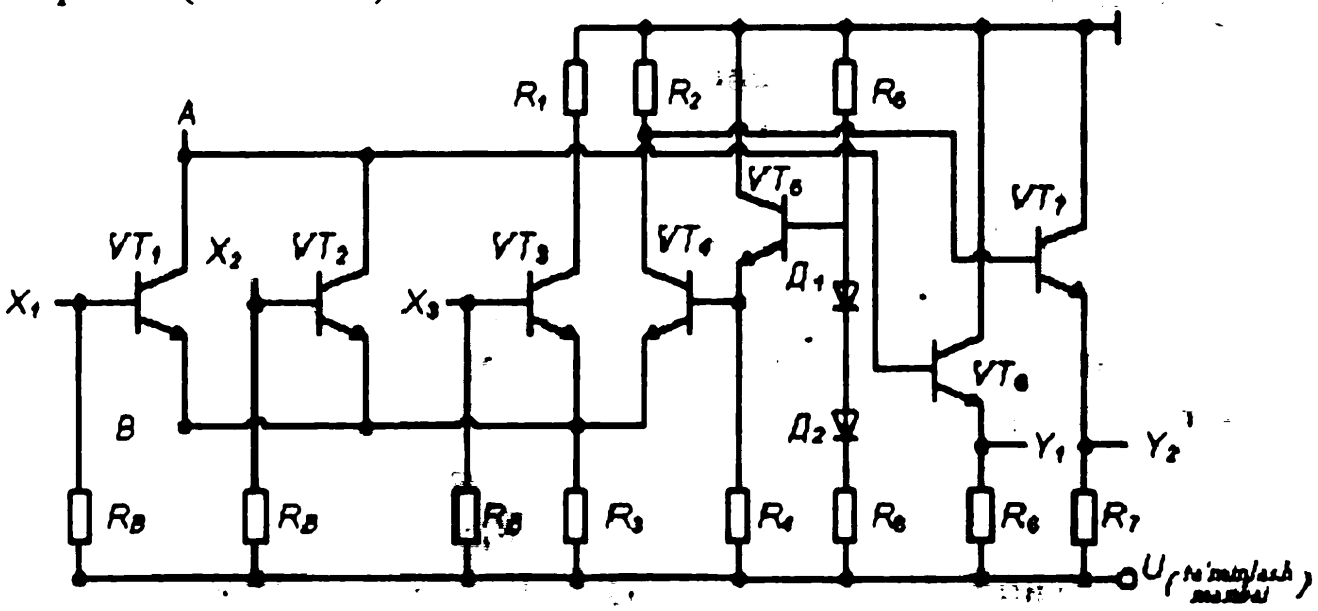
9.6 - pasm. Ko'p emitterli tranzistor asosida qurilgan TTM elementining sxemasi

Tranzistordagi kollektor va emitterning vazifalari o'zaro o'rin almashadi. Inversion rejimda tranzistorning uzatish koeffitsiyenti va emitter tokining vazifasini bajaruvchi kollektor toki kichikdir. Rezistor R_{b1} va VT_2 tranzistorning emitter o'tishidan o'tayotgan tok VT_2 tranzistorni to'yinish rejimiga o'tkazadi.

Chiqish kuchlanishi tranzistor VT_2 ning U_{ke} kuchlanishiga, ya'ni chiqishdagi signal "0" ga tengdir. TTM tipidagi sxemalar o'rtacha tezkorlikka egadir. Ulardagi signalning kechikish vaqti 10–30 ns ga teng. TTM tipdagi har bir elementning chiqishiga 10 tadan mantiqiy sxema ulash mumkin. TTM elementlari mikrosxemalarda bajarilgan bo'lib, belgilanishidagi LI harflar uning funksional vazifasini mantiqiy "VA" dan iborat ekanligini bildiradi. Bu elementlar manba kuchlanishi 5 volt bo'lganda

ishlaydi. Ular uchun "1" ning qiymati $U^1 \approx 2{,}4$ V; "0" ning qiymati $U^0 = 0{,}4$ V.

Emitter bog'lanishli mantiqiy (EBM) elementlarning ishlash prinsipi kirish kuchlanishi biroz o'zgarganda toklarning qayta ulanishiga asoslanadi. "YOKI" yoki "YOKI – YO'Q" amalini bajaruvchi EBM tipidagi elementning ishlashini ko'rib chiqamiz (9.7-rasm).



9.7-rasm. "YOKI – YO'Q" amalini bajaruvchi EBM tipidagi element sxemasi

Kirish signallari A va B tranzistorlar VT_2 va VT_3 ning kirishiga beriladi. Tranzistorlar VT_2, VT_3 va VT_4 differensial kuchaytirgichni hosil qiladi va sxemaning kirish qarshiligi katta bo'lishini ta'minlaydi. Tranzistor VT_5 tokning barqaror bo'lishini ta'minlaydi. Tranzistor VT_4 ning bazasidagi o'zgarmas tayanch kuchlanishni tranzistor VT_6 va qarshiliklar (R_7, R_8) dagi kuchlanish bo'lgichlarni hosil qiladi.

Diodlar D_1 va D_2 tayanch kuchlanishining temperaturaviy barqarorligini ta'minlab beradi. Tranzistorlar VT_1 va VT_7 chiqish qarshiliklarining kichik bo'lishini ta'minlaydi. Agar tranzistor VT_5 ning kirish zanjiriga "0" ga mos tushadigan signal berilsa, VT_2 va VT_3 tranzistorlar uzish rejimida bo'lib, VT_5 tranzistorining toki VT_4 tranzistor orqali o'tadi. Bunda kollektor zanjiri uchun yuklama

bo'lgan R_4 rezistorda kuchlanish hosil bo'ladi. Bu kuchlanish emitterli takrorlagich bo'lmish VT_7 tranzistor yordamida takrorlanadi.

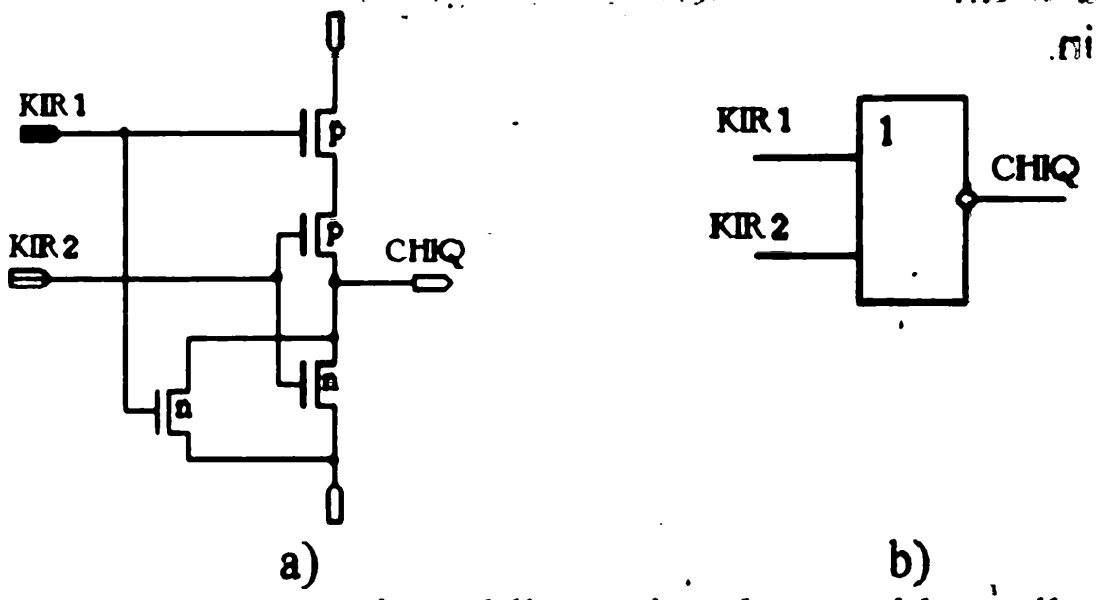
Agar kirish zanjiriga "1" signali berilsa, VT_4 tranzistorning toki VT_2 va VT_3 tranzistorlar zanjiriga qayta ulanadi. Tranzistor VT_4 esa yopiladi, R_2 qarshilikda hosil bo'lgan kuchlanish VT_1 emitterli takrorlagich orqali chiqishga beriladi. Sxema YOKI – YO'Q amalini bajaradi.

EBM tipidagi element yuqori tezkorlikka egadir. Ushbu elementning ikki chiqishi (to'g'ri va inverslovchi) bo'lib, ularga 25–30 ta element ulash mumkin. Biroq bu elementlarga xalaqitlar ta'siri kuchli bo'ladi. Undan tashqari, iste'mol qiladigan quvvati ham katta. EBM tipidagi elementlarda signalning kechikish vaqti 1 – 5 ns (nanosekund). Shu sababdan ular, asosan, tezkor sistemalarda keng qo'llaniladi.

MOP tranzistorlar asosida qurilgan integral sxemalar TTM va EBM elementlarga qaraganda sekinroq ishlaydi. Signalning kechikish vaqti 50 – 100 ns. Bu elementlar iste'mol qiladigan quvvatning nisbatan kichikligi, chiqishiga ulanadigan elementlar sonining ko'pligi bilan farq qiladi. Shuningdek, mikrosxemada egallaydigan yuzasi ham kichikdir.

VA – YO'Q amalini bajaruvchi MOYa elementining ishlashini ko'rib chiqamiz. 9.8-rasmda bir qutbli tranzistorlar asosida qurilgan mantiqiy elementning sxemasi ko'rsatilgan.

Sxema uchta bir qutbli tranzistordan iborat. VT_1 va VT_2 tranzistorlarga kirish signali beriladi. Tranzistor VT_3 esa iste'molchi tranzistordir.Agar ikkala kirishga, VT_1 va VT_2 larning tambasiga "1" signali (tambalar potensiali manfiy) berilsa,.VT_1 va VT_2 tranzistorlar ochiq, VT_3 tranzistorda kuchlanish pasayadi, chiqishda esa "0" signal bo'ladi. "0" signalning qiymati U_u kuchlanishga yaqin bo'lishi uchun VT_1 va VT_2 ochiq tranzistorlarning natijaviy qarshiligi VT_3 tranzistorning qarshiligidan ancha kichik bo'lishi kerak, sxemaning chiqishiga 10 tadan 20 tagacha element ulash mumkin.



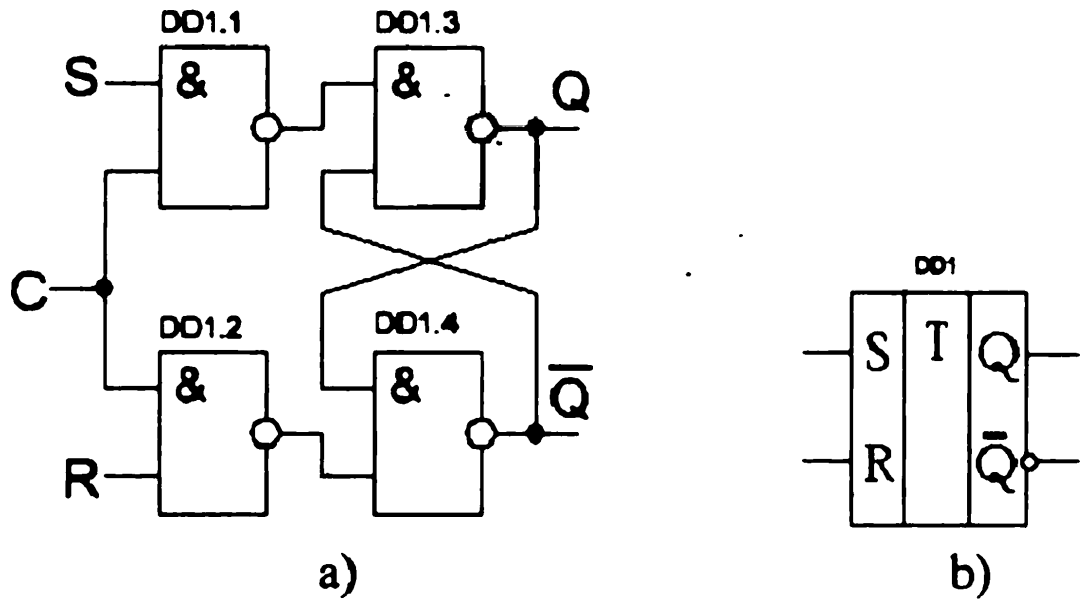
9.8-rasm. Bir qutbli tranzistorlar asosida qurilgan mantiqiy elementning sxemasi

Trigger ikki barqaror holatga ega bo'la oladigan impulsli rejimda ishlovchi qurilmadir. Trigger bir barqaror holatdan ikkinchisiga tashqi kuchlanishlar ta'sirida o'tadi. Tashqi ta'sir etuvchi kuchlanishlar uzilgandan so'ng trigger uzoq muddat (yangi signal kelguncha) ichida shu barqaror holatini saqlab qoladi. Yangi signal kelganida trigger yangi barqaror holatga o'tadi.

Triggerlar boshqarilish turiga qarab asinxron va taktli hollarga bo'linadi. Vazifasiga qarab triggerlarni *R-S, D, T, I-K,* turlarga bo'lish mumkin. Triggerlar asosan VA—YO'Q yoki YOKI—YO'Q mantiqiy elementlardan iborat bo'ladi. YOKI— YO'Q mantiqiy elementlardan qurilgan taktli *R-S* triggerning ishlashini ko'rib chiqamiz (9.9-rasm).

Trigger uchta kirish R, S, Q ($\bar{Q}$) va ikkita chikish Q, $\bar{Q}$ ga ega. Kirishga "1", "0" va hisoblash (takt) impulsi beriladi, chiqishdan "nol" yoki "bir" ni olish mumkin. Agar triggerning S kirishiga "1" R kirishiga "0" bersak, noinversion chiqish Q da "1" signali hosil bo'ladi va bu holat teskari bog'lanish tufayli

uzoq muddat saqlanib qoladi. Triggerni bir holatdan ikkinchi holatga taktli kirishiga berilgan signal yordamida ham o'tkazish mumkin.

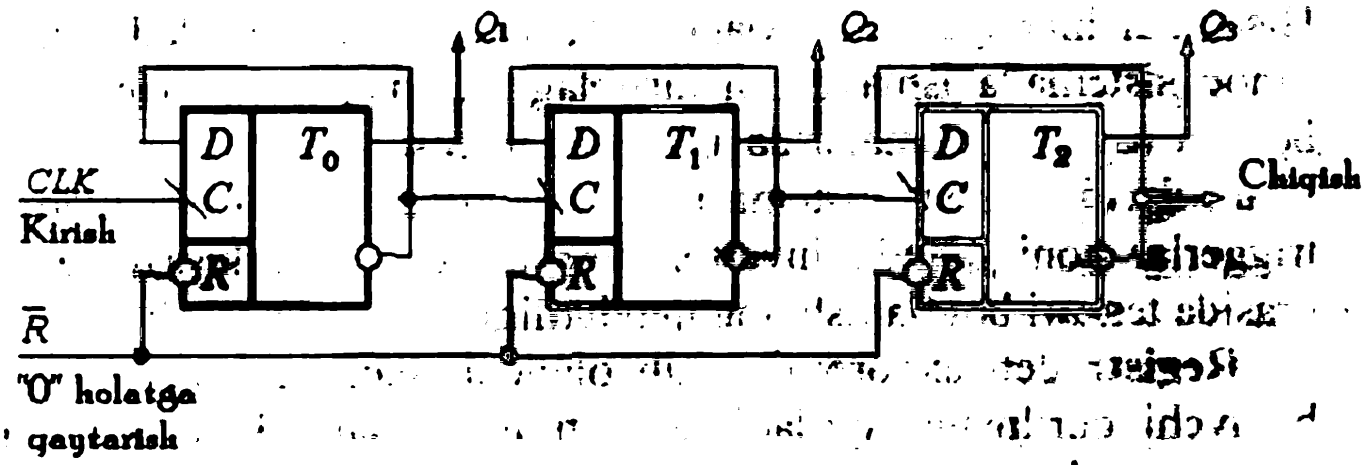


9.9-rasm. YOKI- YO'Q mantiqiy elementlardan qurilgan taktli *R-S* triggerning sxemasi (a) va shartli belgilanishi (b)

Integral mikrosxemalarda trigger va uning kirishlarini boshqaruvchi sxema korpusga joylashtirilgan yagona kremniy plastinkasida bajariladi va TT, TR, TL harflar bilan belgilanadi.

Triggerlar asosida impuls hisoblagichlar quriladi. Hisoblagich kirish signallarni hisoblab beradi. Hisoblagichlar jamlovchi, ayiruvchi va reversiv turlarga bo'linadi. Trigger asosida tuzilgan jamlovchi hisoblagichning ishlashini ko'rib chikamiz (9.10-rasm).

Boshlang'ich holatda barcha triggerlar "0" holatda bo'ladi. Trigger T_0 ning kirishiga impuls beriladi va trigger "1" holatga o'tadi. Bunda triggerlar T_1, T_2 dastlabki holatda bo'ladi. Keyingi impulsdan so'ng trigger T0 ning chikishida trigger T_1 ga impuls uzatiladi, trigger T_0 esa "0" holatga o'tadi. Uchinchi impuls T_0 triggerni "1" holatga o'tkazadi, trigger T_1 "1" holatda, trigger T_3 "0" holatda bo'ladi.



9.10-rasm. Trigger asosida tuzilgan jamlovchi hisoblagich sxemasi

To'rtinchi impuls trigger T_0 ni "0" holatga o'tkazadi, uning chiqishidagi impuls trigger T_1 ni "0" holatga o'tkazadi, trigger T_1 ning chiqishidan impuls trigger T_2 ga o'tib uni "1" holatga o'tkazadi va hokazo. Triggerlar holatini 9.1-jadval ko'rinishida ifodalash mumkin.

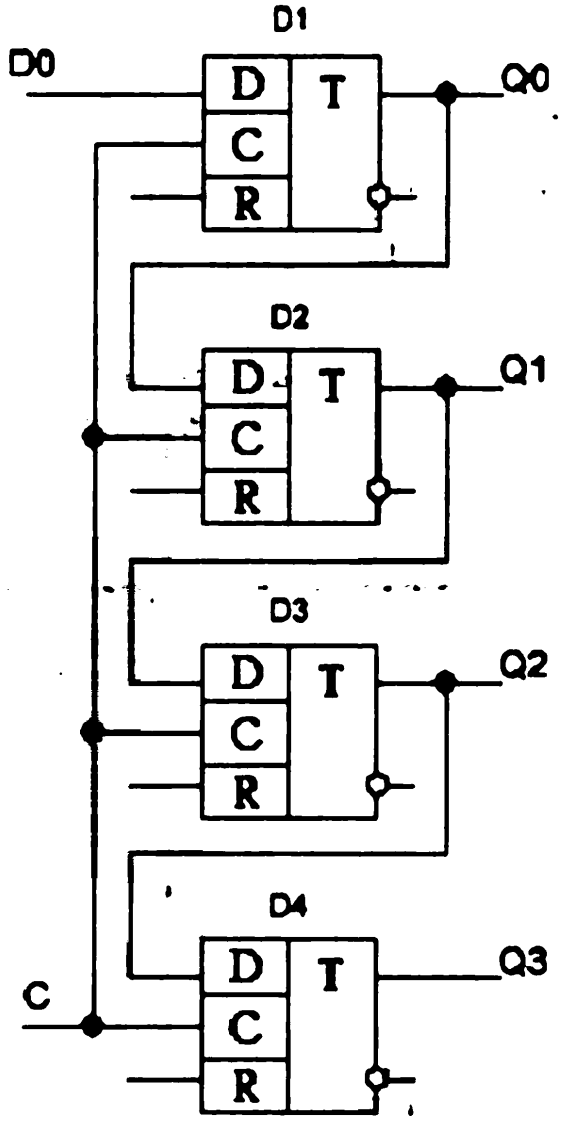
Triggerlar holati ko'rinishi 9.1 - jadval

Impulslarning tartib raqami	Triggerning holati		
	T_1	T_2	T_0
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	0

Demak, triggerlarning holati ikkilik sanoq sistemasidagi impulslar sonining yozilishiga mos tushadi. Triggerlar soniga qarab hisoblanishi mumkin bo'lgan impulslar soni aniqlanadi. Agar triggerlar soni n=3 bo'lsa, impulslar $N = 2^n = 2^3 = 8$.

Hisoblagichlar (schyotchiklar) 4, 8, 12 razryadli bo'ladi. Ikkili sanoq sistemada ishlaydigan hisoblagichlardan tashqari o'nli va boshqa sanoq sistemalarida ishlaydigan hisoblagichlar ham bor. Ular ikkili sanoq sistemasida ishlaydigan hisoblagichlardan triggerlar soni hamda invertorlovchi chiqishi va kirish zanjiri orasida teskari bog'lanishning mavjudligi bilan farq qiladi.

Registr deb axborotni yozib oluvchi, saqlovchi va chiqarib beruvchi qurilmaga aytiladi. Registrlar, asosan, ikkita raqamni xotiraga olish uchun ishlatiladi. Bir son yozilganidan keyin ikkinchi son yozilmaguncha registr birinchi sonni eslab turadi. Registrlar ham triggerlar asosida quriladi (9.11-rasm).



9.11-rasm. To'rt razryadli suruvchi registr sxemasi

Ikkili sonining har bir razryadi o'z triggeriga yoziladi. Triggerlar soni registrning razryadlarini aniqlab beradi. To'rt

razryadli suruvchi registrning ishlashini ko'rib chiqamiz (9.11-rasm). Masalan, registorga 3 raqamini yozish kerak bo'lsin.

Bu raqam ikkilik sanoq sistemasida 0011 deb yoziladi. Dastlabki holatda hamma triggerlar "0" holatda bo'ladi. Kirish zanjiriga 0011 raqamiga mos keluvchi impulslar seriyasi beriladi. "Suruvchi" kirishiga suruvchi impulslar beriladi. Suruvchi impulslar kichik razryadli triggerlardan yuqori razryadli triggyerga impuls o'tishi uchun ruxsat beradi va kichik razryadli triggerni yana "0" holatga o'tkazadi. Triggerlar holati 3 raqami yozilganida quyidagicha ifodalanadi (9.2-jadval).

Kerak bo'lgan son yozilgandan keyin suruvchi impulslarni berish to'xtatiladi va axborot yozilib qoladi. Registr axborotni ketma-ket qabul qilib oladi. Mazkur axborotni triggyerdan ketma-ket va parallel holda chiqarib olish mumkin. Axborot parallel holda chiqarib olinganida u hamma triggerlarning chiqishidan bir varakayiga olinadi.

9.2 -jadval

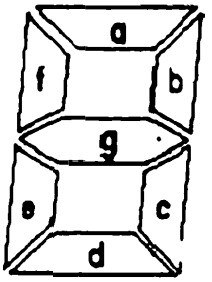
Triggerlar holatining suruvchi impulslar soniga bog'liqligi.

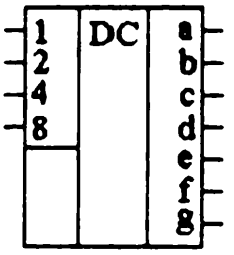
Suruvchi impulslar soni	Triggerning holati			
	T_3	T_2	T_1	T_0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	1	1

Registrda axborotni o'ngga yoki chapga surib, ikkili sanoq sistemasida yozilgan raqamni 2 ga bo'lish yoki ko'paytirish mumkin. Bundan tashqari, registrlarda ikkili kodda yozilgan ikkita sonni ko'paytirish yoki bo'lish mumkin. Ko'paytirish amali razryadlar bo'yicha surilgan sonlarni qo'shish amali bilan almashtiriladi. Bo'lish amali esa ayirish amali bilan almashtiriladi.

Deshifrator deb turli kodli axborotni ajrata oluvchi qurilmaga aytiladi.Unung ishlash asosini yetti segmentlik indikator misolida ko'ramiz. Bu indikator o'nlik va o'n oltilik sanoq tizimidagi

raqamlarni ko'rsatish uchun qo'llaniladi. 9.12-rasmda yetti segmentlik indikatorning ko'rinishi va segmentlari nomi (a) hamda shartli-grafik belgilanishi (b) keltirilgan.





a) b)

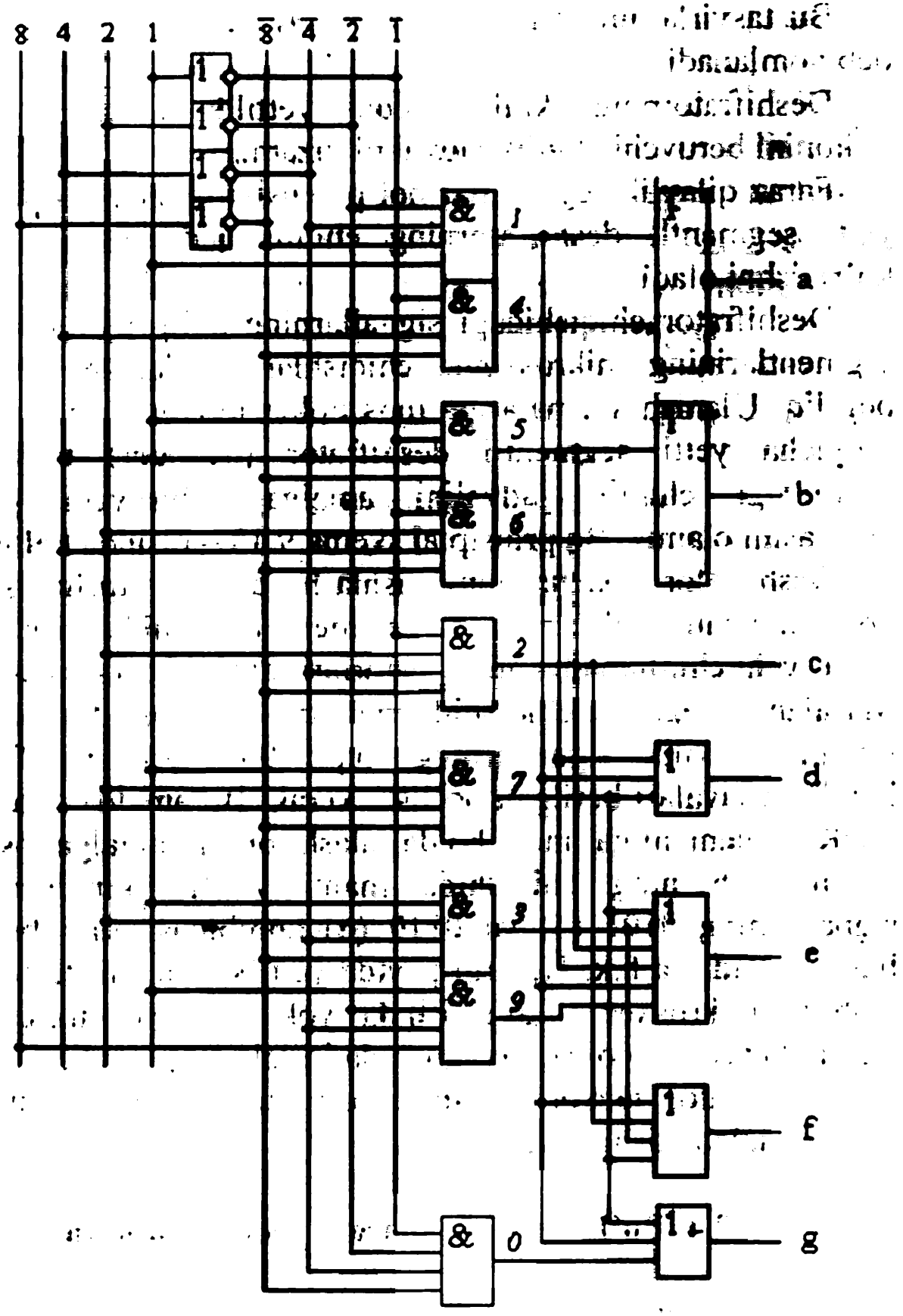
9.12-rasm. Yetti segmentlik indikatorning ko'rinishi va segmentlari nomi (a) hamda shartli-grafik belgilanishi (b).

Bu indikatorda "0" raqamini tasvirlash uchun a,b,c,d,e,f segmentlarni yoqish yetarli.

"1" raqamini tasvirlash uchun b va c segmentlari yoqiladi. Shu tarzda o'nlik va o'n oltilik tizimlardagi barcha raqamlarni tasvirlash mumkin. 9.3-jadval

Yetti segmentli dekoderning chinlik jadvali

Kirishlar				Chiqishlar						
8	4	2	1	a	b	c	d	e	f	G
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0
0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0



9.13-rasm. Yetti segmentli deshifrator (decoder) ning prinsipial sxemasi

Bu tasvirlarning barcha kombinasiyalari yeti segmentlik kod deb nomlanadi.

Deshifratorning ikkilik kodni yettilik kodga o'zgartirish imkonini beruvchi chinlik jadvalini tuzamiz.

Faraz qilaylik segmentlar nol potensial bilan yonsin. U holda yetti segmentli deshifratorning chinlik jadvali 9.3-jadvaldagi ko'rinishni oladi.

Deshifrator chiqishidagi signallarning aniq qiymati indicator segmentlarining mikrosxema chiqishlariga ulanish sxemalariga bog'liq. Ulanish sxemalariga mos holda ihtiyoriy chinlik jadvali bo'yicha yetti segmentli deshifrator (dekoder) ning 9.3 – jadvaldagi chinlik jadvalini amalga oshiruvchi prinsipial sxemasini olamiz. Bu prinsipial sxema 9.13 – rasmda keltirilgan.

Deshifrator sxemasining ishlash asosini tushunish oson bo'lishi uchun "ab" mantiqiy element chiqishida ular amalga oshiruvchi chinlik jadvalining qatorlari raqami ko'rsatilgan.
Masalan, a segment chiqishida mantiqiy "1" hosil bo'lishi uchun kirishga ikkilik signallarning faqat 0001 (1) va 0100 (4) kombinasiayalari berilgan bo'lishi kerak. Bu amalda sxemani "2 YOKI" elementiga mos holda ulash orqali amalga oshiriladi. Segment b ning chiqishida mantiqiy "1" kirishga ikkilik signallarning 0101 (5) va 0110 (6) kombinasiyalari berilganda hosil bo'ladi va h.k. Hozirgi paytda yetti segmentli deshifratorlar alohida mikrosxema ko'rinishida yoki boshqa mikrosxemalar tarkibida tayyor bloklar ko'rinishida ishlab chiqariladi.

Deshifrator tezkor bo'lib, asosiy kamchiligi nisbatan ko'p element talab etishidadir.

9.4. Bo'limga doir masala yechish namunalari

9.1-namuna. Parallel summator (jamlagich) $U_{chiq.m} = 10 \cdot U_1 + U_2 - 2 \cdot U_3 - 5 \cdot U_4$ amallarni bajarish uchun mo'ljallangan bo'lib, quyidagi parametrlarga ega operatsion kuchaytirgich K14OUD8A asosida yig'ilgan.

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

Yechish. Berilgan amallarni bajarish uchun mo'ljallangan parallel summator sxemasi 9.4.1-rasmda ko'rsatilgan.

Noinverslovchi kirishlar soni funksiyaning musbat hadlari soniga, inverslovchi kirishlar soni manfiy hadlari soniga mos keladi.

1. Parallel summator chiqishidagi kuchlanish:

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

Bunda K_{il}, U_{il}, K_{iu}, U_{iu} – noinverslovchi va inverslovchi kirishlarning kuchaytirish koeffitsiyentlari va kirish kuchlanishlari. Koeffitsiyentlar quydagicha aniqlanadi:

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

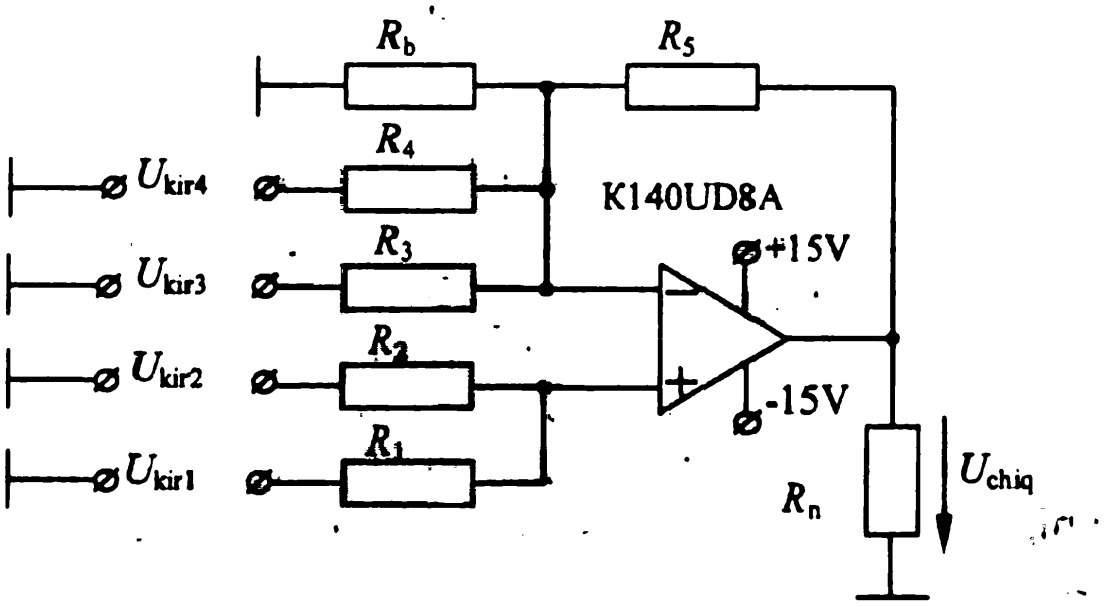
Bunda $R_{T.B}$ yoki sxemada R_5 - teskari bog'lanish qarshiligi, R_i - mazkur kirish zanjiridagi qarshilik. Qarshilik R_5 berilgan qiymati va kirishlarning vazn koeffitsiyentlari $(K_1 = 10; K_2 = 1, K_3 = 2, K_4 = 5)$ bo'yicha kirish zanjir qarshiligini aniqlaymiz:

$$R_1 = \frac{R_5}{K_1} = \frac{40}{10} = 4\,кOm$$

$$R_2 = \frac{R_5}{K_2} = \frac{40}{1} = 40\,кOm$$

$$R_3 = \frac{R_5}{K_3} = \frac{40}{2} = 20\,кOm$$

$$R_4 = \frac{R_5}{K_4} = \frac{40}{5} = 8\,кOm$$



9.4.1 – rasm

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

Inverslovchi kirish bo'yicha kirish qarshiligi:

$$\frac{1}{R_u}=\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_5}=\frac{1}{20}+\frac{1}{8}+\frac{1}{40}=\frac{8}{40};\quad R_u=5\ кOm,$$

noinverslovchi kirish bo'yicha kirish qarshiligi:

$$R_I=\frac{R_1\cdot R_2}{R_1+R_2}=\frac{4\cdot 40}{4+40}=3.6\ кOm\quad R_u>R_I.$$

Kirish qarshiliklarini tenglashtirish uchun inverslovchi kirishga rezistor R_6 ni shunday ulash kerakki, bunda quyidagi tenglik bajarilishi lozim:

$$R_I=\frac{R_b\cdot R_u}{R_b+R_u};\quad R_b=\frac{R_u\cdot R_I}{R_u-R_I}=\frac{5\cdot 3.6}{5-3.6}=12.9\ кOm$$

2. Berilgan $U_{chiq.m} = 10 \cdot U + U - 2 \cdot U - 5 \cdot U = 4U$ amalni bajarish vaqtida kirish kuchlanishi.

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

$$U = \frac{U_{max.m}}{4} = \frac{10}{4} = 2{,}5\ B$$

3. Birlik kirish kuchlanishi 100 mV bo'lganda

$$U_{kir1} = U_{kir2} = U_{kir3} = U_{kir3} = 100\,mV.$$

Chiqish, kuchlanishining birinchi kirish bo'yicha ulushi $U_{chiq1} = K_1 \cdot U_{kir1} = 10 \cdot 100 = 1000\ mV$. Boshqacha kirishlar uchun

$U_{chiq3} = -K_3 \cdot U_{kirp3} = -2 \cdot 100 = -200\ mV$,

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

Jamlagichning chiqish qarshiligi:

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

9.2-namuna. Mexanizm ishi ikki qiymat 0 yoki 1 ni qabul qiluvchi N ta parametrlar bo'yicha nazorat qilinadi. Parametrlar soni va ularning normal qiymati 341 o'nlik son bilan berilgan. Parametrlardan bittasi mos kelmagan taqdirda ham mexanizm o'chiriladi.

Mantiqiy elementlar «3VA – YO'Q» («3 I-NE»), «3YoKI – YO'Q» («3 ILI-NE») dan foydalangan holda mexanizmni boshqarish sxemasini tuzing.

Yechish.

1.Berilgan 341 o'nlik sonni ikkilik tizimga o'tkazamiz: 101010101. Demak, mexanizm 9 ta parametr bo'yicha nazorat qilinar ekan (ikkilik son 9 ta razryaddan iborat). Parametrlarning normal iymatlari: $X_9 = 1$, $X_8 = 0$, $X_7 = 1$, $X_6 = 0$, $X_5 = 1$, $X_4 = 0$, $X_3 = 1$, $X_2 = 0$, $X_1 = 1$.

2. Chinlik jadvali. Mantiqiy funksiya 9 ta argumentga bog'liq ekan. Demak, chinlik jadvali 512 ta to'plamdan iborat bo'ladi.To'plamning faqat bittasi uchun funksiya 1 ga teng bo'ladi. Shuning uchun barcha to'plamni jadvalda ko'rsatish shart

emas va namuna sifatida ulardan beshtasini quyidagi 9.4.1-jadvalda ko'rsatish bilan cheklanamiz.

9.4.1-jadval

Chinlik jadvali to'plamidan namuna.

X_9	X_8	X_7	X_6	X_5	X_4	X_3	X_2	X_1	F
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

3. Mantiqiy funksiya. Mintermlar orqali chinlik jadvaliga ko'ra mantiqiy funksiyani tuzishda quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$F = \sum F_i m_i ,$$

bunda F_i, m_i – i satrga mos kelgan funksiya va minterm qiymatlari.

Minterm – bu satrni tashkil etuvchi barcha o'zgaruvchilari ko'paytmasi (kon'yunktsiyasi). O'zgaruvchilar ko'paytmaga satrdagi qiymatiga qarab kiradi: agar ularning satrdagi qiymati 1 bo'lsa, to'g'ridan-to'g'ri ko'rinishda , agar ularning satrdagi qiymati 0 bo'lsa, invers ko'rinishda , kiritiladi.

Masalaning shartiga ko'ra F=1 faqat bitta satr uchun berilganligidan , mantiqiy funksiya faqat bitta mintermdan iborat bo'ladi:

$$F = X_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_3 \cdot \bar{X}_4 \cdot X_5 \cdot \bar{X}_6 \cdot X_7 \cdot \bar{X}_8 \cdot X_9.$$

4. Mantiqiy funksiyani berilgan elementlarga mos holda o'zgartirish.

Berilgan mantiqiy elementlar quyidagi funksiyalarni bajaradi:

"3VA-YO'Q" ("3I-NE") $F_1 = \overline{X_1 \cdot X_2 \cdot X_3}$,

"3YoKI-YO'Q"("3ILI-NE") $F_2 = \overline{X_1 + X_2 + X_3}$.

O'zgartiriluvchi funksiya F 9 ta o'zgaruvchidan iborat, har bir mantiqiy elementlarning 3 tadan ko'p bo'lmagan kirishidan foydalanish mumkin. Shuning uchun F funksiya ko'rinishini

o'zgartirish, ya'ni uni har biri 3tadan ko'p bo'lmagan o'zgaruvchisi bo'lgan F_1 va F_2 funksiyalar to'plami ko'rinishida ifodalash kerak. Bunday o'zgarishlar mantiqiy algebra qonunlari va teoremalaridan foydalanilgan holda amalga oshiriladi.

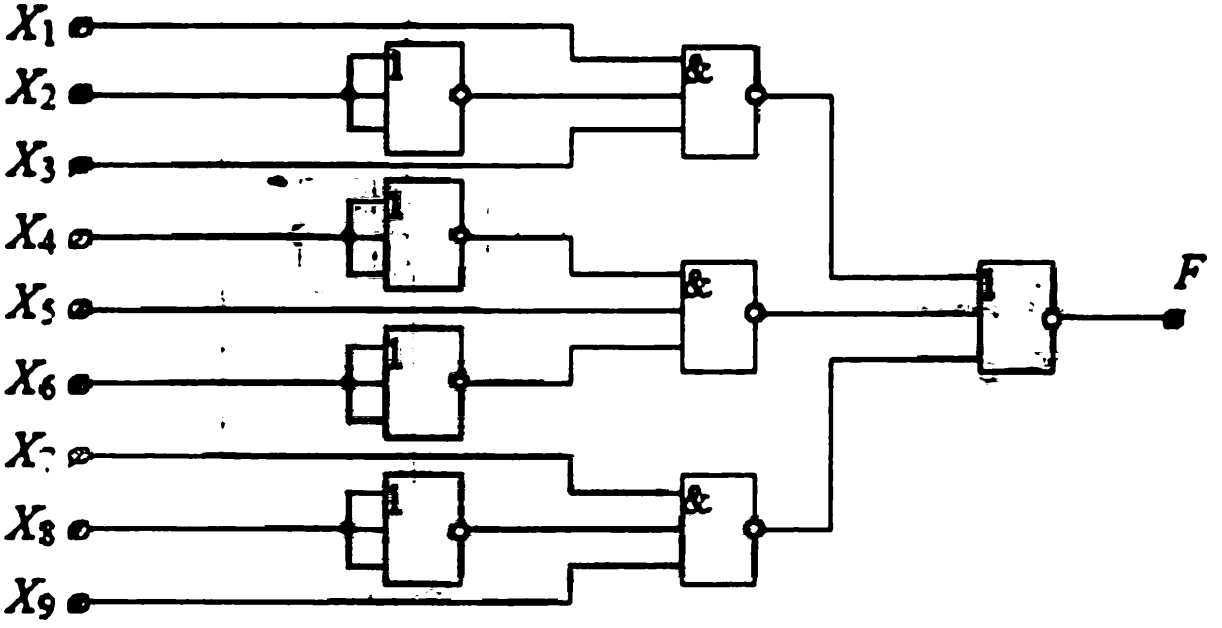
Assotsiativlik qonuniga ko'ra dastlabki funksiyani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$F = X_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_3 \cdot \bar{X}_4 \cdot X_5 \cdot \bar{X}_6 \cdot X_7 \cdot \bar{X}_8 \cdot X_9 =$$
$$= (X_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_3) \cdot (\bar{X}_4 \cdot X_5 \cdot \bar{X}_6) \cdot (X_7 \cdot \bar{X}_8 \cdot X_9).$$

Har bir had uchun ikki marta inkor amalini bajarib va de-Morgan teoremasidan foydalanib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$F = \overline{\overline{(X_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_3)} \cdot \overline{(\bar{X}_4 \cdot X_5 \cdot \bar{X}_6)} \cdot \overline{(X_7 \cdot \bar{X}_8 \cdot X_9)}} =$$
$$= (X_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_3) + (\bar{X}_4 \cdot X_5 \cdot \bar{X}_6) + (X_7 \cdot \bar{X}_8 \cdot X_9).$$

Mana shu ko'rinishda funksiya F berilgan elementlarda amalga oshirilishi mumkin. Elementlar $X_2 \cdot X_4 \cdot X_6 \cdot X_8$ ning inversiyasini VA-YO'Q yoki YoKI-YO'Q elementlar kirishlarini birlashtirgan holda bajariladi. 9.4.2-rasmda elementlarning ulanish sxemasi ko'rsatilgan.



9.4.2-rasm

Sxemani ishlatish uchun 8 ta mantiqiy element (5ta "3YOKI-YO'Q" va 3 ta "3VA-YO'Q" elementlari) zarur bo'ladi. Funksiya F

ko'rinishini boshqacha usulda tasvirlab, mantiqiy elementlar sonini kamaytirish mumkin.

Masalan, dastlabki funksiyani quyidagicha ko'rsatamiz:

$$F = X_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_3 \cdot \bar{X}_4 \cdot X_5 \cdot \bar{X}_6 \cdot X_7 \cdot \bar{X}_8 \cdot X_9 =$$

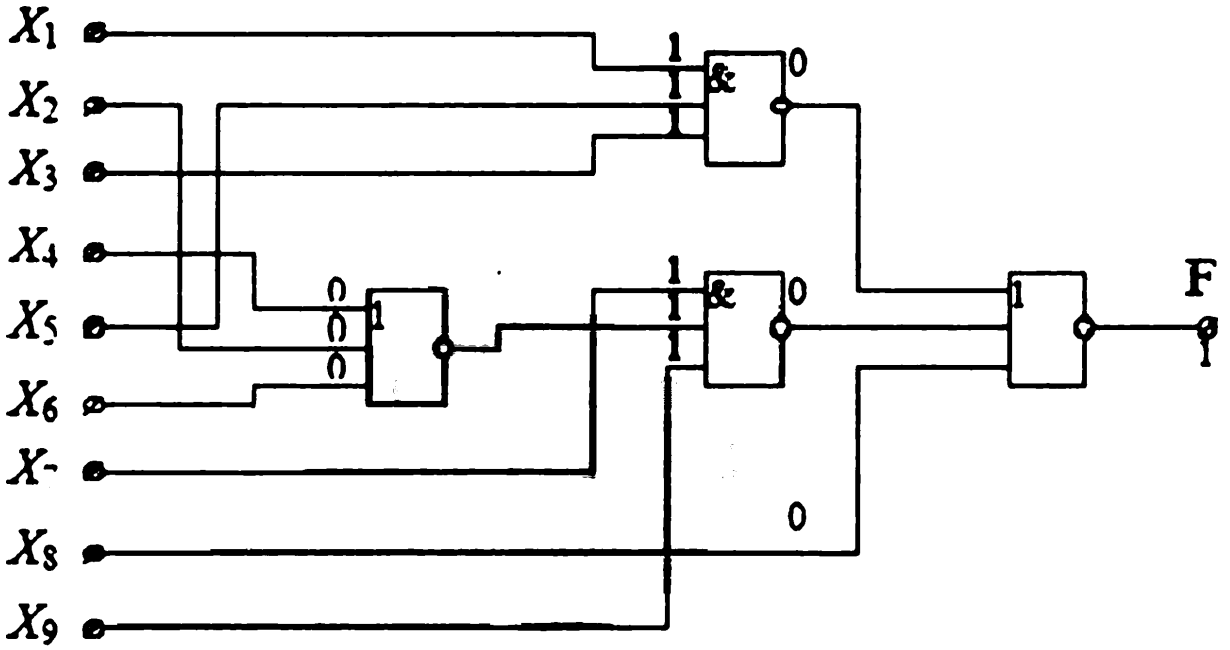
$$= (X_1 \cdot X_3 \cdot X_5) \cdot [X_7 \cdot X_9 \cdot (\bar{X}_2 \cdot \bar{X}_4 \cdot \bar{X}_6)] \cdot \bar{X}_8 =$$

$$= (X_1 \cdot X_3 \cdot X_5) \cdot [X_7 \cdot X_9 \cdot (\overline{X_2 + X_4 + X_6})] \cdot \bar{X}_8 =$$

$$= (\overline{\overline{X_1 \cdot X_3 \cdot X_5}}) \cdot \overline{\overline{[X_7 \cdot X_9 \cdot (\overline{X_2 + X_4 + X_6})]}} \cdot \bar{X}_8 =$$

$$= \overline{\overline{X_1 \cdot X_3 \cdot X_5} + \overline{X_7 \cdot X_9 \cdot (\overline{X_2 + X_4 + X_6})} + X_8}\,.$$

Funksiyaning bunday ko'rinishini ham berilgan elementlarda amalga oshirilishi mumkin. 9.4.3-rasmda mantiqiy elementlarning ulanish sxemasi keltirilgan.



9.4.3-rasm

Sxemada faqat 4 ta mantiqiy element qo'llanilgan (2ta "3VA-YO'Q" va 2 ta "3YOKI-YO'Q" elementlari). Bunday sxema oldingisiga qaraganda ancha arzon va yuqori tezkorlikka ega. Shuning uchun loyihalash vaqtida sxemani optimallashtirishga

harakat qilinadi. Sxemaning ishlashini tekshirib ko'rish uchun X_1 ... X_9 kirishlarda o'zgaruvchilar qiymati va funksiya qiymati ko'rsatilgan. Kirishga berilgan har qanday boshqacha qiymatda funksiya F=0 bo'lishini oson tekshirish mumkin.

Rezyume

-Gibrid integral mikrosxemalar monolit, yupqa plyonkali, qalin plyonkali va diskret komponentlardan iborat.

-Chip–bu integral mikrosxemasi bo'lgan va o'lchami taxminan bir kvadrat santimetrga teng yarim o'tkazigich material.

-Integral mikrosxemada rezistor va kondensatorlar monolit usulda yasalmaydi, chunki ularning o'lchamlarini juda yuqori aniqlikda olish talab etiladi. Monolit usul yupqa plyonkali yoki qalin plyonkali texnika bera oladigan yuqori aniqlikni ta'minlay olmaydi.

-Integral mikrosxemalarning keng qo'llanilishi omillari: ular murakkab zanjirlar sifatida yuqori ishonchlikka ega; o'ta kichik o'lcham va vaznga ega; tayyorlash texnologiyasi tejamli; muammolarning yangi va yaxshi echimlarini ta'minlaydi.

-Integral mikrosxemalar tok va kuchlanishning katta qiymatlarida ishlay olmaydi.

-Integral mikrosxemalar elementlari diod, tranzistor, rezistor va kondensatorlar bo'lishi mumkin.

-Integral mikrosxemalarni ta'mirlab bo'lmaydi, ularni faqat almashtirish mumkin.

-Integral mikrosxemalarni tayyorlash uchun monolit, yupqa plyonkali, qalin plyonkali va gibrid usullardan foydalaniladi.

-Integral mikrosxemalarning eng ko'p tarqalgan korpusi DIR (chiqishlari ikki qatorli joylashgan) tipdagi korpusdir.

-Integral mikrosxema korpuslari keramika yoki plastmassadan tayyorlanadi, ammo plastmassa korpuslar ko'proq qo'llaniladi.

Nazorat uchun savollar

1.Integral mikrosxema (IMS) qanday qurilma ?

2.Bajarilishiga ko'ra IMS turlari qanday ?

3.Elementlari soniga ko'ra IMS qanday turlarga bo'linadi ?

4.Ish rejimlariga ko'ra IMS qanday guruhlarga ega ?

5.IMS afzalliklari va kamchiliklari nimadan iborat ?

6. Mantiqiy elementlar sistemasi nima ?

7. Asosiy mantiqiy funksiyalarni sanab o'ting.

8.Tranzistor, tranzistor mantiq (TTM) li elementning ish asosi qanday ?

9.Emitter bog'lanishli mantiqiy (EBM) elementlarning ish asosini tushuntiring

10.Triggerlar, ularning tuzilishi va ish asosi qanday ?

11.Registrlar, ularning tuzilishi va ish asosi qanday ?

12.Deshifrator deb qanday qurilmaga aytiladi ?

Ayrim so'zlar izohlari (Glossariy)

Yarimo'tkazgich materiallar-o'tkazuvchanligi izolyatorlar o'tkazuvchanli-gidan yaxshi, o'tkazgichlar o'tkazuvchanligidan yomon bo'lgan barcha mate-riallar;

Sof yarimo'tkazgich materiallarga quyidagilar kiradi: uglerod (c), germaniy (Ge) va kremniy (Si)

Valentlik–bu atomning o'ziga elektronni qo'shib olish yoki uni o'zidan berish qobiliyati ko'rsatkichi.

Kristallar–o'zlarining valent elektronlaridan kovalent bog'lanishlar hosil qilish yo'li orqali birgalikda foydalanuvchi atomlardan tashkil topadi.

Yarimo'tkazgich materiallarning qarshiligi manfiy temperatura koeffitsiyentiga ega: temperatura ortishi bilan ularning qarshiligi kamayadi.

Issiqlik yarimo'tkazgich materiallarda muammoni yuzaga keltiradi, ya'ni elektronlarning kovalent bog'lanishini uzish imkonini beradi.

Temperatura ortganda yarimo'tkazgich materialdagi elektronlar bir atomdan boshqasiga siljiydi (dreyflanadi)

Kovak–valent qobiqda elektronning bo'lmasligidir.

Sof yarimo'tkazgich materialga berilgan potensiallar farqi musbat chiqishga qarab harakatlanuvchi elektronlar oqimini va manfiy chiqishga qarab harakatlanuvchi kovaklar oqimini hosil qiladi.

Yarimo'tkazgich materiallarda tok elektron va kovaklarning ma'lum yo'nalishlardagi harakatlaridan yuzaga keladi.

Legirlash–bu yarimo'tkazgich materialga aralashma qo'shish jarayoni.

Uch valentli materiallar–uch valentli elektronlarga ega atomlardan iborat va p-tipdagi yarimo'tkazgichlar tayyorlash uchun qo'llaniladi

Besh valentli materiallar–besh valentli elektronlarga ega atomlardan iborat va n -tipdagi yarimo'tkazgichlar tayyorlash uchun qo'llaniladi.

Yarimo'tkazgichlarning n-tipida elektronlar asosiy, kovaklar asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilardir.

Yarimo'tkazgichlarning p-tipida kovaklar asosiy, elektronlar asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilardir

Yarimo'tkazgichlarning n va p-tiplari sof yarimo'tkazgichlarga qaraganda ancha yuqori o'tkazuvchanlikga ega bo'ladi.

Diod n - va p-tipdagi yarim o'tkazgichlarni birgalikda biriktirilgan holda yaratiladi.

O'tish sohasiga yaqin qismi kambag'allashgan qatlam deyiladi. Elektronlar o'tish orqali n -tipdagi materialdan p-tipdagi materialga siljiydi va shuning uchun o'tishga yaqin qismda elektron va kovaklar konsentratsiyalari kamayadi.

Kambag'allashgan qatlam o'lchami o'tishning har ikkala tomonidagi zaryad bilan chegaralangan.

O'tish yaqinidagi zaryadlar potensial baryer (to'siq) deb ataluvchi potensiallar farqini hosil qiladi.

Potensial to'siq germaniy uchun 0,3 volt va kremniy uchun 0,7 voltni tashkil yetadi.

Tashqi kuchlanish qiymati potensial to'siq qiymatidan katta bo'lgandagina diod orqali tok oqishi mumkin.

To'g'ri yo'nalishda siljishli diod tok o'tkazadi. Bunda tok manbasining musbat qisqichi p-tipdagi materialga, uning manfiy qisqichi esa n-tipdagi materialga ulanadi.

Teskari yo'nalishda siljishli diod orqali kichik qiymatda sizish toki o'tadi.

Diod tokni faqat bir tomonlama o'tkazuvchi qurilmadir.

Diod pasportida diodning maksimal to'g'ri toki va ruxsat etilgan teskari kuchlanishning maksimal qiymatlari ko'rsatiladi.

Diod katodi n-tipdagi materialdan, anodi p-tipdagi materiallardan iborat.

Diodlar p–n o'tishni o'stirish, eritish va diffuziya usullari bilan tayyorlanadi.

Hozirgi paytda diodlarni tayyorlash diffuziya usuli bilan amalga oshiriladi.

Diodlarning markalanishida agar 3 ampyerdan kichik toklarga mo'ljallangan bo'lsa; katodni bildiruvchi oq yoki kumush rang bo'yoq korpusda katod tomonini ko'rsatuvchi belgi sifatida surkab qo'yiladi.

Diodni tekshirib ko'rish uning to'g'ri va teskari qarshiliklarini ommetr yordamida taqqoslash orqali amalga oshiriladi. Diod to'g'ri yo'nalishli siljigan bo'lsa, uning qarshiligi kam , teskari yo'nalishli siljigan bo'lsa, uning qarshiligi yuqori bo'ladi.

Stabilitronlar teshilish kuchlanishi (maksimal teskari kuchlanish) dan katta bo'lgan kuchlanishlarda ishlash uchun mo'ljallangan.

Stabilitronning teshilish kuchlanishi diodning solishtirma qarshiligi bilan aniqlanadi.

Stabilitronlar muayan stabilizatsiya kuchlanishi bilan ishlab chiqariladi.

Stabilitron sochuvchi quvvat temperatura va chiqishlar uzunligiga bog'liq.

Stabilizatsiya kuchlanishi 5 volt va undan yuqori bo'lgan stabilitronlar stabilizatsiya kuchlanishining musbat temperatura koeffitsiyentlariga ega.

Stabilizatsiya kuchlanishi 4 voltdan kam bo'lgan stabilitronlar stabilizatsiya kuchlanishining manfiy temperatura koeffitsiyentiga ega.

Stabilitronlar kuchlanishni stabilizatsiyalash yoki rostlash uchun qo'llaniladi.

Stabilitronlar asosidagi rostlagichlar kirish kuchlanishi yoki kirish toki o'zgarishiga qaramasdan chiqish kuchlanishi doimiy bo'lishini ta'minlaydi.

Stabilitronlarni ommetr yordamida zanjiri uzilganligiga , qisqa tutashuv yoki sizish toki mavjudligiga tekshirish mumkin.

Tranzistor–uch qatlamdan iborat bo'lgan qurilma bo'lib, quvvat va kuchlanishni kuchaytirish uchun qo'llaniladi.

Tranzistorlar n-p–n va p-n-p konfiguratsiyali bo'ladi

Tranzistorning o'rta sohasi baza, ikki chet sohalari-emitter va kollektor deb ataladi.

Tranzistorlar o'tkazuvchanlik tipi (n–p–n yoki p–n–p), materiali (kremniy yoki germaniy), quvvati (kichik yoki katta), qo'llanish usuli (qayta ulovchi yoki chastotali) bo'yicha sinflanadi.

Tranzistorlarning shartli belgilari harf va raqamlarni o'z ichiga olgan elementlardan iborat.

Tranzistor korpuslari himoya, issiqlikni chiqarish va tranzistorlarni sxemaga ulash uchun xizmat qiladi.

To'g'ri kuchlanish berilganda tranzistorning emitter-baza o'tishi siljishi to'g'ri yo'nalishda, kollektor-baza o'tish siljishi teskari yo'nalishda bo'ladi.

Tranzistorning r–n–p tipida siljitish manbalari n–p–n tipdagi siljitish manbalariga qarama-qarshi qutblarda bo'ladi.

Germaniyli tranzistorning ichki potensial to'sig'i 0,3 volt, kremniyli uchun 0,7 volt.

Kollektor-baza o'tishga qo'yilgan teskari siljish kuchlanishi emmiter-baza o'tishga qo'yilgan to'g'ri siljish kuchlanishidan katta.

Tranzistorni ommetr yordamida tekshirishda har bir o'tish to'g'ri siljishda kichik qarshilikni, teskari o'tish vaqtida yuqori qarshilikni ko'rsatadi.

Tranzistorlarni tekshirish uchun maxsus asboblar tranzistorlarni ham zanjirda , ham zanjirdan tashqari bo'lganda tekshirish imkonini beradi.

Maydonli tranzistor signalni boshqarish uchun kanaldan foydalaniladi (oddiy tranzistorlarda p–n o'tishlardan foydalaniladi).

Maydonli tranzistorlarning uchta chiqishi zatvor (**tamba**), istok (**kirish**) va stok (**chiqish**) larga ulangan.

Kirish signali zatvor (**tamba**) va istok (**kirish**) orasiga beriladi va maydon tranzistor signal kattaligini boshqarishi mumkin.

Maydonli tranzistorlar juda katta kirish qarshiligiga ega.

Tiristorlarga kremniyli boshqaruv ventili (KBV), triak va diaklar kiradi.

KBV boshqaruv elektrodidagi musbat signal yordamida bitta yo'nalishdagi tokni boshqaradi.

KBV o'zgarmas va o'zgaruvchan tok zanjirlarida tokni boshqarish uchun qo'llanilishi mumkin.

Triaklar–bu ikki tomonlama yo'nalishli triodli tiristor.

Triaklar boshqaruv elektrodidagi musbat yoki manfiy signal yordamida ixtiyoriy yo'nalishda oqib o'tuvchi tokni boshqarishi mumkin.

Triaklarning ishga tushirish xarakteristikasi nosimmetrik bo'lganligi uchun ularni ishga tushirish uchun diaklar zarur.

Diaklar–bu ikki tomonlama ishga tushiruvchi diodlardir.

Diaklar asosan triaklar uchun ishga tushiruvchi sifatida qo'llaniladi.

Tiristorlar tranzistorlarni tekshirish uchun maxsus asboblar va ommetrlar yordamida tekshirilishi mumkin.

Integral mikrosxemalarning keng qo'llanilishi omillari:
ular murakkab zanjirlar sifatida yuqori ishonchlikka ega;
o'ta kichik o'lcham va vazngа ega;
tayyorlash texnologiyasi tejamli;
mammolarning yangi va yaxshi echimlarini ta'minlaydi.

Integral mikrosxemalar tok va kuchlanishning katta qiymatlarida ishlay olmaydi.

Integral mikrosxemalar elementlari diod, tranzistor, rezistor va kondensatorlar bo'lishi mumkin.

Integral mikrosxemalarni ta'mirlab bo'lmaydi, ularni faqat almashtirish mumkin.

Integral mikrosxemalarni tayyorlash uchun monolit, yupqa plyonkali, qalin plyonkali va gibrid usullardan foydalaniladi.

Integral mikrosxemalarning eng ko'p tarqalgan korpusi DIR (chiqishlari ikki qatorli joylashgan) tipdagi korpusdir.

Integral mikrosxema korpuslari keramika yoki plastmassadan tayyorlanadi, ammo plastmassa korpuslar ko'proq qo'llaniladi.

Yorug'lik bilan o'zaro ta'sirlanuvchi yarimo'tkazgich qurilmalar yorug'lik qayd qiluvchi qurilmalarga, yorug'likni o'zgartiruvchi va yorug'lik chiqaruvchi qurilmalarga bo'linadi.

Yorug'lik–inson ko'zi bilan ilg'anuvchi elektromagnit nurlanishdir.

Yorug'lik sezgir qurilmalarga foto qarshiliklar, quyosh elementlari, fotodiodlar va fototranzistorlar kiradi.

Yorug'lik nurlatkichlarga yorug'lik diodlari (yorug'lik nurlatuvchi diodlar) kiradi;

Optojuftlik yorug'lik sezgir qurilma va yorug'lik nurlatuvchi qurilmalardan iborat.

Foydalanilgan adabiyotlar

1.Lachin V. I., Savyolov N. S. Elektronika. Uchebnoe posobie. R./na-Donu. Izd. "Fenniks" 2005.

2.Liberman F.Ya. Elektronika na jeleznodorojnom transporte. Uchebnoe posobie dlya vuzov j.d. Transport.–M. Transport. 1987.

3.Burkov A. T. Elektronnaya texnika i preobrazovateli. Uchebnik dlya vuzov j.d. transporta.-M.: Transport. 2006.

4.Jerebtsov I.P. Osnovi elektroniki. –L.: Energoatomizdat., 1989.-352 s.

5.Safarov A.M. Elektronika asoslari, Ma'ruzalar matni, elektron varianti, ToshTYMI. 2006.

6.Novgorodtsev A.B. Raschet elektricheskix tsepey v MATLAB: Uchebniy kurs. – SPb.: Piter, 2004.

7.Petuxov V.M. Spravochnik.Tranzistori i ix zarubejnie analogi.-M.:RadioSoft,2001g.T.1,2.

8.Zinovev G.S: Osnovi silovoy elektroniki.- Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2003.

9.Pryanishnikov V.A. Elektronika: Kurs lektsiy.- SPb.: Korona-print, 2004.

10. Karlashchuk V.I. Elektronnaya laboratoriya na IBM PC. Laboratorniy praktikum na baze Electronics Workbench i MATLAB. Izdanie 5 – e. – M: SOLON – Press, 2004.

Ilovalar

Elektr va elektron sxemalarni modellovchi Electronics Workbench («Elektronnaya laboratoriya») (EWB 5.12) dasturini virtual laboratoriyalar uchun qo'llash namunalari

1-ilova. Elektr va elektron sxemalarni modellovchi Electronics Workbench («Elektronnaya laboratoriya») (EWB 5.12) dastur ishi bilan tanishish.

2-ilova. Yarimo'tkazgichli diodni tadqiq qilish.

3-ilova. Bipolyar tranzistorning statik xarakteristikalarini tadqiq qilish.

4-ilova. Bir fazali yarimo'tkazgichli to'g'rilagichlarni tadqiq qilish.

5-ilova. Uch fazali yarimo'tkazgichli to'g'rilagichlarni tadqiq qilish.

6-ilova. Umumiy emmitterli sxema bilan ulangan bipolyar tranzistorli kuchaytirgich kaskadini tadqiq qilish.

1-ilova

Elektr va elektron sxemalarni modellovchi Electronics Workbench («Elektronnaya laboratoriya») (EWB 5.12) dastur ishi bilan tanishish

Ishning maqsadi:

1. Elektr va elektron sxemalarni modellovchi Electronics Workbench («Elektronnaya laboratoriya») (EWB 5.12) dastur ishi bilan tanishish dasturi strukturasi, ishlash usullari va asosiy imkoniyatlar bilan tanishish.

2. Elektr va elektron zanjirlarning sodda virtual modellarini yig'ishni o'rganish.

3. Yig'ilgan virtual zanjirlarni tahlil qilishni o'rganish.

Qisqacha nazariy ma'lumot. Elektr va elektron zanjirlarni kompyutyerda modellashtirish dasturlari o'ttiz yildan ortiqroq tarixga ega. Bunday dasturlarning ko'pchiligi zanjirlarni

modellashtirishdan tashqari elementlar, tugunlar va yaxlit tizimlarning xarakteristikalarini ko'rish, hisoblash va tahlil qilish imkonini beradi. Ba'zi dasturlar, shuningdek, loyiha va konstruktorlik masalalarini, masalan bosma platalarni ishlab chiqishni ham amalga oshiradi.

EWB.5.12 Dasturi ishlash soddaligi, ko'rgazmali va qulayligi bilan elektr texnika, elektronika va sxematexnikani o'rganishda ko'pchilik texnika oliy o'quv yurtlarida oddiy ish anjomiga aylandi. Dastur tili – inglizcha.

Ishni bajarish tartibi.

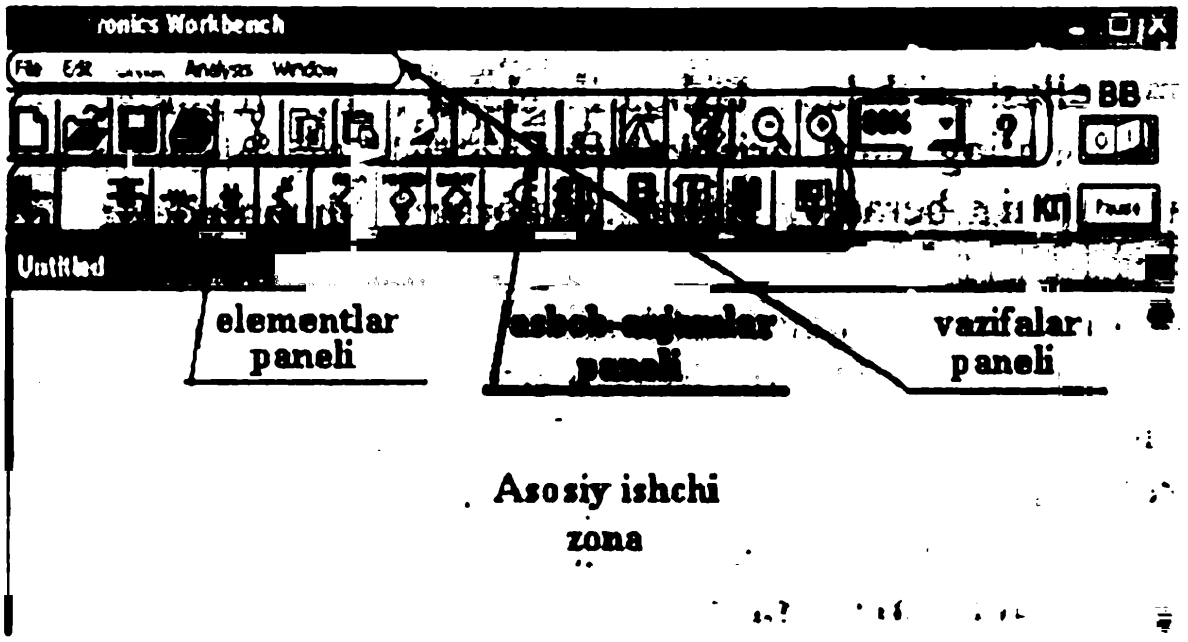
1. EWB 5.12 Dastur interfeysi bilan tanishish kerak. Buning uchun kompyuter ish stolida 1-rasm ko'rinishidagi tasvir ustiga "sichqoncha" ko'rsatkichi olib borib bosiladi va 1-rasmdagi belgi ochiladi.

1-rasm

Asosiy ishchi soha elektron zanjirlarning virtual modellarini qurishga mo'ljallangan. Unda, shuningdek, markalash va ishchi yozuvlarni, maxsus belgilar, jadvallar va shu kabilar joylashtirilishi mumkin. Tahlil qilish vaqtida asosiy ishchi sohada natijalar jadvali, grafiklar, ossillogrammalar va shu kabilar joylashtiriladi.

Elementlar paneli asosiy ishchi soha yuqorisida joylashgan.

Asosiy ikonalardan istalganicha "sichqoncha"ning chap tugmasi bilan bosilsa, funksional vazifalari o'xshash bo'lgan qo'shimcha element ikonalari paydo bo'ladi. Elementlarning shartli belgisi AQSH standartlariga mos keltirilgan.



2-rasm.

– ta'minlash manbalari ikonasi bo'lib, u barcha tipdagi ta'minlash manbalari va yordamchi elementlarni o'z ichiga olgan.

Manbalar va elementlarning asosiy turlari:

	kimyoviy tok manbayi
	O'zgaruvchan tok manbayi
	O'zgarmas tok manbayi
	Zaminlash

– asosiy elektr texnika elementlari tasviri. U o'z ichiga barcha tipdagi rezistorlar, kondensatorlar, induktiv elementlar, uzgichlar, transformatorlar va sh.k.larni olgan. Elektr texnika elementlarining asosiy turlari:

	Rezistor, reostat
	Kondensator, sig'im
	Induktivlik
	Transformator

	O‘chirgich, qayta ulagich
•	Simlarning ulangan joyi

– diodlar tasviri. U o‘z ichiga barcha yarim o‘tgazgich diodli elementlarni olgan. Elementlarning asosiy turlari:

	Diod
	Tiristor
	Yorug‘lik diodi
	To‘g‘rilagichning ko‘prik sxemasi

– tranzistorlar tasvirlari. Tranzistorlarning asosiy turlari

	Bipolyar tranzistor n-p-n
	Bipolyar tranzistor n-p-n
	Maydonli tranzistor
	Bir o‘tishli tranzistor

– asboblar va indikatorlar tasviri. Asboblarning asosiy turlari:

V	Voltmetr
A	Ampermetr
	Indikatorli lampa
	Zummer, qo‘ng‘iroq

– qo‘shimcha komponentlar tasviri. Asosiy komponentlar turlari:

	O‘zgarmas tok motori

A	Matn bloki
	Jadval, tasniflash
	Eruvchan saqlagich

– asosiy o'lchash instrumentlari va generatorlari tasviri o'z ichiga quyidagilarni olgan:

	Tester, multimetr
	Signallar generatori
	Ossillograf
	Grafik quruvchi
	Ikkilangan kodli generatori

– xususiy elementlar panelini yaratish tasviri. Bu tasvirga "sichqoncha"ning chap tugmasini bosgan holda panel maydoniga ko'proq ishlatiluvchi elementlar siljitiladi.

Xususiy elementlar panelini yaratish texnik elementlar asosida yig'iluvchi virtual sxemalarni tez yig'ish imkonini beradi.

Asbob anjomlar paneli elementlar panelining yuqori qismida joylashgan. Panel tasvirlaridan ixtiyoriy biriga "sichqoncha" ko'rsatkichini to'g'rilab va chap tugmacha bosilsa kontekst menyu tablosi paydo bo'ladi, undan esa yig'ilgan zanjir ustida bajarilishi lozim bo'lgan tasvirlarning qo'llanilishi va uni faollashtirganda amalga oshiriluvchi natijalar:

– yangi zanjirni yaratish;

– ilgari yaratilgan yoki mavjud tayyor modellardan zanjir sxemasini yuklash;

– yig'ilgan zanjirni saqlash;

– sxemani bosmaga chiqarish va printer parametrlarini o'rnatish;

– zanjir elementi yoki bo'lagini qirqish, nusxalash va qo'yish;

– elementni 90° ga burish;

– elementni chapdan o'ngga yoki yuqoridan pastga ko'zguli qaytarish;

– nim zanjirni yaratish;

– grafik yasashlarning parametrlarini berish;

– tanlangan zanjir elementi parametrlarini berish;

80% – tasvir masshtabini berish;

– ma'lumot faylini chiqarish (ingliz tilida) ;

– virtual uzgich, yig'ilgan zanjirni uzadi va ulaydi;

– pauza tugmasi (zanjir ishini vaqtincha to'xtatadi);

Vazifalar paneli ekranning yuqori qismida joylashgan. "«sichqoncha"" ko'rsatkichi yozuv ustiga olib kelinib, uning chap tugmachasi bosilsa, EWB 5.12 fayllari ustida bajarilishi lozim bo'lgan harakatlar mazmunini ochib beruvchi konteksli menyu jadvali namoyon bo'ladi. Paneldagi asosiy amallar quyidagilardan iborat:

File – fayllar ustida amallar (yaratish, ochish, saqlash, import-eksport va shu kabilar)

EDit – fayllarini muharrirlash (nusxalash, chiqarib yuborish va shu kabilar)

Circuit – yig'iluvchi zanjir elementlarini muharrirlash (burish, qaytarish, komponentlar parametrlarini berish va shu kabilar)

Analysis – yig'ilgan zanjir ishini tahlil qilish.

WinDow – tasvirlash imkoniyat va uning tasnifi beriladi.

Help – axborot xabarlari va yordam fayllarini ochish.

1. Elektron sxemalarning virtual modellarini yaratish, muharrirlash va modifikastiyalashning asosiy usullari bilan tanishish, buning uchun quyidagi amallar ketma-ketligini bajarish kerak:

a) asosiy ishchi zonaga quyidagi elementlar: rezistor, kondensator, induktiv g'altak, ampermetr, voltmetr, kimyoviy tok manbayi, o'zgaruvchan kuchlanish manbayi, zaminlagich, o'tkazgichlarni ulash nuqtalari, signallar generatori, ostsilograflar, multimetrlar, bipolyartranzistor, diodlar chiqariladi. Elementlar "sichqoncha" ko'rsatkichi bilan mos holda ochiluvchi elementlar panelidan chiqarib olinadi va "sichqoncha" chap tugmasiga bosilgan holda ishchi zonaga ko'chirib o'tkaziladi. Ko'rsatkich to'g'rilanib, "sichqoncha"ning o'ng tugmasi bosilgan holda elementlarni aylantirish (Rotate), qaytarish (Flip vertical, Flip horizontal), qirqish (Cut), nusxalash (Copy), qo'yish (Paste) uning parametrlarini berish (Component Properties) mumkin.

b) rezistor, kondensator, g'altak, tranzistor, diod parametrlarini "sichqoncha" chap tugmasiga ikki marta bosgan holda beriladi. Namoyon bo'lgan jadvalda mos holda qarshilik, sig'im yoki induktivliklarni kiritib, ularning ulushli va karrali birliklarini mashq qilish kerak. Tranzistor yoki diod parametrlarini berishda ularning tip (marka) larini ishlab chiqaruvchi firma nomini bosish orqali amalga oshiriladi yoki ideal model tanlanadi.

d) voltmetr va ampermetrning o'lchash rejimlari o'rnatiladi:

DS kuchlanish va tokning doimiy tashkil etuvchisini o'lchash, AS kuchlanish va tokning o'zgaruvchan tashkil etuvchisini o'lchash. Asboblardan har biriga o'ziga xos belgilash (Label ilovadan) berilishi mumkin, asboblarning ichki qarshiliklari va boshqa parametrlari berilishi ham mumkin. Multimetr parametrlari sozlanadi, buning uchun quyidagilar berilishi mumkin: o'lchanuvchi parametr ko'rinishi – A (tok), V

(kuchlanish), Ω (qarshilik), DB (signallar nisbati Destibellarda), tok turi (o'zgaruvchan yoki doimiy). Tugmacha Setting yordamida tajribali foydalanuvchilar o'lchash asboblarining ichki qarshiliklarini ham berib, tabiiy imitastiyaga yaqin rejimga erishadilar.

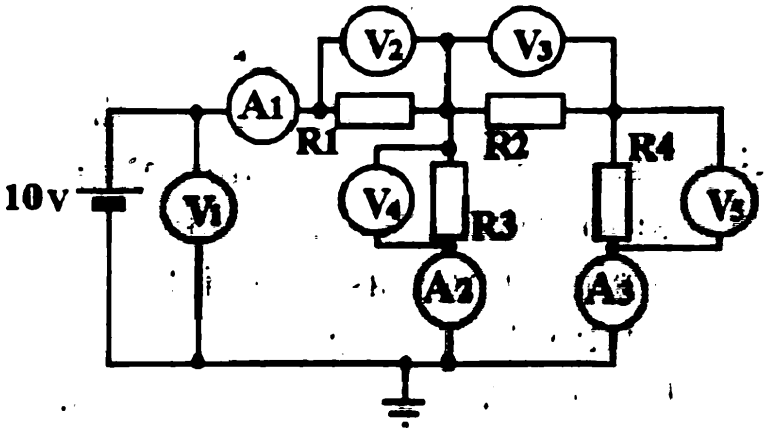
e) funksional generator ish rejimini o'rnatish, buning uchun quyidagilar berilishi mumkin: signal shakli (sinusoidal, uchburchak impulslar, to'g'ri burchakli impulslar); signal chastotasi; signal amplitudasi. To'g'ri burchakli impulslar uchun uning chuqurligi, doimiy tashkil etuvchi foizi va boshqa parametrlar berilishi mumkin.

f) virtual ikki nurli ostsillograf ishlashi va uni sozlash bilan tanishish, rejimlarini tanlash ossillograf mos tugmasiga "sichqoncha" chap tugmachasini ikki marta bosish orqali amalga oshiriladi. Asosiy tugmalarning qo'llanilishi: ESPAND – ossillografdagi tasvir va uning ekrani o'lchamini kattalashtirish; REDUCE – ossillograf o'lchamini dastlabki holatiga qaytarish; GROUND – zaminlashni ulash qisqichi, undan foydalanmasdan ossillografni ishlatib bo'lmaydi; Time base–vaqt masshtabini berish oynasi; Cannel A, Cannel V – mos holda A va V kanallar uchun vertikal shkala masshtabini berish oynasi; ekranda tasvirlarni ko'rsatish usullari tugmachasi – Y/T (vertikal o'qda signal kuchlanishi, gorizontal o'qda vaqt), A/V (vertikal o'q bo'yicha A signal kuchlanishi, gorizontal bo'yicha V signalniki), V/A – huddi shunday, faqat vertikal va gorizontal o'qlar o'zgartirilgan); *X*-position, Y -position – gorizontal va vertikal o'qlar bo'yicha nol kordinatalarni (kordinata boshini) tanlash; LEVEL – sinxronlash darajasini tanlash (tasvir qo'zg'almas bo'lishi uchun); EDGE – tadqiq etiluvchi signal fazasini ±180° ga o'zgartirish; *AS*(o'zgaruvchan tok), *DS* (doimiy tok), *O* (o'zgaruvchan va doimiy tok) – signalning tekshiriluvchi tashkil etuvchisi turini tanlash.

g) ustki yozuvlarni yaratish usullari bilan tanishish, buning uchun ikonkalar bazasidan matn varag'i ochiladi.

Ko'rsatkich olib borilib, "sichqoncha"ning chap tugmasi ikki marta bosilsa, jadval ochiladi va unda yozish yoki shrift tanlash amalga oshiriladi. Yozuvni "sichqoncha" chap tugmasini bosgan holda asosiy ishchi zonaning ixtiyoriy joyiga siljitish mumkin, burish, o'chirib yuborish va shu kabilar. amalga oshiriladi. Tanishuv mashqlarini o'tkazib bo'lgach barcha elementlar ajratilib, ularni ekran ishchi zonasidan o'chirib yuboriladi.

2. Sxemasi 3-rasmda ko'rsatilgan o'zgarmas tok virtual zanjirini yig'ing. Ta'minlash manbayi, rezistorlar va o'lchov asboblari (ular doimiy tokni o'lchash rejimida ishlashi kerak) parametrlarini qo'yib chiqiladi. Rezistorlar qarshiliklari qiymatlari: R_1=10 om, R_2=25 om, R_3=15 om, R_4=20 om.



3-rasm

Virtual uzgich ulanadi va o'lchash asboblari ko'rsatkichlari stabil bo'lganda o'lchangan kuchlanish va toklar 1i-jadvalga yoziladi.

1i-jadval

I_1, A	I_2, A	I_3, A	U_1, V	U_2, V	U_3, V	U_4, V	U_5, V

Elektr zanjirni tahlil qilish quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi. Vazifalar panelida "sichqoncha"ning chap tugmasini circuit ustiga bosamiz, ochilgan tabloda Schematik options ga

bosamiz. Paydo bo'lgan menyu jadvlidan Show/Hide varag'ini tanlaymiz va Show labels (belgini ko'rsatish) oynasida, show model (elementlar tipini ko'rsatish), show values (qiymatlarni ko'rsatish), show nodes (tugunlar raqamini ko'rsatish) oynalariga belgilashni qo'yamiz, undan keyin jadvalni yopamiz. Zanjir sxemasida paydo bo'lgan tugunlar raqamlarini (kichik to'rtburchakdagi) laboratoriya daftariga yozib olinadi. Elektr zanjir shaxobchalaridagi toklar tahlil asboblaridagi **DC Operating Point** (o'zgarmas tok zanjirini tugun potensiallar usuli bilan hisoblash). Bu usul bilan amalga oshiriladi. Bu usul masalalar panelidan **Analysis** tugmasi orqali ochiladi. Tugun potensiallar qiymatlari 2i-jadvalga kiritiladi.

2i-jadval

Tugun	1	2	3	4	5	6	7	8
Potensial, V								

Shaxobchalardagi tok qiymatlari zanjirning bir qismi uchun Om qonuniga ko'ra topiladi. Masalan, 1 va 2 tugunlar orasidagi tok $I = \frac{U_1 - U_2}{R_1}$ formulaga binoan topiladi. Shuningdek, boshqa shaxobchalar toki ham aniqlanadi. Ampermetrlar orqali o'lchangan va hisoblash bo'yicha aniqlangan shaxobchalar toklari bir xil qiymatli ekanligiga ishonch hosil qilish lozim.

4-rasmga ko'ra virtual o'zgaruvchan tok zanjir sxemasini yig'ing, taxminlash manbayi, rezistorlar, kondensator, g'altak va o'lchov asboblari (ular o'zgaruvchan tokni o'lchash rejimida ishlashi kerak) parametrlari qo'yiladi. Rezistor qarshiliklari qiymatlari:

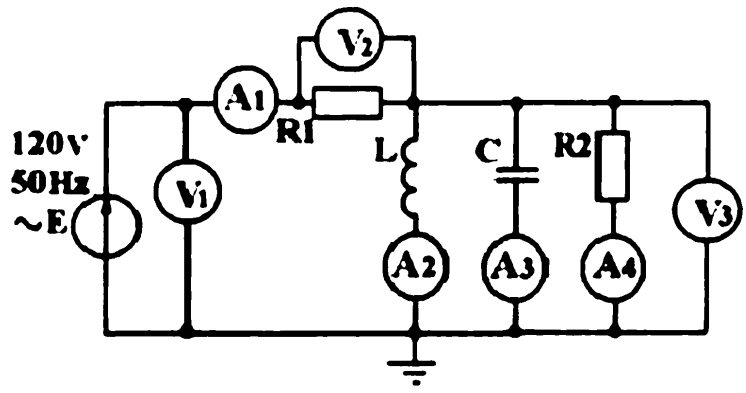
R_1=1kOm, R_2=10kOm, g'altak induktivligi L=*15mGn*, kondensator sig'imi S=90 mkF.

3. Virtual uzgich ulanadi, virtual asboblar ko'rsatkichlari 3i-jadvalga yoziladi.

3i-jadval

U_1,V	U_2,V	U_3,V	I_1,A	I_2,A	I_3,A	I_4,A

Elektr zanjirni chastota bo'yicha tahlil etish uchun Analysis masalalar paneli punktidan AC Frequency bo'limiga kiriladi. Paydo bo'lgan tahlil parametrlari jadvalida quyidagi rejimlar tanlanadi: boshlang'ich chastota (FSTART)- *1 Hzt,* eng yuqori chastota (FSTOP) – 100 mHz, gorizontal shkala (Sweep type) – o'nlik (decade), vertikal shkala (Vertical scale) – logorifmik (Log), "tahlil uchun tugunlar" (Nodes for analysis) oynasiga tugunni 2 qo'shamiz.



4-rasm

Bu tugun RLC elementlardan iborat tebranish konturidagi kuchlanishni tahlil etishga mos keladi. Simulate tugmasini bosib tahlil etish ishga tushirilgach, ekranda ikkita xarakteristika paydo bo'ladi: $U_3 = f(F)$ bog'lanishni ko'rsatuvchi chastotali va $\varphi_1 - \varphi_2 = f(F)$ bog'lanishni tasvirlovchi fazali xarakteristikalar. Bunda *f*–chastota, $\varphi_1 - \varphi_2$–ta'minlash manbayi kuchlanishi va tugun 2 ($\sqrt{3}$)-kuchlanishlari orasidagi faza farqi.

Xarakteristikalar daftarga chizib olinadi. Chastotali xarakteristikadagi kuchlanishning ortishi LCR_2 tebranish konturidagi chastota F_0=46,4 Hz bo'lganda toklar rezonansi

yuzaga kelishini va bunda tok rezonansi bo'lganda faza taxminan 180^0 ga o'zgarishini bildiradi.

2-ilova

Yarimo'tkazgichli diodni tadqiq qilish

Ishning maqsadi:

1. Yarimo'tkazgichli diodning ishlash asosi va qo'llanilishi bilan tanishish.

2. Yarimo'tkazgichli diodning volt-amper xarakteristikasini tajriba natijalari asosida qurish.

Qisqacha nazariy ma'lumot. Yarimo'tkazgichli diod n va p aralashmali yarimo'tkazgichlar asosida *n–p* – o'tishni hosil qiluvchi strukturadan iborat. Yarimo'tkazgichli diod strukturasi va uning shartli belgisi mos holda 5 a,b–rasmlarda ko'rsatilgan bo'lib, unda *A* – anod (musbat elektrod), *B* – katod (manfiy elektrod) deyiladi.

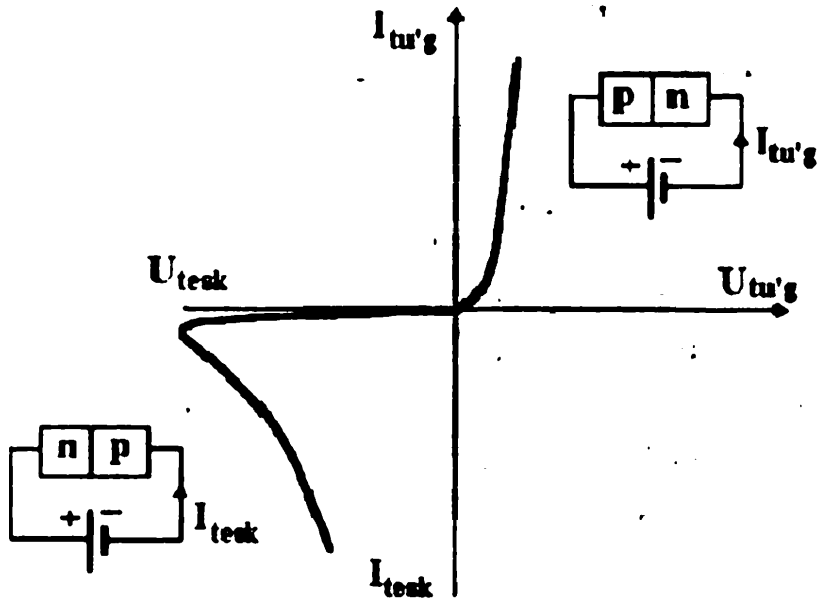
Diodning volt-amper xarakteristikasi I=f(U) ko'rinishidagi bog'lanish bo'lib, unda U – katod va anod orasidagi kuchlanish, I – diod orqali o'tuvchi tok. 5-rasmda yarimo'tkazgichli diodning tipik volt-amper xarakteristikasi diod turli qutblar bilan ulangan hollar uchun keltirilgan.

a) b)

5-rasm

p–n o'tish to'g'ri ulanganda (ta'minlash manbayining musbat "+" qutbi p – tipli yarimo'tkazgichga, manfiy "-" qutbi n – tipli yarimo'tkazgichga ulangan hol) uning o'tkazuvchanligi yuqori bo'lib, diod orqali sezilarli to'g'ri tok $I_{to'g'}$ o'tadi. Bu tok to'g'ri kuchlanish $U_{to'g'}$ qiymati juda kichik bo'lgan holda ham mavjud bo'ladi. Diodning *p–n* – o'tishiga ta'minlash manbayining qutblari teskari ulansa, o'tish o'tkazuvchanligi juda pasayib kyetadi, diod

orqali o'tuvchi tok $I_{тес}$ esa teskari kuchlanish $U_{тес}$ qiymati juda yuqori bo'lishiga qaramasdan to'g'ri tokka nibatan 3–4 tartibga kam chiqadi. Ideal diodning o'tkazuvchanligi to'g'ri ulanishda cheksiz katta, teskari ulanishda esa nolga teng.



6-rasm

p–n o'tishning bu xususiyati (turli qutblar bilan ulanganda o'tkazuvchanlikning keskin farq qilishi) ventil effekt deyiladi. Ventil effekt p va n tipdagi yarimo'tkazgichlarning bo'linish chegarasida manfiy elektronlar va musbat kovaklarning hosil qilgan potensial to'siq (baryer) ning yuzaga kelishi va bu to'siq orqali erkin zaryad tashuvchilarning o'ta olmasligi tufayli sodir bo'ladi.

p–n o'tish qutbining o'zgarishi potensial to'siqni kuchaytirishi yoki susaytirishi mumkin, ya'ni ventil xususiyatini namoyon yetadi. Ventil effekt o'zgaruvchan tokni to'g'rilash uchun qo'llaniladi.

Maxsus xarakteristikalar ba'zi yarimo'tkazgichli kuchlanish va tok stabillagichlari (stabilitronlar) sifatida, detektorlash (nuqtali diodlar) rostlanuvchi sig'im sifatida (varikaplar), o'ta yuqori chastotali signallar hosil qilish uchun (tunelli diodlar) qo'llaniladi.

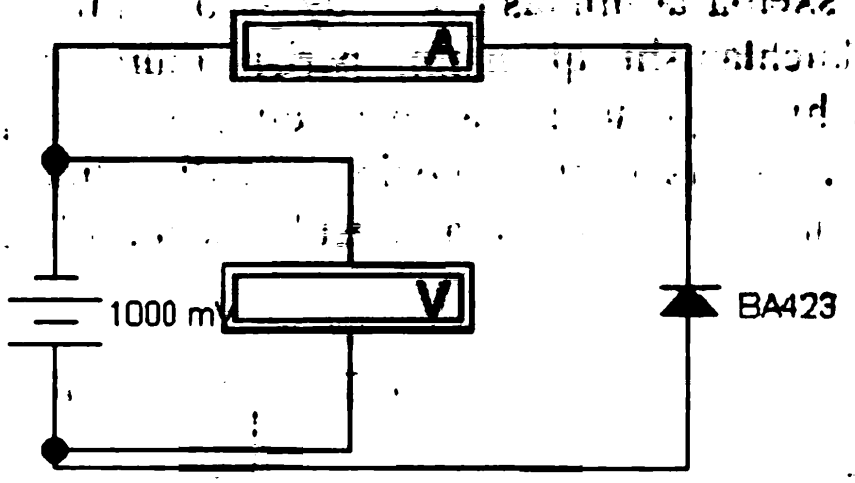
Ishni bajarish tartibi.

1. Ishchi stoldagi tasvirni bosib, EWB 5.12 elektron sxemalarni simulyatsiyalash dasturi ishga tushiriladi.

2. Tadqiq qilish sxemasi tanlanadi. Buning uchun ni bosib, ochilgan oynadan ("diod xarakteristikalari ewb") sxema fayli tanlanadi va ochiladi. Ekranda ikkita sxema hosil bo'ladi: A) diod xarakteristikasining to'g'ri shoxchasini tekshirish uchun, 6-rasm; B) diod xarakteristikasining teskari shoxchasini tekshirish uchun, 7-rasm.

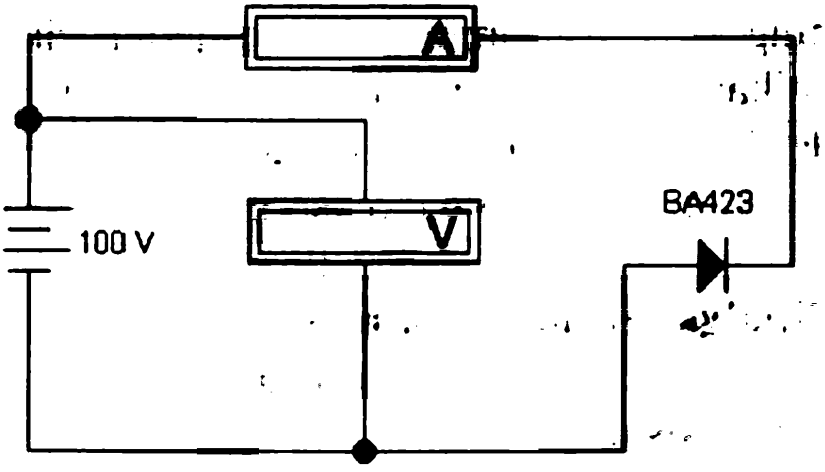
3. Virtual uzgichni bosib, ekranning o'ng yuqori burchagida turgan sxema ulanadi.

Diodni to'g'ri ulash



7-rasm

Diodni teskari ulash



8-rasm

4. "Sichqoncha"ning chap tugmasini ushlagan holda ikki marta A sxema ta'minlash manbayiga bosamiz, oyna ochiladi va manba kuchlanishi qiymatini berish mumkin bo'ladi. Manba kuchlanishi qiymatini tavsiya etilgan oraliqda o'zgartirib, ampermetr ko'rsatishlari yozib olinadi. Diodni to'g'ri ulash sxemasidan volt-amper xarakteristika uchun olingan ma'lumotlar 4i-jadvalga yoziladi.

4i-jadval

$U_{to'g'}$, mV	200	250	300	350	400	450	500	550	600	700	800	900	1000
$I_{to'g'}$, A													

5. "Sichqoncha"ning chap tugmasini ushlagan holda ikki marta B sxema ta'minlash manbayiga bosamiz, oyna ochiladi va manba kuchlanishi qiymatini berish mumkin bo'ladi. Manba kuchlanishi qiymatini tavsiya etilgan oraliqda o'zgartirib, ampermetr ko'rsatishlari yozib olinadi. Diodni teskari ulash sxemasidan volt-amper xarakteristika uchun olingan ma'lumotlar 5i-jadvalga yoziladi.

5i-jadval

U_{tes}, kV	5	10	15	20	25	30	35	40	45
I_{tes}, mA									

Natijalarni qayta ishlash.

Diodning volt-amper xarakteristikasi quriladi. Xarakteristikaning to'g'ri va teskari shoxchalarini qurishda turli masshtablardan foydalaniladi, bu xarakteristika ko'rinishini va diod xususiyatini obyektiv baholash imkonini beradi.

3-ilova

Bipolyar tranzistorning statik xarakteristikalarini tadqiq qilish

Ishning maqsadi:

1. Umumiy emitterli sxema bilan ulangan *p-n-p* strukturali

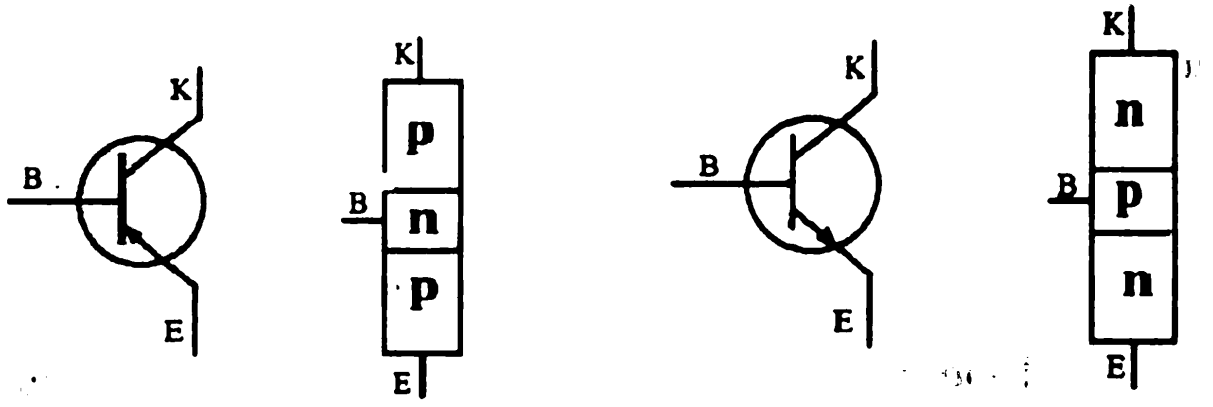
bipolyar tranzistorning kirish va chiqish statik xarakteristikalari oilasini tajribada qurish.

2. Tranzistorning asosiy statik parametrlari – tok bo'yicha kuchaytirish statik koeffitsiynti β ni, kirish $R_{кир}$ va chiqish $R_{чи}$ qarshiliklarni aniqlash.

Qisqacha nazariy ma'lumot. Bipolyar tranzistorlar ikkita *p-n*-o'tishli strukturaga ega bo'lib, elektr signallarni kuchaytirish va hosil qilish uchun, shuningdek, kalit va mantiqli elementlar sifatida qo'llaniladi.

Turli tipdagi o'tkazuvchanliklarning navbatma-navbat kelishiga qarab *p-n-p* (9,a-rasm) ni *p-n-p* (9,b-rasm) tipli tranzistorlarga bo'linadi.

Bipolyar tranzistorni uch xil ulash umumiy bazali *(UB)*, umumiy emmitterli *(UE)* va umumiy kollektorli *(UK)* sxemalari mavjud.



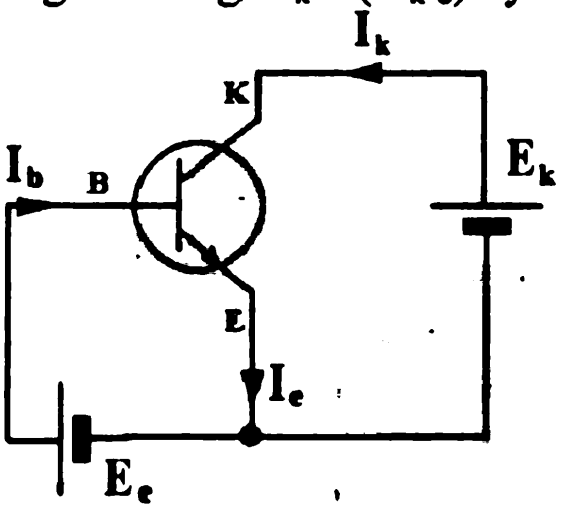
a) b)

9-rasm

Eng ko'p qo'llaniluvchi ulanish sxema – *UE* (10-rasm) bu sxema ham tok bo'yicha, ham kuchlanish bo'yicha eng katta kuchaytirish imkonini beradi.

Tranzistorning kirish xarakteristikasi deb, baza toki I_b ning kollektor-emmitter kuchlanishi doimiy (Uk-e=const) bo'lganda baza emmitter kuchlanishi (U_{b-e}) ga bog'lanishi $I_b=f(U_{b-e})$ ga aytiladi.

Tranzistorning chiqish xarakteristikasi deb kollektor toki I_k ning baza toki I_b doimiy $I_k=f(U_{k-e})$ bo'lganda kollektor-emmitter kuchlanishi (U_{k-e}) ga bog'lanishiga $I_k=f(U_{k-e})$ aytiladi.



10-rasm

Tranzistorning asosiy statik parametrlari: tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti $\beta = \Delta I_k / \Delta I_b$ kirish qarshiligi $R_{kir}=U_{b-e}/I_b$ chiqish qarshiligi $R_{chiq}=U_{k-e}/I_k$ bo'lib, bu parametrlar tranzistorning signallarni kuchaytirish yoki hosil qilish zanjirlarida qo'llash uchun funksional imkoniyatlari darajasini aniqlash zarur.

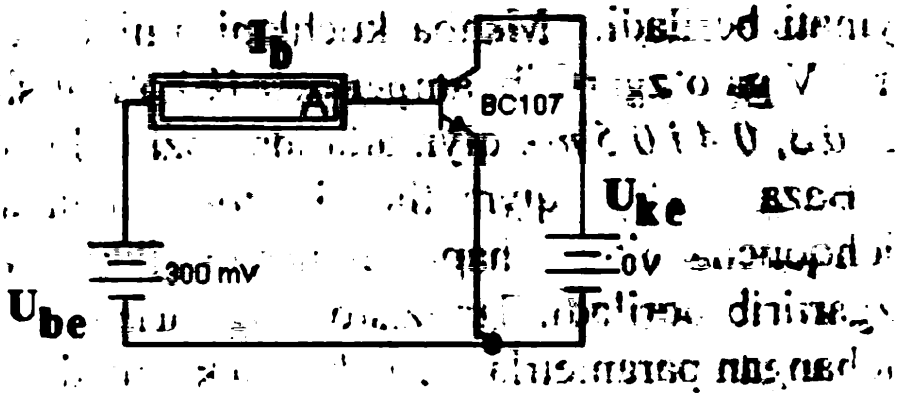
Ishni bajarish tartibi.

1. Ishchi stoldagi tasvirni bosib EWB 5.12 elektron sxemalarni simulyatsiyalash dasturi ishga tushiriladi.

2. Tadqiq qilish sxemasi tanlanadi. Buning uchun belgini bosib, ochilgan oynadan **"tranzistor xarakterisnikasi. ewb"** sxema fayli tanlanadi va ochiladi. Ekranda ikkita sxema hosil bo'ladi: a) tranzistorning kirish xarakteristikalarini olish va tadqiq qilish uchun (11-rasm); b) tranzistorning chiqish xarakteristikalarini olish va tadqiq qilish uchun (11-rasm). Ekranning o'ng yuqori burchagida turgan rasm bosilib, sxema ulanadi.

3. "Sichqoncha"ning chap tugmasini A ta'minlash manbayi U_{b-e} ga bosamiz, oyna ochiladi va unda manba kuchlanishi qiymati beriladi.

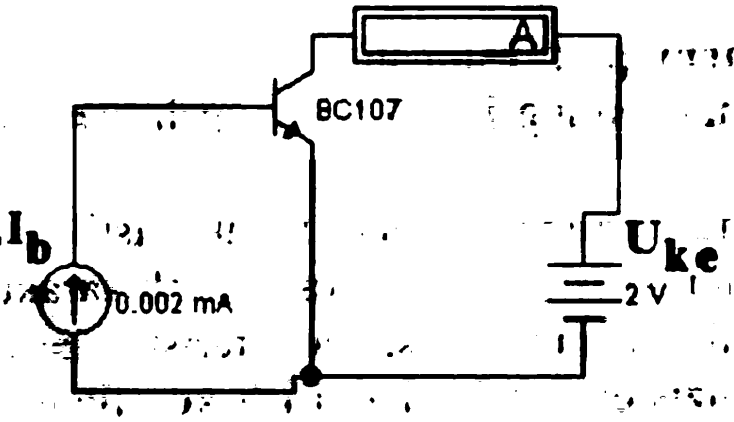
Tranzistorning kirish xarakteristikasi



11-rasm

Manba kuchlanishi U_{b-e} ni 300 dan 700 mV gacha har 50 mV ga o'zgartirib; ampermetr I_b ko'rsatishlari $U_{ke}=0, U_{ke}=1V$, $U_{ke}=5V$ qiymatlarida yozib olinadi.

Tranzistorning chiqish xarakteristikasi



12-rasm

Kuchlanish U_{ke} qiymati ham U_{be} qiymati o'zgartirilgan kabi amalga oshiriladi. Tranzistorning kirish xarakteristikalari uchun o'lchangan parametrlar 6i-jadvalga kiritiladi.

6i-jadval

Baza toki		Kuchlanishlar U_{b-e} mV									
			300	350	400	450	500	550	600	650	700
I_b, mkA	$U_{ke}=0$										
	$U_{ke}=1V$										
	$U_{ke}=5V$										

4. «sichqoncha"ning chap tugmasini *B* ta'minlash manbayi *Uke* ga bosamiz, oyna ochiladi va unda manba kuchlanishi qiymati beriladi. Manba kuchlanishini *Uk-e* 0 dan 18 V gacha har 2 V ga o'zgartirib, ampermetr I*k* ko'rsatishlari I_b=*0, 0.02, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 i 0.5 mA* qiymatlarida yozib olinadi.

Baza toki qiymatlarini tok manbayi I_b yordamida "sichqoncha"ning chap tugmasini ikki marta bosgan holda o'zgartirib boriladi. Tranzistorning kirish xarakteristikalari uchun o'lchangan parametrlar 7i-jadvalga kiritiladi.

7i-jadval

Kollektor toki		Kuchlanishlar U_{ke}, V									
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
I_k, mA	U_b =0 mA										
	U_b =0,1 mA										
	U_b =0,2m A										
	U_b =0,3m A										
	U_b =0,4 mA										
	U_b =0,5 mA										

Natijalarni qayta ishlash

1. Tranzistorning kirish va chiqish xarakteristikalari oilasini quring.

2. Tranzistorning kirish xarakteristiklaridagi bir nechta nuqtalar uchun kirish qarshilik va chiqish xarakteristikalaridagi bir nechta nuqtalar uchun chiqish xarakteristikalarini hisoblang.

3. Tranzistorning kuchaytirish koeffitsiyentini baza toki 0–0,1 mA; 0,2–0,3mA; 0,4–0,5mA oraliqlarda o'zgargan rejimlar uchun hisoblang. Tranzistorning ish rejimiga bog'liq holda uning kirish va chiqish qarshiliklari hamda kuchaytirish koeffitsiyentlarining o'zgarishlari haqida xulosa qiling.

4-ilova

Bir fazali yarimo'tkazgichli to'g'rilagichlarni tadqiq qilish

Ishning maqsadi:

1. Bir fazali yarimo'tkazgichli to'g'rilagich sxemalari va ishlash asoslari bilan tanishish.

2. To'g'rilagichning asosiy parametrlari – to'g'rilash koeffitsiyenti $K_{to'g'ri}$ va pulsatsiya koeffitsiyentini K_n aniqlash.

3. Passiv tekislovchi filtrlar-sig'imli *(C)*, induktivli *(L)* va induktiv-sig'imli *(LS)* filtrlar ishlashini tekshirib ko'rish.

Qisqacha nazariy ma'lumotlar.

To'g'rilagichlar – o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirib beruvchi elektron yoki elektromexanik qurilmadir. Hozirgi paytda yarim o'tgazgichli diodlar asosidagi to'g'rilagichlar keng qo'llaniladi.

To'g'rilagichlar maishiy va sanoat elektron apparaturalar, o'zgarmas tok elektr yuritmalar, elektrokimyoviy va elektrotexnologik qurilmalarni oziqlantirishda o'zgarmas tokning asosiy manbayi hisoblanadi. Umumiy qo'llaniluvchi to'g'rilagichlardan tashqari radiotexnikada va avtomatlashtirish zanjirlarida maxsus to'g'rilagichlar – to'g'rilangan kuchlanishni kuchaytirgich, fazasezgir, ikki qutbli va shu kabilar qo'llaniladi.

Mavjud to'g'rilagichlar rostlanuvchi, ya'ni to'g'rilangan kuchlanish qiymatini to'g'rilash imkoniyatiga ega bo'lgan va rostlanishsiz to'g'rilagichlar, ya'ni rostlash imkoniyatiga ega bo'lmagan turlarga bo'linadi. O'zgaruvchan tok bir fazali tarmog'idan ta'minlanuvchi to'g'rilagichlar bir fazali to'g'rilagichlar, uch fazali tarmoqdan ta'minlanuvchilari uch fazali to'g'rilagichlar deyiladi. Ba'zi hollarda ko'p fazali (6, 12 va 24 fazali) to'g'rilagichlar maxsus faza o'zgartiruvchi transformatorlardan oziqlangan holda qo'llaniladi.

Bitta yarim davrli to'g'rilagich sxemasi deb ta'minlovchi kuchlanishning bir davri mobaynida yuklama orqali to'g'rilangan tokning bitta yarim davri o'tadigan sxemaga aytiladi. Ikki yarim davrli sxemalarda kuchlanishning bir davri mobaynida yuklamadan to'g'rilangan tokning ikki yarim davri o'tadi.

To'g'rilagichlarning asosiy parametrlari:

- U_D, I_D – to'g'rilangan kuchlanish va tok o'rtacha qiymatlari;

- $\eta = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}} = \frac{U_d I_d}{P_{kir}}$ foydali ish koeffitsiyenti, bunda R_{kir}, R_{chik} – mos holda sxema kirish va chiqishlarida iste'mol qilinuvchi aktiv quvvatlar;
- $K_P = \frac{U_{1m}}{Ud}$ – to'g'rilangan kuchlanishning pulsatsiya koeffitsiyenti, bunda, U_{1m} – to'g'rilangan kuchlanishning birinchi garmonik amplitudasi.
- $K_P = \frac{2}{m^2 - 1}$ – filtrsiz fazali to'g'rilagichning pulsatsiya koeffitsiyenti, bunda, m – to'g'rilagich fazalari soni;
- $K_V = \frac{Ud}{U_1}$ - to'g'rilash koeffitsiyenti, bunda, U_1 – ta'minlovchi o'zgaruvchi kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati.

Bir fazali bitta yarim davrli to'g'rilagich sxemasi, kirish kuchlanishi, to'g'rilangan kuchlanish va tok vaqt diagrammalari 13a,d–rasmlarda ko'rsatilgan.

Bu sxema uchun to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiya koeffitsiyenti:

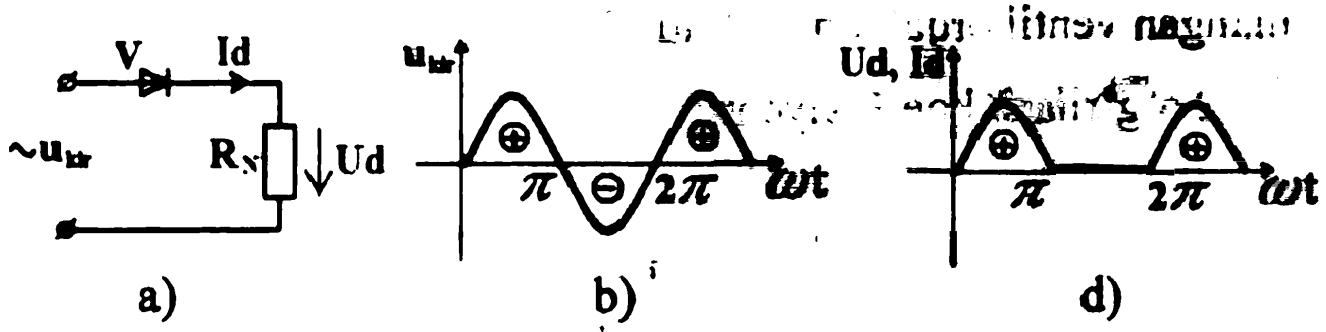
$$Kn = \frac{U_{1m}}{Ud} = \frac{U_{1m}}{U_{1m} * \frac{2}{\pi}} = \frac{\pi}{2} = 1{,}57$$

To'g'rilash koeffitsiyenti:

$$Kв = \frac{U_1}{Ud} = \frac{U_{1m}/\sqrt{2}}{\frac{1}{2} * \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} U_{1m} \sin \omega t} = 0{,}45$$

Ventil V orqali o'tuvchi tokning o'rtacha qiymati to'g'rilangan tokka teng, ya'ni $I_{to'g'ri}=I_D$. Ta'minlovchi kuchlanishning manfiy yarim davrida ventilga berilgan kuchlanish amplitudasi ventilning teskari kuchlanishi U_{tes} deyiladi. Bitta

yarim davrli to'g'rilagich uchun $U_{tes} = \sqrt{2}\,U_1$, lekin U_1=UD/0,45 ni hisobga olsak, $U_{tes} = \frac{\sqrt{2}}{0,45} U_D = 3,14U_D$ bo'ladi.



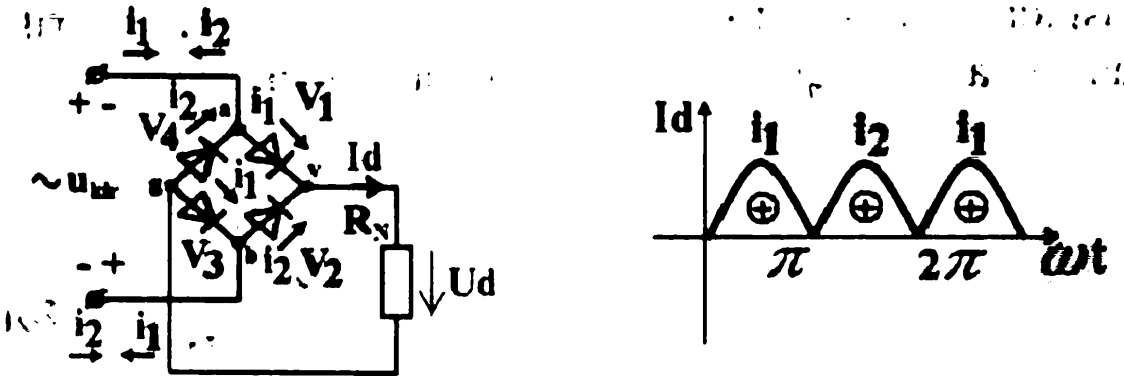
13-rasm

To'g'rilagichning $I_{o'rt}$ va U_{tes} kattaliklari ventilni tanlash uchun asosiy hisoblanadi va uning normal ishlashi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$I_{o'rt} \le I_{to'g'ri}, \quad U_{tes} \le U_{tes.max}$$

bunda, $I_{to'g'ri}$ – ventil orqali o'tuvchi tokning maksimal ruxsat etilgan qiymati, $U_{tes.max}$ – mazkur ventil uchun teskari kuchlanishni ruxsat etilgan qiymati.

Ikki yarim davrli ko'prik sxema (14-rasm) elektron sxemalarni bir fazali tok tarmog'idan ta'minlovchi to'g'rilagichlarning asosiy turi hisoblanadi. 14.b-rasmda to'g'rilangan tokning vaqt diagrammasi keltirilgan.



14-rasm

Bundan oldingi sxemaga o'xshash holda $K_r=0,667$, $I_{o'r}=I_D/2$ ammo ventillardan teskari kuchlanishning maksimal qiymati to'g'rilangan kuchlanish maksimal qiymati U_D dan ikki marta kam bo'ladi. Chunki har bir yarim davrda tok o'zaro ketma-ket ulangan ventil orqali oqib o'tadi. Demak, $Utes=U_{1m}/2=U_1/\sqrt{2}$.

To'g'rilash koeffitsiyenti:

$$K_V=\frac{U_{1m}/\sqrt{2}}{\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}U_{1m}\sin\omega t}=0,9,$$

pulsatsiya koeffitsiyenti $Kp=0,667$.

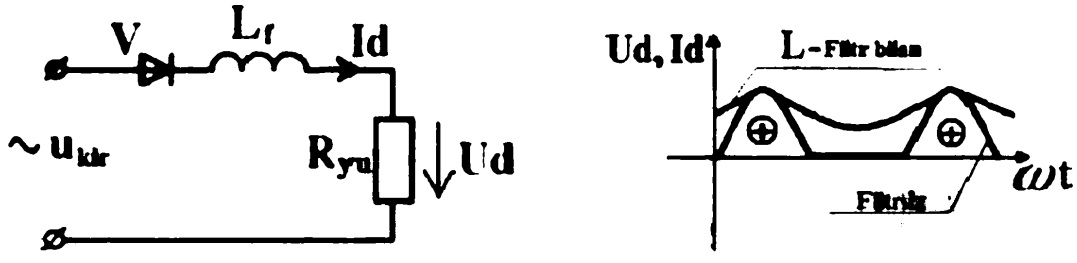
Tekislovchi filtrlar – to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyalarini kamaytirish uchun qo'llaniluvchi elektr zanjirlar.Tekislovchi filtrning asosiy parametri – tekislash koeffitsiyenti S bo'lib, u quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$S=Kp.\ kir/Kp.chik,$$

bunda, $Kp.kir$ – filtr kirishidagi pulsatsiya koeffitsiyenti;

$Kp.chik$ - filtr chiqishidagi pulsatsiya koeffitsiyenti.

Induktiv filtr–to'g'rilagich yuklamasi R_{yu} ga ketma-ket ulangan L_f induktivligi g'altak (Drossel) dan iborat (15-rasm). 15.b-rasmda L_f li induktiv filtr ishlatilgan hol uchun to'g'rilangan kuchlanish va tok vaqt diagrammalari keltirilgan.



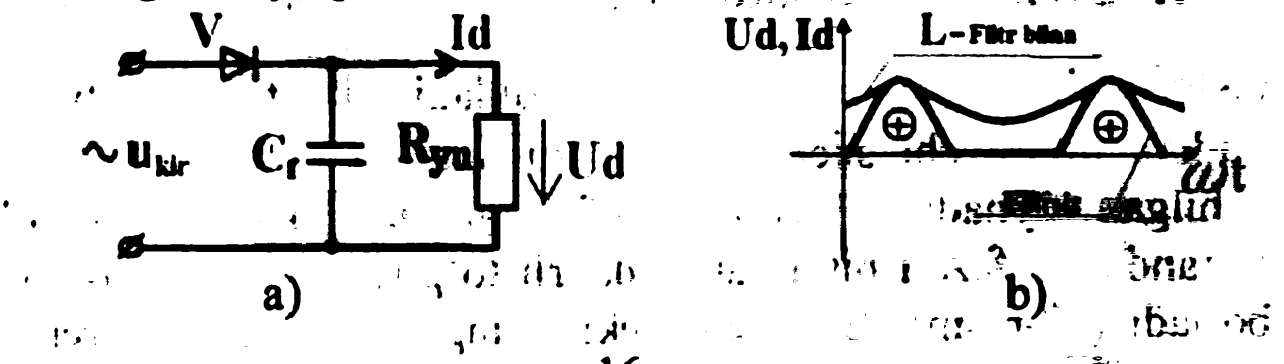
a) b)

15-rasm

Filtr drosselining induktivligi L_f berilgan silliqlash koeffitsiyenti S ma'lum bo'lsa, quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$L_f = \frac{S * R_H}{2\pi f m} = \frac{S * Ud}{2\pi f m Id}$$

Induktiv filtr past kuchlanishli yuqori tokli to'g'rilagichlarda qo'llanilganda yuqori samara beradi.



16-rasm

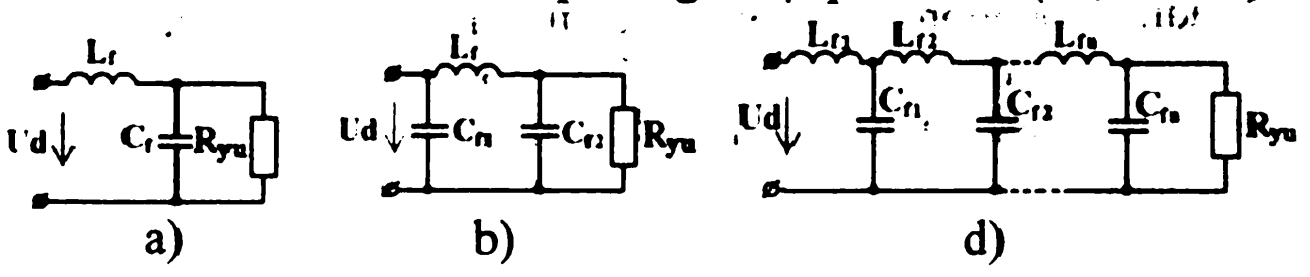
Sig'im filtrlar to'g'rilagich R_{yu} yuklamasiga parallel ulangan sig'imi C_f kondansatordan iborat (16-rasm). 16,b-rasmda C-filtrdan ishlatilgan hol uchun to'g'rilangan kuchlanish va tok vaqt diagrammalari keltirilgan.

Agar tekislash koeffitsiyenti berilgan bo'lsa, filtrning kondensatori sig'imi C_f quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$C_F = \frac{s}{2\pi f m Ryu} = \frac{s\, Id}{2\pi f m Ud}$$

Sig'imli tekislovchi filtrlar kichik tokli yuqori kuchlanishli to'g'rilagichlarda qo'llanilganda yaxshi samara beradi.

Ko'p zvenoli LC – filtrlar kaskadi ulangan filtrlovchi induktiv g'altaklar va kondensatorlardan iborat zanjir. Eng ko'p tarqalgan sxema turlari Γ-simon (17,a-rasm), Π-simon (17,b-rasm) va elementlari uchtadan ko'p bo'lgan ko'p zvenoli (17,d-rasm).



17-rasm

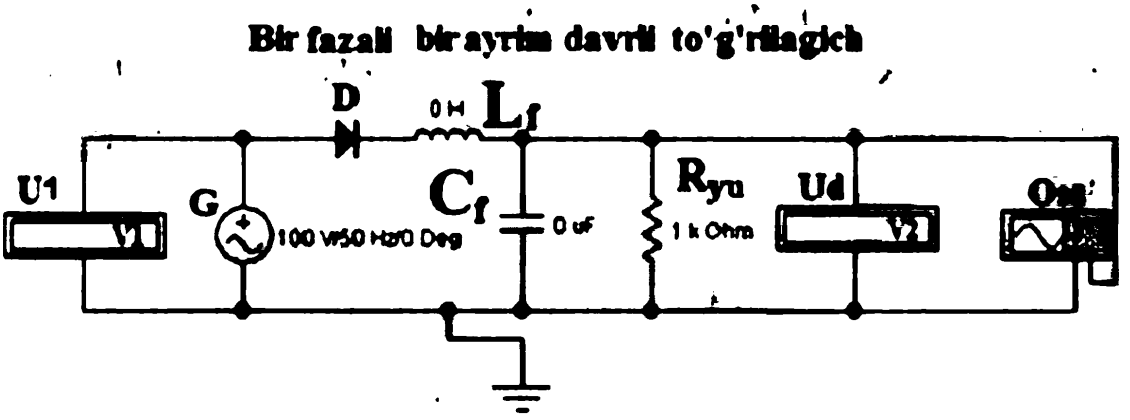
Zvenolari soni n bo'lgan filtrning tekislash koeffitsiyenti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$C=C_1*C_2*....*C_n$$

bunda, C_1, C_2, ...C_n birinchi, ikkinchi va hokazo n- filtrning tekislash koeffitsiyenti.

Ishni bajarish tartibi

1. EWB 5.12 elektron sxemalarni tasvirlash dasturi ishga tushiriladi. Buning uchun ishchi stoldagi tasvirga bosiladi. Tadqiq qilinuvchi sxema yuklanadi, buning uchun bosiladi, ochilgan oynada "1flpp. ewb" fayli tanlanadi va ochiladi. Ekranda bir fazali bitta yarim davrli to'g'rilagich sxemasi paydo bo'ladi (18-rasm). Bu sxema ekranning o'ng yuqori burchagida turgan ulagichni bosib ulangan holga keltiriladi.



18-rasm

2. To'g'rilagich tekislovchi filtrlarsiz tadqiq qilinadi, buning uchun filtr induktivligi L_f va sig'im C_f qiymatlarini nolga teng qilib olamiz. Voltmetrlar *V1* (kiruvchi o'zgaruvchan kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati) va *V2* (to'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymati) ko'rsatishlari 8i-jadvalga yoziladi. "Sichqoncha"ning chap tugmasini ikki marta bosib ostsillograf ulanadi va 8-jadvalning mos grafasiga to'g'rilangan kuchlanish ostsillogrammasi chizib olinadi. Ostsillograf o'chiriladi.

3. To'g'rilangan kuchlanish Fure almashtirish yordamida tahlil qilinadi. Buning uchun EWB 5.12 dasturining yuqori satridagi *ANALISIS* tasviriga, ochilgan oynada *FOURIER* va *SIMULATE* tasvirlariga bosiladi. Paydo bo'lgan grafikda to'g'rilangan kuchlanishning birinchi garmonika amplitudasini *U1m* chastota 50 *Hz* bo'lganda o'lchanadi va uning qiymati 8i-jadvalga yoziladi.

8i-jadval

To'g'rilagich sxemasi	O'lchashlar				Hisoblashlar			
	U_1, V	U_D, V	U_1m, V	Ostsillogramma	Kv, naz	Kv, his	Kp	
Filtrsiz					0.45			
L Filtrli 10 mkf					-			
C Filtrli 50 mkf					-			
L filtrli 1 Gn					-			
L filtrli 10 Gn								
LC filtrli 1Gn, 50 mkF					-			

4. To'g'irlagichni sig'imli tekislovchi filtr bilan filtr sig'imining ikki qiymati $C_f=10$ *mkF* va $C_f=50$ *mkF* ($L_f=0$) bo'lganda tadqiq qilinadi. Tadqiq qilish tartibi 2 va 3 punktlarga o'xshash bo'ladi. Barcha o'lchangan kattaliklar va to'g'rilangan kuchlanishlarning chizilgan ostsillogrammalari 8i-jadvalga kiritiladi.

5. To'g'rilagichni induktiv tekislovchi filtrning induktivligi $L_f=1$ *Gn* va $L_f=10$ *Gn* ($S_f=0$) bo'lganda tadqiq qilinadi. Tadqiq qilish tartibi 3 va 4 punktlarga o'xshash bo'ladi. Barcha o'lchangan kattaliklar va to'g'rilangan kuchlanishlarning chizilgan ossillogrammalari 8i-jadvalga kiritiladi.

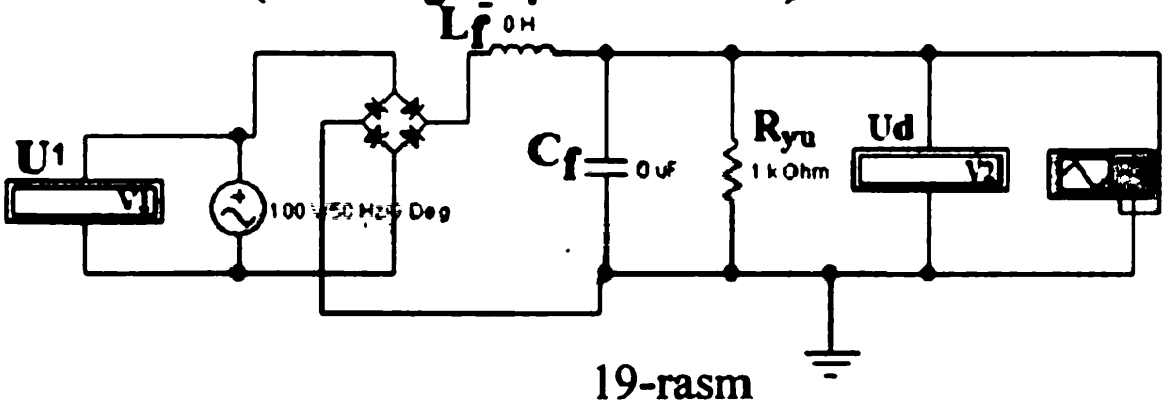
6. To'g'rilagichni induktiv-sig'im tekislovchi filtrning $L_f=1$ *Gn* $C_f=50$ *mkF* bo'lganda tadqiq qilinadi. Tadqiq qilish tartibi 3 va 4 punktlarga o'xshash bo'ladi. Barcha o'lchangan kattaliklar va

to'g'rilangan kuchlanishlarning chizilgan ostsillogrammalari 8i-jadvalga kiritiladi.

7. Sig'im va induktivli filtrning sxemalardan biri uchun yuklama qarshiligi *Ryukl* *1 kOm* dan *50 Om* gacha kamaytiriladi. Bunda sig'imli filtr qo'llanilganda to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyasi ortishi va induktivli filtrda kamayishiga alohida e'tibor berish kerak. Yuklama qiymatining dastlabki qiymatiga *(1 kOm)* o'rnatiladi.

8. Bir fazali ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasi yuklanadi. Buning uchun bosiladi, ochilgan oynada *"1f2pp (most). ewb"* sxema fayli tanlanadi va ochiladi. Ekranda bir fazali ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasi (19-rasm) paydo bo'ladi. Bu sxema ekranning o'ng yuqori burchagidagi ulagich bosish bilan ulanadi.

Bir fazali ikki yarim davrli to'g'rilagichlar (diodning ko'prik sxemasi)



19-rasm

9. Bir fazali ikki yarim davrli to'g'rilagich 3, 7-punktlarda ko'rsatilgandek tadqiq qilinadi. O'lchashlar natijalari va to'g'rilangan kuchlanishlar ostsillogrammalari 9i-jadvalga kiritiladi. Sig'im va induktivli filtrlarning biror bir sxemasi uchun yuklama qarshiligi *Rn 1 kOm* dan *50 Om* gacha kamaytiriladi va sig'imli filtr qo'llanilganda to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyalari ortishi, induktivli filtr qo'llanilganda kamayishiga ishonch hosil qilinadi. Yuklama qarshiligining dastlabki qiymati *(1kOm)* ga

o'rnatiladi. Bu to'g'rilagich uchun tahlil asosiy garmonika chastotasi *100 Hz* bo'lganda amalga oshiriladi.

9i-jadval

To'g'rilagich sxemasi	O'lchashlar				Hisoblashlar			
	U1, V	UD, V	U1m, V	Ossillogramma	Kv, naz	Kv, his	Kp	
Filtrsiz					0.9			
C filtrli 10 mkf								
C filtrli 50 mkf								
L filtrli 1 Gn								
L filtrli 10 Gn								
LC filtrli 1Gn, 50 mkF								

Natijalarni qayta ishlash

1. Har bir o'tkazilgan tajriba uchun to'g'rilangan kuchlanishning vaqt diagrammalari chizilsin.

2. Har bir o'tkazilgan tajriba uchun to'g'rilash koeffitsiyenti, pulsatsiya va tekislash koeffitsiyenti qiymatlari hisoblanadi. Filtrlarsiz to'g'rilagichlar uchun pulsatsiya koeffitsiyentlari Fure tahlili natijalari bo'yicha hisoblanadi va ular nazariy qiymatlar bilan taqqoslanadi.

3. To'g'rilangan kuchlanish qiymati va sifatiga to'g'rilagich sxemalari, yuklama qiymatlari, filtr sxemalari va uning komponentlari parametrlari ta'siri haqida xulosa qiling.

5-ilova

Uch fazali yarimo'tkazgichli to'g'rilagichlarni tadqiq qilish

Ishning maqsadi:

1. Uch fazali yarim o'kazgichli to'g'rilagichlarning sxemalari va ishlash asoslari bilan tanishish.

2. To'g'rilagichning asosiy parametrlari – to'g'rilash koeffitsiyenti $K_{to'g'}$ va pulsatsiya koeffitsiyenti Kp larni aniqlash.

3. Passiv tekislovchi filtrning sig'im *(C)*li, induktivli *(L)* va induktiv-sig'imli *(LC)* turlari ishlash asoslari bilan tanishish.

Qisqacha nazariy ma'lumotlar. Uch fazali tarmoqdan ta'minlanuvchi to'g'rilagichlar uch fazali to'g'rilagichlar deyiladi. Ular asosan doimiy tok sanoat iste'molchilari – payvandlash apparatlari, elektrolizda, galvanik vannalarda, o'zgarmas tok motorlarida, boshqaruv va avtomatlashtirish zanjirlarini ta'minlash uchun qo'llaniladi.

To'g'rilagichlarning asosiy parametrlari:

- U_d , I_d – to'g'rilangan kuchlanish va tokning o'rtacha qiymati;
- $\eta = \frac{Pchiq}{Pkir} = \frac{Ud * Id}{Pkir}$ – foydali ish koeffitsiyenti, bunda

R_{kir}, R_{chiq} –mos holda to'g'rilagichning kirishi va chiqishida iste'mol qilinuvchi aktiv quvvatlar;

- $K_{П} = \frac{U_{1m}}{Ud}$ – to'g'rilangan kuchlanishning pulsatsiya koeffitsiyenti, bunda, U_{1m} – to'g'rilangan kuchlanishning birinchi garmonika amplitudasi.

Ko'p fazali to'g'rilagich chiqishida filtr bo'lmagan holda pulsatsiya koeffitsiyenti quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

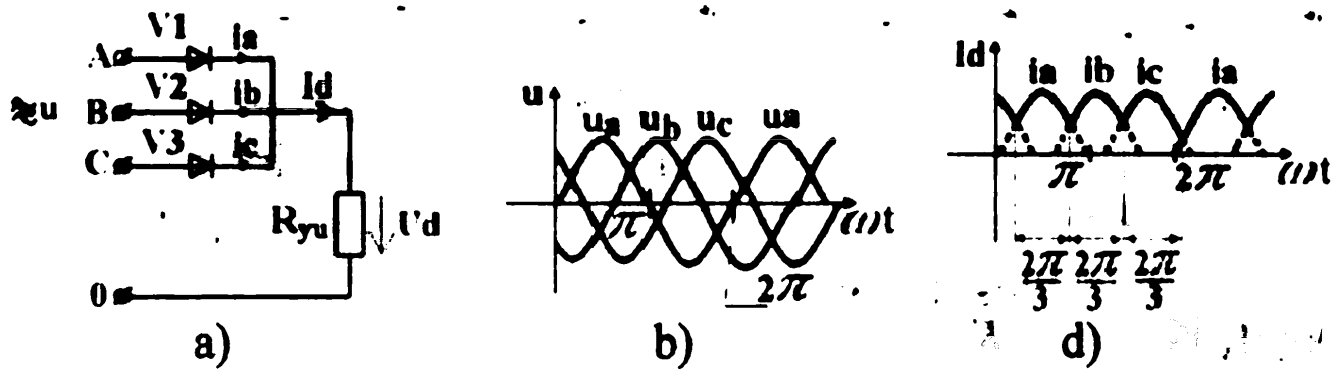
$$K_{П} = \frac{2}{m^2 - 1},$$

bunda, m – to'g'rilagich fazalari soni;

- $K_{Д} = \frac{Ud}{U_1}$ – to'g'rilash koeffitsiyenti,

bunda, U_1–ta'minlovchi o'zgaruvchan kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati.

Uch fazali bitta yarim davrli to'g'rilagich sxemasi 20,a-rasmda ko'rsatilgan.



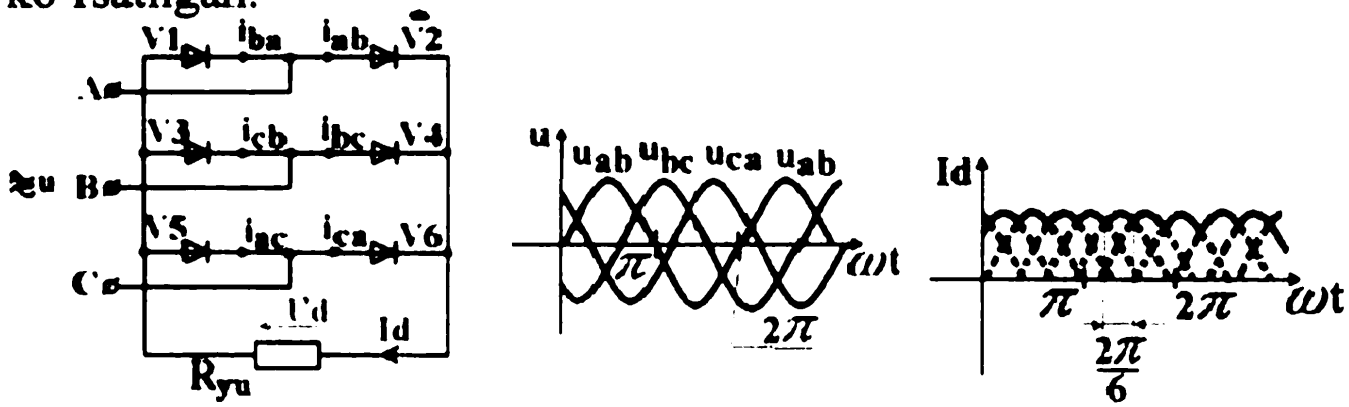
a) b) d)

20-rasm

Ta'minlovchi kuchlanish (20,b-rasm) va to'g'rilangan tok (20,d-rasm) vaqt diagrammalaridan ko'rinib turibdiki, *V1, V2, V3* ventillar orqali o'tuvchi i_A, i_B, i_C toklar faqat davrning shunday uchdan bir qismi $(\omega t=2\pi/3)$ da o'tadiki, bunda mazkur faza kuchlanishi boshqa ikki fazali kuchlanishlardan katta bo'ladi.

Ventildan chiquvchi tok $U_d=i_A=i_B=i_C$ bo'lganligi uchun, ushbu sxemada ventil orqali tokning o'rtacha qiymati $I_{o'rt}=I_d/3$ pulsatsiya koeffitsiyenti $K_P=\frac{2}{3^2-1}=0{,}25$; To'g'rilash koeffitsiyenti $K_{to'g'}=1{,}17$ ventilga qo'yilgan teskari kuchlanishi:

21-rasmda uch fazali ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasi ko'rsatilgan, ta'minlovchi kuchlanish va to'g'rilangan kuchlanish (tok) ning vaqt diagrammalari mos holda (21,b,d-rasmlarda) ko'rsatilgan.



a) b) d)

21-rasm

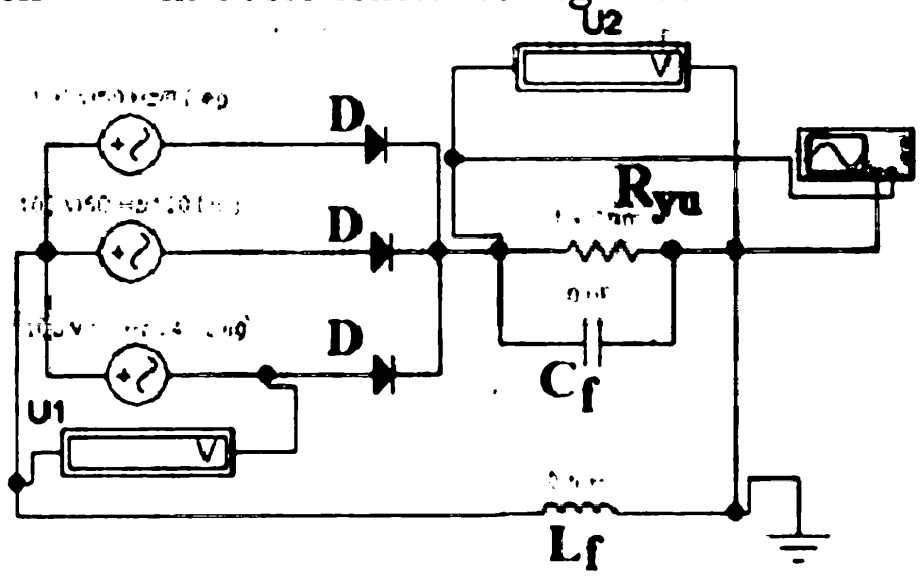
Sxemadagi barcha ventillar juft holatda ishlaydi, ular orqali o'tuvchi toklar tartibi 21,d-rasmda ko'rsatilgan. Vaqtning

ixtiyoriy onida tok ventil jufti orqali o'tadi. Ta'minlovchi kuchlanishning bitta to'liq davrida yuklama orqali $I_d = i_{ab} = i_{bc} = i_{ca} = i_{ba} = i_{cb} = i_{ac}$ tok oqib o'tadi va har bir ventil orqali o'tuvchi o'rtacha tok $I_{o'rt} = I_d$ ifodadan aniqlanadi. To'g'rilagichning pulsatsiya koeffitsiyenti $Kp=0,057$ to'g'rilash koeffitsiyenti $Kv=1,35$ berk ventilga qo'yilgan teskari kuchlanishning maksimal qiymati $U_{tes} = U_d * \sqrt{2} / K_{to'g'} = 1,045\ U_d$ pulsatsiya past bo'lgani uchun bunday sxemali to'g'rilagichlar maxsus tekislovchi filtrlarsiz o'rtacha va katta quvvatdagi qurilmalarni ta'minlash uchun qo'llaniladi.

Ishni bajarish tartibi

Uch fazali bitta yarim davrli to'g'rilagich sxemasi (Larionov sxemasi)ni tadqiq qilish.

1. Ishchi stolidagi tasvirga bosib, elektron sxemani ishlatuvchi EWB 5.12 dasturi ishga tushuriladi. Tadqiq qilinuvchi sxema yuklanadi, buning uchun bosiladi va ochiladi oynada "3 f 1 pp ewb" sxema fayli tanlanadi. Ekranda **uch fazali bitta yarim davrli to'g'rilagich sxemasi** (22-rasm) paydo bo'ladi va u virtual ulagich ni bosib ishchi holatga keltiriladi.



22-rasm

2. To'g'rilagich tekshiruvchi filtrsiz tadqiq qilinadi, buning uchun filtrning induktivligi L_f va sig'imi C_f qiymatlari nolga teng

deb olinadi. Voltmetr *V1* va *V2* larning ko'rsatishi 10i-jadvalga yoziladi, "sichqoncha"ning chap tugmasi ikki marta bosib, ostsillograf ulanadi va to'g'rilangan kuchlanish ostsillogrammasini 10-jadvalning mos grafasiga chizib olinadi. Ossillograf o'chiriladi.

3. To'g'rilangan kuchlanish filtr almashtirish orqali tahlil qilinadi. Buning uchun EWB 5.12 dastur yuqori qatorida *ANALISIS* tasviriga, so'ng ochilgan oynaning *FOUIER* va *SIMULATE* tasvirlariga bosiladi. Paydo bo'lgan grafikda to'g'rilangan kuchlanishning birligi garmonika amplitudasi U_{1m} chastota *150 Hz* bo'lgan holda o'lchab olinadi va uning qiymati 10i-jadvalga yoziladi.

10i-jadval

To'g'rilagich sxemasi	O'lchashlar				Hisoblashlar			
	U_1, V	U_D, V	U_{1m}, V	Ostsillogramma	Kv, naz	Kv, his	Kp	
Filtrsiz					1.13			
S filtrli 10 mkf					-			
S filtrli 50 mkf					-			
L filtrli 1 Gn					-			
L filtrli 1 0 Gn					-			
LC filtrli 1Gn, 50 mkF					-			

4. Sig'imi tekislovchi filtrli to'g'rilagich filtr sig'imining $C_f=10$ *mkF* va $C_f=50$ *mkF* $(L_f=0)$ qiymatlarida tadqiq qilinadi. Tadqiq qilish tartibi 3 va 4 punktlarda o'xshash to'g'rilangan kuchlanish barcha o'lchangan kattaliklari va chizib olingan ossillogrammalar 10i-jadvalga kiritiladi.

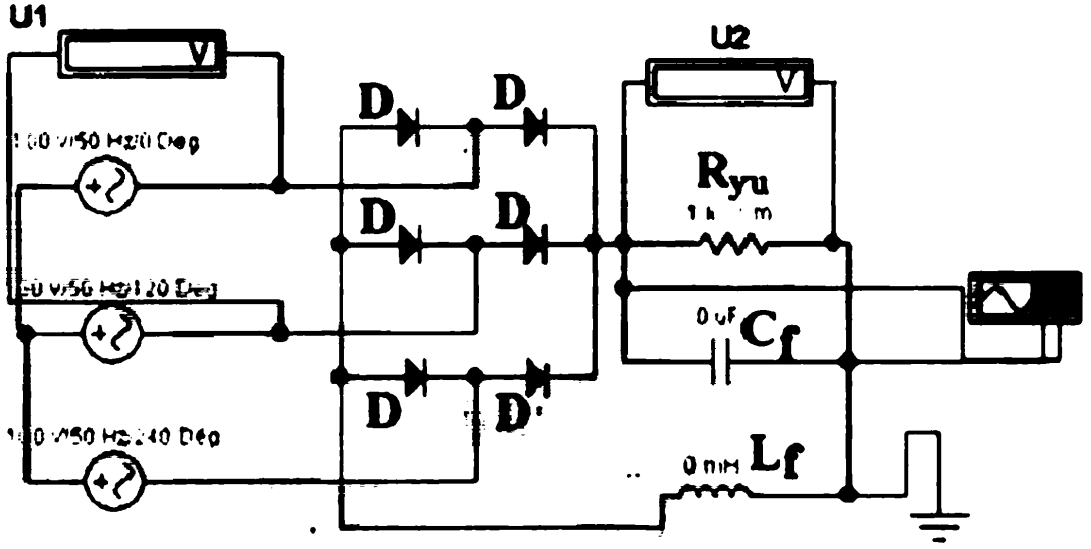
5.Induktivlikli tekislovchi filtrli to'g'rilagich filtr induktivligi $L_f=1$ *Gn* va $L_f=10$ *Gn* $(C_f=0)$ qiymatlarida tadqiq qilinadi tadqiq qilish tartibi 3 va 4 punktlariga o'xshash, to'grilangan kuchlanish

barcha o'lchangan kattaliklari va chizib olingan ostsillogrammalar 10i-jalvalga kiritiladi.

6.Induktiv - sig'imli tekislovchi filtrli to'g'rilagich filtriga L_f =1Gn va C_f =50 mkF bo'lganda tadqiq qilinadi. Tadqiq qilish tartibi 3 va 4 punklarga o'xshash, to'g'rilangan kuchlanish barcha o'lchangan kattaliklari va chizib olingan ossillogrammalarni 10i-jadvalga kiritiladi.

7.Sig'imli va induktivli filtrlardagi iborat sxemalarning biriga yuklama qarshiligi R_{yukl} ni *1 kOm* dan *50Om* ga kamaytiramiz va sig'imli filtr qo'llanilganda to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyasi ortishi, induktivli filtr qo'llanilganda kamaytirishga ishonch hosil qilinadi, yuklama qarshiligini daslabki *(1 kOm)* qiymatiga qaytaramiz.

Uch fazali ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasini (Larionov sxemasi) tadqiq qilish. Buning uchun tasvirga bosiladi, ochilgan oynada **"3f2 pp (most) ewv"** sxema fayli tanlanadi. Ekranda to'g'rilagich sxemasi paydo bo'ladi (23-rasm), uni ekranning o'ng yuqori burchagidagi virtual ulagich yordamida ulanadi.



23-rasm

1. Uch fazali ikki yarim davrli to'g'rilagichni tadqiq qilish 3-7 punkt larda ko'rsatilgan ketma-ketlikda amalga oshiriladi. O'lchash natijalari va to'g'rilangan kuchlanish stsillogrammalarini 11i-jadvalga kiritiladi.

Sig'imli va induktivli filtrlardan iborat sxemalarning biriga yuklama qarshiligi R_{yukl} ni *1kOm* dan *50Om* ga kamaytiramiz va sig'imli filtr qo'llanilganda to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyasi ortishi, induktivlik filtr qo'llanilganda pulsatsiya kamayishiga ishonch hosil qilinadi. Yuklama qarshiligi dastlabki qiymatiga *(1kOm)* o'rnatiladi. Bu to'g'rilagich uchun Fure qatori asosiy chastota *300 Hz* bo'lganda tahlil qilinadi.

11i-jadval

To'g'rilagich sxemasi	O'lchashlar				Hisoblashlar			
	U_1, V	U_d, V	U_{1m}, V	Ostsillogramma	Kv, naz	Kv, his	Kp	
Filtrsiz					1.35			
S filtrli 10 mkf					-			
S filtrli 50 mkf					-			
L filtrli 1 Gn					-			
L filtrli 10 Gn					-			
LC filtrli 1Gn, 50 mkF					-			

Natijalarni qayta ishlash

1. Har bir tajriba uchun to'g'rilangan kuchlanishning vaqt diagrammalarini chizing.

2. Har bir tajriba uchun to'g'irlash k koeffitsiyenti, pulsatsiya koeffitsiyenti va tekislash koeffitsiyenti qiymatlarini hisoblang. Filtirsiz to'g'rilagichlar, uchun pulsatsiya koeffitsiyentlarini Fure taxlil natijalariga ko'ra hisoblang va ularni nazariy qiymatlar bilan taqqoslang.

3. To'g'rilangan kuchlanish sifati va qiymatiga to'g'rilagich sxemasi, yuklama qiymati , filtr sxemalari va komponentlari parametrlarining ta'siri haqida xulosa qiling.

6-ilova

Umumiy emitterli sxema bilan ulangan bipolyar tranzistorli kuchaytirgich kaskadini tadqiq qilish

Ishning maqsadi:

1. Bipolyar tranzistorli kuchaytirgich kaskadi sxemasi va ishlash xususiyatlari bilan tanishish.
2. Kuchaytirgichning asosiy rejim parametrlarini aniqlash.
3. Kuchaytirgichning asosiy xarakteristikalari: amplituda, amplituda-chastota va amplituda-faza xarakteristikalarini qurish.

Qisqacha nazariy ma'lumotlar. Kuchaytirgich deb – elektr signallarini tok, kuchlanish yoki quvvat bo'yicha kuchaytiruvchi elektron, elektromagnit yoki elektr mashina qurilmalariga aytiladi. Kuchaytirish ta'minlash manbayi energiyasi hisobiga amalga oshiriladi. Eng ko'p tarqalgan kuchaytirgichlar vakuumli lampalar, tranzistorlar, tunnel diodlar va x.k ga asoslangan.

Kuchlanish *(Ku)*, tok *(Ki)* va quvvat *(Kr)* bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentlari mos holda quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

$$K_U = \frac{U_{kir}}{U_{chiq}}, \quad K_I = \frac{I_{kir}}{I_{chiq}}, \quad K_r = K_U K_I = \frac{U_{kir} I_{kir}}{U_{chiq} I_{chiq}}$$

Bunda, U_{kir}, I_{kir} – kirish kuchlanishi va toki, U_{chik}, I_{chik} – chiqish kuchlanishi va toki. Agar kuchaytirgich bir nechta kaskadlardan iborat bulib, bu kaskadlardan oldingisi chiqishi, undan oldingisi kirishiga ulangan bo'lsa, bunday kuchaytirgichning koeffitsiyenti quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$K_{\Sigma} = K_1, K_2 \ldots K_i$$

bunda, $K_1, K_2 \ldots K_i$ – aloxida kaskadlarning kuchaytirish koeffitsiyenti.

Kuchaytirgichning f.i.k $K = \frac{P_{tm}}{P_{chiq}} 100\%$ formula bilan aniqlanadi,

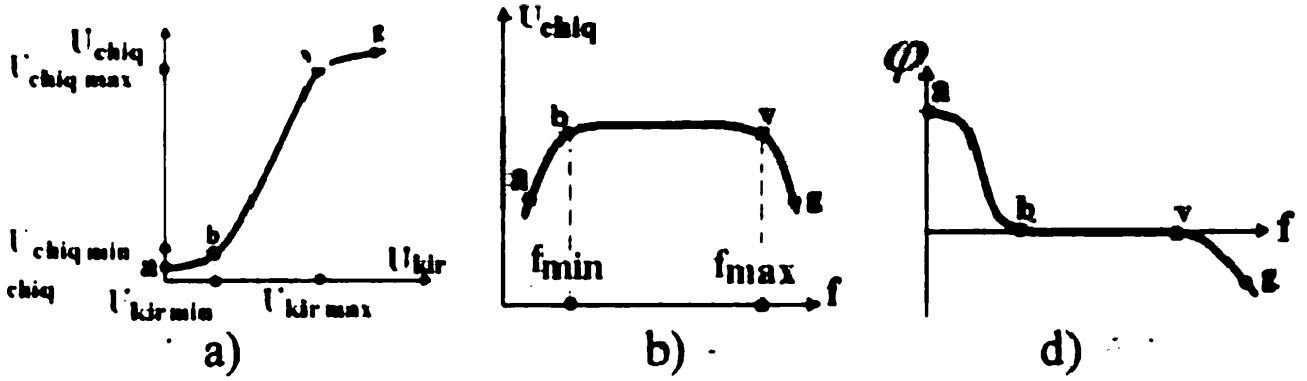
bunda P_{tm}-taminlash manbayidan oluvchi quvvat, P_{chik}-kuchaytirgich chiqishidagi quvvat. Zamonaviy kuchaytirgichlar f.i.k *70 %* dan ham ortiqroq bo'lishi mumkin.

Kuchaytirgichning kirish R_{kir} va chiqishi R_{chik} karshiliklari mos holda quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$R_{kir} = \frac{U_{kir}}{I_{kir}}, \quad R_{chiq} = \frac{U_{chiq}}{I_{chiq}}$$

Kuchaytirgichning teskari bog'lanishi deb uning kirish va chiqish zanjirlari orasidagi galvanik bog'lanishga aytiladi. Teskari bog'lanish zanjirlari yordamida kuchaytirgich chiqishidagi energiyaning bir qismi uning kirishiga beriladi. Teskari bog'lanish chuqurligi teskari bog'lanish koeffitsiyenti β bilan xarakterlanadi. Bu koeffitsiyent quyidagi ifoda bilan aniqlanadi: $\beta=U_{chik}/U_{tb}$, bunda U_{tb} – teskari bog'lanish zanjiri chiqishidagi kuchlanish. Agar U_{tb} kuchlanish U_{kir} bilan mos faza kuchaytirgichga berilayotgan bo'lsa, (teskari bog'lanishli kuchaytirgich kirish $U^{1}_{kir}= U_{kir} = U_{tb}$ kuchlanishiga teng bo'ladi), bunday teskari bog'lanish musbat deb ataladi. Agar U_{tb} kuchlanishi U_{kir} bilan qarama-qarshi fazada kuchaytirgich kirishiga berilayotgan bo'lsa (bunda, $U^{1}_{kir}= U_{kir} - U_{tb}$) bunday teskari bog'lanish manfiy deb ataladi. Teskari bog'lanishli kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi: $K_{tb}=K/1= \beta K$, bunda, K – teskari bog'lanishsiz kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti. Formuladagi «–» ishora musbat teskari bog'lanishga mos, bunda, $K_{tb}>K$, ya'ni kuchaytirish ortadi. Ishora «+» manfiy teskari bog'lanishga mos keladi, bunda, $K_{tb}<K$, ya'ni kuchaytirish kamayadi. Elektron kuchaytirgichlarning ish rejimlari ularning xarakteristikalari bilan tavsiflanaddi.

Amplituda xarakteristikasi – kuchaytirgich chiqish kuchlanishiing kirish signalining ma'lum bir o'zgarmas chastotasida kirish kuchlanishiga bog'lanishi $U_{chik}=f(U_{kir})$ (24.a-rasm). Rasmdagi *a*, *b* – bo'lak kuchaytirgichning seza olmaslik zonasi, bu sohada kuchaytirish koeffitsiyenti *0* ga yaqin.



24-rasm

Bo'lak *b, d* – kuchaytirgichning optimal ishlash zonasi bo'lib bu sohada kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti doimiy kattalikka yaqin, kuchaytiriluvchi signal buzilishi eng kam bo'ladi.

Optimal sohada xarakterli kattaliklar kirish kuchlanishi minimal $(U_{kir\ min})$ va maksimal $(I_{kir\ max})$ va ularga mos keluvchi chiqish $(U_{chik\ min}$ va $I_{chik\ max})$ kuchlanishlardir. Kuchaytirgichning dinamik diapazoni deb $D = \frac{U_{kir\ max}}{U_{chiq\ max}}$ nisbatga aytiladi.

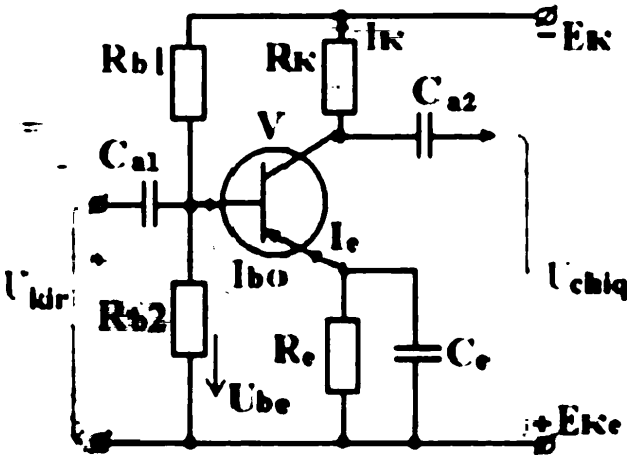
Xarakteristikaning *d, g* – bo'lagi kuchaytirgichning o'ta yuklanish rejimini xarakterlaydi. Bu sohada kuchaytirish susayadi, kuchaytiriluvchi signal buzilishi ortadi.

Amplituda - chastota xarakteristika kirish kuchlanishi doimiy bo'lganda chiqish kuchlanishning kuchaytiriluvchi signal chastotasiga bog'lanishi - $U_{chik}=f(f)$. Bu xarakteristikaning aloxida bo'laklari (24.b- rasmda ko'rsatilgan): *a, b* – kuchaytiriluvchi signallar quyi chastota diapazoni; bu sohada kuchaytirish koeffitsiyentining pasayishi kirish kuchlanishining bo'luvchi kondensatorlarda yo'qolishi tufayli yuzaga keladi (chastota kamayganda kondensatorlarning reaktiv qarshiligi ortadi); *b, d* – kuchaytirish koeffitsiyenti doimiy qiymatga ega bo'lgan ishlash bo'lagi; d, *g* – kuchaytiriluvchi signalning yuqori chastota diapazoni; bu sohada kuchaytirish koeffitsiyentining pasayishi tranzistor *r-p* o'tishi orasidagi zararli sig'im ta'siri tufayli yuzaga keladi. Agar kuchaytirgichning kirish kuchlanishi chastotasi *fmin-fmax* oralig'iday chiqib ketsa, u holda kuchaytirgichda chastotali

buzilishlar yuzaga keladi.

Amplituda-faza xarakteristika kuchaytirgichning kirish va chiqish kuchlanishlari orasidagi faza siljishining kuchaytiruvchi signal chastotasiga bog'lanishi $\varphi=f(f)$. Xarakteristikadan ko'rinib turibdiki (24.d-rasmdan ko'rinib turibdiki), kuchaytirgichning faqat optimal ishlash *(b,d)* sohasidagina faza siljishlar yo'q. Xarakteristikaning boshlang'ich va ohirgi sohalarida faza buzilishlar bo'luvchi kondensatorlar va tranzistorlarning *p-n* o'tishlari orasidagi zararli sig'imlar ta'siri tufayli yuzaga keladi.

Bipolyar tranzistorlar bir taktli *UE* kuchaytirishli kaskadining ulanish sxemasi (25-rasm) tok va quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti sifati yuqori bo'lganligi uchun elektron qurilmalarda keng qo'llaniladi.



25-rasm

Bir taktli kuchaytirgich kaskadi elementlarining vazifalari:

C_{a1}, C_{a2} – kirish va chiqish sig'imlari o'zgaruvchan va o'zgarmas tashkil etuvchilarini ajratish uchun kondensatorlar;

R_{b1}, R_{b2} – rezistorli bo'lgich-baza toki I_{bo} ning boshlang'ich qiymatini o'rnatadi.

Bu tranzistorning kollektor toki $I_{kmax}/2$ qiymatdan ortib ketmasligi kerak.

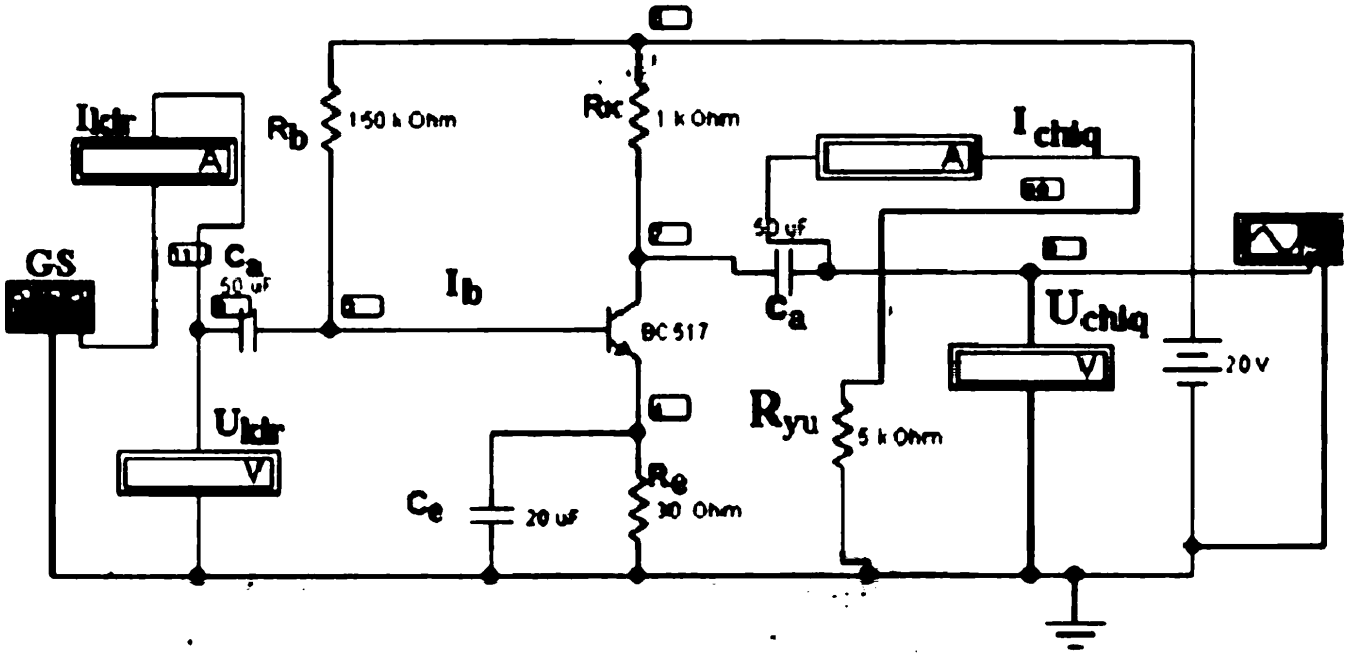
Re – boshlang'ich baza tokini temperatura bo'yicha stabillovchi rezistor.

Ce – Kuchaytiriluvchi signallarning o'zgaruvchan tashkil etuvchisini.

Re – rezistor yonidan kondensator bunga kaskadning kuchaytirilishi kamaymasligi kerak, ya'ni *Xcel<<Rel* shart bajarilishi kerak: *Rk* kollektor yuklama rezistori bo'lib, uning qiymati $R_k = Uke/I_{kmax}$ ifoda bilan aniqlanadi.

Ishni bajarish tartibi

1. Ishchi stolda tasvirga bosib EWB 5.12 elektron sxemalari dasturi ishga tushuriladi. Tadqiq qilinuvchi sxema yuklanadi. Buning uchun tasvir bosiladi, ochilgan oynada usilitel EWV sxema fayli tanlanadi va uni ochiladi. Ekranda tranzistorli kuchaytirgich kaskadi (26-rasm) paydo bo'ladi. Bu sxema ekranning o'ng yuqori burchagidagi vurtual ulagichni bosish orqali ishga tushiriladi.



26-rasm

2. Amplituda xarakteristikani ko'rish uchun virtual stend uziladi, «sichqoncha"ning chap tugmasini 2 marta bosib signal generatori faollashtiriladi va quyidagi boshlang'ich parametrlarini beriladi: kuchlanish *1 kHz*, generator kuchlanishi *1Hz – 1Mb* signal shakli – sinusoida. Stend ishga tushurilib kuchaytirgichning asosiy parametrlari – *Ukir, Uchiq, Ikir, Ichiq* o'lchanadi. O'lchash natijalari 12i-jadvalga kiritiladi. O'lchashlar 12i-jadvalda ko'rsatilgan Ugs barcha qiymatlarida amalga oshiriladi. (Bunda

signal shakli va chastotasi o'zgarmasdan qoladi). Kuchlanish *Ugs* qiymatini o'zgartirishdan oldin ulagich uzilishi kerak.

12-jadval

O'lchashlar					Hisoblash				
Ugs	Ukir	Ikir	Uchiq	Uchiq	Rkir	Rchiq	Ku	Ki	Kp
mV	mV	mkA	V	mA	Vt	Vt			
1									
5									
10									
20									
40									
80									
100									
150									
200									
250									
300									

3. Amplituda - chastota va faza - chastota xarakteristikalarini ko'rish uchun virtual stend o'chiriladi va masalalar panelida «sichqoncha" chap tugmasini 2 marta bosilib tahlil rejimi *(Analisis)* ochilgan menyuda chastotali tahlil *(Ac Frekuanci)* tanlanadi. Rejimlarni berish oynasida quyidagi parametrlar ochilgan bo'lishlari kerak: Tahlilning boshlang'ich chastotasi *(FSTART) – 1 Hz*, tahlilning ohirgi yuqori chastotasi *(FSTOP) -10 Hz* , gorzintal shkala dekada (decade) va vertikal shkala chizig'i (liniya).

Elektr zanjirning tahlil o'tkazuvchi nuqtasi *(Nodes for analisis)*–8 (kuchaytirgich chiqishi kuchlanishiga mos keladi). Ajratuvchi kondensatorlar *Cp* sig'imi *50 MkF*. Tahlil jarayoni Simulate tasviriga bosish orqali faollashtiriladi. Printyerda kuchaytirgichning amplitude chastotasi va faza chastota xarakteristikalari chiziladi va nusha olinadi. Tahlilni yaqsimlash kondensatorlar sig'imi *Cp=1 MkF* bo'lganda takrorlanadi.

Olingan har 2 natija umumiy kordinatalar tizimida chiziladi va qiyoslanadi.

Natijalarni qayta ishlash

1. Kuchaytirgich kaskadining 12i- jadvalda berilgan ma'lumotlarga ko'ra asosiy parametrlarni hisoblang.

2.Shu ma'lumotlarga ko'ra kuchaytirgichining amplituda xarakteristikalarini ko'ring. Xarakteristikaning nochiziqlik bo'lganda kuchaytirish koiffitsienti Ku kirish kuchlanishi qiymatiga bog'liq, chiziqli bo'lganda esa amalda bog'liq emas. Kuchaytirgich ishlash vaqtida amplituda xarakteristikasining chiziqli bo'lagida kuchaytirlgan signal buzilishi minimal, egri chiziqli bo'lagida maksimal bo'ladi.

3. Chiqish kuchlanishining shaklini kuzatish uchun virtual ostsillograf «sichqoncha"ning chap tugmasiga bosib ishga tushuriladi. Tasvirni kattalashtirish uchun ostsillografda " Espander" cho'zish tugmachasiga bosiladi. Kuchaytirgich kirish va chiqish qarshiliklari o'zgarishi xarakteriga ko'ra kuchaytirgichning chiziqli emasligi haqida xulosa qilinadi.

4. Umumiy kordinata o'qlarida amplituda chastota va alohida ajratuvchi kondensatorlar sig'imlarining turli qiymatlari uchun faza chastota xarakteristikalar koriladi. Sig'im qiymatlari ortganda kuchaytirgichning chastota diopozoni kengayishi va faza buzilishlar kamayishiga ishonch xozil qilinadi. Chastota va faza buzilishlari minimal bo'lgan soha grafigi xarakteristika gorizontal bo'lagiga mos keladi. Bu bo'lak chizig'i rangini boshqacha qilish yoki yo'g'on chiziq bilan ko'rsatish kerak.

5. Zanjir elementlari parametrlarida o'zgarishlarni saqlamagan holda tadqiq qilingan virtual zanjir yopiladi.

Mundarija

Oglavlenie

The contents

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

Abdurauf Malikovich Safarov

ELEKTRONIKA ASOSLARI

5310200 – Elektr energetikasi (temir yo'l transporti) ta'lim yo'nalishi uchun o'quv qo'llanma

Toshkent – 2015

«Elektronika asoslari» nomli o'quv qo'llanma muallifi to'g'risida

M A ' L U M O T

Safarov Abdurauf Malikovich – texnika fanlari nomzodi, dotsent. Toshkent temir yo'l muxandislari instituti «Elektr taminoti va mikroprotsessorli boshqaruv» kafedrasi dotsenti.

Toshkent Davlat Universiteti (O'zMU)ning fizika fakultetini 1976 yil bitirgan.2002 yildaToshkent Texnika Universitetida "Fizik va mikro elektronika" yo'nalishi bo'yicha qayta ta'lim olgan.

FUND FORUM UZ. ning 2010 yil " Pedagogik grantlar dasturi " bo'yicha tanlovi g'olibi. "Elektronika asoslari"fanidan o'quv-uslubiy majmualar yaratish loyihasi muallifi.

Telefonlar 299 - 04 - 44 (ish), 244 - 55 - 24 (uy), (93) 512-40-25 (sot.).

O‘QUV ADABIYOTLARINING TEXNIK EKSPERTIZASI

1.	**OTM yoki O‘MKHTM rahbarining hati** (Rahbar nomidan vazir nomiga)
2.	**OTM** (yoki O‘MKHTM mussasining ped yig‘ilishi) **ilmiy uslubiy kengash qarorıdan ko‘chirma;**
3.	**Taqrizlar (ichki va sirtqi)**
4.	**O‘quv adabiyoti qo‘lyozmasiga talablar:**
	1. Kompyutyerda, A4 bichimdagi qog‘ozda, 1.5 intervalda, Panda Times UZ Lat-14 shriftda tayorlanadi; (O‘quv adabiyotini xajmi va yozuvi)
	2. Titul varog‘ida: - **O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta ta’lim vazirligi;** - **Muallif(lar)ning F.I.Sh. to‘liq ko‘rsatiladi;** - **O‘quv adabiyotining qaysi yo‘nalish yoki mutaxassislikka mo‘ljallanganligi (kodi va nomi);**
	3. Qo‘lyozmaning bir betida annotatsiya (3 ta tilda: - o‘zbek, rus va ingliz tillarda) **va taqrizchilarning F.I.Sh.;**
	4. Qo‘lyozmaning mundarijasi (3 ta tilda: - o‘zbek, rus va ingliz tillarda);
5.	**OO‘MTV tomonidan tasdiqlangan o‘quv rejasini nushasi** (qo‘lyozmaning o‘quv rejasidagi qaysi fanga taalluqligi va soati);
6.	**Namunaviy fan dasturi;**
7.	**Qo‘lyozmaning elektron versiyasi;**
8.	**Muallif(lar) to‘g‘risida ma’lumot va pasport kopiyasi.**

A.M.Safarov

ELEKTRONIKA ASOSLARI

Muharrir:
Faxridiin MUXITDINOV

Dizayner sahifalovchi
Abduqodir YULDASHEV

«ADABIYOT UCHQUNLARI»
Nashriyot manzili:
Toshkent shahri, O'qchi ko'chasi.29.

Bosishga 14.12.2014 yilda ruxsat etildi.
BIchimi 60x84 1/16. Times New Roman garniturasi.
Ofset qog'oz. Bosma tabog'i 23,75.
Adadi 20 nusxa. Buyurtma № 106.

«ADAD PLYUS» MCHJ bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent, Bunyodkor shox ko'chasi 28.