

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

O‘RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA‘LIMI MARKAZI

**ELEKTRONIKA, MIKROELEKTRONIKA
ASOSLARI VA RADIOELEKTRON
QURILMALAR**

Kasb-hunar kollejlari uchun o‘quv qo‘llanma

UO^oK: 621.396.6(075)
KBK:32.844.1
3-61

*Oliy va o'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi ilmiy-metodik
birlashmalari faoliyatini muvofiqlashtiruvchi Kengash
tomonidan nashrga tavsiya etilgan.*

Mualliflar:

N.F. ZIKRILLAYEV, S.S. NASRIDDINOV, A.H. HAYDAROV

Darslik mikroelektronika asoslari va radioelektron qurilmalar sohasi bo'yicha kasb-hunar kollejlarda elektronika va mikroelektronika yo'nalishlaridagi dolzarb muammolarni hal qilishda katta ahamiyatga egadir.

Zamonaviy elektron texnika tizimlarini o'rganish, ularning sifatli, uzoq muddat kafolatli ishlashi, ularni o'rnatish, texnik xizmat ko'rsatish va ta'mirlash, yuqori sifatli servis xizmati ko'rsatishni tashkil qilish uchun kerakli ma'lumotlar darslikda to'liq ochib berilgan.

Ushbu darslik kasb-hunar kollejlarda shu yo'nalish bo'yicha tahsil olayotgan talabalar uchun elektronika, mikroelektronika asoslari va radioelektron qurilmalar sxemalarida bo'ladigan fizik jarayonlarni tushunish va chuqur o'rganishga mo'ljallangan.

T a q r i z c h i l a r: **N. NORQULOV** — O'zbekiston Milliy universiteti «Fizikaviy elektronika» kafedrasida dotsenti, fizika-matematika fanlari nomzodi;
A. NAZAROV — Toshkent davlat texnika universiteti «Radioelektron qurilmalari va tizimlari» kafedrasida mudiri, texnika fanlari doktori, professor.

ISBN 978-9943-16-233-4

© N.F. Zikrillayev va boshq., 2016-yil.
© «ILM ZIYO» nashriyot uyi, 2016-yil.

KIRISH

Hozirgi davrda fan va texnikaning barcha sohalarida boshqarish va axborotni qayta ishlash, asosan, elektron qurilmalar yordamida bajarilmoqda.

Elektron qurilmalar o'zida ma'lum axborotni (obyektlar va jarayonlar to'g'risidagi ma'lumotlar yig'indisini) tasvirlaydigan va elektr signallarini (tok yoki kuchlanishni) qabul qilish, saqlash, qayta ishlash va uzatish uchun xizmat qiladigan hamda diskret elementlarda (rezistorlar, kondensatorlar, diodlar, tranzistorlar va boshqalarda) yig'ilgan yoki integral mikrosxema ko'rinishida yaratilgan qurilmalardir.

Integral mikrosxemalar funksional jihatdan tugallangan, bir necha o'ndan bir necha minggacha radio elementlardan tashkil topgan, kichik (mikro) hajmda va umumiy texnologik jarayonda tayyorlangan hamda ma'lum bir vazifani bajaruvchi elektron qurilmalar bo'lib, ularni yaratish bilan mikroelektronika shug'ullanadi. Integral mikrosxemalarning mukammallashuviga mikroelektronikaning qattiq jismlar fizikasi, texnologiyasi va mikrosxemotexnikasi kabi qismlarining doimiy rivojlanishi natijasida erishilmoqda. Zamonaviy katta integral mikrosxemalarni va ular asosida dasturli boshqariladigan axborot tizimlarini yaratish yangidan yangi sxemotexnik yechimlar bilan shug'ullanishni talab qiladi.

Mikrosxemotexnika (integral sxemotexnika) xalq xo'jaligining barcha sohalarida qo'llaniladigan elektron qurilmalarning ma'lum funksiyalarini bajaruvchi integral mikrosxema ko'rinishidagi bo'lak va qismlarini ishlash (prinsipial) va tuzilish (struktura) sxemalarini yaratish, loyihalash va tadqiq qilish bilan shug'ullanadi. Elektron qurilmalar vazifasiga ko'ra analog va raqamli ko'rinishdagi elektr signallarni qayta ishlovchi turlarga bo'lingani uchun raqamli integral mikrosxemalarni loyihalash va ishlatish bilan shug'ullanuvchi mikroelektronika sohasi *raqamli mikrosxemotexnika* deyiladi.

Raqamli elektron qurilmalarning yaratilishi va ishlatilishi elektron hisoblash mashinalarining tarixi bilan bog‘liq. Dastlabki raqamli qurilmalar elektron lampalarda yaratilgan bo‘lsa, yarim o‘tkazgichli asboblarning va keyinchalik integral mikrosxemalarning paydo bo‘lishi ularning rivojlanishiga turtki bo‘ldi. Axborotlarni raqamli elektr signallari ko‘rinishida hosil qilish, saqlash, qayta ishlash va uzatish qator afzalliklarga egadir. Ya’ni: ta’minlash manbayi quvvati isrofining kamligi, bir necha signal-larni bitta kanal orqali uzatish mumkinligi, tashqi shovqinlar va xalaqitlarning ta’siri yo‘qligi va boshqalar. O‘z navbatida, avto-matlashtirilgan boshqarishda, o‘lchashda, himoya qilishda va nazoratda mikrokontrollerlar hamda mikro EHMning qo‘llani-lishi raqamli mikrosxemalarning ommaviylashuviga sabab bo‘ldi.

Mazkur o‘quv qo‘llanmada ikkilik sonlarni ifodalash va kodlash; mantiq algebrasi asoslari; elektr signallarini diskretlash va kodlarda tasvirlash; mantiqiy funksiyalar yordamida raqamli qurilmalarni loyihalash; zamonaviy raqamli mikrosxemalarning tavsiflari, parametrlari, turlari va tamg‘alanishi; raqamli mikro-sxemalarning asos (tayanch) elementlari sxemotexnikasi; xoti-rasiz (kombinatsion) va xotirali (informatsion) raqamli quril-malar sxemotexnikasi; xotira qurilmalari va mikroprotssessor tizimlarini tashkil qilish kabi masalalar yoritilgan.

Mazkur o‘quv qo‘llanma mualliflarning Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida ko‘p yillik mehnat faoliyati davrida to‘plagan ilmiy-uslubiy bilim va tajribalariga tayanib yozilgan. Unda keltirilgan turli seriyadagi raqamli mikrosxemalarning parametrlari rus tilida chop etilgan integral mikrosxemalar to‘g‘risidagi ma’lumotnomalardan olingan. O‘quv qo‘llanma raqamli mikrosxemotexnikaga doir o‘zbek tilida yaratilgan qo‘llanmalarning birinchilari qatoriga kirganligi uchun kamchiliklardan xoli emas. Shu boisdan o‘quv qo‘llanma haqi-dagi fikr-mulohazalarni mualliflar minnatdorchilik bilan qabul qiladilar.

**1-bob. YARIMO‘TKAZGICHLI, OPTOELEKTRONLI VA
ELEKTROVAKUUM QURILMALAR**

1.1. Elektrovakuum qurilmalar

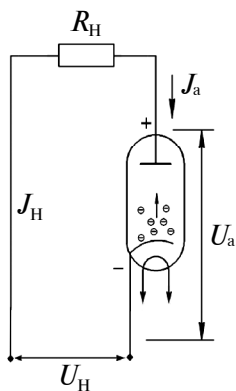
Elektrovakuum qurilmalarga elektron lampalar, elektron nurli trubkalar, elektrovakuumli fotoelektron uskunalar va vakuumli luminessent indikatorlar kiradi.

Elektrovakuum qurilmalarning ishlash tamoyili vakuumda elektron oqimini yaratish va bu erkin elektronlar oqimini elektr va elektromagnit maydonlar yordamida boshqarishdan iborat. Vakuumda erkin elektronlar oqimini yaratish uchun maxsus metall yoki yarimo‘tkazgichli elektrodlardan — *katodlardan* foydalaniladi. Katoddan elektronlar chiqish jarayoni *elektron emissiyasi* deb ataladi va bu jarayon uchun zarur bo‘lgan qo‘shimcha energiya miqdori an‘anaviy ravishda *elektronning chiqish ishi* deb ataladi. Elektronga beriladigan ushbu qo‘shimcha energiya-ning turiga qarab quyidagi emissiya turlarini ajratish mumkin:

- *termoelektron emissiya* — ushbu qo‘shimcha energiya elektronlarga katodni qizdirish orqali uzatiladi;
- *ikkilamchi elektron emissiya* — bunda katta tezlikda harakat qilayotgan elektron va ionlar oqimi yordamida katodni bombardimon qilish hisobiga amalga oshiriladi;
- *fotoelektron emissiyasi* — bu jarayon katod sathiga fotonlar (yorug‘lik kvantlari) oqimi ta’siri hisobiga amalga oshiriladi;
- *elektrostatik emissiya* — bunda elektronlarning katoddan chiqishi katod sathi yaqinida kuchli elektr maydoni hosil qilish hisobiga amalga oshiriladi.

1.1.1. Elektrovakuumli diodlar

Elektrovakuumli diod — bu yuqori darajali vakuumga ega bo‘lgan shisha yoki metall ballondan tashkil topgan moslama bo‘lib, unda ikkita elektrod: anod va katod joylashtirilgan bo‘ladi.

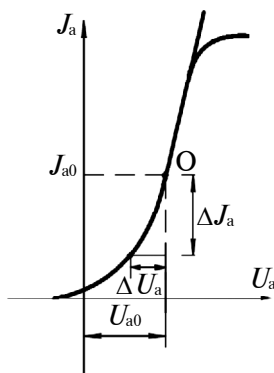


1.1-rasm.

Katod qizdirilganda elektronlar energiyasi oshadi va ularning bir qismi katod sathidan otilib chiqadi — bu holat *erkin elektronlar oqimini hosil qilish* jarayoni deb ataladi. Agar anodga musbat potensial berilsa, anod va katod orasida manfiy zaryadli elektronlarni tezlashtiruvchi maydon yuzaga keladi va elektrovakuum diodi orqali elektr toki o'ta boshlaydi. Anodga manfiy potensial beradigan bo'lsak, elektronlar oqimini tormozlovchi elektr maydoni hosil bo'ladi va diod orqali tok o'tishi to'xtaydi (1.1-rasm).

Shunday qilib, diodlar bir tomonlama o'tkazuvchanlik xususiyatiga egadir, diodlarning bu xossasidan foydalanib elektrotexnikada to'g'rilagichlar sifatida ishlatiladi.

Diodlarning asosiy parametrlari ularning volt-amper (1.2-rasm) xarakteristikalarini bilan baholanadi:



1.2-rasm.

diodning anod xarakteristikasining qiyaligi S_i ;

$$S_i = \frac{dJ_a}{dU_a} \approx \frac{\Delta J_a}{\Delta U_a}; \quad (1.1)$$

diodning differensial qarshiligi R_i :

$$R_i = \frac{dU_a}{dJ_a} \approx \frac{\Delta U_a}{\Delta J_a}; \quad (1.2)$$

diodning o'zgarmas tokka qarshiligi R_o :

$$R_o = \frac{U_{ao}}{J_{ao}}; \quad (1.3)$$

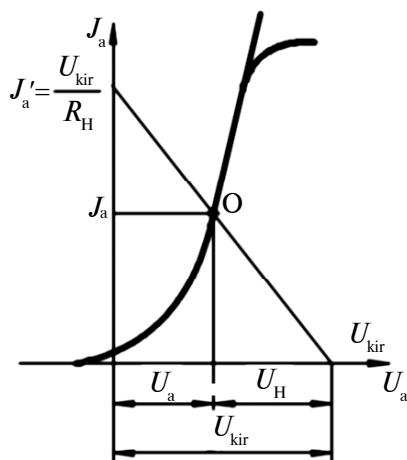
ΔU_a , ΔJ_a — diodning ishchi nuqtasi atrofidagi muayyan o'zgarishlar kattaligi.

Agarda diodga ketma-ket qarshilik ulansa, zanjirning elektrik xossalari Kirxgofning ikkinchi qonuni bilan ifodalanadi:

$$U_{kir} = U_a + J_a R_i. \quad (1.4)$$

Bu tenglama to'g'ri tenglamadan iborat bo'lib, *iste'molchi chizig'i* deb ataladi. 1.3-rasmdagi grafik bo'yicha zanjirdagi tokni har qanday iste'molchi va kuchlanish uchun aniqlash mumkin:

Ushbu xususiyatlardan kelib chiqqan holda elektrovakuumli diodlar o'zgaruvchan tokni to'g'rilashda, detektorlarda, ixtiyor-



1.3-rasm.

riy impulslarni hosil qiluvchi generatorlar sxemasida keng qo'llaniladi.

1.1.2. Elektrovakuumli triodlar

Elektrovakuumli qurilmalarning keyingi avlodi *elektrovakuumli triodlar* bo'lib, ular o'z tarkibida katod yaqinida joylashgan boshqaruvchi to'rga ega bo'ladi. Ushbu boshqaruvchi to'rga beriladigan kuchlanishni o'zgartirish orqali anod tokini boshqarish imkoniyati yaratiladi. Triodning bu xususiyatidan kuchaytirgich elementi sifatida keng qo'llaniladi.

Elektrovakuumli triodning statistik rejimda ishlashi quyidagi anod $J_a = f(U_a)$, $U_c = \text{const}$ va anod-to'r $J_a = f(U_c)$, $U_a = \text{const}$ xarakteristikalar majmuasi bilan aniqlanadi (1.4-rasm).

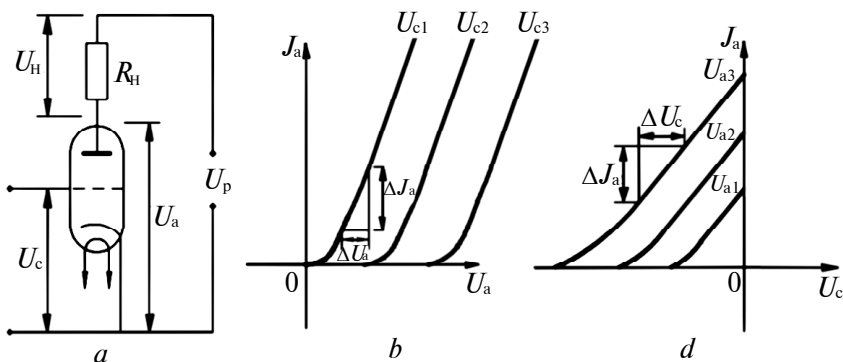
Triodning asosiy parametrlari quyidagilardan iborat:

Qiyaligi S_i , bunda $U_a = \text{const}$,

$$S_i = \frac{dJ_a}{dU_c} \approx \frac{\Delta J_a}{\Delta U_c}, \quad (1.5)$$

Ichki dinamik qarshiligi R_i , bunda $U_c = \text{const}$,

$$R_i = \frac{dU_a}{dJ_a} \approx \frac{\Delta U_a}{\Delta J_a}. \quad (1.6)$$



1.4-rasm. Triodning ulanish sxemasi (a), anod (b), anod-to'r (d) xarakteristikasi.

Statistik kuchaytirish koeffitsiyenti μ , bunda $J_a = \text{const}$

$$\mu = \frac{dU_a}{dU_c} \approx \frac{\Delta U_a}{\Delta J_c}. \quad (1.7)$$

ΔU_a , ΔJ_a , ΔU_c — bular triodning ishchi nuqtasi atrofidagi muayyan o'zgarishlar kattaligi.

Elektrovakuum qurilmalarning funksional imkoniyatlarini kengaytirish maqsadida bu lampalar tuzilishiga qo'shimcha to'rt (setka)lar kiritilgan, vakuumli elektron lampalar elektrodlar soniga qarab diodlar, triodlar, tetrodlar, pentodlar va boshqalarga bo'linadi.

1.1.3. Elektron-nurli qurilmalar

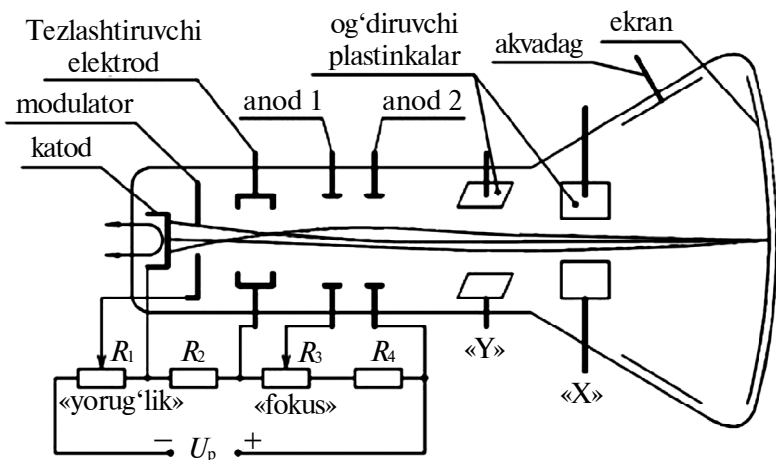
Elektrovakuum qurilmalarning keyingi turi elektron-nurli qurilmalar hisoblanadi. Ularga elektron-nurli trubkalar va televizion kineskoplar kiradi. Bu qurilmalarning asosiy xossasi ma'lumotlarni maxsus ekranlarda ko'rsatish hisoblanadi.

Elektrovakuum elektron-nurli qurilmalarda ingichka elektron nur ($\sim 0,1$ mm diametrli) hosil qilinib, optik tasvir olish maqsadida luminofor bilan qoplangan ekranga yo'naltiriladi. Elektronlar luminoforga urilib, uning atomlarini uyg'otadi va natijada ekranning qarama-qarshi tomonida yorug'lik chaqnashlari kuzatiladi. Bunda ekran yorug'ligi elektronlar soniga va ular energiyasiga to'g'ri proporsionaldir.

Elektron nurni boshqarish uchun *elektrostatik* va *magnitli sistemalardan* foydalaniladi. Elektrostatik boshqaruvchi sistemalar — elektron-nurli trubkalarda, magnitli sistemalar esa kineskoplarda qo'llaniladi va ularning asosiy xarakteristikalarini sezgirliги hisoblanadi. Elektrostatik sistemalarning sezgirliги ekrandagi yorug'lik nuqtasini unga berilayotgan kuchlanishga nisbatan siljishi h ga qarab baholanadi:

$$U_{\text{elas}} : \delta_e = \frac{h}{U_{\text{elas}}}. \quad (1.8)$$

Ekranning chaqnash rangi qo'llanilgan luminoforning kimyoviy tarkibi bilan aniqlanib yashil, sariq, ko'k va boshqa ranglarda bo'lishi mumkin.



1.5-rasm.

Elektrostatik elektron nurli trubkaning tuzilishi 1.5-rasmda berilgan.

Elektron-nurli trubkaning elektrodlar tizimi vakuumli shisha ballon ichiga joylashtiriladi. Elektron trubkaning orqa tomonida elektron oqimini hosil qiluvchi katod joylashgan. Katoddan keyin teshikli silindr shaklidagi modulator joylashgan. Modulatorga berilayotgan kuchlanishni o'zgartirish orqali elektronlar oqimi intensivligi boshqariladi va ekrandagi tasvir yorqinligi (яркость) o'zgartiriladi. Tezlashtiruvchi elektrodlar, birinchi va ikkinchi anodlar elektron linzani hosil qilib, uning ta'siri ostida elektron nur ekranda bir nuqtaga jamlanadi, uchinchi qarshilik nurning jamlanishini o'zgartiradi. Nurni og'dirish uchun ikki juft «X» va «Y» og'diruvchi plastinkalar ishlatiladi. Bu plastinkalarga uzatiladigan kuchlanish elektr maydonini hosil qilib, elektron nurini og'diradi. Akvadagning (grafit qatlami) funksiyasi elektronlarning ekran oldida yig'ilib qolishining va tasvir buzilishining oldini olishdan iborat. Bunda elektronlar akvadagdan ikkinchi anodga oqib o'tadi.

Kineskoplar yuqorida ko'rib chiqilgan elektrostatik trubkadan farqli o'laroq, og'diruvchi magnit tizimi orqali boshqariladi. Bu trubka o'qiga o'zaro perpendikular ravishda joylashtirilgan

ikki juft g'altaklar vositasida amalga oshiriladi. Elektromagnit og'diruvchi tizim yordamida nurning katta burchakka og'ishiga erishiladi, bu esa, o'z navbatida, katta ekranli kalta trubkalarni yaratish imkoniyatini beradi. Magnitli og'diruvchi sistemalar, garchi yuqori yorqinlik va nurni yaxshi jamlash imkonini bersa-da, sekin ishlash (inersionlik) xususiyatiga ega, bu, o'z navbatida, tez o'zgaruvchi jarayonlarni kuzatish imkoniyatini bermaydi.

1.1.4. Rentgen nurlanishi, turlari, spektri. Rentgen trubkasi

Elektrovakuum qurilmalarning keyingi turi rentgen trubkalari hisoblanadi. 1883-yilda T. A. Edison tomonidan termo-elektron emissiya hodisasining kashf etilishi bo'shliqda elektr toki bilan o'tkazilgan tajribalarga asos soldi. Qattiq jismni qizdirish natijasida undan elektronlarning ajralib chiqishi va katod nurlari bilan o'tkazilgan tajribalar asosida nemis fizigi V. Rentgen o'zining yangi kashfiyotini 1885-yilda e'lon qildi. Katoddan ajralayotgan elektronlar katta tezlik bilan harakatlanib, anodda keskin tormozlanishi noma'lum nurlarni paydo qildi. Bu nurlar «X» nurlar, keyinchalik *Rentgen nurlari* deb ataldi.

Rentgen nurlari bilan o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatdiki, bu nur bir qator xossalarga ega ekan:

1. Ular to'liqin xarakteriga va ultrabinafsha nurlardan ham kichik to'liqin uzunlikka ega;

2. Ko'pgina moddalarni shu'lalantiradi va fotosezgir materiallarga kuchli ta'sir etadi;

3. Turli moddalardan deyarli yutilmay o'tib ketadi;

4. Modda zichligi ortishi bilan rentgen nurlarining yutilishi sezilarli darajada ortib boradi;

5. Rentgen nurlariga elektr va magnit maydonlari ta'sir etmaydi.

Rentgen nurlari tez uchib borayotgan elektronlarning tormozlanishidan hosil bo'lib, u elektronlar energiyasining bir qismi ko'rinishida namoyon bo'ladi. Hosil bo'layotgan rentgen nurlarining energiyasi elektronlar energiyasiga bog'liq bo'ladi,

ya'ni elektronlar oqimiga qanchalik katta tezlik berilsa, anoddan shuncha kichik to'liqin uzunlikdagi nurlar uchib chiqadi. Demak, rentgen nurlarining to'liqin uzunligi ma'lum sohada joylashar ekan. Tajribalar nurlanishlar ikki xil bo'lishini ko'rsatdi:

1. Tormozlanish nurlanishi.
2. Anod materialining tabiatiga bog'liq bo'lgan xarakteristik nurlanish.

Tormozlanish nurlanishi anodga kelib uriladigan elektronlar energiyasining juda oz ulushi (0,1 %)dan hosil bo'ladi va nurlar turli to'liqin uzunliklarni o'z ichiga oladi.

Tormozlanish nurlanishi tutash spektr hosil qiladi. Tormozlanish nurlanishi anod moddasining turiga deyarli bog'liq bo'lmaydi.

Agar katod va anod orasida elektronlar oladigan energiya $E = eU$ desak, hosil bo'layotgan rentgen nurlarining energiyasi shu E energiyadan katta bo'lolmaydi (energiyaning saqlanish qonuniga asosan). λ_q ni yorug'likning kvant tushunchalari asosida tushuntirish mumkin. Rentgen nurlanishiga mos keluvchi energiya kvant tasavvurlarga ko'ra $E_0 = h\nu$ orqali ifodalanadi. Bu yerda: ν — rentgen nurlanishi chastotasi; h — Plank doimiysi; $E = E_0$ shartdan, $eU = h\nu_{\text{maks}}$ hosil bo'ladi va chastotadan to'liqin uzun-

likka o'tsak, $e = \frac{hc}{\lambda_{\min}} = \frac{hc}{\lambda_q}$ yuzaga keladi, u holda $\lambda_{\min} = \lambda_q$ qisqa to'liqin (eng kichik to'liqin uzunlik) uchun

$$\lambda_q = \frac{hc}{eU} \quad (1.9)$$

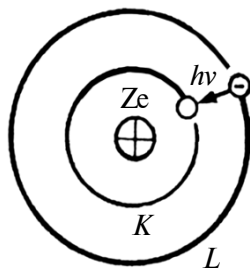
ifodaga kelimiz; $c = 3 \cdot 10^{-8}$ m/s — yorug'likning vakuumdagi tezligi. Ushbu ifodadan aytish mumkinki, kuchlanish ortishi bilan qisqa to'liqinning chegaraviy qiymati kamaya boradi.

(1.9) ifodaning to'g'riligini tekshirish uchun tajribalardan λ_q va U ni bilgan holda, Plank doimiysi h hisoblanadi. Haqiqatan ham, (1.9) ifoda bo'yicha aniqlangan Plank doimiysi eng aniq va ishonchli ekan.

(1.9) ifodaga c , h va elektron zaryadi e ning son qiymatlarini tegishli birliklarda qo'ysak, (1.10) formulaga kelimiz:

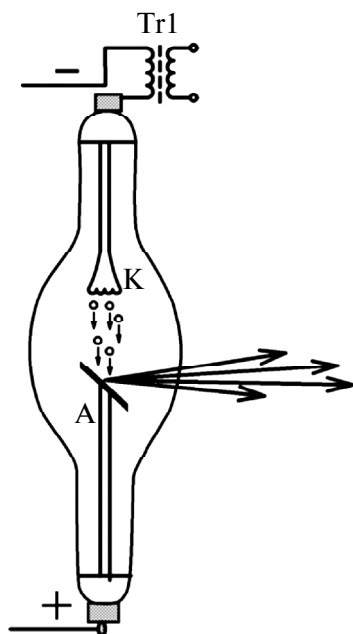
$$\lambda_q(\text{nm}) = \frac{1,23}{U(\text{kV})}. \quad (1.10)$$

Xarakteristik rentgen nurlanishi ikki bosqichdan iborat. Dastavval, katta energiyali elektron anodga urilib, undagi atomlar bilan ta'sirlashadi. Natijada biror atom qobig'idagi (tashqi valent qobig'idagi) elektronni urib chiqaradi. Ikkinchi bosqichda bo'sh qolgan o'ringa yuqori qobiqdagi elektronlardan birortasi o'tadi (joylashadi). Natijada atom nurlanadi va elektromagnit to'liqin (rentgen nuri) chiqaradi. Nurlanish esa aniq chastota bilan kuzatiladi. Demak, xarakteristik nurlanish har bir atomga xos bo'ladi va chiziqli spektrni hosil qiladi.



Xarakteristik nurlanish spektri tutash spektr sohasida yotadi. Atom zaryadi ortib borishi bilan rentgen spektri qisqa to'liqin uzunlik tomon siljiydi. Rentgen nurlarini qattiqligiga qarab farq qilish qabul qilingan. Rentgen nurlari qancha qisqa to'liqin uzunlikda bo'lsa, ular shuncha «qattiq» bo'ladi. Demak, og'ir atomlar eng qattiq rentgen nurlari chiqaradi. Rentgen nurlari qancha «qattiq» bo'lsa, ular moddalarda shuncha kuchsiz yutiladi. Aksincha, modda og'ir elementlardan tashkil topgan bo'lsa, ular rentgen nurlarini shuncha yaxshi yutadi.

Rentgen trubkasi yordamida rentgen nurlari hosil qilinadi. Havosi so'rib olingan lampa ichidagi bosim $10^{-8} \div 10^{-9}$ mm simob ustunini tashkil etadi. Odatda, katod volfram toladan, anod esa (antikatod deb ham nomlanadi) qiyin eruvchan metallardan tayyorlanadi. Bu lampalarga 50—150 kV tartibida yuqori kuchlanish beriladi. Antikatod elektronlar oqimiga nisbatan 45° burchak ostida o'rnatiladi. Hosil bo'layotgan nurlanishni trubkaning yon tomoniga yo'naltiriladi va maxsus shaffof shishadan o'tkazib tashqariga chiqariladi. Anod qattiq qizib ketmasligi uchun havo yoki suv orqali sovitiladi. 1.6-rasmda eng sodda rentgen trubkasining chizmasi keltirilgan.



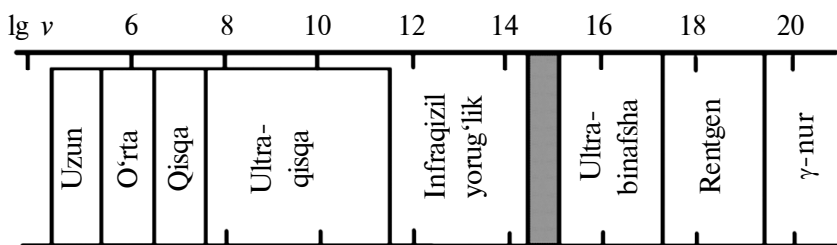
1.6-rasm.

Yuqorida qayd qilganimizdek, rentgen nurlari elektromagnit to‘lqinlar bo‘lib, xilma-xil uzunlikka ega bo‘lishi mumkin. Ular ichida to‘lqin uzunliklari ancha katta bo‘lgan «yumshoq» rentgen nurlari ham bo‘lishi mumkin. Ularni kuzatish qiyin, chunki ularni hamma jismlar oson yutadi, bu jihatdan yumshoq rentgen nurlari qisqa ultrabinafsha nurlarga o‘xshaydi.

Radioto‘lqinlar (Gers nurlari) bilan infraqizil nurlar orasidagi soha to‘ldirilganiga o‘xshash ultrabinafsha nurlar orasidagi soha ham rentgen nurlari bilan to‘ldirilgan. Juda qisqa to‘lqinlar sohasi rentgen nurlari bilan tugamasdan, radioaktiv moddalar chiqaradigan *gamma-nurlar* bilan tugaydi. Bular poloniy atomlari chiqaradigan γ -nurlardan (yumshoq) eng qattiq rentgen nurlari to‘lqin uzunligidan yuzlab marta qisqa bo‘lgan toriy chiqaradigan γ -nurlargacha davom etadi.

Shunday qilib, elektromagnit to‘lqinlar shkalasi uzun radioto‘lqinlardan tortib, to‘lqin uzunligi juda qisqa bo‘lgan γ -nurlargacha uzluksiz to‘ldirib borilgan. 1.1-jadvalda elektromagnit to‘lqinlar shkalasi logarifmik masshtabda keltirilgan.

1.1-jadval



Shunday qilib, elektromagnit to'liqlar shkalasi uzun radio-to'liqlardan tortib, to'liq uzunligi juda qisqa bo'lgan γ -nurlargacha uzluksiz to'ldirib borilgan.

Yuqoridagi jadvaldan yorug'lik to'liqlari elektromagnit to'liq shkalasida juda tor sohani o'z ichiga olar ekan, degan ajoyib xulosa chiqarish mumkin.

Nazorat savollari

1. Elektrovakuum qurilmalarga qanday qurilmalar kiradi?
2. Elektrovakuum qurilmalarning ishlash tamoyili nimaga asoslangan?
3. Elektron emissiyasiga ta'rif bering.
4. Elektronning chiqish ishi deb nimaga aytiladi?
5. Elektron emissiyasining qanday turlari mavjud?
6. Elektrovakuumli diod nima?
7. Erkin elektronlar oqimini hosil qilish jarayoniga ta'rif bering.
8. Elektrovakuumli triodlar nima?
9. Triodning asosiy parametrlari.
10. Elektrovakuum elektron-nurli qurilmaga ta'rif bering.
11. Elektron nurni boshqarish uchun qanday sistemalardan foydalaniladi?
12. Rentgen nurlari nima?
13. Xarakteristik rentgen nurlanishi nima?
14. Yumshoq rentgen nurlari qanday spektrga ega?
15. Elektromagnit to'liqlar shkalasi qanday tuzilgan?

1.2. Yarimo'tkazgichli elektron qurilmalar

1.2.1. Yarimo'tkazgichli materiallar

Yarimo'tkazgich deb xona haroratida solishtirma o'tkazuvchanligi 10^4 — 10^{-10} Ω/sm ni tashkil qiladigan, ya'ni o'tkazgichlar (metallar) va dielektriklar solishtirma o'tkazuvchanligining oralig'ida joylashgan moddalarga aytiladi.

Amaliyotda keng qo'llanilayotgan yarimo'tkazgich materiallarni quyidagi guruhlarga bo'lish mumkin:

- oddiy (sodda) yarimo'tkazgichlar (elementlar);
- yarimo'tkazgichli kimyoviy birikmalar;
- yarimo'tkazgich komplekslar (keramik yarimo'tkazgichlar).

Sodda yarimo'tkazgichlarga bor, kremniy, germaniy, fosfor, margimush, oltingugurt, selen, tellur va yod kiradi. Yarimo'tkazgichli kimyoviy birikmalar bo'lib SiC, InSb, GaAs, GaP, InP, InAs, GaSb, CdS, CdSe, PbS lar hisoblanadi. Keng tarqalgan yarimo'tkazgichli kompleks bo'lib, SiC urug'lari va silit suyuq shisha bilan bog'langan SiC urug'lari hisoblanadi.

Yarimo'tkazgichli materiallar kristall va amorf, qattiq va suyuq bo'lishi mumkin. Ko'p yarimo'tkazgichlar kristall qattiq jismni tashkil etadi. Tuzilishidagi va kimyoviy tarkibidagi farqlariga qaramasdan, barcha yarimo'tkazgichli materiallar tashqi energetik ta'sir natijasida o'z elektr xossalarini kuchli ravishda o'zgartirishlari mumkin.

Qattiq jismlarning elektr xossalari erkin elektronlarning konsentratsiyasi bilan aniqlanadi. Potensiallar farqi ta'sirida ma'lum yo'nalish bo'ylab harakatlanishi mumkin bo'lgan elektronlar *erkin elektronlar* deyiladi. Qattiq jism atom yoki molekularlar tizimidan iborat. Atomdagi elektronlar faqat ma'lum (diskret) energiya qiymatiga — *energetik sathlarga* egadirlar. Atomlarning bir-biri bilan kuchli o'zaro ta'siri hisobiga energetik sathlar *energetik zonalarga* birlashishi mumkin. Demak, turli

Energetik sathlarning egallanganlik holati kristallarning elektr o'tkazuvchanligida namoyon bo'ladi. Tashqi manba hisobiga kristalda elektr tokni yuzaga keltirish uchun elektr maydon hosil qilinadi. Bu maydon elektronlarni tezlatadi va ularning energiyasini oshiradi. Zona diagrammasi tilida bu jarayon *elektronlarning qo'zg'atilishi* deyiladi. Bunda elektronlar dastlabki egallab turgan energetik sathidan zonaning boshqa yuqoriroq sathiga ko'chadi. Elektronlar bilan butkul to'lgan zonadagi elektronlar o'z energiyalarini o'zgartira olmaydilar va shu sababli elektr toki hosil qilishda ishtirok eta olmaydilar. Demak, $T=0$ K da yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi nolga teng.

1.2.2. Xususiy yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi

Xususiy yarimo'tkazgichlarda noldan farqli temperaturada elektronlarning bir qismi valent zonadan yuqoriroq sathlarga — o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadilar. Bunday o'tishga yetarli bo'ladigan energiya taqiqlangan zona kengligi bilan aniqlanadi. O'tkazuvchanlik zonasining biror energetik sathiga mos energiyaga ega elektronlar *erkin elektronlar* deb ataladi. Chunki ular elektr maydon ta'sirida kristall ichida harakatlanishlari mumkin. O'tkazuvchanlik zonasiga o'tgan elektronlar valent zonada to'lmagan energetik sathlarni — *kovaklarni* qoldiradilar. Bu sathlar valent zonaning boshqa elektronlari bilan to'ldirilishi mumkin. Bu kovaklarning harakatini bildiradi. Kovaklar elektronlarga teng musbat zaryadga egadirlar. Elektronning valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tish jarayoni *elektron-kovak juftligining generatsiyasi* deb ataladi. Elektronlarning o'tkazuvchanlik zonasidan valent zonasiga qaytishi *elektron va kovak rekombinatsiyasi* (yo'qolishi)ga olib keladi.

Termogeneratsiya natijasida xususiy yarimo'tkazgichda yuzaga keladigan erkin elektronlar konsentratsiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$n_i = N_C \exp\left(\frac{-\Delta W}{2KT}\right), \quad (1.11)$$

bu yerda: ΔW — taqiqlangan zona kengligi;

N_c — o'tkazuvchanlik zonasidagi effektiv zichlik holati (germaniy uchun $N_c=5 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$, kremniy uchun $N_c=2 \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$).

Kovaklar soni erkin elektronlar soniga teng:

$$p_i = n_i. \quad (1.12)$$

Elektron va kovaklarning konsentratsiyasidagi i indeksi (*intrinsic* — «xususiy» so'zidan olingan) xususiy zaryad tashuvchilar ekanini bildiradi.

Elektr o'tkazuvchanlik son jihatdan solishtirma elektr o'tkazuvchanlik σ kattaligi bilan xarakterlanadi. Xususiy yarimo'tkazgichlar uchun

$$\sigma = qn_i\mu_n + qp_i\mu_p, \quad (1.13)$$

bu yerda: μ_n, μ_p mos ravishda elektron va kovaklarning harakatchanligi.

Elektron-kovak juftligining generatsiyasi yarimo'tkazgich yorug'lik nuri bilan yoritilganda ham sodir bo'ladi. Agar

yorug'lik nuri fotonlari energiyasi $h\nu = \frac{1,23}{\lambda}$ taqiqlangan zona kengligidan ortib ketsa, u holda foton valent elektronni qo'zg'atishi mumkin. Natijada elektron valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi. Bu hodisa *ichki fotoeffekt* deb ataladi. Demak, yarimo'tkazgichga yorug'lik nuri tushirilganda uning zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va solishtirma elektr o'tkazuvchanligi ortadi:

$$\sigma' = q\mu_n (n_i + \Delta n) + q\mu_p (p_i + \Delta p), \quad (1.14)$$

bu yerda: $n_i=p_i$ — berilgan temperaturadagi xususiy konsentratsiya.

Shunday qilib, yorug'lik signallari elektr signaliga aylantiriladi. Bu turdagi sodda yarimo'tkazgich asbob *fotorezistor* deb ataladi.

Fotorezistor uchun dastlabki material bo'lib turli elementlarning sulfidlari, selenidlari va telluridlari hamda PbS, PbSe, PbTe, InSb, CdS lar xizmat qiladi.

1.2.3. Kiritmali yarimo‘tkazgichlarning elektr o‘tkazuvchanligi

Ko‘p yarimo‘tkazgich asboblarda kiritmali yarimo‘tkazgichlar qo‘llaniladi. Kiritmalar erkin zaryad tashuvchilarni yuzaga keltirishi kerak. Sodda yarimo‘tkazgichlarda begona atomlar kiritma bo‘lib xizmat qiladi. Agar kiritma atomlari kristall panjarada joylashgan bo‘lsa, ular *almashinish kiritmalari*, agar tugunlar orasida joylashgan bo‘lsa, *kiritish (joriy etish) kiritmalari* deb ataladi.

Almashinish natijalari kiritma atomining valentligiga bog‘liq. Bunda, yarimo‘tkazgichning taqiqlangan zona oralig‘ida diskret energetik sathlar hosil qiladigan atomlarga ega kiritmalar ishlatiladi. Agar ularning sathlari asosiy yarimo‘tkazgichning o‘tkazuvchanlik zonasi tubida joylashgan bo‘lsa, hatto uncha katta bo‘lmagan temperaturada ham elektronlar kristall bo‘ylab erkin harakatlanish imkoniyatiga ega bo‘lib, bu zona sathlariga o‘tishlari mumkin.

Kiritma atomlari, elektronlaridan ajralib, musbat zaryadlangan ionlarga aylanadi. Demak, elektr o‘tkazuvchanlikda ishtirok etmaydi. Kiritmali erkin elektronlar xususiy erkin elektronlarga qo‘shilib boradi. Shuning uchun yarimo‘tkazgichning o‘tkazuvchanligi ko‘p hollarda elektron ko‘rinishga ega bo‘ladi. Bunday yarimo‘tkazgichlar *elektron* yoki *n-turdagi* (*n—negative*) *yarimo‘tkazgich* deb ataladi. Kiritmalar esa *donor kiritmalar* deb ataladi. Ularga besh valentli fosfor, margimush va surma atomlari kiradi.

Boshqa kiritmalar asosiy yarimo‘tkazgich taqiqlangan zonasi ichida valent zona shipi yaqinida chala to‘ldirilgan sathlarga ega bo‘lishi mumkin. Issiqlik hisobiga qo‘zg‘atilishi hisobiga kiritma atomi qo‘zg‘almas manfiy zaryadlangan ionga aylanadi. Bundan tashqari, kristall bo‘ylab harakatlana oladigan kovak yuzaga keladi.

Kiritma holdagi kovaklar xususiy kovaklarga qo‘shilishi mumkin, demak, o‘tkazuvchanlik ko‘p hollarda kovak ko‘rinishga ega bo‘ladi. Bunday yarimo‘tkazgichlar kovak yoki *p-turdagi* (*p—positive*) *yarimo‘tkazgich* deb ataladi. Kovak o‘tkazuvchanlikni yuzaga keltiruvchi kiritmalar *akseptorlar* deb ataladi.

Ularga uch valentli bor, aluminiy, galliy va indiy atomlari kiradi.

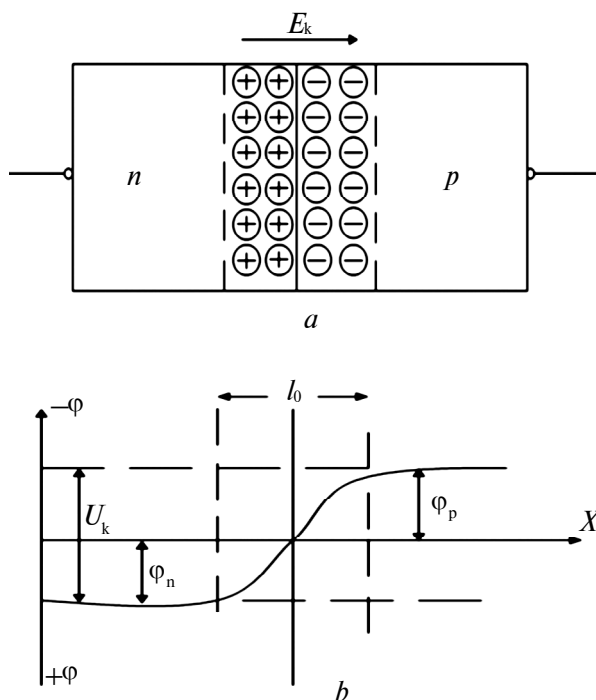
1.2.4. Elektron-kovak o'tish va uning hosil bo'lishi

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

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

Endi p - n o'tish hosil bo'lish mexanizmini ko'rib chiqamiz. Soddalik uchun, n -sohadagi elektronlar va p -sohadagi kovaklar sonini teng olamiz. Bundan tashqari, har bir sohada uncha katta bo'lmagan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning miqdori mavjud. Xona temperaturasida p -turdagi yarimo'tkazgichda akseptor manfiy ionlarining konsentratsiyasi N_a kovaklar konsentratsiyasi p_p ga, n -turdagi yarimo'tkazgichda donor musbat ionlarining konsentratsiyasi N_d , elektronlar konsentratsiyasi n_n ga teng bo'ladi. Demak, p va n -sohalar o'rtasida elektronlar va kovaklar konsentratsiyasida sezilarli farq mavjudligi tufayli, bu sohalar birlashtirilganda elektronlarning p -sohaga, kovaklarning esa n sohaga diffuziyasi boshlanadi.

Diffuziya natijasida n -soha chegarasida elektronlar konsentratsiyasi musbat donor ionlari konsentratsiyasidan kam bo'ladi va bu soha musbat zaryadlana boshlaydi. Bir vaqtning o'zida p -soha chegarasidagi kovaklar konsentratsiyasi kamayib boradi va u akseptor kiritmasi bilan kompensatsiyalangan ion zaryadlari hisobiga manfiy zaryadlana boshlaydi (1.8-rasm). Musbat va manfiy ishorali aylanalar mos ravishda donor va akseptor ionlarini tasvirlaydi.



1.8-rasm.

Hosil bo‘lgan ikki hajmiy zaryad qatlami p - n o‘tish deb ataladi. Bu qatlam harakatchan zaryad tashuvchilar bilan kambag‘allashtirilgan. Shuning uchun uning solishtirma qarshiligi p - va n -soha qarshiliklariga nisbatan juda katta. Ba’zi adabiyotlarda bu qatlam *kambag‘allashgan* yoki *i-soha* deb ataladi.

Hajmiy zaryadlar turli ishoralarga ega bo‘ladilar va p - n o‘tishda kuchlanganligi $\vec{E}$ ga teng bo‘lgan elektr maydon hosil qiladilar. Asosiy zaryad tashuvchilar uchun bu maydon tormozlovchi bo‘lib ta’sir ko‘rsatadi va ularni p - n o‘tish bo‘ylab erkin harakat qilishlariga qarshilik ko‘rsatadi. 1.8-*b* rasmda o‘tish yuzasiga perpendikular bo‘lgan, X o‘qi bo‘ylab potensial o‘zgarishi ko‘rsatilgan. Bu vaqtda nol potensial sifatida chegaraviy soha potentsiali qabul qilingan.

Rasmdan ko‘rinib turibdiki, p - n o‘tishda voltlarda ifodaladigan *kontakt potentsiallar farqi* $U_k = \varphi_n - \varphi_p$ ga teng bo‘lgan

potensial to'siq yuzaga keladi. U_k kattaligi dastlabki yarim-o'tkazgich material taqiqlangan zona kengligi va kiritma konsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi. p - n o'tish kontakt potentsiallar farqi: germaniy uchun $U_k \approx 0,35$ V, kremniy uchun esa $= 0,7$ V.

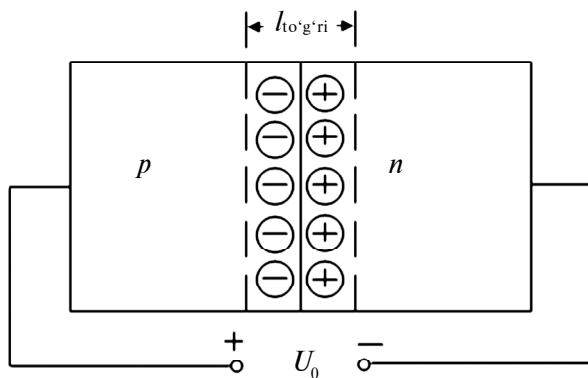
p - n o'tish kengligi $l_0 \sqrt{U_k}$ ga proporsional bo'ladi va mkm ning o'nlik yoki birlik qismlarini tashkil etadi. Tor p - n o'tish hosil qilish uchun katta kiritma konsentratsiyasi kiritiladi, l_0 ni kattalashtirish uchun esa kichik kiritmalar konsentratsiyasi qo'llaniladi.

p - n o'tish toklari. $U_i = \frac{U_R}{q}$ energiyaga ega bo'lgan ko'pgina

zaryad tashuvchilar p - n o'tish orqali qo'shni sohalarga diffuziya hisobiga p - n o'tish maydoniga qarama-qarshi ravishda siljiydilar. Ular *diffuziya tokini* yuzaga keltiradi. Asosiy zaryad tashuvchilarning p - n o'tish orqali harakati bilan bir vaqtda, p - n o'tish ular uchun tezlatuvchi bo'lib ta'sir ko'rsatayogan maydon ta'sirida asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar ham harakatlanadilar. Asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar oqimi *dreyf tokini* yuzaga keltiradi. Tashqi maydon ta'sir ettirilmaganda dinamik muvozanat o'rnatiladi, ya'ni diffuziya va dreyf toklarining absolut qiymatlari teng bo'ladi. Lekin diffuziya va dreyf toklari o'zaro qarama-qarshi yo'nalishda yo'nalganligi uchun p - n o'tishdagi natijaviy tok nolga teng bo'ladi.

1.2.5. p - n o'tishning to'g'ri ulanishi

Agar p - n o'tishga tashqi kuchlanish manbayi U ulansa, u holda muvozanat sharti buziladi va tok oqib o'ta boshlaydi. Agar kuchlanish manbayining musbat qutbi p -turdagi sohaga, manfiy qutbi esa n -turdagi sohaga ulansa, bunday ulanish *to'g'ri ulanish* deb ataladi (1.9-rasm). Kuchlanish manbayining elektr maydoni kontakt maydon tomonga yo'nalgan bo'ladi, shu sababli p - n o'tishdagi natijaviy maydon kuchlanganligi kamayadi. Maydon kuchlanganligining kamayishi potensial to'siq balandligining kuchlanish manbayi qiymatiga kamayishiga olib keladi: $U_k = U_0$. Bu vaqtda p - n o'tish kengligining ham kamayishini ko'rish mushkul emas.



1.9-rasm.

Potensial to'siq balandligining kamayishi shunga olib keladiki, p - n o'tish orqali harakatlanayotgan asosiy zaryad tashuvchilarning soni ham ortadi, ya'ni diffuziya toki ortadi. Har bir sohada ortiqcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi yuzaga keladi: n -sohada kovaklar, p -sohada elektronlar. Biror yarimo'tkazgich sohasiga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni siqib kiritish jarayoni *injeksiya* deb ataladi.

Kuchlanish o'zgarishi bilan diffuziya tokining o'zgarishi eksponensial qonun asosida ro'y beradi:

$$I_{\text{dif}} = I_0 e^{qU_0 / kT}, \quad (1.15)$$

bu yerda: I_0 — dreyf toki bo'lib, uni p - n o'tishning teskari toki deb ham atashadi.

To'g'ri kuchlanish berilganda potensial to'siq balandligiga teskari tok ta'sir ko'rsatmaydi, chunki bu tok faqat p - n o'tish orqali birlik vaqt ichida tartibsiz issiqlik harakati tufayli olib o'tilayotgan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning soni bilan belgilanadi. Diffuziya va dreyf toklari bir-biriga nisbatan qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi, shu sababli p - n o'tish orqali oqib o'tayotgan natijaviy (to'g'ri) tok (1.15) dan kelib chiqqan holda:

$$I_{\text{to'g'}} = I_{\text{dif}} - I_0 = I_0 (e^{qU_0 / kT} - 1). \quad (1.16)$$

I_0 tok germaniyli p - n o'tishlarda o'nlab mkA yoki kremniyli p - n o'tishlarda nanoamperlarni tashkil etadi va harorat ortishi bilan kuchli ravishda tok ham ortadi. Lekin I_0 qiymatidagi katta farq taqiqlangan zona kengligi bilan aniqlanadi.

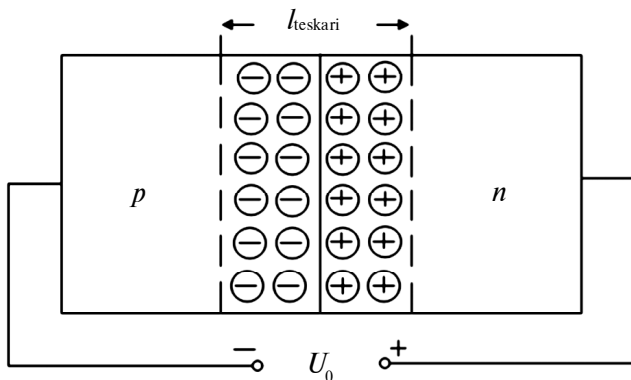
1.2.6. p - n o'tishning teskari ulanishi

Bu holatda tashqi kuchlanish manbayining musbat qutbi n -sohaga ulanadi (1.10-rasm).

Kuchlanish manbayining elektr maydoni o'tishning kontakt maydoni yo'nalgan tomonga yo'nalgan. Shu sababli potensial to'siq balandligi ortadi va $U_k = U_0$ teng bo'ladi. Teskari kuchlanish qiymatining ortishi p - n o'tish kengligining kengayishiga olib keladi ($l_{to'g'} < l_{tesk}$). Amaliy hisoblarda quyidagi ifodadan foydalanish qulay:

$$l = l_0 \sqrt{\frac{U_0}{U_k}}, \quad (1.17)$$

bu yerda: $l_0 = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{q} U_k \left(\frac{1}{Na} + \frac{1}{Nd} \right)}$ — tashqi maydon ta'sir etmagandagi p - n kengligi; ε — yarimo'tkazgich nisbiy dielektrik doimiysi; ε_0 — elektr doimiy.



1.10-rasm.

Potensial to'siqning ortishi diffuziya tokining kamayishiga olib keladi. Diffuziya tokining o'zgarishi eksponensial qonun asosida ro'y beradi:

$$I_{\text{dif}} = I_0 e^{-qU_0/kT}. \quad (1.18)$$

Dreyf toki potensial to'siq balandligiga bog'liq emasligi va I_0 ga teng bo'lganligi sababli, p - n o'tishdan o'tayotgan natijaviy tok:

$$I_{\text{tesk}} = I_0 e^{-qU_0/kT} - I_0 = I_0 \left(e^{-qU_0/kT} - 1 \right). \quad (1.19)$$

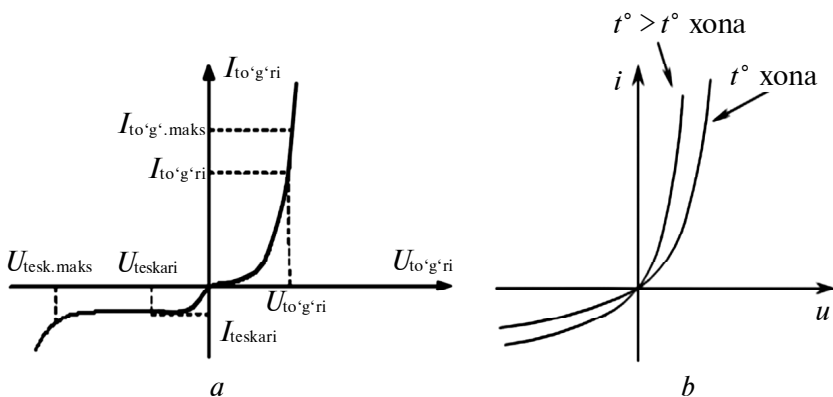
Teskari ulanishda kontaktlashuvchi yarimo'tkazgichlardan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar chiqarib olinadi (ekstraksiya). Shu sababli teskari tok *ekstraksiya toki* deb ataladi.

1.2.7. p - n o'tishning volt-ampere xarakteristikasi (VAX)

p - n o'tish tokining unga berilayotgan kuchlanishga bog'liqligi $I=f(U)$ volt-ampere xarakteristika (VAX) deyiladi. (1.16) va (1.19) lar asosida umumiy holda eksponensial bog'liqlik yordamida ifodalanadi (1.11-*b* rasm):

$$I = I_0 \left(e^{\pm qU_0/kT} - 1 \right). \quad (1.20)$$

Agar p - n o'tishga to'g'ri kuchlanish berilgan bo'lsa, U_0 kuchlanish ishorasi — musbat, teskari kuchlanish berilgan bo'lsa, manfiy bo'ladi. $U_{0g} \geq 0,1$ V bo'lsa eksponensial songa nisbatan birni hisobga olmasa ham bo'ladi va kuchlanish ortishi bilan tok ham eksponensial ortib boradi. Teskari kuchlanish berilganda esa — 0,2 V kuchlanish qiymatida tok I_0 qiymatiga yetib keladi va keyinchalik kuchlanish qiymati o'zgarmaydi. I_0 kattaligi shu sababli teskari ulangan p - n o'tishning to'yinish toki deb ham ataladi. Teskari tok to'g'ri tokka nisbatan bir necha darajaga kichik, ya'ni p - n o'tish to'g'ri yo'nalishda tokni yaxshi



1.11-rasm.

o'tkazadi, teskari yo'nalishda esa yomon. Demak, p - n o'tish to'g'rilovchi harakat bilan xarakterlanadi va uni o'zgaruvchi tokni to'g'rilashda qo'llashga imkon beradi.

Eksponensial tashkil etuvchi $e^{qU_0/kT}$ temperatura ortishi bilan kamayishiga qaramay, VAX to'g'ri shoxobchasidagi qiyalik ortadi (1.11-b rasm). Bu hodisa I_0 ni temperaturaga kuchli to'g'ri bog'liqligi bilan tushuntiriladi. To'g'ri kuchlanish berilganda temperatura ortishi tok ortishiga olib keladi.

Amaliyotda p - n o'tish VAXga temperaturaning bog'liqligi *kuchlanishning temperatura koeffitsiyenti* (KTK) deb ataladigan kattalik bilan baholanadi. KTKni aniqlash uchun temperaturani o'zgartirib borib, o'zgarmas tokdagi p - n o'tish kuchlanishining o'zgarishi o'lchab boriladi. Odatda, KTK manfiy ishoraga ega, ya'ni temperatura ortishi bilan o'tishdagi kuchlanish kamayadi. Kremniydan yasalgan p - n o'tish uchun KTK 3 mV/grad darajani tashkil etadi.

(1.20) ifoda ideallashtirilgan p - n o'tish VAXsini ifodalaydi. Bunday o'tishda p va n -sohalarning hajmiy qarshiligi nolga teng va tok o'tish vaqtida p - n o'tishda rekombinatsiya jarayoni sodir bo'lmaydi deb hisoblanadi. Real o'tishda esa baza qarshiligi o'nlab Ω ga teng bo'ladi. Shu sababli (1.20) ifodaga p - n o'tishdagi va

tashqi kuchlanish U_0 orasidagi farqni hisobga oluvchi o'zgarish kiritiladi:

$$I = I_0 \left(e^{q(U_0 - r_B I) / kT} \right). \quad (1.21)$$

1.2.8. Muvozanatsiz holatda elektron-teshikli o'tish

Agar p - n o'tishga kuchlanish manbayini ulasak, unda muvozanatli holat buzilib, zanjir bo'yicha tok oqa boshlaydi. Kambag'allashtirilgan qatlam qarshiligi neytral qatlam qarshiligidan ahamiyatli darajada kattadir, u holda kichik tok ta'sirida tashqi kuchlanish U deyarli to'liqligicha kambag'allashtirilgan qatlamga ulanadi. Ushbu kuchlanish ta'sirida potensial to'siq kattaligi o'zgaradi.

Agar kuchlanish manbayining musbat qutbi p -sohaga, manfiy qutbi esa n -sohaga ulangan bo'lsa, u holda o'tishdagi kuchlanish to'g'ri deb ataladi ($U > 0$). To'g'ri kuchlanishda potensial to'siq kamayadi, chunki o'tishdagi tashqi maydon ichki maydon yo'nalishi bilan to'qnash bo'ladi. Teskari kuchlanishda o'tishdagi (manbaning manfiy qutbi p -sohaga ulanadi) potensial to'siq ko'tariladi, chunki tashqi va ichki maydonlar mos kelishib qo'shiladi.

Potensial to'siq balandligi bilan birga uning kengligi ham o'zgaradi. Teskari kuchlanishda I_{tesk} kattalashadi, buni elektr maydon ta'siri ostida o'tishdan asosiy tashuvchilarning siljishi bilan tushuntirish mumkin. Bunda o'tish chegarasida qo'shimcha ionli aralashmalar ko'payadi, bu esa, o'z navbatida, kambag'allashtirilgan qatlam qalinligining hamda to'siq balandligining o'sishiga olib keladi. Ushbu jarayon dielektrik relaksatsiya vaqtiga yaqin vaqt davomida sodir bo'ladi. To'g'ri kuchlanishda I_{tesk} asosiy tashuvchilarning kambag'allashtirilgan qatlam tomon siljiganligi sababli kamayadi. Kambag'allashtirilgan qatlamga kira borib, ular uning ma'lum bir hajmiy zaryad qismini kompensatsiyalaydi, bu esa qatlam qalinligining kamayishiga olib keladi. Nosimmetrik zinasimon p - n o'tish uchun:

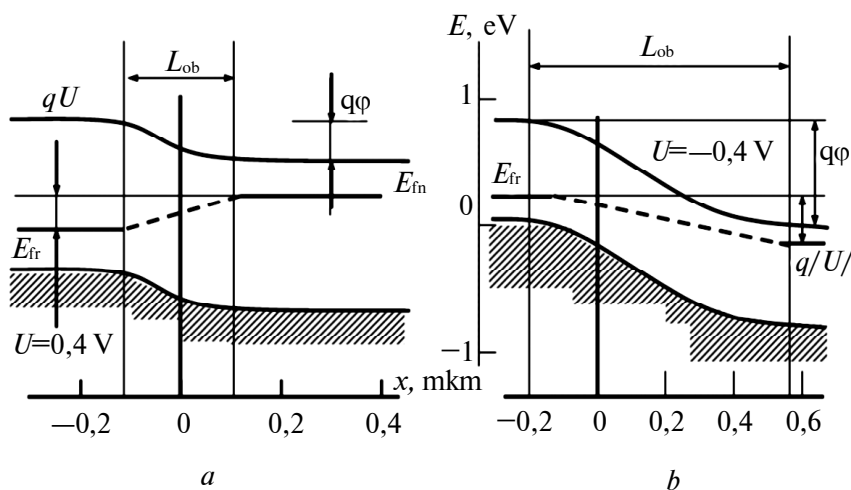
$$L_{\text{tesk}} = \sqrt{2\varepsilon_0\varepsilon(\varphi_0 - U)/(qN_d)}. \quad (1.22)$$

bu yerda: φ_0 — T , 0 K da kontakt potentsiallar farqi.

O'tish energetik diagrammasida p va n -tipli sohalardagi Fermi sathining to'g'ri (a) va teskari (b) siljishi muvozanatli diagrammasidan farqli o'laroq har xil balandlikda joylashgan, ular orasidagi farq q/UI ga teng (1.12-rasm).

To'g'ri siljishda o'tishdagi maydon kuchlanganligi kamayadi, diffuzion va dreyf toklarning muvozanatlik sharti buziladi — elektronlarning n -sohadan diffuziyasi va to'qnash teshikchalarining diffuziyasi ularning dreyf harakatiga nisbatan ustun bo'ladi. Diffuziya natijasida asosiy bo'lmagan tashuvchilarning o'tishi bilan chegaradosh neytral sohalardagi konsentratsiyasi ortib boradi. Bu jarayon asosiy bo'lmagan tashuvchilarning *injeksiyasi* deb nomlanadi.

Injeksiyaga asosiy bo'lmagan tashuvchilar konsentratsiyasi kuchlanishga keskin bog'liqsizlik xosdir: kuchlanishning boryo'g'i $2,3\varphi_t$ ($T = 300$ K da 60 mV) ga ortishi konsentratsiyaning bir tartibga ortishiga olib keladi.



1.12-rasm. O'tishning to'g'ri (a) va teskari (b) siljishdagi energetik diagrammalari.

Oshiqcha asosiy bo‘lmagan tashuvchilar konsentratsiyasi o‘tish chegarasida nafaqat qo‘yilgan kuchlanish hisobiga, shu bilan birga, boshqa omillar ta’siri ostida ham hosil bo‘ladi, masalan, yorug‘lik ta’sirida. Natijada o‘tishda (EYK) kuchlanish hosil bo‘ladi, bu kuchlanishni asosiy bo‘lmagan tashuvchilar konsentratsiyasi orqali (1.23) va (1.24) ifodalar bilan ifodalash mumkin (agarda ularni kuchlanishga nisbatan yechish mumkin bo‘lgan holda):

$$\Delta n_p = n_{p0} [\exp(U/\varphi_t) - 1]; \quad (1.23)$$

$$\Delta p_n = p_{n0} [\exp(U/\varphi_t) - 1], \quad (1.24)$$

bu yerda: φ_t —T temperaturadagi kontakt potentsiallar farqi.

Shunday qilib, oshiqcha asosiy bo‘lmagan tashuvchilarni hosil qiluvchi qanday sababdan qat’i nazar, ularning kuchlanish bilan bog‘liqligini (1.23) va (1.24) ifodalar bilan aniqlash mumkin.

Yuqori kuchlanishda o‘tishning qalinligi kuchlanishga proporsional bo‘lmagan holda o‘sib boradi, natijada elektr o‘tishning kuchlanganligi kattalashib boradi va unda tashuvchilarning dreyf harakati diffuziyaga nisbatan ustun bo‘ladi: *n*-sohadagi teshikchalar va *p*-sohadagi elektronlar xaotik issiqlik harakati tufayli o‘tish chegarasini kesib o‘tishlari mumkin, bu yerda ular o‘zlarini qo‘shni sohaga o‘tkazuvchi maydonga tushib qolishadi. Natijada o‘tish chegarasida asosiy bo‘lmagan tashuvchilarning konsentratsiyasi kamayib boradi ushbu hodisani asosiy bo‘lmagan tashuvchilarning *ekstraksiyasi* deb atash qabul qilingan. (1.23) va (1.24) ifodalar ekstraksiya uchun ham o‘rinlidir, $U < 0$ da ular-
dan $\Delta n_p < 0$, $\Delta p_n < 0$ kelib chiqadi, bu esa asosiy bo‘lmagan tashuvchilarning konsentratsiyasi muvozanatlik konsentratsiyasiga nisbatan kamayishiga mos keladi.

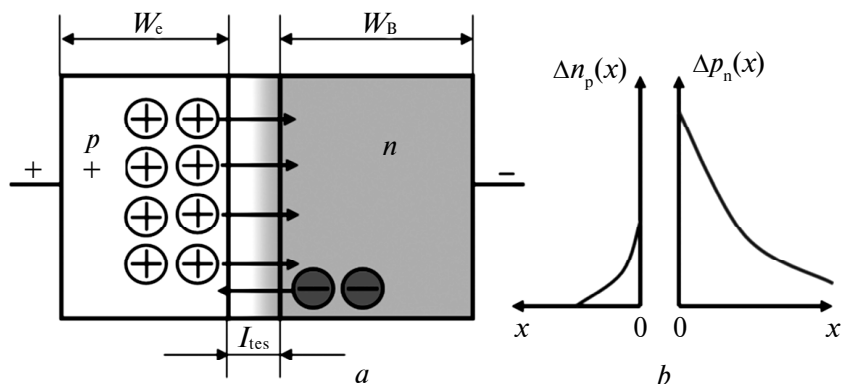
1.2.9. Tokning p - n o'tish orqali ideallashtirilgan tenglamasi

Ideallashtirilgan p - n o'tish real p - n o'tishning soddalashtirilgan modeli bo'lib, bu yerda quyidagi asosiy mulohazalar qabul qilingan:

- kambag'allashtirilgan qatlamda tashuvchilarning generatsiya, rekombinatsiya va sochilishi yo'q;
- tashuvchilar kambag'allashtirilgan qatlamni ma'lum bir onda o'tadi, ya'ni bir xil ishorali tashuvchilarning toklari ikki tomon chegarasida bir xil;
- kambag'allashtirilgan qatlam tashqarisida elektr maydon yo'q, bu yerda tashuvchilar faqatgina diffuziya tufayli harakatlana-dilar;
- neytral soha qarshiligi kambag'allashtirilgan qatlam qarshiligiga nisbatan ahamiyatsiz darajada kichik hisoblanadi;
- injeksiya darajasi kichik;
- p - n o'tish chegaralari yassidir, tashuvchilar faqatgina mana shu chegaralarga perpendikular ravishda harakatlana-dilar, yangi effektlar hisobga olinmaydi.

Ko'rib chiqilayotgan p - n o'tish modelida uncha katta bo'lmagan to'g'ri kuchlanish ostida asosiy bo'lmagan tashuvchilarning konsentratsiyasining o'tish chegarasi tashqarisidagi sohalarida o'zgarishi, ushbu sohalarining elektr neytralligini buzmaydi. Bu tashqi zanjirdan keluvchi asosiy bo'lmagan tashuvchilar orqali injeksiyalangan, asosiy bo'lmagan tashuvchilarning tez (dielektrik relaksatsiya vaqti davomida) neytrallashi bilan tushuntiriladi. Neytral sohalar kengligi ushbu sohalaridagi asosiy bo'lmagan tashuvchilarning diffuzion uzunligidan ancha katta deb tasavvur qilamiz. p - n o'tishning to'g'ri kuchlanishdagi fizik jarayonlarini 1.13-rasm orqali tushuntiriladi. 1.13-*a* rasmda to'g'ri tokni hosil qiluvchi asosiy tashuvchilarning harakat yo'nalishi ko'rsatilgan.

Ushbu tashuvchilarning p - n o'tish orqali siljishi, oshiqcha asosiy bo'lmagan tashuvchilar — elektronlarni p -sohaga, te-



1.13-rasm. To'g'ri kuchlanishda p - n o'tishdagi fizik jarayonlar.

shikchalarni esa n -soha injeksiyasiga olib keladi. p - n o'tish atrofidagi neytral sohalarida asosiy bo'lmagan tashuvchilar uning chegarasidan ushbu tashuvchilar gradiyenti tufayli qo'zg'atilgan diffuziya natijasida harakatlanadilar.

Ushbu $\Delta n_p(x)$ va $\Delta p_n(x)$ sohalarida asosiy bo'lmagan tashuvchilar konsentratsiyasining statsionar taqsimotlari quyidagi shart ostida, ya'ni hisob boshi sifatida o'tish chegarasidagi konsentratsiyalar (1.23) va (1.24) bo'yicha aniqlanishi kerak bo'lgan diffuziya tenglamasi orqali aniqlanadi, neytral sohalar chuqurligida esa ular rekombinatsiya juftligida nolga intiladilar. Diffuziya tenglamasining yechimi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\Delta p_n(x) = \Delta p_n(0) \exp(-x/L_p); \quad \Delta n_p(x) = \Delta n_p(0) \exp(-x/L_n), \quad (1.25)$$

bu yerda: L_p , L_n — mos ravishda n -sohadagi teshikchalar va p -sohadagi elektronlarning uzunligi.

$\Delta p_n(x) = p_n(x) - p_{n0}$, $\Delta n_p(x) = n_p(x) - n_{p0}$ konsentratsiyalar taqsimoti 1.13- b rasmda ko'rsatilgan, bu yerda x koordinatasining — mos p - n o'tish chegarasidan olingan hisobning har xil boshi va yo'nalishi qabul qilingan. p - n o'tishning volt-amper xarakteristika (VAT) ifodasini aniqlaymiz. p - n o'tishdan oqib o'tayotgan tok elektron va teshikchalar toklaridan tashkil topgan, ular p - n o'tish chegarasida quyidagiga teng:

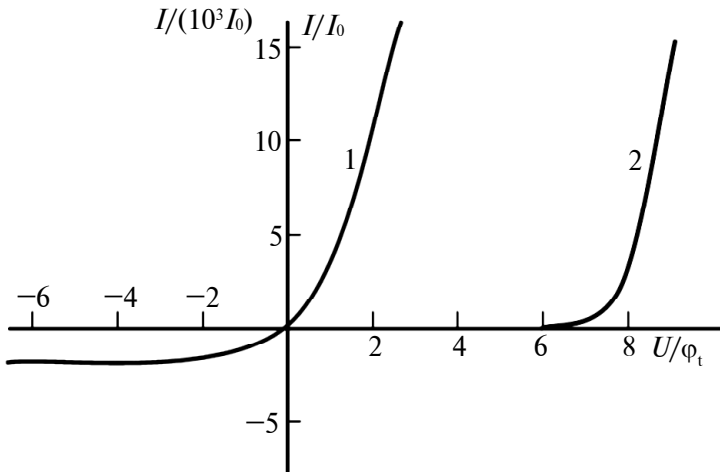
$$I_n = qSD_n\Delta n_p(0)/L_n; \quad I_p = qSD_p\Delta p_n(0)/L_p, \quad (1.26)$$

bu yerda: S — o'tishning yuzasi; D_n , D_p — elektronlarning p -sohadagi va teshikchalarning n -sohadagi diffuziya koeffitsiyentlari. p -soha (1.24) chegarasidagi Δn_{p0} oshiqcha elektronlar hamda n -soha (1.24) chegarasidagi Δp_{n0} teshikchalar konsentratsiyalarini (1.26) ifodaga qo'ysak, p - n o'tishning ideallashtirilgan VAXni olamiz:

$$I = I_n + I_p = I_0 [\exp(U/\varphi_t) - 1], \quad (1.27)$$

bu yerda: I_0 — issiqlik toki hisoblanib, yagona parametr hisoblanadi va teskari tokka egadir, ya'ni $U < 0$ va $|U| \gg \varphi_t$ da $I_q - I_0$.

Kichik to'g'ri kuchlanish ($U \leq 3\varphi_t$) uchun volt-amper tavsifi 1.14-rasmda ko'rsatilgan (1-egri chiziq, hisobning o'ngdagi shkalasi). To'g'ri kuchlanishda tok birdaniga o'sadi: tokning bir tartibga o'zgarishi kuchlanishning 2,3 t (T 300 K da 60 mV) ga o'zgarishiga mos keladi. Modul bo'yicha ($2 \div 3$) t dan kattaroq teskari kuchlanishda ideallashtirilgan p - n o'tishning teskari toki kuchlanishga bog'liq emasdir va I_0 ga teng. Tartibi ($10^3 \div 10^4$) I_0 teng to'g'ri toklar uchun VAXga (2-egri chiziq) toklarning chap hisob shkalasi mos keladi, uning teskari tarmog'i va to'g'ri



1.14-rasm. p - n o'tishning volt-amper xarakteristikasi.

tarmoq boshlanish sohasi (uchastok) grafikda ko'rsatilgan. Shuning uchun, VAXning to'g'ri va teskari tarmoqlarini agar bir grafikda tasvirlash kerak bo'lsa, har xil masshtabdan foydalanadilar.

1.2.10. p - n o'tish sig'im turlari

Past chastotalarda p - n o'tish toki faqat elektron-kovak o'tishning aktiv qarshiliklari hamda yarimo'tkazgichning p va n -sohalarining qarshiligi (p_b) bilan aniqlanadi. Yuqori chastotalarda p - n o'tishning inersiyasi uning sig'imi bilan aniqlanadi. Odatda, p - n o'tishning ikkita asosiy sig'imi hisobga olinadi: diffuziya va to'siq (baryer).

To'g'ri ulangan p - n o'tishda qo'shni sohalarga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar injeksiyalanadi. Natijada p - n o'tishning yupqa chegaralarida qiymati jihatidan teng, lekin qarama-qarshi ishoraga ega bo'lgan qo'shimcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar Q_{dif} yuzaga keladi. Kuchlanish o'zgarsa, injeksiyalanayotgan zaryad tashuvchilar soni, demak, zaryad ham o'zgaradi. Berilayotgan kuchlanish ta'siridagi bunday o'zgarish kondensator qoplamalaridagi zaryad o'zgarishiga aynan o'xshaydi. Bazaga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar diffuziya hisobiga tushganliklari sababli, bu sig'im *diffuziya sig'imi* deb ataladi va quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$C_{dif} = \frac{qI\tau}{kT}. \quad (1.28)$$

(1.28) ifodadan ko'rinib turibdiki, p - n o'tishdan oqib o'tayotgan tok va bazadagi zaryad tashuvchilarning yashash vaqti τ qancha katta bo'lsa, diffuziya sig'imi ham shuncha katta bo'ladi.

Ikki elektr qatlamga ega bo'lgan elektron-kovak o'tish zaryadlangan kondensatorga o'xshaydi. O'tish sig'imi o'tish yuzasi C , uning kengligi va dielektrik doimiysi ϵ bilan aniqlanadi. O'tish sig'imi *to'siq sig'imi* deb ataladi va 1.29-ifodadan aniqlanadi.

$$C_{T0} = S \sqrt{\frac{\varepsilon_0 \varepsilon q N d}{2U_k \left(1 + \frac{Nd}{Na}\right)}}. \quad (1.29)$$

O'tishga kuchlanish berilsa, bu vaqtda o'tish kengligi o'zgar-ganligi sababli, sig'im ham o'zgaradi. Sig'imning berilayotgan kuchlanish U qiymatiga bog'liqligi quyidagicha:

$$C_b = C_{b0} \sqrt{\frac{U_k}{U_k \pm U}}. \quad (1.30)$$

To'g'ri ulangan o'tishda musbat ishorasi, teskari ulanganda esa manfiy ishora olinadi. C_b berilayotgan kuchlanishga bog'liqligi sababli p - n o'tishni o'zgaruvchan sig'imli kondensator sifatida qo'llash mumkin.

To'g'ri kuchlanish berilganda diffuziya sig'imi to'siq sig'imi-dan ancha katta bo'ladi, teskari kuchlanishda esa buning teskarisi. Shuning uchun to'g'ri kuchlanish berilganda p - n o'tish iner-siyasi diffuziya sig'imi bilan, teskari ulanganda esa to'siq sig'imi bilan aniqlanadi.

1.2.11. p - n o'tishning teshilish turlari

Yuqorida aytib o'tilganidek, uncha katta bo'lmagan teskari kuchlanishlarda I_0 qiymati katta emas. Teskari kuchlanish ma'lum chegaraviy qiymat U_{cheg} ga yetganda, teskari tok keskin ortib ketadi, o'tishning elektr teshilishi yuz beradi.

O'tishning teshilish turlari ikki guruhga bo'linadi: elektr va issiqlik. Elektr teshilishining ikki mexanizmi mavjud: ko'chkisi-mon va tunnel teshilish.

Ko'chkisimon teshilish nisbatan keng p - n o'tishlarda sodir bo'ladi. Bunday o'tishda teskari kuchlanishda elektron va kovaklar zarba ionizatsiyasi uchun yetarli bo'lgan energiya oladilar va natijada qo'shimcha elektron-kovak juftlar hosil bo'ladi. Bu juftliklarning har bir tashkil etuvchisi, o'z navbatida, elektr maydonida tezlashib, yana yangi juftlikni yuzaga keltiradi va h.k. Zaryad tashuvchilarning bunday ko'chkisimon ko'payishi natijasida o'tishdagi tok keskin ortadi.

Tor $p-n$ o'tishga ega bo'lgan yarimo'tkazgichlarda tunnel effekti asoslangan tunnel teshilish sodir bo'ladi. $U_{tes} \geq U_{cheg}$ yetganda zaryad tashuvchilarning bir sohadan ikkinchisiga energiya sarf qilmasdan o'tishiga imkon yaratiladi (tunnel effekti). U_{cheg} ning yanada ortishi bilan shuncha ko'p zaryad tashuvchilar tunnel o'tishi sodir etadilar va teskari tok keskin ortib boradi.

$p-n$ o'tishda *issiqlik teshilishi* teskari tok o'tish natijasida o'tishning qizishi hisobiga sodir bo'ladi. Teskari tok, issiqlik toki bo'lib, u ortgan sari qizish ham ortadi. Bu holat tokning ko'chkisimon ortishiga olib keladi, natijada $p-n$ o'tishda issiqlik teshilishi yuz beradi va u ishdan chiqadi.

Nazorat savollari

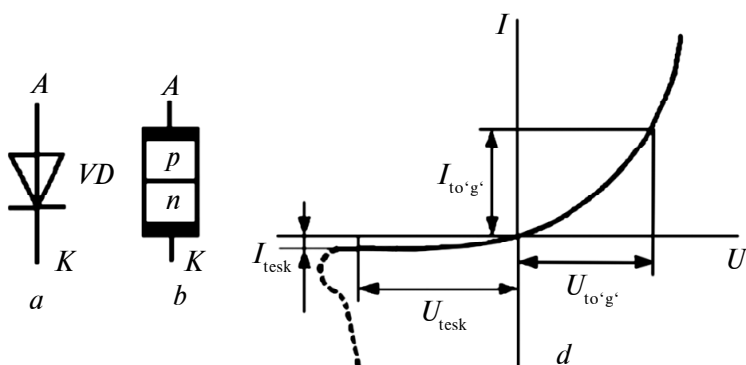
1. Yarimo'tkazgich deb nimaga aytiladi?
2. Yarimo'tkazgich materiallarni qanday guruhlarga bo'lish mumkin?
3. Erkin elektronlar deganda nimani tushunasiz?
4. Energetik zona deganda nimani tushunasiz?
5. O'tkazuvchanlik zonasi deganda nimani tushunasiz?
6. Valent zonaga ta'rif bering.
7. Elektron-kovak juftligining generatsiyasi deganda nimani tushunasiz?
8. Elektron va kovak rekombinatsiyasi nima?
9. Elektron yoki n -turdagi yarimo'tkazgich nima?
10. Donor kiritmalarga ta'rif bering.
11. Kovak yoki p -turdagi yarimo'tkazgich nima?
12. Donor va akseptor kiritmalar nima?
13. To'g'ri ulanish nima?
14. Injektsiya jarayoniga ta'rif bering.
15. $p-n$ o'tishning teskari toki deb nimaga aytiladi?
16. Ekstraksiya toki deb nimaga aytiladi?
17. Volt-amper xarakteristikasiga ta'rif bering.
18. $p-n$ o'tishning to'yinish toki deb nimaga aytiladi?
19. Nima sababli $p-n$ o'tish to'siq deb ataladigan sig'imga ega?
20. Ko'chkisimon teshilishga ta'rif bering.
21. Tunnel teshilish nima?
22. Real diod tuzilmasi ideallashtirilgan $p-n$ o'tishdan nimasi bilan farq qiladi?
23. $p-n$ o'tish toki temperaturaga qanday bog'liq?
24. $p-n$ o'tishda qanday teshilish turlari mavjud va ulardagi farq nimada?

1.3. Yarimoʻtkazgich diodlar va ularning turlari

Yarimoʻtkazgich diod deb bir (yoki bir necha) elektr oʻtishlarga ega ikki elektrodli elektron asboba aytiladi. Diodlar radioelektron qurilmalarda ishlatiladi va bajaradigan vazifasiga muvofiq tasniflanadi.

Barcha yarimoʻtkazgich diodlarni ikki guruhga ajratish mumkin: *toʻgʻrilovchi* va *maxsus vazifalarni bajaruvchi*. Toʻgʻrilovchi diodlar oʻzgaruvchan tokni oʻzgarmas tokka oʻzgartirish uchun qoʻllanadi. Toʻgʻrilanuvchi tok shakli va chastotasiga bogʻliq holda ular past chastotali, yuqori chastotali va impuls diodlarga ajratiladi. Maxsus vazifalarni bajaruvchi diodlarda p - n oʻtishlarning turli elektrofizik xususiyatlaridan, masalan, teshilish hodisalaridan, fotoelektrik hodisalardan, manfiy qarshilikka ega sohalari mavjudligidan va boshqalardan foydalaniladi. Maxsus vazifalarni bajaruvchi diodlar, xususan, oʻzgarmas kuchlanishni barqarorlash, optik nurlanishni qayd etish, elektr sxemalarda signallarni shakllantirish va boshqa vazifalarni amalga oshirish uchun qoʻllaniladi.

Yarimoʻtkazgich diodlarning elektr sxemalarda shartli belgilanishi 1.15-*a* rasmda, uning tuzilmasi koʻrinishi 1.15-*b* rasmda



1.15-rasm. Yarimoʻtkazgich diodning shartli belgilanishi (a), tuzilmasi koʻrinishi (b) va statik VAXi (d).

keltirilgan. Rasmlarda diodning chiqishlari A va K ko'rsatilgan bo'lib, ular diodning *elektrodlari* deb ataladi. Diodning p tomoniga ulangan elektrod *anod* deb, n tomoniga ulangani esa *katod* deb ataladi. Diodning statik VAXi 1.15- d rasmda keltirilgan. Yarimo'tkazgich diodning to'g'ri va teskari yo'nalishlaridagi qarshiliklari bir-biridan keskin farq qiladi: to'g'ri yo'nalishda siljirilgan diodning qarshiligi qiymati kichik, teskari siljirilgan diodniki esa katta bo'ladi. Shu sababdan diod bir tomonga elektr tokini yaxshi o'tkazadi, ikkinchi tomonga esa — yomon o'tkazadi.

Diodning asosiy parametrlari:

$$1. \text{ Statik qarshilik} \quad R_{st} = \frac{u_d}{i_d} [\Omega];$$

$$2. \text{ Differensial qarshilik} \quad r_{dif} = \frac{\Delta u}{\Delta i} [\Omega];$$

$$3. \text{ Xarakteristika tikligi} \quad S = \frac{\Delta i}{\Delta u} [A/B].$$

1.3.1. Stabiltron

Stabiltron yarimo'tkazgichli diod bo'lib, uning ishlash prinsipi p - n o'tishga teskari kuchlanish berilganda elektr teshilish sohasida tokning keskin ortishi kuchlanishning uncha katta bo'lmagan o'zgarishiga olib kelishiga asoslangan. Stabiltron sxemalarda kuchlanishni barqarorlash uchun ishlatiladi.

Stabiltronning asosiy parametri bo'lib, tokning $I_{st.min}$ dan $I_{st.maks}$ gacha keng o'zgarish oralig'ida barqarorlash kuchlanishi UST hisoblanadi (1.16- a rasm).

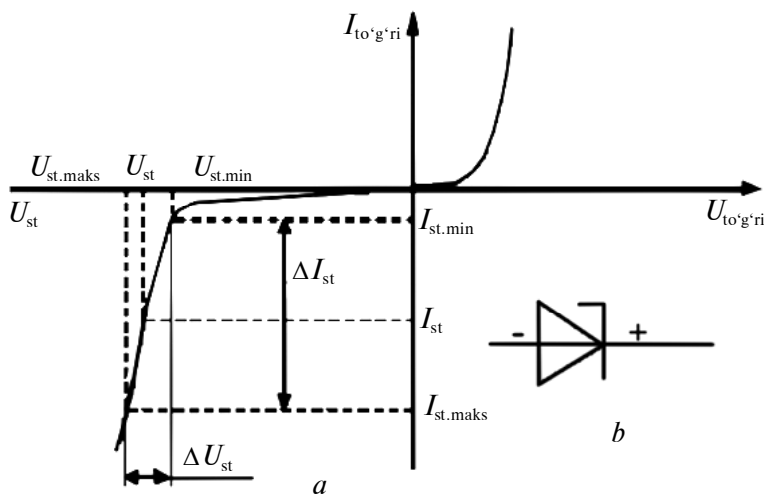
Stabiltron VAXsidagi ishchi soha elektr teshilish sohasida joylashadi. Barqarorlash kuchlanishi diod bazasidagi kiritma konsentratsiyasi bilan aniqlanadigan p - n o'tishga bog'liq. Agar yuqori konsentratsiyaga ega bo'lgan yarimo'tkazgich qo'llanilsa, u holda p - n o'tish tor bo'ladi va tunnel teshilish kuzatiladi. U_{st} ishchi kuchlanishi 3, 4 V dan oshmaydi.

Yuqori voltli stabilitronlar keng p - n o'tishga ega bo'lishi kerak, shuning uchun ular kuchsiz legirlangan kremniy asosida yasaladi. Ularda ko'chkisimon teshilish sodir bo'ladi, barqarorlash kuchlanishi esa 7 V dan ortmaydi. U_{st} 3 dan 7 V gacha bo'lgan oraliqda teshilishning ikkala mexanizmi ishlaydi. Sanoatda barqarorlash kuchlanishi 3 dan 400 V gacha bo'lgan stabilitronlar ishlab chiqariladi.

$$r_d = \frac{\Delta U_{st}}{\Delta I_{st}}. \quad (1.31)$$

Stabilitronning elektr teshilish sohasidagi differensial qarshiligi r_d barqarorlash darajasini xarakterlaydi. Bu qarshilik qiymati dioddagi kichik kuchlanish o'zgarishi qiymatining diod toki o'zgarishiga nisbati bilan aniqlanadi (1.16-*a* rasm). r_d qiymati qancha kichik bo'lsa, barqarorlash shuncha yaxshi bo'ladi.

Stabilitronning asosiy parametri bo'lib (barqarorlash) kuchlanishining temperatura koeffitsiyenti (KTK) hisoblanadi. KTK — bu temperatura bir gradusga o'zgarganda barqarorlash kuchlanishining nisbiy o'zgarishi. Ko'chkisimon teshilish



1.16-rasm.

kuzatiladigan kichik voltli stabilitronlar, odatda, musbat KTKga ega.

1.3.2. Varikaplar

Varikap elektr yordamida boshqariladigan sig‘im sifatida qo‘llanishga mo‘ljallangan. Varikapning ishlash prinsipi elektr o‘tish to‘siq sig‘imining teskari kuchlanishga bog‘liqligiga asoslangan.

Varikaplar, asosan, tebranma konturlarning chastotasini elektron qayta sozlashda qo‘llaniladi. Varikaplarning bir necha turi mavjud. Masalan, parametrik diodlar o‘ta yuqori chastota signal-larini kuchaytirish va generatsiyalashda, ko‘paytiruvchi diodlar esa keng chastota diapazoniga ega bo‘lgan ko‘paytirgichlarda qo‘llaniladi.

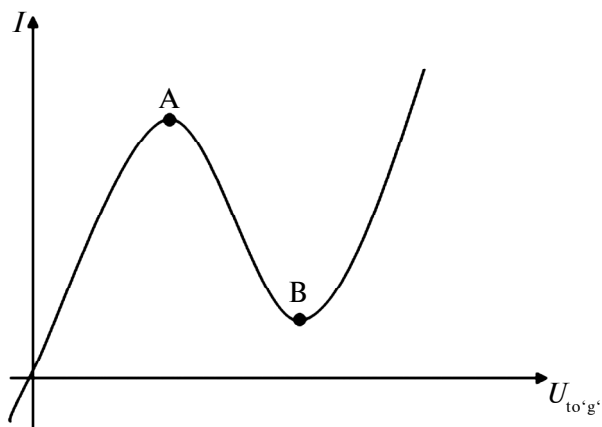
1.3.3. Tunnel diodlari

Tunnel diodi deb qo‘zg‘atilgan yarimo‘tkazgich asosida loyihalangan yarimo‘tkazgichli asbobga aytiladi. Unda teskari va uncha katta bo‘lmagan to‘g‘ri kuchlanishda tunnel effekti yuzaga keladi va volt-ampere xarakteristikasi manfiy differensial qarshilikka ega bo‘lgan soha mavjud bo‘ladi.

Tunnel diodlar boshqa turdagi diodlardan sezilarli farq qilmaydi, lekin ularni yasash uchun 10^{20} sm^{-3} kiritmaga ega bo‘lgan yarimo‘tkazgichli materiallar qo‘llaniladi.

VAX nochiziqli bo‘lsa, uning har bir kichik sohasi to‘g‘ri chiziq deb qaraladi va xarakteristikaning bu nuqtasida $R_i = \frac{dU}{dI}$ differensial qarshilik kiritiladi. Agar xarakteristika kamayuvchi bo‘lsa, bu sohada qarshilik R_i manfiy qiymatga ega bo‘ladi.

Tunnel diodi VAX 1.17-rasmda keltirilgan. *AB* soha manfiy differensial qarshilik bilan xarakterlanadi. Agar tunnel diodi tebranma kontur elektr zanjiriga ulansa, u holda kontur va shu zanjirdagi manfiy qarshilik kattaligi o‘rtasidagi ma‘lum nisbatlarda



1.17-rasm.

tebranishlar kuchayishi yoki generatsiyalanishi mumkin. Tunnel diodlari, asosan, 3—30 GHz diapazonda O'YCH generatorlar qurishda hamda maxsus hisob qurilmalari va mantiqiy o'ta yuqori tezlikda ishlaydigan sxemalarda qo'llaniladi.

1.3.4. Generator diodlar

Generator diodlarining biri bo'lib *ko'chkili uchma diodlar* (KUD) hisoblanadi. Uning VAXsida p - n o'tishdagi ko'chkisimon teshilishda yuqori chastotalarda manfiy qarshilikka ega bo'lgan soha yuzaga keladi. Agar KUD rezonatorga joylashtirilsa, unda chastotasi 100 GHz gacha bo'lgan so'nmaydigan tebranishlar yuzaga keladi. Tebranishlarning chiqish quvvati ($f=1$ GHz bo'lganda) 10 W gacha yetishi mumkin. KUDning FIK 30÷50 % ga yetadi.

Generator diodining yana bir turi bo'lib Gann diodi hisoblanadi, u uzunligi 10^{-2} — 10^{-3} sm dan iborat (p - n o'tishsiz) bo'lgan bir jinsli yarimo'tkazgich plastinka ko'rinishida bo'ladi. Plastinkaning yon qismlariga katod K va anod A deb ataluvchi metall kontaktlar surtiladi. Gann diodlarini yasash uchun n -turdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan intermetall birlashmalar GaAs, InSb, InAs va InP lar qo'llaniladi. Diod tebranma kon-

turga joylashtiriladi. Kontaktlarga oʻzgarmas kuchlanish berilganda Gann diodida kuchlanganligi $3 \cdot 10^3$ V/sm boʻlgan elektr maydon hosil qiladigan, chastotasi 60 GHz boʻlgan elektr tebranishlar yuzaga keladi. Tebranishlar quvvati 10—15 W gacha yetishi mumkin, FIK esa 10÷12 % ga yetadi.

Sanoatda ishlab chiqarilgan diodlar klassifikatsiyasi					
Yuqori va past chastotali diodlar	Vari-kaplar	Oʻta yuqori chastotali diodlar	Foto-diodlar. Foto-elektriklar	Tiristorli diodlar	Tiristorli triodlar
Tunnelli diodlar	Stabilitrnlar	Toʻgʻrila-gichlar bloklari	Nur sochuvchi diodlar	Oʻtkazuvchan diodlar	Tok stabilizatorlari

1.2-jadval

Yarimoʻtkazgichli asboblarning elektr chizmalarda belgilanishi

T/r	Yarimoʻtkazgich nomi	Chizmada belgilanishi
1	Yarimoʻtkazgichli toʻgʻrilagich diodi	
2	Tunnelli diodlar	
3	Teskarilangan diodlar	
4	Bir tomonlama oʻtkazuvchan diodlar (stabilitron)	
5	Ikki tomonlama oʻtkazuvchan diodlar (stabilitron)	

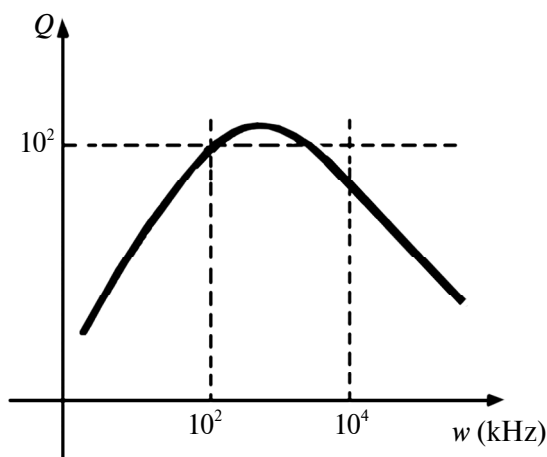
Barcha ishlab chiqarilgan diodlar tashqi harorati 60÷70 °C boʻlganda ham nuqsonsiz va bexato ishlayveradi.

1.3.5. Fotodiodlar

Yarimoʻtkazgichli fotodiodlarning ishlash prinsipi ichki fotoeffekt hodisasiga asoslangan. Fotodiodlar sirtiga yorugʻlik tushgandan keyin ishlaydi. Yarimoʻtkazgichlarga nurlanishning taʼsirini oʻrganish faqat fotoelektrik asboblarni tayyorlashga imkon tugʻdirmasdan, balki yarimoʻtkazgichlarning xossalarini aniqlashda ham alohida oʻrin tutadi. Haqiqatan ham, yarimoʻtkazgichlarning xossalarini xarakterlovchi qator parametrlar: zaryad tashuvchilarning yashash davri, man qilingan zonaning kengligi, kvant chiqarishi kabi fotoelektrik hodisalarni oʻrganish natijasida aniqlanadi.

Hozirgi zamon muammolaridan biri juda katta miqdordagi quyosh radiatsiya energiyasidan samarali foydalanish masalasidir. Quyosh radiatsiyasining qisqa toʻlqinli qismi, asosan, Yer atmosferasida yutilib qoladi. Yer sirtiga uzun toʻlqinli qismi yetib keladi.

Quyosh energiyasidan foydalanishning juda ham koʻp usullari mavjud boʻlib, bulardan eng samaralisi — nurlanish energiyasini boshqa koʻrinishdagi energiyaga aylantirishda foydali



1.18-rasm.

ish koeffitsiyenti eng katta bo'lgan qurilma yarimo'tkazgichli quyosh batareyasi bo'lib hisoblanadi. Ularning tarkibini fotodiodlar, fotoelementlar tashkil etadi.

Fotodiodlar yoki fotoelementlar xususiyatlariga ta'sir qiluvchi parametrlardan biri — man qilingan zonaning kengligi E_d ni bilish kerak. Ana shu zona tushgan quyosh energiyasini elektr energiyaga aylantirib beradi. Ma'lumki, elektron-teshik juftini hosil qilish uchun energiyani E_d ga teng yoki undan ancha katta bo'lgan foton yutilishi kerak, ya'ni quyidagi shartlarga muvofiq:

1-shart: $h\gamma \geq E_d$. Foydalanish mumkin!

2 shart: $h\gamma \leq E_d$. Foydalanib bo'lmaydi!

Fotodiod bunda E_d dan kichik bo'lgan energiyali fotonlar valentlik zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga elektron chiqara olmaydi. Bu 2-shartga qaraganda E_d kichik bo'lgan fotodiodni tanlab olish maqsadga muvofiq emas, chunki E_d kichiklasha borsa, fotonning ortiqcha energiyasi issiqlikka aylanishi natijasida samarasi kamaya boradi.

Fotodiodning qalinligini « d » deb olaylik (1.19-rasm). Yorug'lik ta'sirida elektron-teshik jufti (xususiy yutilish) generatsiyalansa, fotodiodda hosil bo'lgan o'tkazuvchanlikning sirtidagi elektr maydoni uchun ifoda

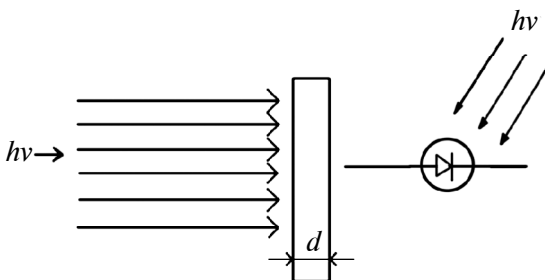
$$E_x = \frac{kT}{e} \cdot \frac{b-1}{(b+1) \cdot n + N_a} \cdot \frac{dn}{dx} \quad (1.32)$$

bo'ladi. Bunda: $b = \frac{U_n}{n_p} \cdot N_a$ – akseptorlar konsentratsiyasi. Biz bu ifodani olishda (1.32) dan va kvazistatsionar sharti

$$P = N_a + n \quad (1.33)$$

dan foydalanamiz.

a) Fotodioddagi akseptorlar konsentratsiyasi juda oz bo'lsin, ya'ni $n \geq N_a$ sharti bajarilsin.



1.19-rasm. Fotodiod sirtida tushgan yorug'lik ta'siri.

Fotodiod sirtida hosil bo'lgan E_x elektr maydoni

$$E_x = \frac{kT}{e} \cdot \frac{b-1}{b+1} \cdot \frac{dl_n \cdot n}{dx}. \quad (1.34)$$

Fotodiodga tushgan yorug'lik energiyasi hv hisobidan paydo bo'lgan EYK E_{fd} quyidagicha ifodalanadi:

$$E_{fd} = \frac{kT}{e} \cdot \frac{b-1}{b+1} \cdot \ln \cdot \frac{n(d)}{n(o)}; \quad (1.35)$$

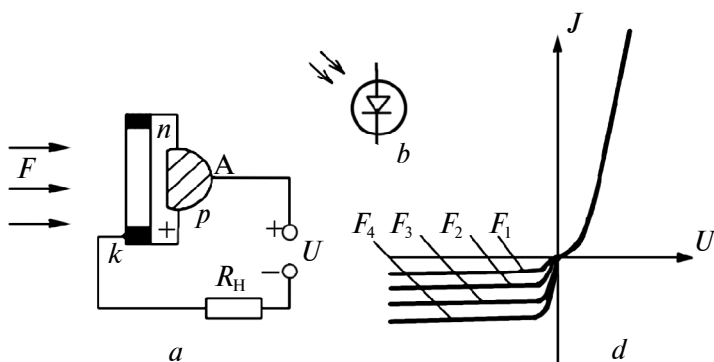
b) Fotodiod sirtida tushayotgan yorug'lik intensivligi katta bo'lmasin, ya'ni $N_a \geq n$ sharti bajarilsin. U holda fotodiod sirtining elektr maydoni

$$E_x = \frac{kT}{e} \cdot \frac{b-1}{N_a} \cdot \frac{dn}{dx} \quad (1.36)$$

ga teng bo'ladi. Fotodiodning hosil qilgan EYK

$$E_{fd} = \frac{kT}{e} \cdot \frac{b-1}{N_a} \cdot [n(d) - n(o)]. \quad (1.37)$$

Biz yuqorida tahlil qilgan fotodiodning ishlash prinsipida elektr maydon va EYK juda kichik bo'lib, yarimo'tkazgichlarning energetik holatidagi man qilingan zona kengligi E_d dan kichikdir. Keyingi yillarda fotodiodlarning yangi turlari juda ko'p kashf qilinmoqda. Ular, asosan, CdTe polikristall plyonkada $E_x = 150$ V atrofida foto EYK olish mumkinligi isbotlandi. Qator



1.20-rasm: a) fotodiod konstruksiyasi; b) shartli belgilanishi; d) volt-amper xarakteristikasi.

o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatadiki, hosil bo'ladigan foto EYK polikristall plyonkani tayyorlashdagi qator omillarga bog'liq bo'lar ekan. Plyonkani vakuumda elektr tokini o'tkazmaydigan taglik ustida moddani bug'latish yo'li bilan changlatib olinadi. Fotodiodlar tayyorlash texnologiyasi juda murakkab bo'lganligi uchun ham, uni ham rivojlantirishning ahamiyati beqiyosdir.

Nazorat savollari

1. Yarimo'tkazgich diod deb nimaga aytiladi?
2. Siz diodning qanday turlarini bilasiz? Ularning shartli belgilarini keltiring.
3. Yarimo'tkazgich diodlarning asosiy parametrlari.
4. Stabiltron sxemalarda qanday maqsadda ishlatiladi?
5. Stabiltronning asosiy parametrlari.
6. Stabiltronning barqarorlash kuchlanishining temperatura koefitsiyenti deganda nimani tushunasiz?
7. Varikap deb nimaga aytiladi?
8. Varikapning ishlash prinsipi qanday hodisaga asoslangan?
9. Tunnel diodi deb nimaga aytiladi?
10. Gann diodi qanday diod turiga kiradi?
11. Yarimo'tkazgichli fotodiodlarga ta'rif bering.
12. Fotodiodlar yoki fotoelementlar xususiyatlariga ta'sir qiluvchi asosiy parametrlar.

1.4. Bipolar tranzistorlar

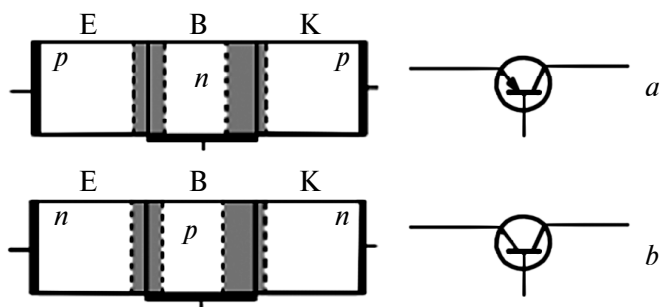
Bipolar tranzistor deb oʻzaro taʼsirlashuvchi ikkita p - n oʻtish va uchta elektrod (tashqi chiqishlar)ga ega boʻlgan yarimoʻtkazgich asbobja aytiladi. Tranzistordan tok oqib oʻtishi ikki turdagi zaryad tashuvchilar elektron va kovaklarning harakatiga asoslangan.

Bipolar tranzistor p - n - p va n - p - n oʻtkazuvchanlikka ega boʻlgan uchta yarimoʻtkazgichdan tashkil topgan (1.21-*a* va *b* rasmlar). Endilikda keng tarqalgan n - p - n tuzilmali bipolar tranzistorni koʻrib chiqamiz.

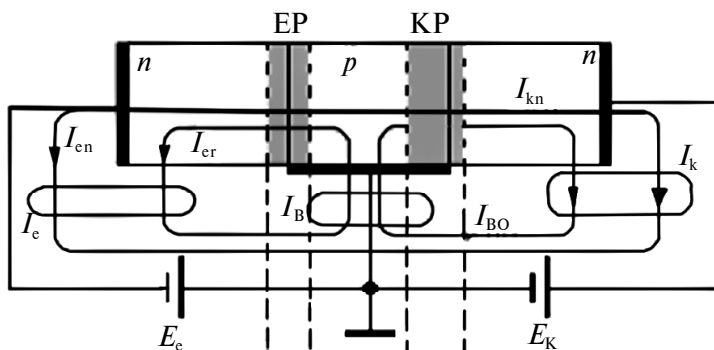
Tranzistorning kuchli legirlangan chekka sohasi (n +soha) *emitter* deb ataladi va u zaryad tashuvchilarni *baza* deb ataluvchi oʻrta sohaga (p -soha) injeksiyalaydi. Keyingi chekka soha (n -soha) *kollektor* deb ataladi. U emitterga nisbatan kuchsizroq legirlangan boʻlib, zaryad tashuvchilarni baza sohasidan ekstraktsiyalash uchun xizmat qiladi (1.22-rasm). Emitter va baza oraligʻidagi oʻtish *emitter oʻtish*, kollektor va baza oraligʻidagi oʻtish esa *kollektor oʻtish* deb ataladi.

Tashqi kuchlanish manbalari (U_{eb} , U_{kb}) yordamida emitter oʻtish toʻgʻri yoʻnalishda, kollektor oʻtish esa teskari yoʻnalishda siljiydi. Bu holda tranzistor aktiv yoki normal rejimda ishlaydi va uning kuchaytirish xossalari namoyon boʻladi.

Agar emitter oʻtish teskari yoʻnalishda, kollektor oʻtish esa toʻgʻri yoʻnalishda siljigan boʻlsa, u holda bu tranzistor *invers*



1.21-rasm.



1.22-rasm.

yoki *teskari ulangan* deb ataladi. Tranzistor raqamli sxemalarda qo'llanilganda u to'yinish rejimida (ikkala o'tish ham to'g'ri yo'nalishda siljigan) yoki berk rejimda (ikkala o'tish teskari siljigan) ishlashi mumkin.

BTning asosiy parametrlari:

Kirish qarshiligi: $R_{kir} = \frac{\Delta u_{kir}}{\Delta i_{kir}} [\Omega];$

Chiqish qarshiligi: $R_{chiq} = \frac{\Delta u_{chiq}}{\Delta i_{chiq}} [\Omega];$

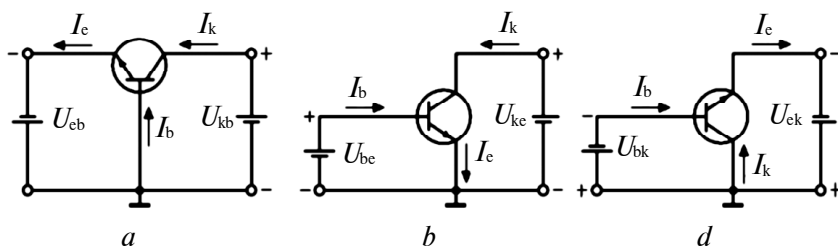
Tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti: $K_I = \frac{\Delta i_{chiq}}{\Delta i_{kir}};$

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti: $K_U = \frac{\Delta u_{chiq}}{\Delta u_{kir}};$

Quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti: $K_p = K_I \cdot K_U.$

1.4.1. Bipolar tranzistorlarning ulanish sxemalari va fizik parametrlari

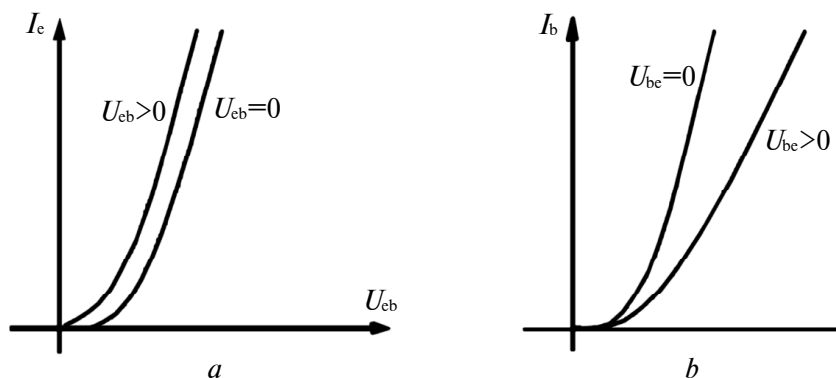
BTda elektrodlar uchta bo'lgani sababli, uch xil ulanish sxemalari mavjud: umumiy baza (UB); umumiy emitter (UE); umumiy kollektor (UK). Bunda BT elektrodlaridan biri sxema-



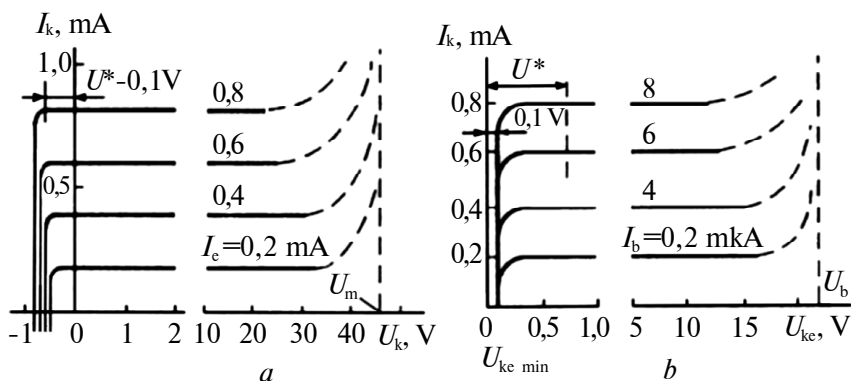
1.23-rasm. BTning statik rejimida UB (a), UE (b) va UK (d) ulanish sxemalari.

ning kirish va chiqish zanjirlari uchun umumiy, uning oʻzgaruvchan tok (signal) boʻyicha potentsiali esa nolga teng qilib olinadi. BTning 1.23-rasmida keltirilgan ulanish sxemalari faol rejimga mos.

UB sxemasi uchun kirish statik xarakteristikasi boʻlib $U_{kb}=\text{const}$ boʻlgandagi $I_e=f(U_{eb})$ bogʻliqlik, U_e sxemasi uchun esa $U_{ke}=\text{const}$ boʻlgandagi $I_b=f(U_{be})$ bogʻliqlik hisoblanadi. Kirish xarakteristikalarining umumiy xarakteri, odatda, toʻgʻri yoʻnalishda ulangan $p-n$ bilan aniqlanadi. Shu sababli tashqi koʻrinishiga koʻra kirish xarakteristikalari eksponensial xarakterga ega (1.24-rasm).



1.24-rasm.



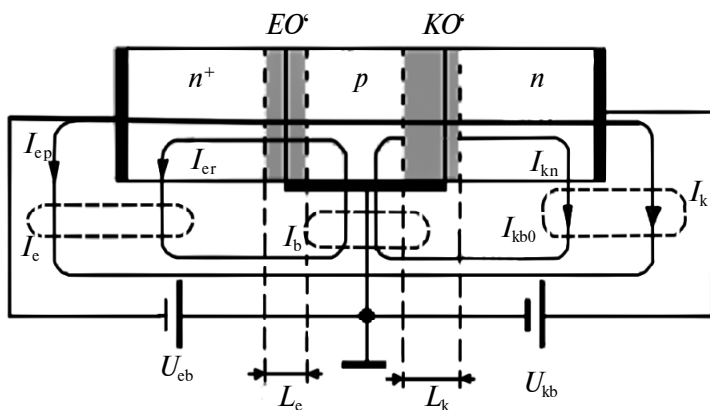
1.25-rasm.

Kollektor o'tishdagi teskari kuchlanishning ortishi bilan UB sxemadagi kirish xarakteristika chapga, UE sxemada esa o'ngga siljiydi. UB sxemadagi tranzistorning *chiqish xarakteristikalari oilasi* bo'lib $I_c = \text{const}$ bo'lgandagi $I_k = f(U_{kb})$ bog'liqlik, UE sxemada esa $I_b = \text{const}$ bo'lgandagi $I_k = f(U_{ke})$ bog'liqlik hisoblanadi. Chiqish xarakteristikalari ko'rinishiga ko'ra teskari ulangan diod VAXsiga o'xshaydi, chunki kollektor o'tish teskari ulangan. Xarakteristikalarni qurishda kollektor o'tishning teskari kuchlanishini o'ngda o'rnatish qabul qilingan (1.25-rasm).

UE sxemasida ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikasi UB sxemada ulangan tranzistorning chiqish xarakteristikasiga nisbatan katta qiyalikka ega.

UB sxemada ulangan, eritib tayyorlangan *n-p-n* BTning aktiv rejimda ishlashini ko'rib chiqamiz (1.26-rasm). BTning ishlashi uch hodisa hisobiga amalga oshadi:

- emitterdan asosiy zaryad tashuvchilarning bazaga injeksiyalanishi;
- bazaga injeksiyalangan EZTlarning diffuziya va dreyf hisobiga KO'gacha yetib kelishi;
- bazaga injeksiyalangan va KO'gacha yetib kelgan noasosiy zaryad tashuvchilarning ekstraksiyalanishi. EO' to'g'ri siljtilganda (U_{cb} ta'minot manbasi hisobiga amalga oshiriladi) uning potensial baryeri pasayadi va elektronlar emitterdan bazaga injek-



1.26-rasm. Aktiv rejim uchun kuchlanish manbalari qutblari va elektrodlar toklari yo‘nalishlari.

siyalanadi. Elektronlarning emitterdan bazaga hamda kovaklarning bazadan emitterga injeksiyalanishi hisobiga emitter toki I_e hosil bo‘ladi:

$$I_e = I_{ep} + I_{er}, \quad (1.38)$$

bu yerda I_{ep} , I_{er} — mos ravishda elektronlar va kovaklar injeksiya toklari.

Emitter tokining I_{er} tashkil etuvchisi kollektor orqali oqmaydi va shuning uchun foydasiz tok hisoblanadi. I_{er} qiymatini kamaytirish uchun bazadagi akseptor kiritmalar konsentratsiyasi qiymati emitterdagi donor kiritmalar konsentratsiyasiga nisbatan ikki tartib kichik qilib olinadi. Emitter tokida elektronlarning injeksiya toki I_{ep} ulushini *injeksiya koeffitsiyenti* deb ataluvchi kattalik ifodalaydi. U emitter ishlash samaradorligini

belgilab, emitter tokidagi foydali tok ulushini ko‘rsatadi: $\gamma = \frac{I_{ep}}{I_e}$.

Odatda, $\gamma = 0,990 \div 0,995$ bo‘ladi. Bazaga injeksiyalangan elektronlar bazada kollektor tomonga diffuziyalanib, KO‘gacha yetib boradi. So‘ngra kollektorga ekstraksiyalanadi (KO‘ning elektr maydoni ta’sirida kollektorga tortib olinadi) va kollektor toki

I_{kp} ni hosil qiladi. Kollektorga o'tish davomida injeksiyalangan elektronlarning bir qismi baza sohadagi kovaklar bilan uchra-shib, rekombinatsiyalanadi va ularning konsentratsiyasi kamayadi. Yetishmovchi kovaklar tashqi zanjir orqali kirib (elektr neytrallik sharti bajarilishi uchun), baza tokining rekombinatsion tashkil etuvchisi I_{BREK} ni hosil qiladi. I_{BREK} qiymati katta bo'lgani uchun uni kamaytirishga harakat qilinadi. Bunga baza kengligini kamaytirish bilan erishiladi.

Emitterdan injeksiyalangan elektronlar tokining baza sohasida rekombinatsiya hisobiga kamayishi *elektronlarni tashish koeffitsiyenti* deb ataluvchi kattalik bilan ifodalanadi:

$$\alpha_T = \frac{I_{kp}}{I_{ep}}. \quad (1.39)$$

Real tranzistorlarda $\alpha_T = 0,980 \div 0,995$.

Aktiv rejimda tranzistorning KO' teskari yo'nalishda siljitilgan (UKB bilan amalga oshiriladi)ligi sababli, kollektor zanjirida xususiy tok I_{K0} oqadi. U ikki xil noasosiy zaryad tashuvchilarning dreyf toklaridan tashkil topgan. Natijada *p-n* o'tishning teskari toki amalda teskari kuchlanishga bog'liq bo'lmaydi va xona temperaturasida kremniyli o'tishlarda $I_{K0} = 10 \div 15$ A ni tashkil etadi. Shunday qilib, emitter toki boshqaruvchi, kollektor toki esa boshqariluvchidir. Shuning uchun *BT tok bilan boshqariluvchi asbob* deyiladi.

1.4.2. Tiristorlarning turlari va asosiy texnik parametrlari

Tiristor deb to'rt qatlamli yarimo'tkazgichli asbobga aytiladi. Ularda *p* va *n* qatlamlar navbatma-navbat yopishtirilgan. Ular ikkita turg'un holatda ishlaydi: yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan holatda (tiristor ochiq) va past o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan holatda (tiristor yopiq) ishlaydi. Tiristorning yopiq holatdan ochiq holatga o'tishi uchun qo'shimcha tashqaridan energiya berish kerak. Bunday energiyalarga elektr energiyasi (kuchlanish yoki tok) va yorug'lik energiyasi kiradi.

Asosiy turlari:

Diodli tiristor;

Triodli tiristor.

Triodli tiristorlarda boshqarish uni boshqaruvchi uchinchi elektrodi orqali amalga oshiriladi. Bu elektrodlar bitta yoki ikkita operatsiyani bajaruvchi qilib tayyorlanadi. Bitta operatsiyali tiristorlarda tiristorni ochiq holga keltirish uchun tiristor katodiga nisbatan musbat impuls beriladi. I_v ikki operatsiyali tiristorda tiristorni ochish uchun katodiga nisbatan musbat impuls — I_v , yopish uchun manfiy impuls I_v beriladi. Ikki tarafga elektr tokini o'tkazuvchi asbob *simmetriya tiristor* (*simistor*) deyiladi. Simistor ikkita tiristorning vazifasini bajaradi.

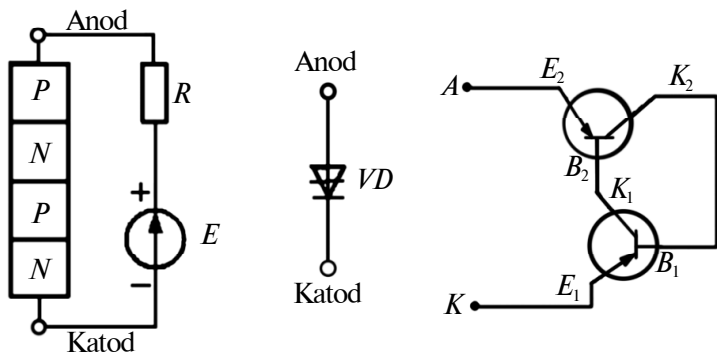
Diod-tiristor. Uning ishlash prinsipini tushuntirish uchun tiristorni ikkita *p-r-p* tipli tranzistorlarga ekvivalent deb qaraladi. Bu paytda tiristordan o'tuvchi umumiy tok uchta tashkil etuvchidan iborat bo'ladi:

$$I = I_{\alpha_1} + I_{\alpha_2} + I_{\text{yopiq}}, \quad (1.40)$$

$$\text{bundan } I = \frac{I_{\text{yopiq}}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}, \quad (1.41)$$

bu yerda: I_{yopiq} — tiristor yopiq bo'lganda o'tadigan tok; α_1 va α_2 — mos ravishda tranzistorlarning tok uzatish koeffitsiyentlari.

Agar $\alpha_1 + \alpha_2$ qiymat birga nisbatan kichik bo'lsa, umumiy tok I_{yopiq} ga yaqin bo'ladi. Asbobni ochiq holatga o'tkazish uchun

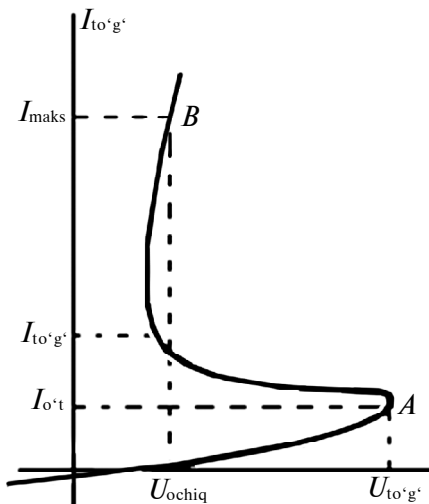


1.27-rasm. Diod-tiristorning ulanish sxemasi.

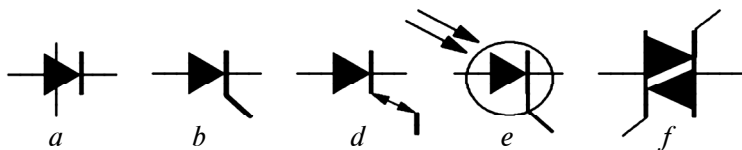
$\alpha_1 + \alpha_2$ qiymat 1 ga intilishi kerak. Bunday holda tiristor orqali o'tuvchi tok keskin ortadi.

Tranzistorning ishlash prinsipiga ko'ra, α ning qiymati emitter tokiga bog'liq. Emitter toki ortishi bilan α ham kichik qiymatga ega bo'ladi. Emitter toki ortishi bilan α ham keskin ortadi. A va K nuqtalar orasidagi kuchlanishni orttirib borilsa, tiristor orqali o'tuvchi tok dastlab sezilarli darajada o'zgarmaydi. Kuchlanish ortib ma'lum qiymatga yetganda P2 o'tishda zaryadlarning ko'chkisimon ko'payishi ro'y berib, α_1 va α_2 qiymati keskin ortadi. Natijada asbob ochiq holatga o'tadi. Bu holatga o'tishi uchun kerak bo'ladigan kuchlanish qiymati $U_{ko'ch}$ — ko'chkisimon ko'payish kuchlanishi deb yuritiladi. Agar tiristor-dan o'tuvchi tok shartni $\alpha_1 + \alpha_2 \approx 1$ qanoatlantirsa, tiristor ochiq holatda qoladi. Bu tok *tutib turuvchi tok* I_{tut} deb ataladi. Tiristor-ning volt-ampere xarakteristikasi 1.28-rasmda keltirilgan.

Xarakteristikaning OA qismi tiristorning yopiq (uzilgan) holatini ifodalaydi. Bunda tiristorning qarshiligi katta bo'ladi (bir necha megaom). Kuchlanish yorib o'tish qiymatiga yetganda (A nuqta) tiristordan o'tuvchi tok keskin ko'payadi. A nuqtada



1.28-rasm. Tiristorning volt-ampere xarakteristikasi.



1.29-rasm: a) dinistor; b) bir operatsiyali tiristor;
d) ikki operatsiyali tiristor; e) fototiristor; f) simistor.

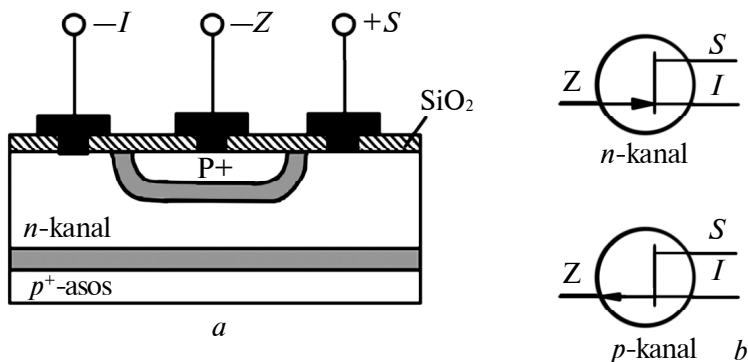
tiristorning differensial qarshiligi nolga yaqin bo‘ladi. AB qismida esa differensial qarshilik manfiy qiymatga ega bo‘ladi. Kuchlanishning bundan keyingi ortishi tokning ortishiga olib keladi. Kuchlanishni kamaytirib, tiristordan o‘tuvchi tokni I_{tut} dan kichik qiymatga tushirilsa, tiristor yopiq holatga o‘tadi.

Faqat ikki, chetki qismlardan ulanish uchlari chiqarilgan tiristor *diodli tiristor* (*dinistor*) deb ataladi. O‘rta sohalarining biridan ulanish uchi chiqarilgan tiristor *trioldli tiristor* yoki *trinistor* deb ataladi. Bu uchta qo‘shimcha manbadan anodga yoki katodga nisbatan to‘g‘ri r - p o‘tish hosil bo‘ladigan kuchlanish berilsa, α_1 yoki α_2 ning keskin ortishiga olib keladi. Bipolar tranzistordagi kabi α_1 yoki α_2 ni orttirish uchun boshqaruvchi kuchlanishning katta qiymatiga ega bo‘lishi shart emas.

1.4.3. Maydoniy (unipolar) tranzistorlar

Elektrod toklari asosiy zaryad tashuvchilarning kristall hajmidagi elektr maydon ta’sirida dreyf harakatlanishiga asoslangan uch elektrodli, kuchlanish bilan boshqariladigan yarimo‘tkazgich asbob *maydoniy tranzistor* (MT) deyiladi. MTlarda tok hosil bo‘lishida faqat bir turli asosiy zaryad tashuvchilar (elektronlar yoki kovaklar) qatnashgani sababli ular ba’zan *unipolar tranzistorlar* deb ataladi. MTlarda BTlardagi kabi tezkorlikka ta’sir etuvchi injeksiya va ekstraktsiya natijasida noasosiy zaryad tashuvchilarning to‘planish jarayonlari mavjud emas.

p - n o‘tish bilan boshqariluvchi n -kanalli MT tuzilmasining ko‘ndalang kesimi va uning shartli belgilanishi 1.30-rasmda keltirilgan.



1.30-rasm. *n*-kanalli MT tuzilmasining ko'ndalang kesimi (a) va uning shartli belgilanishi (b).

n-turdagi soha *kanal* deb ataladi. Kanalg a zaryad tashuvchilar kiritiladigan kontakt *istok* (*I*); zaryad tashuvchilar chiqib ketadigan kontakt *stok* (*S*) deb ataladi. *Zatvor* (*Z*) boshqaruvchi elektrod hisoblanadi. *Zatvor* va *istok* oralig'iga kuchlanish berilganda yuzaga keladigan elektr maydoni kanal o'tkazuvchanligini, natijada kanaldan oqib o'tayotgan tokni o'zgartiradi. *Zatvor* sifatida kanalg a nisbatan o'tkazuvchanligi teskari turdag i soha qo'llaniladi. Ishchi rejimda u teskari ulangan bo'lib, kanal bilan *p-n* o'tish hosil qiladi.

Kanalning ko'ndalang kesimi nolga teng bo'ladigan vaqtdag i zatvor kuchlanishi *berkilish kuchlanishi* $U_{ZL.BERK}$ deb ataladi va bu vaqtda tranzistor istoki stokdan uzilib qoladi, ya'ni berk rejimda ishlaydi.

$|U_{ZI}| + U_{SI.TO'Y}$ kuchlanish berkilish kuchlanishi $U_{ZL.BERK}$ ga teng bo'ladigan vaqtdag i stok kuchlanishi to'yinish kuchlanishi $U_{SI.TO'Y}$ deb ataladi. Bu yerdan $U_{IS.TO'Y} = |U_{ZL.BERK}| - |U_{ZI}|$.

$U_{IS} \leq U_{SI.TO'Y}$ vaqtdag i tranzistorning ishchi rejimi *tekis o'zgarish rejimi*, $U_{IS} \geq U_{ST.TO'Y}$ vaqtdag i tranzistorning ishchi rejimi esa *to'yinish rejimi* deb ataladi. To'yinish rejimida U_{SI} kuchlanish qiymatining ortishiga qaramay, I_s tokining ortishi

deyarli to'xtaydi. Bu holat bir vaqtning o'zida zatvordagi U_{ZI} kuchlanishining ham ortishi bilan tushuntiriladi. Bu vaqtda kanal torayadi va I_S tokining kamayishiga olib keladi. Natijada I_S dreyfi o'zgarmaydi.

MTning asosiy parametrlari:

Xarakteristika tikligi $U_{SI} = \text{const}$ bo'lgandagi $S = \frac{\partial I_S}{\partial U_{ZI}}$;

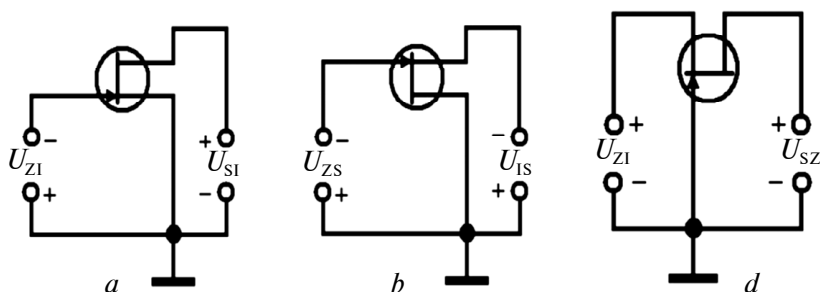
Ishki (differensial) qarshilik $U_{ZI} = \text{const}$ bo'lgandagi $R_i = \frac{\partial U_{SI}}{\partial I_S}$;

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti

$I_S = \text{const}$ bo'lgandagi $\mu = \frac{\partial U_{SI}}{\partial U_{ZI}}$.

Kichik signal parametrlari o'zaro ushbu ifoda bilan bog'langan: $\mu = SR_i$.

MTda elektrodlar uchta bo'lgani sababli, uch xil ulanish sxemalari mavjud: *umumiy istok* (UI), *umumiy stok* (US) va *umumiy zatvor* (UZ) (1.31-rasm). Bunda MT elektrodlaridan biri sxemaning kirish va chiqish zanjirlari uchun umumiy, uning o'zgaruvchan tok (signal) bo'yicha potentsiali esa nolga teng qilib olinadi. Asosiy ulanish sxemasi bo'lib UI ulanish xizmat qiladi.



1.31-rasm. MTlarning ulanish sxemalari:

UI (a), US (b) va UZ (d).

1.4.4. Zatvori izolatsiyalangan maydoniy tranzistorlar (metall-dielektrik-yarimo‘tkazgich (MDY) strukturali)

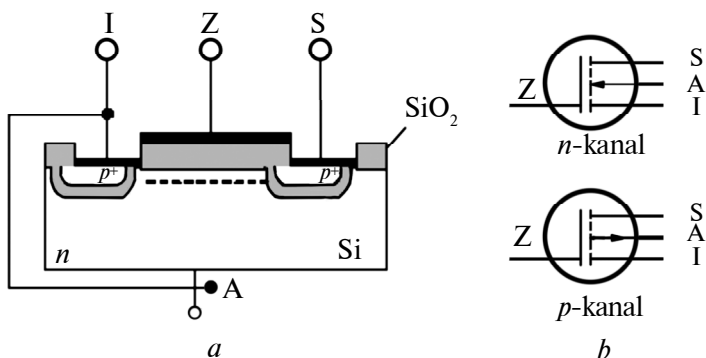
p - n o‘tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlardan farqli ravishda MDY-tranzistorlarda metall zatvor kanal hosil qiluvchi doim o‘tkazgichli sohadan dielektrik qatlami yordamida izolatsiyalangan. Shu sababli MDY-tranzistorlar zatvori izolatsiyalangan maydoniy tranzistorlar turiga kiradi. Dielektrik qatlami SiO_2 dielektrik oksidi bo‘lganligi sababli, bu tranzistorlar MOY-tranzistorlar (metall-oksid yarimo‘tkazgichli tuzilma) deb ham ataladi.

MDY-tranzistorlarning ishlash prinsipi ko‘ndalang elektr maydoni ta’sirida dielektrik bilan chegaralangan yarimo‘tkazgichning yuqori qatlamida o‘tkazuvchanlikni o‘zgartirish effektiga asoslangan. Yarimo‘tkazgichning yuqori qatlami tranzistorning tok o‘tkazuvchi kanali vazifasini bajaradi.

p -kanali induksiyalangan MDY-tranzistor tuzilmasi 1.32-*a* rasmda va uning shartli belgisi 1.32-*b* rasmda keltirilgan.

Tranzistor quyidagi chiqishlarga ega: istokdan chiqish I, stokdan chiqish S, zatvordan chiqish Z va asos deb ataluvchi A kristalldan chiqish.

Stok va istoklarning p^+ -sohalari n -turdagi yarimo‘tkazgich bilan ikkita p - n o‘tish hosil qilganligi sababli, U_{si} kuchlanishining



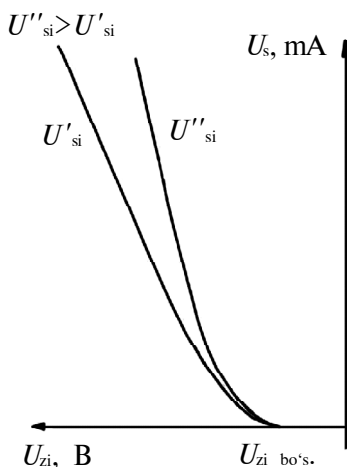
1.32-rasm.

biror qutblanishida bu o'tishlardan biri teskari yo'nalishda ulanadi va stok toki I_s deyarli nolga teng bo'ladi.

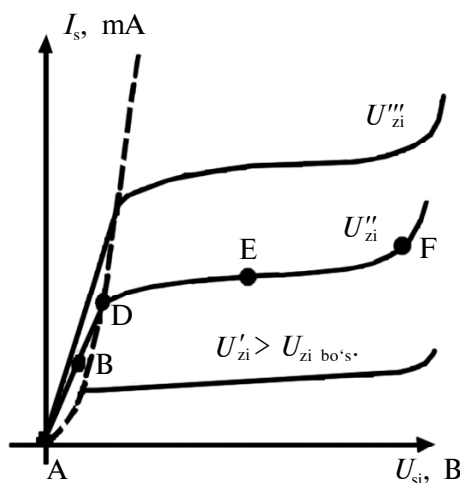
Tranzistorda tok o'tkazuvchi kanal hosil qilish uchun zatvorga teskari qutblikdagi kuchlanish beriladi. Zatvor elektr maydoni SiO_2 dielektrik qatlami orqali yarimo'tkazgichning yuqori qatlamiga kiradi, undagi asosiy zaryad tashuvchilar (elektronlar)ni itarib chiqaradi va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar (kovaklar)ni o'ziga tortadi. Natijada yuqori qatlam elektronlari kambag'allashib, kovaklar bilan esa boyib boradi. Zatvor kuchlanishi *bo'sag'aviy* deb ataluvchi ma'lum qiymati U_0 ga yetganda, yuqori qatlamda elektr o'tkazuvchanlik kovak o'tkazuvchanlik bilan almashadi hamda istok va stokni bir-biri bilan bog'lovchi p -turdagi kanal shakllanadi.

$U_{iz} > U_0$ bo'lganda yuqori qatlam kovaklar bilan boyib boradi, bu esa kanal qarshiligi kamayishiga olib keladi. Bu vaqtda stok toki I_s ortadi. 1.33-rasmda p -kanali induktsiyalangan MDY-tranzistorning stok zatvor VAX keltirilgan.

1.34-rasmda n -kanali induktsiyalangan MDY-tranzistorning chiqish (stok) xarakteristikalar oilasi keltirilgan. Zatvorga ma'lum kuchlanish berilganda $|I_{si}|$ ning ortib borishiga ko'ra stok toki nol



1.33-rasm.



1.34-rasm.

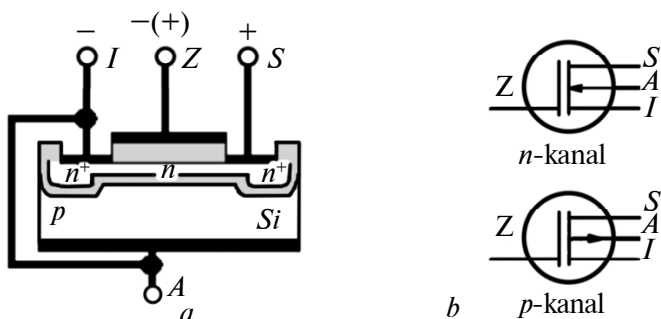
qiymatdan avvaliga chiziqli ko'rinishda ortib boradi (VAXning tikka qismi), keyinchalik esa ortish tezligi kamayadi va yetarlicha katta $|I_{si}|$ qiymatlarida tok o'zgarmas qiymatga intiladi. Tok ortishining to'xtashi stok yaqinidagi kanalning berkilishi bilan bog'liq.

1.4.5. Kanali qurilgan MDY-tranzistorlar

n -kanali qurilgan MDY-tranzistor tuzilmasi 1.35-*a* rasmda va shartli grafik tasvirlanishi 1.35-*b* rasmda keltirilgan.

Bunday tranzistorlarda istok va stok orasida joylashgan tok o'tkazuvchi kanal tranzistorni tayyorlash jarayonida hosil qilinadi. Shuning uchun bunday tranzistor kanali qurilgan MT deb ataladi. Kanal ion legirlash usuli bilan yarimo'tkazgich sirtiga yaqin sohalarda yupqa qatlam hosil qilish bilan amalga oshiriladi. Kanali qurilgan MDY-tranzistorlar istokka nisbatan zatlarga ikki xil ishorali kuchlanishlar berilganda ham ishlay oladi.

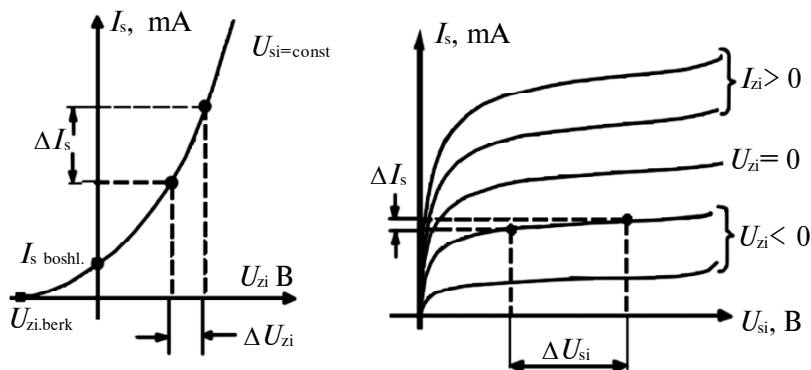
Agar $U_{zi} = 0$ bo'lganda tranzistorga U_{si} kuchlanish berilsa, kanal orqali elektronlar toki oqadi. Bu tok stoking boshlang'ich toki $I_{s,boshl}$ deb ataladi. Zatlarga istokka nisbatan manfiy



1.35-rasm. n-kanali qurilgan MDY-tranzistor tuzilmasi (a) va uning shartli belgilanishi (b).

kuchlanish berilganda kanalda tok yoʻnalishiga koʻndalang elektr maydon hosil boʻladi. Bu maydon taʼsirida elektronlar kanaldan surib chiqariladi. Kanalda elektronlar soni kamayadi (kanal kambagʻallashadi), uning qarshiligi ortadi va stok toki qiymati kamayadi. Zatvordagi manfiy kuchlanish qiymati ortgan sari, tok qiymati kamayaveradi. Tranzistorning bu rejimi *kambagʻallashgan rejim* deb ataladi. Zatvorga berilgan manfiy kuchlanishning maʼlum qiymatida stok toki nolgacha kamayadi (berk rejim), ushbu kuchlanish *berkitish kuchlanishi* $U_{zi.berk}$ deb ataladi.

Agar zatvorga musbat kuchlanish berilsa, ushbu kuchlanish hosil qilgan maydon taʼsirida istok, stok hamda kristall asosdan



1.36-rasm. n-kanali qurilgan MDY-tranzistor VAXlari.

elektronlar kanalga kela boshlaydi, kanal o'tkazuvchanligi va stok toki qiymati ortadi. Ushbu rejim kanali *boyitilgan rejim* deb ataladi.

MDY-tranzistorlarning asosiy parametrlari:

Xarakteristika tikligi $U_{si} = \text{const}$ bo'lgandagi $S = \frac{\partial I_s}{\partial U_{zi}};$

Ichki (differensial) qarshilik $U_{zi} = \text{const}$ bo'lgandagi $R_i = \frac{\partial U_{si}}{\partial I_s};$

Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti

$I_s = \text{const}$ bo'lgandagi $\mu = \frac{\partial U_{si}}{\partial U_{zi}}.$

Nazorat savollari

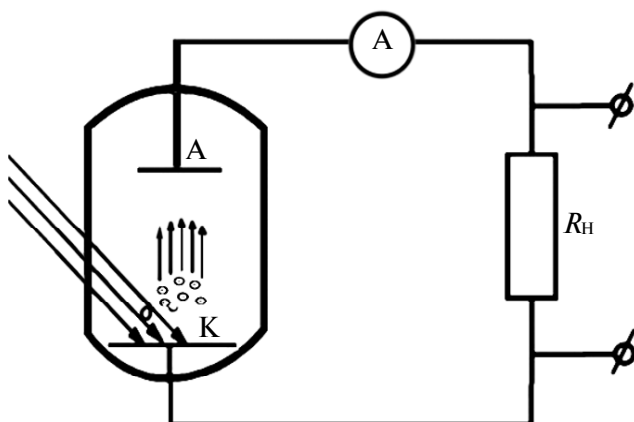
1. Bipolar tranzistor (BT) nima?
2. Bipolar tranzistorning ishlash prinsipi nimaga asoslangan?
3. Bipolar tranzistorlarda kollektor, emitter va bazalarning vazifasi nimadan iborat?
4. $n-p-n$ va $p-n-p$ tuzilmali BTlarning ishlash prinsipida farq bormi?
5. Bipolar tranzistorning qanday ulanish sxemalarini bilasiz?
6. BTning asosiy ish rejimlarini aytib bering.
7. Turli ulanish sxemalaridagi BT statik xarakteristikalaridan aktiv va to'yinish rejimi sohalari aniqlang.
8. Tranzistorning tok bo'yicha uzatish ko'effitsiyenti nima? UB va UE ulanish sxemalaridagi tok bo'yicha uzatish ko'effitsiyenti kattaliklarini solishtiring.
9. Tiristorning tuzilish va ishlash prinsipini tushuntirib bering
10. Tiristor qaysi sohalarida qo'llaniladi?
11. Maydoniy tranzistor nima va nima sababli ular unipolar tranzistorlar deb ataladi?
12. Maydoniy tranzistorlar sinflanishini keltiring.
13. Maydoniy tranzistor kanali, zatvor, stok, istok va asoslari nima?
14. $p-n$ o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorning ishlash prinsipi nimadan iborat?

15. Asosga nisbatan zatvor va istok oralig'idagi kuchlanish o'zgarishida kanal geometriyasi qanday o'zgaradi?
16. Zatvor va istok oralig'idagi kuchlanish maydoniy tranzistor stok toki qiymatiga qanday ta'sir ko'rsatadi?
17. Maydoniy tranzistorlarning asosiy ulanish sxemalarini aytib bering.
18. Maydoniy tranzistor qanday rejimlarda ishlashi mumkin?
19. Maydoniy tranzistorning asosiy xarakteristikalarini aytib bering.

1.5. Fotoeffekt hodisasi. Fotoelement va uning qo'llanilishi

Yorug'lik ta'sirida moddadan elektronlar ajralib chiqishi *fotoeffekt* deb ataladi. Fotoeffekt hodisasi Gers tomonidan kashf etilgan. Biroq uning hodisalarini har tomonlama chuqur o'rgangan va qator qonuniyatlarini ochgan olim rus fizigi A.G. Stoletovdir.

A.G. Stoletov tajribasida to'rsimon metall A anod va K metall katod (fotokatod) olinib, shu to'r orqali fotokatodga yorug'lik tushirilganda zanjirda elektr toki kuzatilgan:



1.37-rasm.

Agar yorug‘likning berilgan intensivligida elektronlar orasida kuchlanish o‘rttira borilsa, tok ham orta boradi. O‘tkazilgan tajribada kuchlanishning ma‘lum bir qiymatiga borib tokning ortishi to‘xtagan. Bu tok *to‘yinish toki* deyiladi. Tajribalar natijasida quyidagi qonuniyatlar o‘rnatilgan:

1. Monoxromatik yorug‘lik ta‘sirida yuzaga kelgan to‘yinish tokining kuchi fotokatodga tushayotgan yorug‘likning intensivligiga to‘g‘ri proporsional.

2. Fotoelektronlarning tezligi fotokatodga tushayotgan yorug‘lik chastotasi ortishi bilan ortadi va yorug‘likning intensivligiga bog‘liq emas.

3. Har bir modda uchun mutlaqo aniq chegaraviy to‘lqin uzunligi borki, fotoeffekt faqat undan qisqa to‘lqin uzunliklaridagina kuzatiladi. Bu chegaraviy to‘lqin uzunligi *fotoeffektning qizil chegarasi* deyiladi.

4. Fotoeffekt yorug‘lik tushgan ondayoq yuzaga keladi, ya‘ni u inersiyasiz hodisadir.

Eynshteyn fotoeffekt hodisasida elektromagnit to‘lqinlarining uzlukli porsiyasidan iborat, degan g‘oyaning, ya‘ni yorug‘likning kvant nazariyasining isbotini ko‘rdi. Yorug‘likning kvant nazariyasiga binoan:

$$E = h\nu \quad (1.42)$$

bo‘ladi, bunda Plank doimiysi, $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Js.

Bu tasavvurlarga asoslanib, Eynshteyn fotoeffekt hodisasiga taalluqli quyidagi saqlanish qonunini topdi:

$$h\nu = A + \frac{m\vartheta^2}{2}, \quad (1.43)$$

bu yerda: A — elektronning metallan chiqish ishi; m — elektron massasi; ϑ — elektronlar tezligi. Ya‘ni fotokatodga tushgan yorug‘lik kvanti energiyasi elektronlarni metallan chiqarish ishini bajarish va fotoelektronlarga tezlik berish uchun sarflanadi.

Fotoeffekt hodisasi asosida yorug‘lik energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beruvchi moslamalar *fotoelementlar* deyiladi. Fotoelement ichida vakuum hosil qilingan va ichki devorining bir qismiga metall (ko‘pincha seziy, kadmiy yoki ba’zi qotishmalar) qatlami, ya’ni fotokatodga qoplangan shisha ballondan iborat. Anod vazifasini shisha ichiga o‘rnatilgan metall sirtmoq yoki to‘r bajaradi.

Fotoelement hozirgi zamon texnikasida juda keng qo‘llaniladi. Bulardan eng xarakterlilari: kinofilmlarni ovozli qilish, harakatlanayotgan tasvirni uzatish, odamning ishtirokisiz berilgan chizma asosida detallar tayyorlaydigan stanoklar yaratish, fotorelelar va h.k.

Fotoelementlarning quyidagi turlari mavjud: *tashqi fotoeffektli fotoelement*, *ichki fotoeffektli fotoelement* va *berkituvchi qatlamli-ventilli fotoelementlar*.

Tashqi fotoeffekt asosida yaratilgan qurilmalar turli sohalarda keng qo‘llaniladi. Fotoeffektning yorug‘lik ta’sirida paydo bo‘lishi bilanoq darhol vujudga kelish xususiyatidan turli qurilmalar ishini avtomatik boshqarishda foydalaniladi. Bunda ishlatiladigan asboblarni *fotorele* deyiladi.

Ichki fotoeffekt hodisasidan, ya’ni yorug‘lik ta’sirida yarimo‘tkazgichning ichida elektronlarning qayta taqsimlanishi va buning natijasida o‘tkazgich qarshiligining o‘zgarishidan tovushli kino, televideniya foydalaniladi.

1.5.1. Fotoelektron asboblarni

Fotoelektron asboblarni ishlash jarayoniga ko‘ra uch guruhga bo‘linadi:

1. Elektrovakuumli — fotoelektron emissiyaga asoslangan.
2. Fotorezistorlar — ichki fotoelektr effektga asoslangan asboblarni.
3. Yarimo‘tkazgichli — fotogalvanik effektga asoslangan asboblarni.

Fotoelektron asboblarda fotoelementlar asosida ishlaydi. Fotoelementlar esa fotoelektron emissiyaga asoslanib ishlaydi.

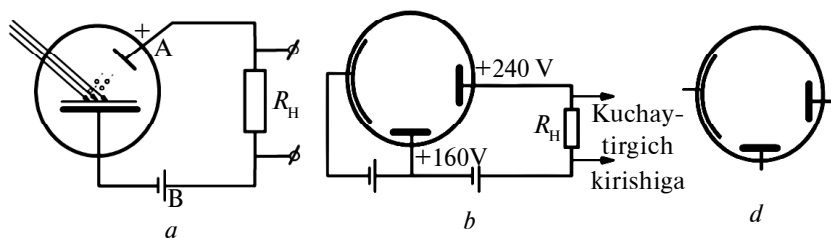
Agar vakuum ichidagi yorug'likni sezuvchi qatlamga yorug'lik oqimi yo'naltirilsa, bu qatlamlardan elektronlar ajralib chiqadi. Yorug'lik sezuvchi qatlamlardan chiqqan elektronlarni anod o'ziga tortadi va uning tashqi zanjirida tok hosil bo'ladi.

Fotoelement zanjirida paydo bo'lgan energiyadan foydalanish uchun zanjirda kuchlanish tushuvi hosil qilib beruvchi aktiv qarshilik qo'llaniladi.

Fotoelektron emissiyaning asosiy qonuniga ko'ra, fotoelement zanjiridagi tokning kattaligi tushayotgan yorug'lik oqimiga proporsionaldir.

Agar tushayotgan yorug'lik oqimi o'zgarsa, R_H aktiv yuklamada pulslanuvchi kuchlanish tushuvi hosil bo'lib, uning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi kuchaytirgichning kirishiga beriladi. Ishlab chiqarishda ishlatiladigan fotoelementlarda surma-seziy yoki kislorod-seziy qo'llanib, ular shisha ballonning ichki sirtiga suriladi. Anod plastinka shaklida yasaliib, katodga tushayotgan yorug'lik oqimini to'sib qo'ymaydigan qilib joylashtirilgan (1.38-a rasm).

Amalda elektrovakuumli fotoelementlarda elektronli va ionli fotoelementlar qo'llaniladi. Lekin elektronli va ionli fotoelementlarning sezgirligi kichik bo'ladi. Shuning uchun fotoelektron asboblarning yangi turi — bir kaskadli fotoelektron kuchaytirgich ishlab chiqarilgan.



1.38-rasm.

Fotoelektron kuchaytirgichlarda qo‘shimcha elektrodlar — diodlar bo‘lgani uchun ikkilamchi elektron emissiya hisobiga fototok bir necha marta kuchaytiriladi. 1.38-*b* rasmda fotoelementni zanjirga ulash, 1.38-*d* rasmda esa uning shartli belgisi tasvirlangan.

Yorug‘lik ta’sirida o‘tadigan kimyoviy reaksiyalar *fotokimyoviy reaksiyalar* deyiladi.

1.5.2. Yorug‘lik diodi. Yorug‘lik diodlarining tavsifi va parametrlari

Yorug‘lik diodini (YD) tayyorlashda yorug‘likni oson nurlantiradigan, GaAs, GaAlAs, InGaAsP, GaP, SiC kabi to‘g‘ri zonali yarimo‘tkazgich materiallardan foydalaniladi. Agar 3—4 turdagi elementlardan foydalanilsa, komponentlarning o‘zaro nisbatiga mos holda taqiqlangan zona E_q energiyasi o‘zgaradi. Bu bilan turli to‘lqin uzunliklarini nurlantiruvchi manbalarni yaratishga imkon tug‘iladi. Komponentlarning o‘zaro nisbatini o‘zgarishidan sindirish koeffitsiyenti ham o‘zgaradi. Uch elementli kimyoviy birikmalar quyidagicha tasvirlanishi mumkin:

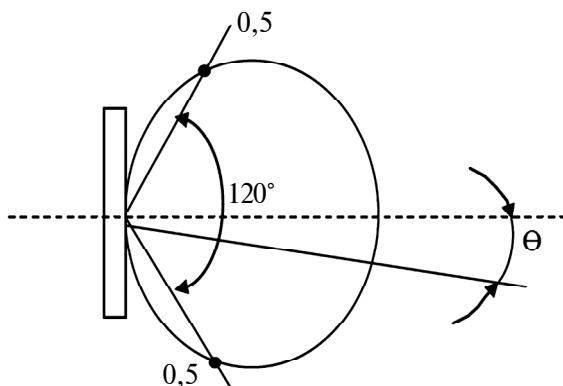
$$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}, \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (1.44)$$

bu yerda: x — komponent qism (molar massa). *p-n* o‘tishli turli materiallardan tuzilgan bunday yarimo‘tkazgichlar *geterotuzilish* yoki *geteroo‘tish* deyiladi.

YDlarning parametrlari:

- nurlanishning to‘lqin uzunligi λ ;
- nurlanish spektrining kengligi $\Delta\lambda$;
- nurlanish quvvati R_{nur} , noasosiy zaryad tashuvchilarning yashash vaqti τ ;
- nurlanish quvvatining yo‘nalganlik diagrammasi Θ .

YD yo‘nalganlik diagrammasi kengligi yuza tekisligida 120° ni tashkil etadi (1.39-rasm).



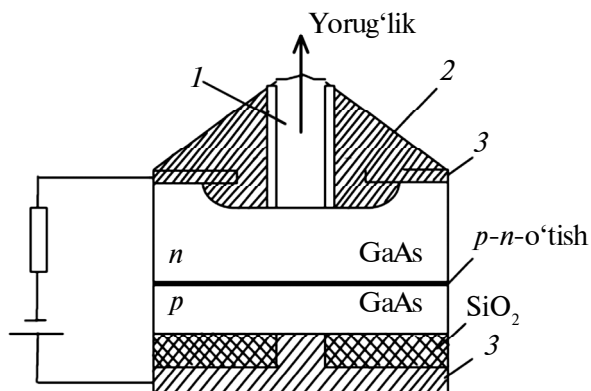
1.39-rasm.

Optik tolaga kiritish mumkin bo'lgan maksimal quvvat P_s sonli aperturadan aniqlanadi va quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$P_s = P_o (NA)^2, \quad (1.45)$$

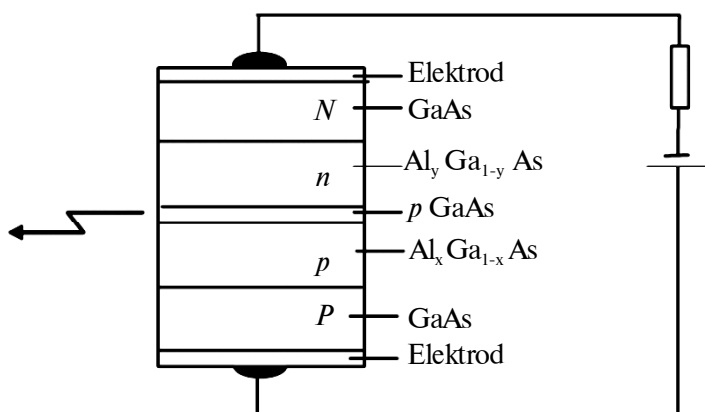
bu yerda: P_o — manba uchun to'liq nurlanish quvvati. YDdan optik tolaga kiritiladigan quvvat uning sonli aperturasi kvadratiga proporsional. NA qiymati 0,15...0,24 oraliqda tanlanadi. Agar $NA=0,2$ bo'lsa, unda tolaga kiritish samaradorligi 4 % dan oshmaydi, bu quvvatning 14 dB ga yo'qotilishiga mos keladi. Shu tariqa YDdan foydalanish nurlanishni tolaga samarali kiritish muammosini yuzaga keltiradi. Bu muammo nurlanishni tolaga kiritishning yuqori koeffitsiyentini ta'minlovchi maxsus yorug'lik diodlarini qayta ishlash, shuningdek, mikrolinzalarni qo'llash yordamida hal qilinadi. YDning asosiy ikki turi mavjud: 1) sirtidan nurlantiruvchi YD; 2) yonidan nurlantiruvchi YD. OA tizimlarida qo'llaniladigan GaAs asosidagi sirtidan nurlantiruvchi YDning odatiy tuzilishi 1.40-rasmda ko'rsatilgan.

Optik tola bilan fizik moslashuv va yorug'likning kuchli yutilishining oldini olish uchun GaAs li sohaga chuqurcha o'yiladi. Nurlanuvchi sirt yuzasi nisbatan kichik o'lchamli ($d \approx 50$ mkm) bo'lib, optik tola diametriga mos ravishda tanlanadi. Nurni optik



1.40-rasm. Sirtidan nurlantiruvchi YD tuzilishi:
1—optik tola; 2—yopishtiruvchi tarkib; 3—elektrod.

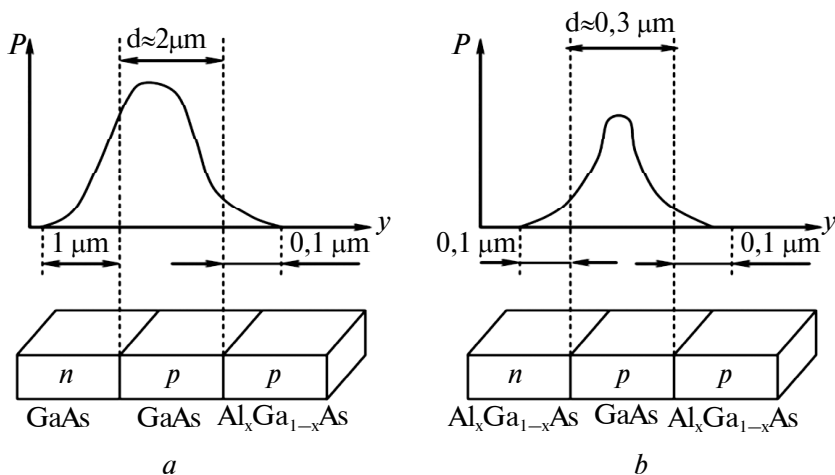
tolaga kiritishdagi yo'qotishlar moslashtiruvchi qurilma qo'llanil-magan holda tolaning NA sonli aperturasiga bog'liq bo'ladi va 14...20 dB ni tashkil etadi. Moslashtiruvchi qurilmalarni qo'llash bu yo'qotishlarni kamaytirishga imkon beradi. Yonidan nurlanti-ruvchi YDning tuzilishi 1.41-rasmda ko'rsatilgan. Yonidan nurla-nuvchi (yonidan nurlantiruvchi) YDlarda ikkitalik geterotuzilish ishlatiladi.



1.41-rasm. Yonidan nurlantiruvchi YDning tuzilishi.

1.42-*a* va *b* rasmlarda mos ravishda bir tomonlama chegarali geterotuzilish BGT va ikki tomonlama chegarali geterotuzilish IGT ko'rsatilgan. BGTli YDlarda to'g'ri siljitish ta'sirida elektronlar p - n o'tish orqali injeksiyalanadi, so'ng $p(\text{GaAs})$ — $p(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As})$ o'tishning potensial baryeri bilan tutib qolinadi. Nurlanish rekombinatsiyasi ko'pincha d qalinlikli aktiv sohada ro'y beradi. IGT ancha yuqori xususiyatlarga ega. Bunday tuzilishda aktiv nurlanish rekombinatsiyasi (1.42-rasm) o'ng va chapdagi potensial baryerlar evaziga p -sohada (GaAs) kuzatiladi va nurlanishning amalda d -soha doirasida yuzaga kelishiga yordam beradi.

Yonidan nurlantiruvchi BGT va IGTlarni ishlatish nurlanishning yuzada tarqalishini kamaytiradi. Normal p - n o'tishda taxminan 300 gacha kamaytiradi. Sirtidan nurlantiruvchi YDlarga nisbatan yonidan nurlantiruvchi YDlarning nurlanish quvvati 2—5 marta kichik bo'ladi. Biroq, yonidan nurlantiruvchi YDda yo'nalganlik diagrammasining torligi evaziga nurni optik tolaga kiritishda yo'qotishlar kam bo'ladi va N ga bog'liq ravishda



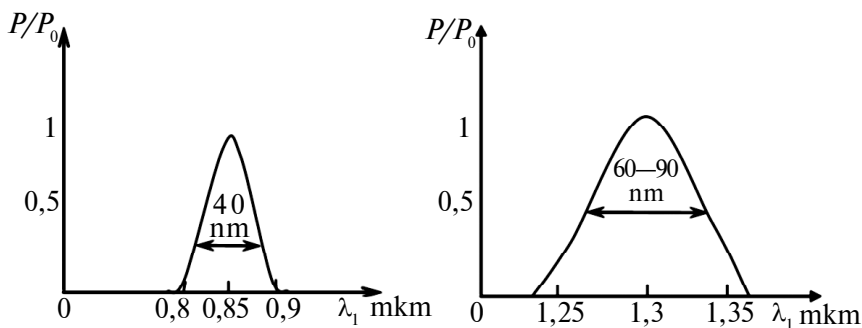
1.42-rasm. Bir tomonlama (*a*) va ikki tomonlama (*b*) chegarali geterotuzilishlar.

10...16 dB ni tashkil etadi. YDlarda nurlanish quvvati 0,01...0,1 mW ga teng. Yorug'lik diodi quyidagi asosiy xarakteristikalar bilan tavsiflanadi:

- volt-amper xarakteristikasi;
- vatt-amper xarakteristikasi;
- spektral xarakteristikasi.

1.43-rasmda YD nurlanishining spektral xarakteristikasi berilgan. Sirtidan nurlantiruvchi YDda $\lambda=0,85$ mkm da nurlanish spektri kengligi $\Delta\lambda=40$ nm ga, nurlantiruvchi kesimli YDda $\lambda=1,3$ mkm da nurlanish spektri kengligi $\Delta\lambda=90$ nm ga teng.

YDning eng muhim parametrlari — bu uning ishonchliligi va xizmat qilish muddatlaridir. Yorug'lik diodlaridan uzoq vaqt foydalanish natijasida nurlanish quvvati kamayadi. Temperatura 10—20°C ga oshsa, xizmat muddati ikki barobar qisqaradi. Aloqa tizimlarida foydalanish uchun xizmat muddati yer aloqa liniyalari uchun 105 soatni va suvosti aloqa liniyalari ushuni 10⁶ soatni tashkil etishi kerak. YDlar uchta tiniqlik oynalari 850, 1310 va 1550 nm da ishlatish uchun ishlab chiqariladi. Lekin, ular ko'p-rog 850 va 1310 nm da qo'llaniladi. YDlarni ishlab chiqarish lazer diodlariga qaraganda arzon.

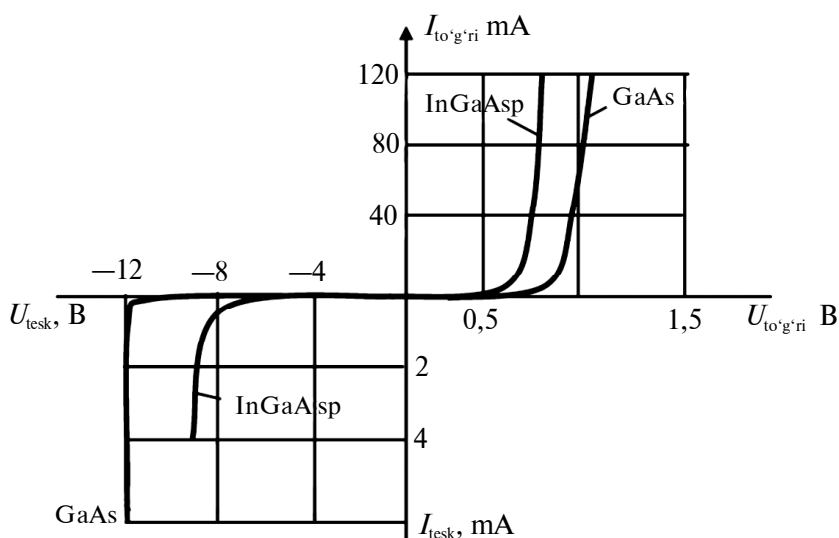


1.43-rasm. Sirtidan nurlantiruvchi va yonidan nurlantiruvchi YDning nurlanish spektrlari.

YDlarning asosiy parametrlari

Parametrlari	Birligi	850 nm	1310 nm	1310 nm	1550 nm
Nurlanish spektrining kengligi	nm	40	50	40	60
Chiqishdagi quvvat	mkW	50	60	20	40
Optik topla o'zagining diametri	mkm	50	50	9	9
Sonli apertura	b/r	0,2	0,2	0,16	0,16

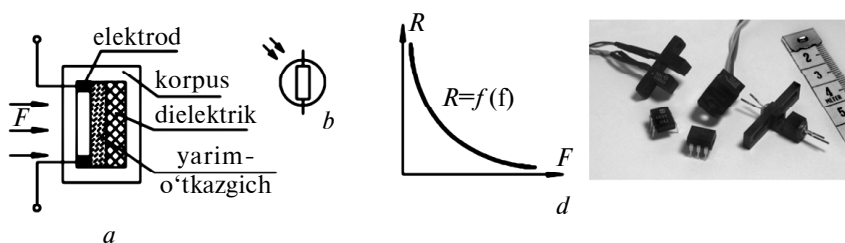
Tuzilishining taqqosiy soddaligi, yuqori ishonchliligi va nurlanish tavsiflarining temperaturaga kuchsiz bog'liqligi, nurlanish spektrining kengligi (60 nm gacha), nurlantiruvchi chastota oralig'ining torligi (100—200 MHz) va tezkor emasligi sababli YDlar, asosan, past tezlikli tizimlarda axborotlarni yaqin masofaga uzatishda qo'llaniladi.



1.44-rasm. Yorug'lik diodining volt-ampere xarakteristikasi.

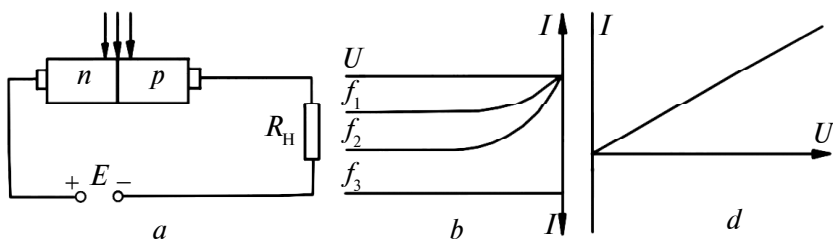
1.5.3. Fotoelektr asboblari

Fotodiod yarimo'tkazgichli asboblardan biri bo'lib, avtomatika va hisoblash texnikasida keng qo'llaniladi. Fotodiod r - p o'tishga asoslangan yarimo'tkazgichli plastinkalardan iborat (1.45-rasm). Uning ishlash prinsipi yorug'lik nurlari ta'sirida p - n o'tish sohasida elektron-teshik juftlarning uyg'otilishiga asoslangan.



1.45-rasm.

Agar yarimo'tkazgichli kristall yoritilsa, yorug'lik kvantlari elektronlarni o'tkazuvchanlik zonasiga chiqaradi va qo'shimcha elektron-teshik juftlarini hosil qiladi. Agar bu juft zaryadlar r - p o'tishga yaqin masofada hosil qilinsa (odatda, bu masofa elektron-teshiklarning diffuziya uzunligidan kichik bo'ladi), ular rekombinatsiyaga uchramay, r - p o'tishga yetib bora oladi va r - p o'tishda bu elektron-teshik juftlari ajraladi. Yarimo'tkazgichning shu sohasi uchun asosiy bo'lgan tok tashuvchilar (1.46-a rasmdagi hol uchun elektronlar) o'z sohasida qoladi. Asosiy bo'lmagan



1.46-rasm.

tok tashuvchilar esa r - p o'tish maydoni ta'sirida o'zlari uchun asosiy bo'lgan sohaga o'tib ketadi. Yorug'lik oqimi qancha kuchliroq bo'lsa, shuncha ko'proq elektron-teshiklar jufti hosil bo'ladi. Mos ravishda r - p o'tishda ajralayotgan elektron teshik juftlari soni ham ortib boradi, ya'ni r - p o'tishdan ko'proq tok o'ta boshlaydi.

Getero-o'tishlar asosida tayyorlangan fotodiodlarda elektron-teshik juftlari bevosita getero- r - n o'tishda hosil qilinadi. Bu holda yarimo'tkazgichli kristall hajmida elektron-teshik juftlarining foydasiz rekombinatsiyasi kamayadi.

Agar fotodiodning volt-ampere xarakteristikasini yorug'lik oqimining har xil qiymatlarida olinsa (1.46- b rasm), u xuddi tranzistorning chiqish xarakteristikalarini eslatadi. Haqiqatan ham, ushbu holda yorug'lik oqimi yarimo'tkazgichda zaryad induksiyalovchi emitter vazifasini bajaradi. Bu zaryadlar kollektor vazifasini bajaruvchi r - p o'tish tomon diffuziyalana boshlaydi.

Fotodiodlar ikki xil rejimda: fotodiod rejimida va foto EYK generatsiyasi rejimida ishlatiladi.

Fotodiod rejimida ishlatilganda r - p o'tishga teskari kuchlanish beriladi. Agar fotodiod yoritilmasa, zanjirda faqat teskari yo'nalishda ulangan diodning «qorong'ilik» toki o'tadi. Bu tok o'tkazgichda issiqlik generatsiyasi tufayli hosil bo'ladi. Yoritilganda qanday hodisa bo'lishi yuqorida aytib o'tildi.

Fototokning yorug'lik oqimiga bog'liqligi fotodiodning *amperluks yoritilganlik xarakteristikasi* deb ataladi. Fotodiod rejimida bu xarakteristika to'g'ri chiziqli bo'ladi (1.46- b rasm). Fototokning fotodiodga tushayotgan yorug'lik oqimiga nisbati *fotodiodning sezgirligi* deb ataladi:

$$K = \frac{I_F}{F}. \quad (1.45)$$

Fotodiodning sezgirligi yorug'lik oqimiga ham, tashqi kuchlanishga ham bog'liq bo'lmagan o'zgarmas kattalikdir. Foto-

diodlarning sezgirligi yorug‘likning spektral tarkibiga bog‘liq. Sezgirlikning yorug‘lik to‘lqin uzunligiga bog‘liqligi fotodiodning *spektral xarakteristikasi* deb ataladi.

Fotodiodning murakkab spektral tarkibli yorug‘likka sezgirligi *integral sezgirlik* deb ataladi.

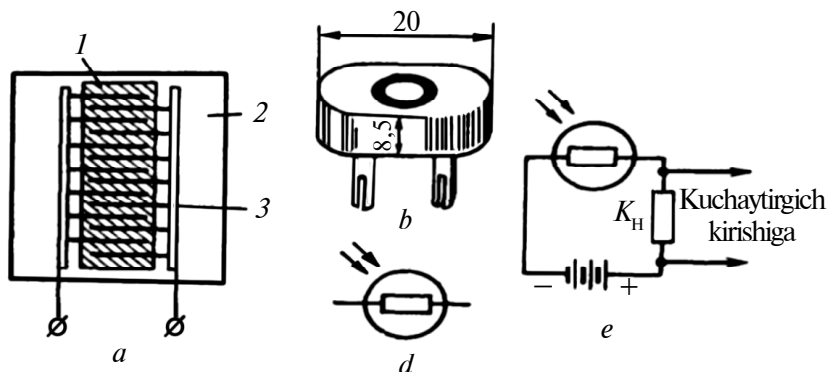
1.5.4. Fotorezistorlar

Yorug‘lik nurlanish ta‘sirida qarshiligini o‘zgartiradigan yarimo‘tkazgichli asbob *fotorezistor* deb ataladi. Fotorezistorlar ichki fotoelektr effekt asosida ishlaydi. Yorug‘lik ta‘sirida ba‘zi bir yarimo‘tkazgichlarning qarshiligi bir necha o‘n marta kamayishi zanjirdagi tokning ko‘payishiga olib keladi.

Fotorezistorlarning sezgirligi 1 V kuchlanishda mK/Lm bilan o‘lchanib, eng yaxshi yuqori chastotali fotorezistorlarning sezgirligi 400—500 mK/Lm ga yetadi.

Fotorezistor ikki guruhdan tashkil topgan izolatsion plastinka bo‘lib, ular orasiga yorug‘lik sezuvchi qatlam — yarimo‘tkazgich surtiladi (1.47-*a* rasm).

Fotorezistor tuzilishi jihatdan, shisha taglik 1 ga mahkamlangan va plastmassa korpusga joylashtirilgan yarimo‘tkazgich 2 dan iboratdir. Yarimo‘tkazgichning chekkalariga metall kontakt-

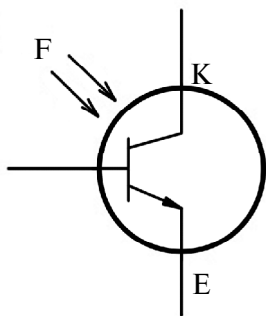


1.47-rasm.

lar 3 mahkamlanadi, uning markaziy qismi esa korpusdagi darcha tagiga joylashtiriladi. Asbobning ishlash prinsipi yorug'lik nuri tushirilganda fotorezistor qarshiligining o'zgarishiga asoslangan. Qarshilikning o'zgarish chegaralari yarimo'tkazgichning tipiga, yoritilish intensivligiga va yorug'likning spektral tarkibiga bog'liq. Fotorezistorning qorong'ilikdagi qarshiligining yorug'likdagi qarshiligiga nisbati 10 ga yaqin bo'lishi mumkin.

Fotorezistorlar turli releli sxemalarda (masalan, nur yordamida har xil qurilmalarni ulash yoki uzish, detallarni avtomatik tarzda sinash kabilarda) ishlatiladi.

Nurlanuvchi diodlarning energetik xarakteristikasi sifatida *kvant chiqishi* (samaradorlik)dan foydalaniladi. Kvant chiqishi boshqaruv zanjiridan o'tayotgan har bir elektronga nurlanuvchi diod chiqishida nechta nurlanish kvanti to'g'ri kelishini ko'rsatadi. Gomoo'tishli nurlanuvchi diodlar uchun, odatda, kvant chiqishi $0,01 \div 0,04$ ni tashkil etadi. Geteroo'tishli nurlanuvchi diodlar hosil qilish uchun binar va uch komponentli yarimo'tkazgich birikmalardan foydalaniladi, ular uchun kvant chiqishi ancha yuqori qiymatni (0,3 gacha) tashkil etadi, lekin hamma vaqt birdan kichik bo'ladi. VAXlari, oddiy diodlarnikidek, eksponentsial bog'lanish bilan ifodalanadi. Nurlanuvchi diodning qayta ulanish vaqti $10^{-7} - 10^{-9}$ s ni tashkil etadi.



1.48-rasm.

Nurlanuvchi diodlar optik aloqa liniyalarida, indikatsiya qurilmalarida, optoelektron juftliklarda va yaqin kelajakda elektr yoritgich asboblarni almashtirishda qo'llaniladi.

Fototranzistor — fotodioddan farqli o'laroq, aktiv o'zgartiruvchi hisoblanadi. Unda yorug'lik nuri nafaqat elektr energiyasiga aylantiriladi, balki kuchaytiriladi ham. Fototranzistor uchta elektrodga ega bo'ladi: emitter, kollektor va baza, baza, o'z navbatida, yorug'lik nurlarini qabul qilishga mo'ljallangan bo'ladi (1.48-rasm).

1.5.5. Optronlar

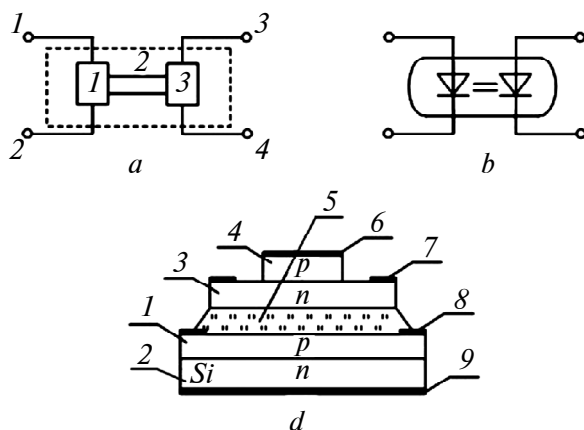
Fotodiod va nurlanuvchi diod optoelektronikaning asosiy yarimo'tkazgich asboblari. *Optoelektronika* elektronikaning bo'limi bo'lib, axborotlarni qabul qilish, uzatish va qayta ishlashda yorug'lik signallari elektr signallariga va aksincha o'zgartirilishini ta'minlovchi elektron qurilmalarni ishlab chiqish, yaratish va amaliy qo'llash bilan shug'ullanadi.

Optojuftliklar raqamli va impuls qurilmalarda, analog signallarni uzatuvchi qurilmalarda, avtomatika tizimlarida yuqori voltli ta'minlovchi manbalarni kontaktsiz boshqarish va boshqalar uchun qo'llaniladi.

Optoelektron juftlik yoki *optojuftlik* konstruksiyasi jihatdan optik muhit orqali o'zaro bog'langan nurlatgich va foto qabul qilgichdan tashkil topgan bo'ladi.

Kiruvchi elektr signali ta'sirida nurlanuvchi diod yorug'lik to'lqinlarini generatsiyalaydi, foto qabul qilgich esa (fotodiod, fotorezistor, fototranzistor va boshqalar) yorug'lik ta'sirida fototok generatsiyalaydi.

Eng sodda diodli optron (1.49-a rasm) uchta elementdan tashkil topgan: fotonurlatgich 1, nur o'tkazgich 2 va foto qabul qilgich 3 bo'lib, yorug'lik nuri tushmaydigan germetik korpusga joylashtirilgan. Kirishga elektr signali berilsa, fotonurlatgich



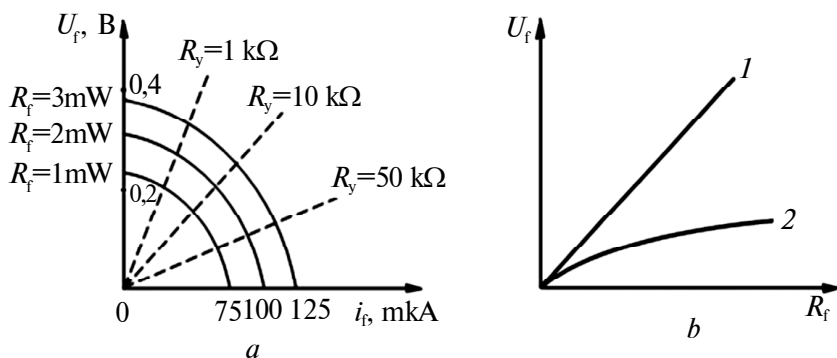
1.49-rasm: 1, 2—fotodiodning p va n -sohalari; 3, 4—yorugʻlik diodining n va p -sohalari; 5—selen shisha asosidagi nur oʻtkazgich; 6, 7—yorugʻlik diodi kontaktlari; 8, 9—fotodiod kontaktlari.

qoʻzgʻatiladi. Yorugʻlik nuri nur oʻtkazgich orqali foto qabul qilgichga tushadi va unda chiqish elektr signali yuzaga keladi. Optronning asosiy xususiyati shundaki, undagi elementlar oʻzaro nur orqali bogʻlangan boʻlib, kirish bilan chiqishlar esa elektr jihatdan bir-biridan ajratilgan. Shu xususiyatidan kelib chiqqan holda, yuqori kuchlanishli va past kuchlanishli zanjirlar bir-biri bilan oson muvofiqlashtiriladi. Diodli optronning shartli belgisi 1.49-*b* rasmda, uning konstruksiyasi esa 1.49-*d* rasmda keltirilgan.

Yorugʻlik signallarini elektr signaliga aylantirishda, asosan, fotodiodlar (xuddi shunday fotorezistorlar, fototranzistorlar va fototiristorlar ham) qoʻllaniladi.

Fotodiod oddiy n - p oʻtish boʻlib, koʻp hollarda kremniy yoki germaniydan yasaladi. Undagi teskari tok yorugʻlik nuri tushishi natijasida yuzaga kelayotgan zaryad tashuvchilar generatsiyasi tezligi bilan aniqlanadi. Bu hodisa *ichki fotoeffekt* deb yuritiladi.

Fotodiodni qoʻllash boʻyicha ikkita rejim mavjud: tashqi manbasiz — ventilli yoki fotovoltaik va tashqi manbali — fotodiodli rejim. Tashqi manbasiz yorugʻlik nurini elektr ener-

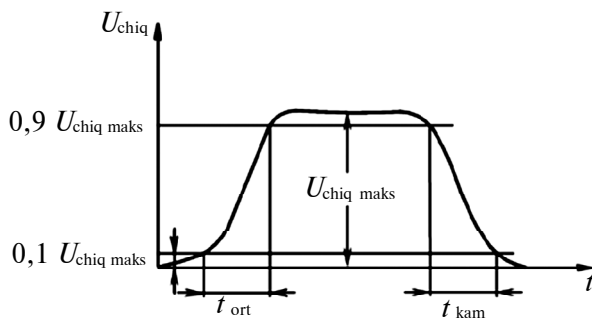


1.50-rasm.

giyasiga aylantiruvchi fotodiodlar *ventilli fotoelementlar* deb ataladi. Foto elektr yurituvchi kuch U_f ning yuzaga kelishi yorug'lik bilan generatsiyalangan elektron-kovak juftlarining $n-p$ o'tish orqali ajratilishi bilan bog'liq. Foto EYK U_f kattaligi optik signal darajasi R_f va yuklama qarshiligi qiymatiga bog'liq bo'ladi. Ventilli fotoelementning chiqish xarakteristikasi 1.50-*a* rasmda keltirilgan.

Fotodiod rejimida tashqi kuchlanish manbayi hisobiga fototok i_f ventill elementning qisqa tutashuv tokiga taxminan teng bo'ladi, fototok hisobiga biror yuklama qarshiligida sodir bo'ladigan kuchlanish pasayishi U_f esa katta bo'ladi. Bir xil yuklama qarshiligi qiymatida signal kuchlanishi U_f ning fotodiod 1 va ventill element 2 uchun optik nurlanish quvvati R_f ga bog'liqliklari 1.50-*b* rasmda keltirilgan. Fotoelektr o'zgartishlar samaradorligi volt-vatt $S_U = U_f/R_f$ hamda amper-vatt $S_i = I_f/R_f$ (sezgirlik) bilan ifodalanadi. Fotodiodlarning afzalligi yana shundaki, yorug'lik xarakteristikalari I_f , $U_f = f(R_f)$ chiziqli ko'rinishga ega, bu esa ularni optik aloqa liniyalarida qo'llash imkoniyatini yaratadi. Ventill elementlar, asosan, energiya o'zgartirgichlar (quyosh batareyalari) sifatida ishlatiladi.

Yorug'lik nuri orqali tokni boshqarishni bipolar tranzistorlar yordamida ham amalga oshirish mumkin. Ularda baza tokining

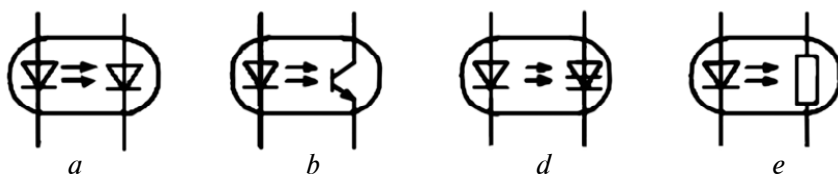


1.51-rasm.

kuchayishi tufayli, fotodiodlarga nisbatan sezgirlik yuqori bo‘ladi. Fototranzistor bazasidagi zaryad tashuvchilarning optik generatsiyasi bazaga tashqi manbadan zaryad tashuvchilar kiritilishiga ekvivalentdir. Natijada tranzistor fototoki fotodiodga nisbatan β martaga kuchaytiriladi. Bu yerda β — fototranzistor baza tokining statik kuchaytirish koeffitsiyenti. Optron inersionligi yorug‘lik diodi va nur qabul qilgichdagi jarayonlar bilan bog‘liq bo‘lib, chiqish signalining ortib borish vaqti t_{ort} va kamayib borish vaqtlari t_{kam} yordamida aniqlanadi (1.51-rasm). Diodli optronning quyidagi asosiy parametrlarini ko‘rsatish mumkin:

- maksimal kirish toki $I_{\text{kir maks}}$;
- maksimal kirish kuchlanishi $U_{\text{kir maks}}$;
- maksimal chiqish teskari kuchlanishi $U_{\text{chiq tesk maks}}$;
- berilgan tokka mos keluvchi o‘zgarmas kirish kuchlanishi U_{kir} ;
- chiqishdagi teskari qorong‘ilik toki $I_{\text{chiq tesk q}}$;
- chiqish signalining ortib borish t_{ort} va kamayib borish t_{kam} vaqtlari (berilgan diodli optron chiqishidagi signal o‘zining maksimal qiymatidan 0,1—0,9 va 0,9—0,1 oraliqlarda o‘zgaradi) (1.52-rasm);
- tok bo‘yicha uzatish koeffitsiyenti K_1 — chiqish toki o‘zgarishining kirish tokiga nisbati $K_1 = (I_{\text{chiq}} - I_{\text{chiq.tesk.q}}) / I_{\text{kir x}}$.

Nurlanuvchi diod va fotodioddan (a), fototranzistordan (b), fototiristordan (d), fotorezistordan (e) tashkil topgan optojuftliklarning sxemada shartli belgilanishi 1.52-rasmda keltirilgan.



1.52-rasm. Nurlanuvchi diod va fotodioddan (a), fototranzistordan (b), fototiristordan (d), fotorezistordan (e) tashkil topgan optojuftliklarning sxemalarda shartli belgilanishi.

Nazorat savollari

1. Fotoeffekt qanday fizik hodisa?
2. Fotoeffekt hodisasini kuzatish uchun qo'llaniladigan Stoletov tajribasi qurilmasining sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
3. Fotoeffekt qonunlarini ta'riflang.
4. Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini yozib tushuntiring.
5. Fotoeffektning turlarini ayting.
6. Tashqi va ichki fotoeffekttni ta'riflang va tushuntirib bering.
7. Fotoeffektning qo'llanilishiga misollar keltiring.
8. Fotoelement nima? Uning tuzilishi va qanday maqsadlarda foydalanilishini ayting.
9. Fotokimyoviy reaksiyalar deb nimaga aytiladi?
10. YDning qanday turlarini bilasiz va ularning farqi nimada?
11. Yorug'lik diodi va uning ish prinsipini tavsiflang.
12. Sirdan nurlantiruvchi YDning tuzilishi va xususiyatlarini tavsiflang.
13. Yonidan nurlantiruvchi YDning tuzilishi va xususiyatlarini tavsiflang.
14. Yorug'lik diodi qanday xarakteristikalar bilan tavsiflanadi?
15. Qanday to'lqin uzunlikda ishlaydigan YDni bilasiz?
16. Yorug'lik diodining volt-amper xarakteristikasini tavsiflang.
17. Yorug'lik diodining vatt-amper xarakteristikasini tavsiflang.
18. Fotorezistor nima? Uning tuzilishi va qanday maqsadlarda foydalanilishini ayting.
19. Fototranzistor nima? Uning tuzilishi va qanday maqsadlarda foydalanilishini ayting.
20. Optojuftlik nima? Uning tuzilishi va qanday maqsadlarda foydalanilishini ayting.
21. Ventilli fotoelementlarning tuzilishi va xususiyatlarini tavsiflang.

2-bob. KUCHAYTIRGICHLAR

2.1. Elektr signallarini kuchaytirgichlar va ular haqida umumiy ma'lumotlar, asosiy ko'rsatkichlari

2.1.1. Kuchaytirgichlar va ular haqida umumiy ma'lumotlar

Kuchaytirgichlar va ularning turlari. Qurilmaga kiruvchi va undan chiquvchi signallarning fizik tabiati va shaklini o'zgartirmagan holda kirish signalini son jihatidan bir necha marotaba kuchaytirish uchun xizmat qiluvchi element *signal kuchaytirgich* deb ataladi.

Bunday signal kuchaytirgichlar paydo bo'lishining asosiy sababi datchiklardan olinadigan chiqish signallarining juda zaifligidir (10^{-4} — 10^{-5} W). Sezgirliги uncha katta bo'lmagan chiqish signali avtomatik sistemalardagi ijrochi elementlarni ishga tushira olmaydi. Shuning uchun signalni kuchaytirish, ya'ni kirish signali quvvatini oshirish muammosi paydo bo'ldi.

Signal kuchaytirgichlar tashqi energiya manbayining turiga qarab turlarga bo'linadi. Bunday kuchaytirgichlar *statik xarakteristikasi* va *kuchaytirish koeffitsiyentlari* bilan bir-biridan farq qiladi.

Kuchaytirish koeffitsiyenti va tashqi energiya manbayining quvvati kuchaytirgichlarni *xarakterlovchi asosiy parametrlar* hisoblanadi.

Kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagicha ifodalanadi:

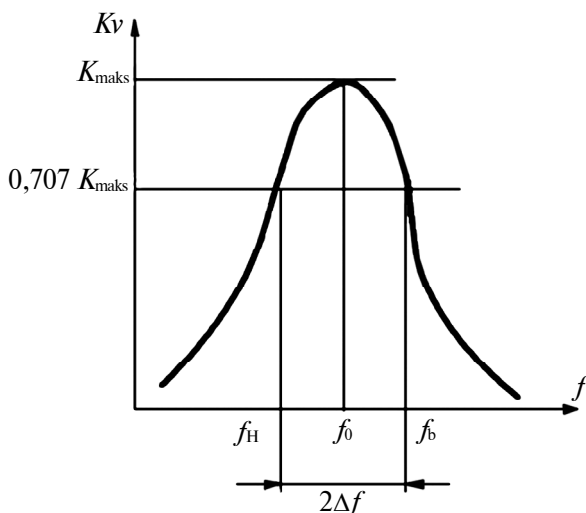
$$K_u = \frac{X_{ch}}{X_k}, \quad (2.1)$$

bunda: X_{ch} — kuchaytirgichning chiqishidagi signal; X_k — kuchaytirgichning kirishidagi signal.

Elektrik signal kuchaytirgichlarning kuchaytirish koeffitsiyenti signalning quvvati (P), tok (I) yoki kuchlanish (U) orqali ifodalanishi mumkin, ular mos ravishda *quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti*, *tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti* va *kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti* deb ataladi. Barqaror rejimlardagi chiqish signali X_{ch} bilan kirish signali X_k orasidagi bog'lanish $X_{ch} = f(X_k)$ signal kuchaytirgichlarning statik xarakteristikasi deb ataladi.

Past chastotali kuchaytirgichlar (PCHK) deb, kirish signallarini quvvat yoki kuchlanish bo'yicha kuchaytirishga mo'ljallangan va 20—20000 Hz (ovoz) chastotasi bilan o'zgaradigan qurilmalarga aytiladi.

Doimiy tok kuchaytirgichlari (DTK) deb, sekin o'zgara-digan signallarni va nol chastotali o'zgarmas kirish signallarini kuchaytirilayotgan signallar egri chizig'i shaklini saqlab qolgan holda kuchaytiradigan qurilmaga aytiladi.



2.1-rasm.

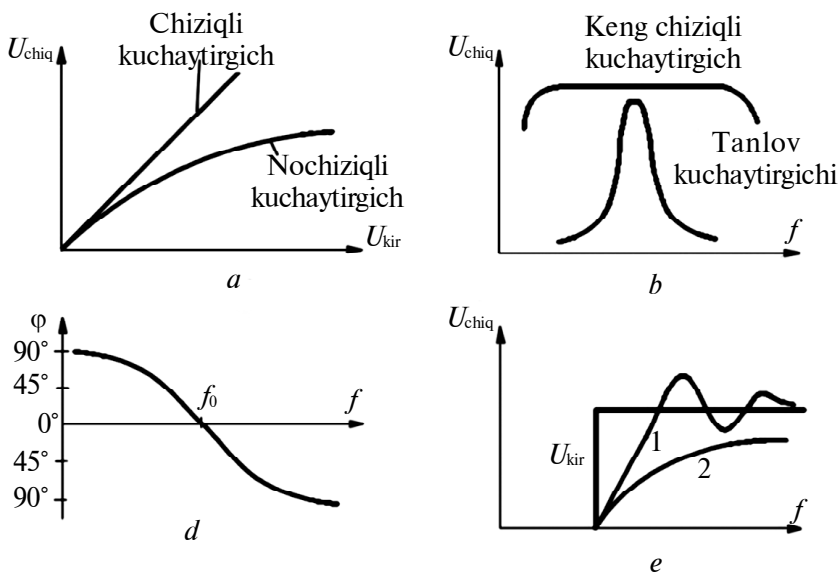
Kuchaytirgichning asosiy parametrlari quyidagilardan iborat:
Tok bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti tok bo'yicha K_I , kuchlanish bo'yicha K_u va quvvat bo'yicha K_P ,

$$K_I = \frac{\Delta I_{ch}}{\Delta I_k}; \quad K_u = \frac{\Delta U_{ch}}{\Delta U_k}; \quad K_P = \frac{\Delta P_{ch}}{\Delta P_k}, \quad (2.2)$$

bu yerda: I_{ch} , I_k , U_{ch} , U_k , P_{ch} , P_k — kuchaytirgichga kirish va chiqish toklari, kuchlanish va quvvatining qiymatlari. Kuchaytirgichlarning *asosiy xarakteristikalari* quyidagilardan iborat:

Amplitudaviy xarakteristika $U_{ch} = \varphi(U_k)$ bog'lanish bilan baholanadi, bunda chiqish signalining kattaligi kirish signalining kattaligiga bog'liq bo'ladi.

Amplituda-chastotali xarakteristika (ACHX) $U_{ch} = \lambda(f)$, bunda chiqish signalining kattaligi kirish signalining chastotasiga bog'liq bo'ladi (amalda parazit sig'imglar va qo'shimcha induktivliklar ta'sirida hamma chastotalar bir xil kuchaymaydi).



2.2-rasm.

Fazaviy-chastotali xarakteristika $U_{\text{ch}}=\lambda(f)$, bunda chiqish signalining faza siljish burchagining kirish signalining faza siljish burchagiga bog'liqligiga aytiladi

O'tish xarakteristikasi — kuchaytirgichning kirish signalining sakrashiga bo'lgan munosabatiga aytiladi.

2.1.2. Kuchaytirgichlarning o'tkazish polosasi

Kuchaytirgichlarning o'tkazish polosasi $2\Delta f$ kuchaytirgichning chastotali xarakteristikasini belgilaydi (o'lchashda $0,707 \cdot K_{\text{maks}}$): $2\Delta f = f_b - f_p$.

Tushunishga oson bo'lishi uchun ko'pincha amplituda-chastotali xarakteristika (ACHX) quyidagicha nisbiy kattaliklarda ko'rsatiladi:

$$K(f) = \frac{K(f)}{K_{\text{maks}}}, \quad (2.3)$$

bunda: $K(f)$ — f chastotadagi kuchaytirish koeffitsiyenti; K_{maks} — maksimal kuchaytirish koeffitsiyenti.

2.1.3. Kuchaytirgichlarning kirish va chiqish kattaliklari

Kuchaytirgichlarning kirish va chiqish qarshiliklari kompleks xarakterga ega va chastotaga bog'liq funksiya hisoblanadi:

$$Z_{\text{ch}}(f) = \frac{U_{\text{ch}}(f)}{I(f)_{\text{ch}}}; \quad Z_{\text{x}}(f) = \frac{U_{\text{x}}(f)}{I(f)_{\text{x}}}. \quad (2.4)$$

Kuchaytirgichlarning chiqish quvvati — yuklamada ajralib chiqadigan quvvat.

Kuchaytirgichda signallarning buzilishi kirish signallari shaklining chiqish signali shakliga nisbatan buzilishiga aytiladi. Ular ikki xil ko'rinishda bo'ladi: statik (nochiziqli) va dinamik (chiziqli).

Statik buzilish kuchaytirgichning volt-amper xarakteristikasining chiziqli bo'lmagan joyida ishlashi natijasida yuzaga keladi va kuchaytirgichning chiziqli buzilish koeffitsiyenti bilan baholanadi.

Kuchaytirgichlarning tezkorligiga ham katta ahamiyat beriladi. Bu ularning dinamik xarakteristikasi $X_{ch}(t)$ asosida yoki vaqt doimiysi $T(s)$ bo'yicha aniqlanadi. Elektron va yarimo'tkazgichli kuchaytirgichlar eng yuqori tezkorlikka ega.

$$K_{ch} = \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2}{A_1}}, \quad (2.5)$$

bu yerda: A_n — amplitudaning n -garmonikasi; A_1 — amplitudaning 1-garmonikasi.

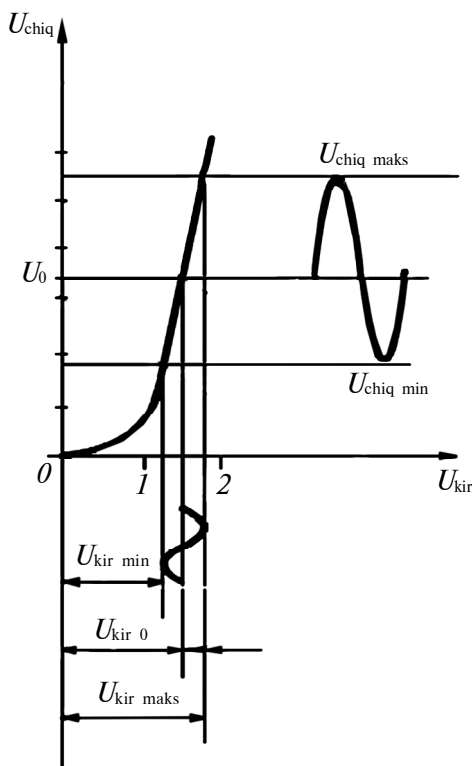
Chiqish bosqichlarining vazifasi — signalning berilgan (yetarlicha katta) quvvatini buzilishlarsiz past Ω li yuklamaga uzatishni ta'minlash. Odatda, ko'p bosqichli kuchaytirgichlarda ular chiqish bosqichlari hisoblanadi. Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti chiqish bosqichlari uchun ikkinchi darajali parametr hisoblanadi. Shu sababli asosiy parametrlar bo'lib quyidagilar hisoblanadi: *foydali ish koeffitsiyenti* η va *nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenti* K_G .

Foydali ish koeffitsiyenti chiqish signali quvvatining manbadan tortib olinayotgan quvvatga nisbatiga teng:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} U_{chq,m} I_{chq,m}}{E_M I_{o'rt}}, \quad (2.6)$$

bu yerda: $I_{chq,m}$, $U_{chq,m}$ — chiqish kattaliklari amplitudasi; E_M — manba kuchlanishi; $I_{o'rt}$ — o'rtacha tok.

Nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenti chiqish signali shaklining kirish signali shaklidan farqini ifodalaydi. Bu farq bosqichning uzatish xarakteristikasining nochiziqililigi sababli yuzaga



2.3-rasm.

keladi. Kuchaytirgich bosqichi uzatish xarakteristikalari chiqish kattaligini (I_{chiq} yoki U_{chiq}) kirish kattaligiga (I_{kir} yoki U_{kir}) bog'liqligini ifodalaydi va KG kattaliklari ko'p hollarda tranzistorning sokinlik rejimi — kuchaytirish sinfi bilan aniqlanadi. Shu sababli quvvat kuchaytirgichlarida qo'llaniladigan kuchaytirgich sinflarini ko'rib chiqamiz.

Nazorat savollari

1. Kuchaytirgichning asosiy xarakteristika va parametrlari qanday va ularning o'ziga xos xususiyatlari nimada?
2. Kuchaytirgichlar qayerlarda va nima maqsadda ishlatiladi?

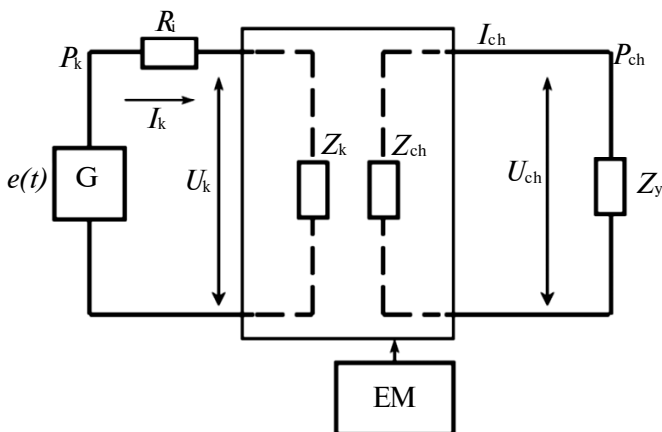
2.2. Kuchaytirgich turlari

2.2.1. Chiziqli kuchaytirgich

Kuchaytirish qurilmasi kirish signali quvvatini uning shaklini saqlagan holatda ko'paytiradi. Kuchaytirgich qurilmalariga quyidagi ikki asosiy talab qo'yiladi. Birinchidan, chiqish signali shaklining kirishdagiga nisbatan farqlanishi (buzilishi) darajasi K_g talab darajasida bo'lishi lozim. Ikkinchidan, kuchaytirish qurilmasining foydali ish koeffitsiyenti η iloji boricha katta bo'lishi kerak.

Kuchaytirish qurilmasi (KQ) alohida elektr manbaiy energiyasi hisobiga kuchaytirilayotgan signal quvvatini oshiradi. KQ 2.4-rasmda keltirilgan ekvivalent sxema bilan ifodalanadi.

KQ kirishiga berilayotgan kuchaytiriladigan signal ichki qarshiligi R_i bo'lgan generator e dan iborat deb, uning kirish qarshiligi Z_k va o'tayotgan tok amplitudasini I_k desak, unda U_{kir} amplitudali kuchlanish hosil bo'ladi. Shunday qilib, KQ kirishidagi signal quvvati:



2.4-rasm.

$$P_k = 0,5 I_k^2 \cdot R_k = 0,5 I_k \cdot U_k, \quad (2.7)$$

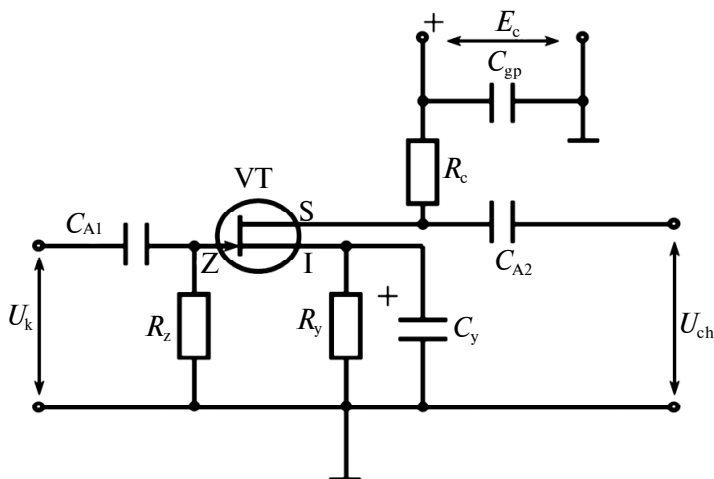
bu yerda: P_k — kirish qarshiligining rezistiv tashkil etuvchisi. KQ chiqish yuklamasi Z_y qarshilikka ega, yuklama tok I_{ch} oqib o'tgani uchun unda U_{ch} kuchlanishi hosil bo'ladi. Agar Z_y yuklamani rezistiv qarshilik deb hisoblasak ($Z_y = R_y$), unda ajralayotgan foydali quvvat

$$P_{ch} = 0,5 I_{ch}^2 \cdot R_y = 0,5 I_{ch} \cdot U_{ch} \quad (2.8)$$

ga teng bo'ladi. KQ $P_{ch} > P_k$ ni ta'minlashi kerak.

KQ kirishidagi signal quvvati juda kichik bo'lib, uning vazifasi chiqishida maksimal chiqish quvvati P_{ch} ni olish, elektr manbayidan olinayotgan P_0 ni boshqarishdan iborat. Odatda, elektr quvvati manbayi sifatida doimiy tok manbayidan foydalaniladi. Natijada KQni kuchsiz boshqaruvchi signal yordamida doimiy tok manbayi energiyasini o'zgaruvchan tok energiyasiga almashtiruvchi qurilma deb qarash mumkin. Bu jihatdan KQni kirishdagi boshqarish kuchlanishi elektr manbayidan chiqish yuklamasi R_y ga borayotgan energiyani boshqarib boruvchi to'rtqutblik deb hisoblasa bo'ladi. Buning uchun to'rtqutblik inersiyasiz boshqaruv elementidan iborat bo'lishi kerak, chunki u elektr manbayidan olinayotgan P_0 quvvatning oniy qiymatini kirishdagi boshqaruv signali oniy qiymatiga mos ravishda boshqarib borishi kerak. Boshqaruvchi element sifatida kuchaytirish jarayoni chiziqli bo'lishiga qaramasdan, asosan, nochiziqli aktiv elementlardan foydalaniladi. Odatda, kirish signali sathi past bo'lgani uchun, NE VAXining foydalanilayotgan qismini chiziqli deb hisoblash mumkin, NE VAXini chiziqlashtirish mumkin. Maydon tranzistoridan aktiv element sifatida foydalaniladigan chiziqli yuklamasi rezistiv bo'lgan KQ 2.5-rasmda keltirilgan.

Kirish boshqaruv signali ajratuvchi kondensator C_{A1} orqali tranzistor zatvoriga beriladi. Bu signal ta'sirida $C-U$ zanjiridan o'tayotgan tok qiymati o'zgaradi va $R_c = R_y$ qarshiligida kuchlanish



2.5-rasm.

hosil bo'lad. Kirish signalining oz miqdorda o'zgarishi stok tokining katta miqdorda o'zgarishiga, natijada R_y dagi kuchlanish ham unga proporsional o'zgarishiga olib keladi. Bu maydon tranzistori yordamida kuchlanish bo'yicha kuchaytirish amalga oshirilganini bildiradi. $R_c = R_y$ yuklamadagi kuchlanish chiqish kuchlanishi U_{ch} deb hisoblanadi.

KQ elektr ta'minoti doimiy kuchlanishi E_c bo'lgan manba hisobiga bajariladi. U tranzistor stokiga R_c qarshiligi orqali beriladi. Shunday qilib, R_c ikki vazifani: tranzistorni elektr manbayi bilan ta'minlaydi va yuklama vazifasini bajaradi.

C_{A1} kondensatori doimiy kuchlanishni tranzistor zatvoriga berilishiga va C_{A2} kondensatori tranzistor stokidagi doimiy kuchlanishni KQdan keyingi qurilmalarga tushmasligini ta'minlaydi. C_{A1} va C_{A2} kondensatorlarida yo'qotishlar kam bo'lishi uchun ularning sig'implari katta tanlanadi.

KQ sxemasida alohida siljish kuchlanishi manbayi yo'q, chunki tranzistor VATning kerakli qismida ish nuqtasini o'rnatuvchi kuchlanish uning istokiga ulangan R_y qarshiligidan o'tayotgan tok hisobida hosil bo'lad. Bu rezistor orqali stok toki

o'tadi va 2.6-rasmda ko'rsatilganidek, (+) kuchlanish istokka, (—) esa umumiy simga ulanadi. Manfiy potensial R_z qarshilik orqali zatvorga beriladi. Shunday qilib, tranzistorning zatvor-istok qismiga manfiy siljish kuchlanishi beriladi. Bu kuchlanish avtomatik siljish kuchlanishi — *avtosiljish kuchlanishi* deb ataladi, chunki u stok tokining doimiy tashkil etuvchisi hisobiga hosil bo'ladi. Stok tokining o'zgaruvchan tashkil etuvchisi R_c ga parallel ulangan katta sig'imli kondensator S_y orqali umumiy simga o'tib ketadi.

R_y qarshilikda stok tokining foydali o'zgaruvchan tashkil etuvchisi o'tishi natijasida, doimiy kuchlanish bilan birga qisman o'zgaruvchan kuchlanish ham hosil bo'ladi. Siljish kuchlanishi-ning bu o'zgaruvchan tashkil etuvchisi tranzistor zatvoriga kirish signali U_k fazasiga teskari fazada bo'ladi va uni qisman kuchsizlantiradi, natijada manfiy teskari bog'lanish paydo bo'ladi. Bu teskari bog'lanish ta'siri C_n kondensatori sig'imiga bog'liq bo'lib, teskari bog'lanishli kondensatorning o'zgaruvchan tokka qarshi-

ligi $\frac{1}{\lambda C_n}$ ni R_y rezistor qarshiligiga nisbatan juda kamligini ta'minlash orqali erishiladi.

Kuchaytirilgan kuchlanish U_{ch} tranzistor stoki va umumiy ulanish simi orasida hosil bo'ladi, ya'ni bir uchi stokka, ikkinchi uchi o'zgaruvchan tok uchun umumiy simga ulangan $R_c = R_y$ qarshiligida olinadi. Stok tokining o'zgaruvchan tashkil etuvchisini umumiy ulanish simiga o'tishini katta sig'imli C_{gp} kondensatori ta'minlaydi. Bunda stok toki foydali-o'zgaruvchan tashkil etuvchisi elektr manbayi E_c ichki qarshiligidan o'tmaydi.

KQning ishlash prinsipini vaqt diagrammasi yordamida ko'rib chiqamiz (2.6-rasm). Tranzistor zatvori va istoki orasidagi kuchlanish ikki tashkil etuvchidan: doimiy kuchlanishi va kirish kuchlanishi U_k dan iborat (2.6-a rasm), ya'ni:

$$U_{zi} = -E + U_{k \text{ maks}} \sin \omega_0 t. \quad (2.9)$$

Kirish signali chiziqli rejimda kuchaytirilganda stok toki zat-voridagi kuchlanishga proporsional bo‘ladi (2.6-*b* rasm):

$$i = I_0 + I_m \sin \omega_0 t. \quad (2.10)$$

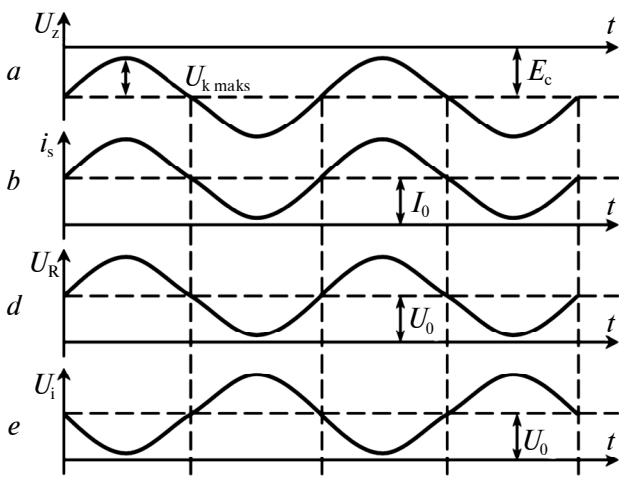
Om qonuniga asosan $R_c = R_y$ yuklamadagi kuchlanish stok toki i_s ga proporsional (2.6-*d* rasm).

$$U_R = U_r = U_{OR} + U_{mR} \sin \omega_0 t. \quad (2.11)$$

Yuklama R_y dagi kuchlanish U_R manba kuchlanishidan ayriladi, kuchlanishlarning bu farqi tranzistor stokidagi kuchlanishga teng bo‘ladi (2.6-*e* rasm):

$$U_T = U_0 \sin \omega_0 t. \quad (2.12)$$

Bunda $U_0 = E_c - U_{OR}$ tranzistor stokidagi kuchlanish stokdagi U_T kuchlanish amplitudasi, U_{mT} yuklamadagi kuchlanish amplitudasi U_{mR} ga teng. (2.9) ifodadagi manfiy belgi chiqish kuchlanishi U_{ch} ning fazasi kirish kuchlanishi U_k fazasiga teskariligini bildiradi, ya’ni umumiy istokli maydon tranzistorli kuchaytirgich kirish signali fazasini 180° ga aylantiradi.



2.6-rasm.

Endi chiziqli rejimda ishlaydigan KQning ishlash prinsipini uning VAXi orqali ko'rib chiqamiz (2.7-rasm). Maydon tranzistorining stok toki i_s ning zatvoridagi kuchlanishga bog'liqlik xarakteristikasi uning o'tish xarakteristikasi hisoblanadi, ya'ni $i_s = F(I_z)$. Bu xarakteristikani siniq chiziq bilan approksimatsiya qilamiz. I_{ch} nuqtasini siljish kuchlanishi E_c yordamida VAX chiziqli qismining o'rtasiga o'rnatamiz. Kirish kuchlanishi amplitudasi U_{km} chiziqli kuchaytirish rejimida VAXning nochi-ziqli qismiga o'tib ketmasligi kerak, bu shart bajarilganda tranzistor chiziqli rejimda (A-rejimda), kesish burchagisiz ishlaydi va o'tayotgan stok toki $i_s(t)$ shakli kirish kuchlanishi shakliga mos bo'ladi (2.7-rasm).

Yuklama $R_c = R_y$ dagi o'zgaruvchan kuchlanish amplitudasi

$$U_{mR} = I_m \cdot R_c = U_{maks} \quad (2.13)$$

bo'ladi. Uning amplitudasi kirish kuchlanishi U_k dan katta bo'ladi. Kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

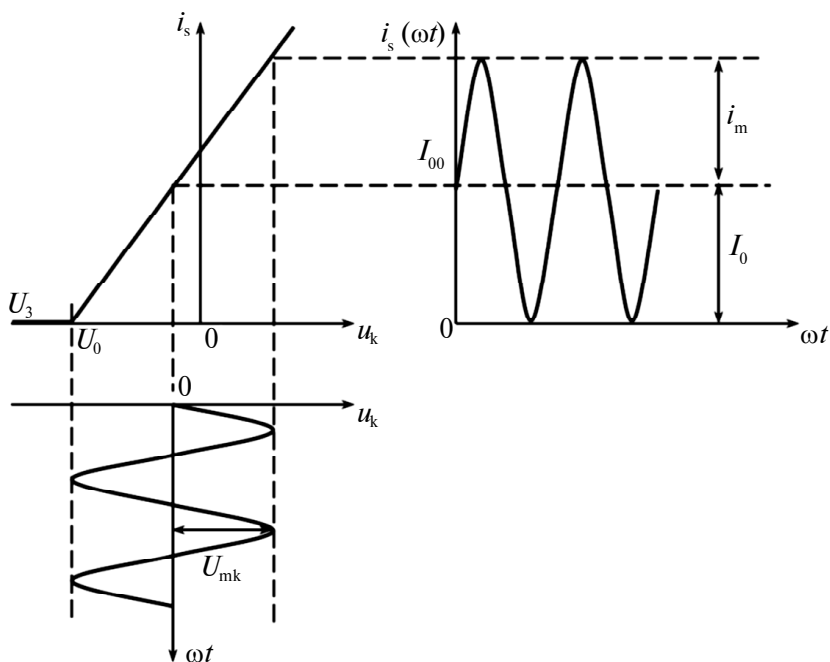
$$K_k = \frac{U_{tch}}{U_{k maks}} = I_m \cdot R_c / U_{k maks} = S_0 \cdot R_s. \quad (2.14)$$

Bu ifodada S_0 tranzistor VAXsi foydalanilayotgan qismining tikligi bo'lib, kirish signali sathiga bog'liq emas, ya'ni u o'zgar-mas $S_0 = \text{const}$.

Stok tokining birinchi garmonikasi tok foydali tashkil etuv-chisi bo'lib, kirish kuchlanishiga mos shaklda proporsional o'zgaradi, ya'ni $I_m = S_0 \cdot U_{k maks}$ chiziqli kuchaytirish kuzatiladi.

Stok umumiy toki foydali birinchi garmonikasi I_m dan tash-qari, keraksiz doimiy tashkil etuvchisi I_0 — doimiy tashkil etuv-chidan iborat.

Chiziqli rejimda ishlovchi kuchaytirgichning foydali ish koeffitsiyentini aniqlaymiz. Tok foydali tashkil etuvchisi I_m ning R_y da ajralib chiqadigan quvvati:



2.7-rasm.

$$P_{ch} \approx 0,5 I_m \cdot U_{tch}.$$

Kuchaytirgich elektr manbayidan olayotgan quvvat:

$$P_0 = I_0 \cdot E_c. \quad (2.15)$$

2.7-rasmdan ko‘rinib turibdiki, chiziqli rejimda tok birinchi garmonikasi I_m tokning doimiy tashkil etuvchisidan katta bo‘lmaydi, ya’ni $I_m \leq I_0$. Shunga o‘xshash, foydali chiqish kuchlanishi U_{tch} — amplitudasi elektr manbayi kuchlanishidan katta bo‘la olmaydi, ya’ni $U_{tch} \leq E_c$. I_m va U_{tch} ning eng katta chegaraviy qiymatini olsak, $I_m = I_0$ va $U_{tch} = E_c$ bo‘ladi va FIK

$$\eta = \frac{P_{ch} \cdot 100\%}{P_0} = 0,5 \frac{I_m U_{tch} \cdot 100\%}{I_0 E_c} = 50\% \quad (2.16)$$

bo‘ladi. Bu eng katta FIK. Amalda foydali ish koeffitsiyenti bundan ham kam bo‘ladi. FIKning bunchalik kam bo‘lishiga sabab, tranzistordan hamma vaqt kirish signali yo‘q vaqtda ham tokning doimiy tashkil etuvchisi I_0 o‘tib turadi. Shuning uchun kuchaytirgichning chiziqli rejimi (A-rejimi) katta quvvatli kuchaytirish qurilmalarida kam qo‘llaniladi. Umumiy talab qilingan P_0 quvvatdan, foydali P_{ch} quvvatining farqi $P_y = P_0 - P_{ch}$ yo‘qotilgan quvvat aktiv element tranzistor (yoki elektron lamp) tomonidan issiqlik shaklida tarqatib yuboriladi.

Chiziqli rejimda ishlovchi kuchaytirgich qurilmasining asosiy afzalligi uning kirish signalini minimal buzilishlar bilan kuchaytirishidir.

2.2.2. Nochiziqli kuchaytirgich

(2.16) ifodadan ko‘rinib turibdiki, kuchaytirgichlar FIKni oshirishning yagona usuli bu tok doimiy tashkil etuvchisi I_0 ni kamaytirish. Buning uchun ish nuqtasini siljish kuchlanishi yordamida chap tomonga, VAXning pastki qismiga suramiz. Kuchaytirgich kirishidagi kuchlanishni

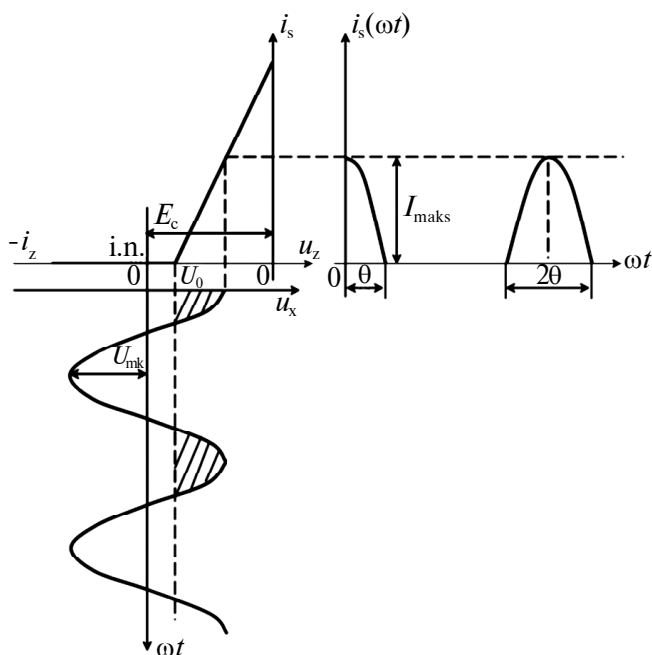
$$U_k = U_{mk} \cos \omega t \quad (2.17)$$

shaklida olsak, stok toki i_s kosinusoidal impulslar ketma-ketligi shaklini oladi. Bu kosinusoidal tok impulsarlari tarkibidagi tok birinchi garmonikasi amplitudasini va doimiy tashkil etuvchisini kesish burchagi usulidan foydalanib, γ_n — koeffitsiyentlari orqali aniqlaymiz. Bunda

$$I_m = S_0 \cdot U_{mk} \cdot \gamma_1 \quad \text{va} \quad I_0 = S_0 \cdot U_{mk} \cdot \gamma_0 \quad (2.18)$$

bo‘ladi. Bunda FIK quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta = 0,5 \frac{I_m U_{tch}}{I_0 E_c} \cdot 100\% = 0,5 \cdot \frac{\gamma_1(\theta)}{\gamma_0(\theta)} \cdot 100\%. \quad (2.19)$$



2.8-rasm.

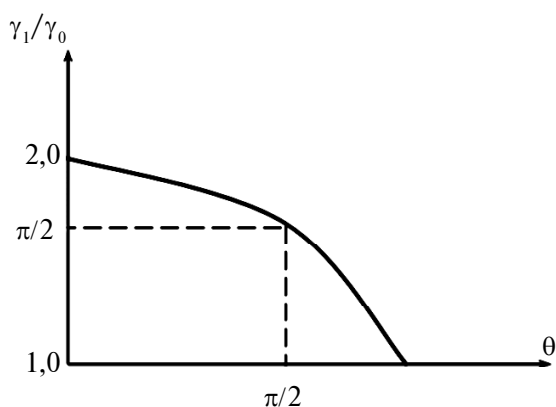
(2.19) ifodada kuchaytirgich FIKni oshirish uchun $\frac{\gamma_1(\theta)}{\gamma_0(\theta)}$ nisbatning eng katta qiymatiga mos keluvchi kesish burchagi θ ni tanlash kerak (2.8-rasm).

2.9-rasmda $\frac{\gamma_1}{\gamma_0}$ ning kesish burchagi θ ga bog'liqlik grafigi

keltirilgan. Bunda $\frac{\gamma_1}{\gamma_0}=2$ eng katta qiymatiga $\theta=0$ to'g'ri keladi.

FIK $\eta = 100^\circ$ bo'ladi. 2.9-rasmdan ko'rinib turibdiki, kirish signali bo'lmagan vaqtda tranzistor orqali o'tuvchi tok doimiy tashkil etuvchisi $I_0 = 0$ bo'ladi, manbadan quvvat iste'mol qilinmaydi.

Ko'p hollarda kesish burchagi 60° ÷ 90° tanlanadi. Bunda P_0 kamayishi bilan chiqish quvvati P_{ch} ham kamayadi, ammo



2.9-rasm.

$\eta = 75 \div 90 \%$ ga yetishi mumkin. Bundan tashqari, kichik kesish burchagi θ ni ta'minlash uchun katta siljish kuchlanishi E_c berish va kirish kuchlanishi (signali) amplitudasi U_{mk} ni oshirish talab etiladi.

Kesish burchagi hosil bo'lishi bilan stok toki shakli kirish signali shaklidan ancha farq qiladi va buzilgan hisoblanadi. Chunki θ kesish burchagini I_m amplitudali kosinusoidal impulslar birinchi garmonikadan tashqari bir qator garmonik tashkil etuvchilardan iborat bo'ladi. Bu stok toki $i_s(\omega_t)$ rezistiv yuklamadan o'tsa, undagi chiqish kuchlanish shakli $i_s(\omega t)$ o'zgarishiga mos bo'ladi va katta buzilish kuzatiladi. Stok tokidan uning birinchi garmonikasini ajratib olish uchun rezistiv yuklama o'rniga tok birinchi garmonikasiga sozlangan parallel tebranish konturidan foydalanish kerak. Bunda kontur aslligini shunday tanlash kerakki, uning signal o'tkazish kengligiga kirish signali spektri kengligi mos bo'lishi kerak. Natijada bu konturda tokning faqat foydali spektral tashkil etuvchilari ajraladi, chunki bu tashkil etuvchilar uchun konturning ekvivalent qarshiligi katta bo'ladi, tok keraksiz tashkil etuvchilari uchun uning qarshiligi kam bo'ladi. Natijada chiqish toki kesilishi natijasida hosil bo'lgan tokning keraksiz tashkil etuvchilari filtrdan deyarli o'tmaydi.

Rezistiv yuklamani parallel tebranish konturi bilan ajratish natijasida kuchaytirgichning boshqa turi — rezonansli kuchaytirgichni olamiz. Rezonans kuchaytirgich sxemasi 2.10-rasmda keltirilgan.

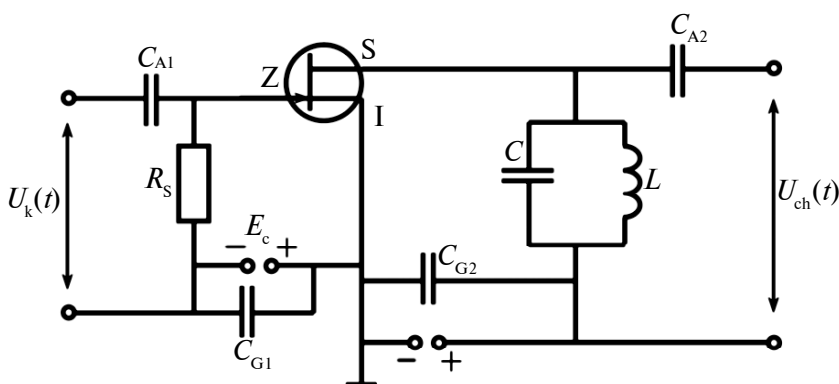
C_{G1} va C_{G2} kondensatorlari siljish kuchlanishi va elektr manbai ichki qarshiligidan o'tuvchan tok o'tmasligini ta'minlaydi. C_{A1} va C_{A2} kondensatorlari kuchaytirish qurilmasining rejimini tashqi doimiy kuchlanish yoki tok ta'siridan saqlaydi va tashqi qurilmalar ish rejimiga o'zining ta'sirini talab darajasida kamaytiradi.

2.10-rasmda kirish signali $U_k(t)$ zatvor-istok oralig'iga berilgan bo'lib, chiqish kuchlanishi $U_{ch}(t)$ stok-istok oralig'iga ulangan parallel kontur-yuklamadan olinadi.

Rezonans kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyentini aniqlash uchun, dastlab, chiqish kuchlanishi amplitudasini aniqlash kerak. Stok tokining birinchi garmonikasi I_m rezonans konturida quyidagi kuchlanishni hosil qiladi:

$$U_{ch} = I_m \cdot R_{ek} = S_0 \cdot U_{mk} \cdot R_{ek}, \quad (2.20)$$

bunda R_{ek} — parallel kontur ekvivalent qarshiligi.



2.10-rasm.

Kuchaytirgichning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti:

$$K_k = \frac{U_{ch}}{U_{mk}} = S_0 \cdot R_{ek}, \quad (2.21)$$

bunda S_0 — VAXning qiyaligi.

Agar kontur aslligi $Q \gg 1$ bo'lsa, $R_{ek} \gg 1/S_0$ bo'ladi, natijada $K_k \gg 1$ bo'ladi.

Kuchaytirishda tok birinchi garmonikasi amplitudasi I_m , kirish signali amplitudasiga proporsional bo'lishi kerak, ya'ni

$$I_m F(U_{mk}) = K \cdot U_{mk}, \quad (2.22)$$

bunda K — o'zgarmas kattalik, kuchaytirish koeffitsiyenti.

Agar siljish kuchlanishi E_c tranzistor yopilish kuchlanishi U_0 ga teng bo'lsa, kesish burchagi $\theta = 90^\circ$ bo'ladi. Bunday rejim *B-rejimi* deb ataladi. B-rejimida kesish burchagi kirish signali amplitudasiga bog'liq bo'lmaydi, $\gamma_1(90^\circ) = 0,5 = \text{const}$ bo'ladi, natijada tok birinchi garmonikasi

$$I_m = 0,5 \cdot S_0 \cdot U_{mk}, \quad (2.23)$$

ya'ni kirish signali amplitudasiga proporsional bo'ladi. Kuchaytirgichning amplituda xarakteristikasi chiziqli bo'ladi. Demak, B-rejimda signal buzilishsiz kuchaytiriladi.

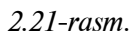
Agar kuchaytirgich kesish burchagi $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ bo'lsa, bunday rejim C-rejimi deb ataladi.

C-rejimida ishlovchi kuchaytirgich kirishiga o'zgaruvchan amplitudali kirish signali berilsa, bu uning kesish burchagi θ ning o'zgarishiga, natijada tok birinchi garmonikasi koeffitsiyenti $\gamma_1(\theta)$ o'zgaradi. Bu esa tok I_m ni U_{mk} ga proporsional o'zgarmasligiga sabab bo'ladi, kuchaytirish signal shakli buzilishiga olib keladi.

Shuning uchun C-rejimidan keng foydalanilmaydi. Undan katta quvvatli kuchaytirgichlarda, asosiy talab yuqori FIK η hisoblanganda foydalaniladi.

uchun $\frac{\gamma_1}{\gamma_0} = \pi/2$ bo'ladi. (2.19) ifodaga asosan,

bo'ladi va A-rejimiga qaraganda FIK 1,5 marta oshadi.

$$P_y = \frac{1}{T} \int_0^T i_s(\omega t) \cdot U_s(\omega t) d\omega t \quad (2.25)$$


ifoda orqali topiladi. Bu rejimda $\eta = 90 \div 95\%$ bo'ladi. D-rejimi past va yuqori chastotali signallarni kuchaytirishda keng qo'llanilmoqda.

2.2.3. Ishchi nuqta va kuchaytirish sinflari

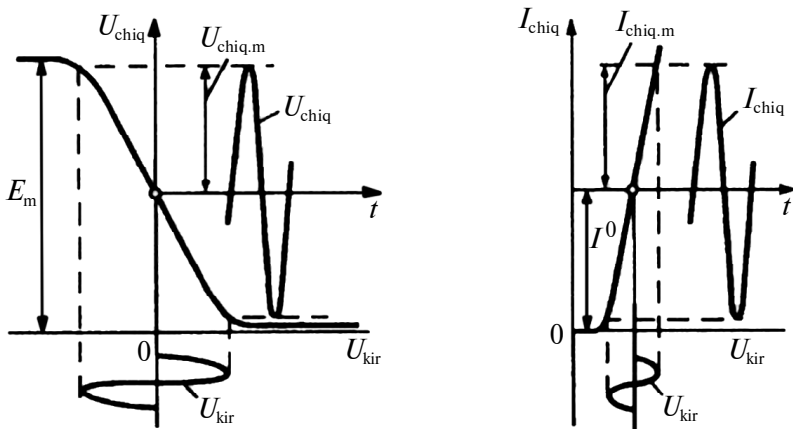
Uzatish xarakteristikasidagi ishchi nuqta (sokinlik nuqtasi) holatiga ko'ra *A*, *B*, *AB-kuchaytirish sinflari mavjud*.

A-rejimida sokinlik rejimida ishchi nuqta uzatish xarakteristikasi kvazichiziqli soha o'rtasida joylashadi (2.12-*a* rasm).

Kirish signalining ikkala yarim davri uzatish xarakteristikasining kvazichiziqli sohasida joylashganligi sababli noxiziqli buzilishlar eng kichik ($K_G \leq 1\%$) bo'ladi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, agar $U_{\text{chiq.m}} = \frac{1}{2} E_m$; $I_{\text{chiq.m}} = I_{0\text{'rt}}$ bo'lsa, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\eta = \frac{1}{4} \text{ (ya'ni } 25 \text{ \%)}. \quad (2.26)$$

B-rejimida sokinlik rejimidagi ishchi nuqta tranzistorning berk holatiga mos keluvchi kvazichiziqli soha chegarasida joylashadi.



2.12-rasm.

Tranzistor faqat musbat yarim davr mobaynida ochiq holatda bo'ladi (2.12-*b* rasm). Foydali ish koeffitsiyenti chiqish signali quvvatining manbadan tortib olinayotgan quvvatga nisbatiga teng:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} U_{\text{chiq.m}} I_{\text{chiq.m}}}{E_m I_{\text{o'rt}}}, \quad (2.27)$$

bu yerda: $I_{\text{chiq.m}}$, $U_{\text{chiq.m}}$ — chiqish kattaliklar amplitudasi; E_m — kuchlanish manbai; $I_{\text{o'rt}}$ — o'rtacha tok.

B-rejimda K_G 70 % atrofida bo'ladi. (2.27) ifodaga E_m va $I_{\text{o'rt}} = \frac{2}{\pi} I_{\text{chiq.m}}$ larni qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\eta = \frac{\pi}{4} \quad (\text{ya'ni } 78 \%).$$

B-rejimida nohiziqli buzilishlarni kamaytirish maqsadida birinchi musbat yarim davrni, ikkinchisi — manfiy yarim davrni kuchaytiradigan, ikkita kuchaytirgichdan tashkil topgan *ikkita taktli sxema* qo'llaniladi.

AB-sinfi A va B-sinflari oralig'idagi holatni egallaydi va ikki taktli qurilmalarda qo'llaniladi. Bu yerda sokinlik rejimida bir tranzistor berk bo'lganda, ikkinchisi ochilish arafasida bo'ladi, lekin bu holat asosiy ishchi yarim davrni kichik inersiyaga ega bo'lgan VAX sohasiga olib chiqishga imkon yaratadi. η koeffitsiyent A-sinfiga nisbatan yuqori, K_G 3 % bo'ladi.

Nohiziqli buzilishlarni kamaytirish va kuchaytirish koeffitsiyentining temperaturaviy barqarorligini oshirish maqsadida kuchaytirgich bosqichiga manfiy teskari aloqa kiritiladi.

Nazorat savollari

1. Chiziqli rejimda ishlovchi kuchaytirgichning FIK nima uchun 50% kam?
2. Nohiziqli rejimda ishlovchi kuchaytirgichning FIK eng katta qiymati nimaga teng?
3. Kuchaytirish koeffitsiyenti nima? Kuchaytirgichning amplituda xarakteristikasi qaysi ko'rinishda bo'lishi kerak?

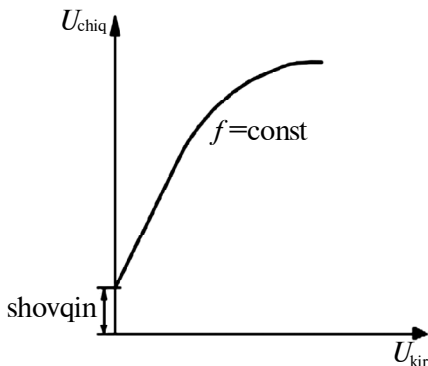
2.3. Kuchaytirgichlarda chiziqli va nochiziqli buzilishlar

2.3.1. Nochiziqli buzilishlar

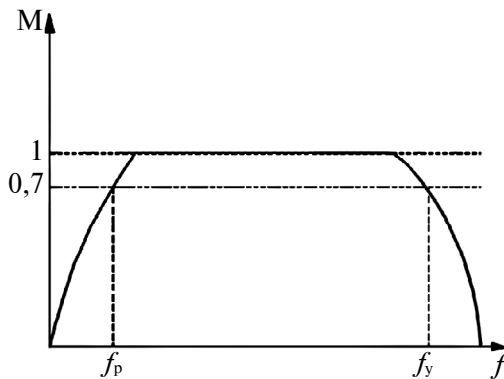
Kuchaytirgich, odatda, signalni kuchaytirishdan tashqari, uning shaklini ham o'zgartiradi. Kirish va chiqish signallari shaklining normadan og'ishi *buzilishlar* deb ataladi. Ular ikki turda bo'lishi mumkin: *nochiziqli* va *chiziqli*.

Barcha kuchaytirgichlar volt-amper xarakteristikalari (VAX) nochiziqli bo'lgan tranzistorlardan tashkil topadi. Bipolar tranzistor VAX to'g'ri chiziqli emas, balki eksponenta shakliga ega. Shu sababli, sinusoidal shaklga ega bo'lgan kirish signali kuchaytirilganda, chiqishdagi signal shakli qisman sinusoidal ko'rinishga ega bo'ladi. Chiqish signali spektrida kirish signalida mavjud bo'lmagan boshqa chastotaga ega bo'lgan tashkil etuvchilar (garmonikalar) paydo bo'ladi. Bu turdagi buzilishlar *nochiziqli* deb ataladi.

Agar kuchaytirgich uzatish xarakteristikasi matematik funktsiya ko'rinishida ifodalangan bo'lsa, nochiziqli buzilishlarni analitik usulda hisoblash mumkin. Uzatish xarakteristikasi (2.13-rasm) deganda o'zgarmas chastotadagi chiqish signali amplitudasi U_{chiq} ning kirish signali amplitudasi U_{kir} ga bog'liqligi tushuniladi.



2.13-rasm.



2.14-rasm.

Nochiziqli buzilishlar ko'effitsiyenti ko'p hollarda berilgan uzatish xarakteristikasidan grafik usulda aniqlanadi.

2.3.2. Chiziqli buzilishlar

Chiziqli buzilishlar tranzistor parametrlarining chastotaga bog'liqligidan aniqlanadi. Kuchaytirgichning chastota xususiyatlari amplituda-chastota xarakteristikasi (ACHX)dan aniqlanadi. ACHX deganda kuchaytirish ko'effitsiyentining chastotaga bog'liqligi tushuniladi. Ideal ACHX gorizontaal chiziq hisoblanadi. Real ACHX esa kamayuvchi sohalarga ega bo'ladi. 2.14-rasmda normal-

lashtirilgan ACHX $M(f) = \frac{K(f)}{K_0}$ keltirilgan. Bu yerda K_0 — nominal kuchaytirish ko'effitsiyenti, ya'ni kuchaytirish ko'effitsiyenti o'zgarmas bo'lgan chastota sohalari. Odatda, chastota buzilishlarining ruxsat etilgan ko'effitsiyent kattaligi 3 dB dan oshmaydi. $\Delta f = f_y - f_p$ kattaligi *kuchaytirgichning o'tkazish polosasi* deyiladi.

Nazorat savollari

1. Chiziqli buzilishlar deb nimaga aytiladi?
2. Nochiziqli buzilishlar deb nimaga aytiladi?
3. Kuchaytirgichning o'tkazish polosasi qanday aniqlanadi?

2.4. Analog integral sxemalarning chiqish bosqichlari

2.4.1. Quvvat kuchaytirgichlari

Chiqish bosqichlarining vazifasi — signalning berilgan (yetarlicha katta) quvvatini buzilishlarsiz past Ω li yuklamaga uzatishni ta'minlashdir. Odatda, ko'p bosqichli kuchaytirgichlarda ular chiqish bosqichlari hisoblanadi. Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti chiqish bosqichlari uchun ikkinchi darajali parametrdir. Shu sababli asosiy parametrlar bo'lib quyidagilar hisoblanadi: foydali ish ko'effitsiyenti η va nochiziqli buzilishlar ko'effitsiyenti K_G .

Foydali ish ko'effitsiyenti chiqish signali quvvatining manbadan tortib olinayotgan quvvatga nisbatiga teng:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} U_{\text{chiq.m}} I_{\text{chiq.m}}}{E_m I_{\text{o'rt}}}, \quad (2.28)$$

bu yerda: $I_{\text{chiq.m}}$, $U_{\text{chiq.m}}$ — chiqish kattaliklar amplitudasi; E_m — kuchlanish manbayi; $I_{\text{o'rt}}$ — o'rtacha tok.

Nochiziqli buzilishlar ko'effitsiyenti chiqish signali shaklining kirish signali shaklidan farqini ifodalaydi. Bu farq bosqichning uzatish xarakteristikasining nochiziqliligi sababli yuzaga keladi. Kuchaytirgich bosqichi uzatish xarakteristikalari chiqish kattaligining (I_{chiq} yoki U_{chiq}) kirish kattaligiga (I_{kir} yoki U_{kir}) bog'liqligini ifodalaydi.

η va K kattaliklari ko'p hollarda tranzistorning sokinlik rejimi — kuchaytirish sinfi bilan aniqlanadi. Shu sababli quvvat kuchaytirgichlarida qo'llaniladigan kuchaytirgichlar sinflarini ko'rib chiqamiz.

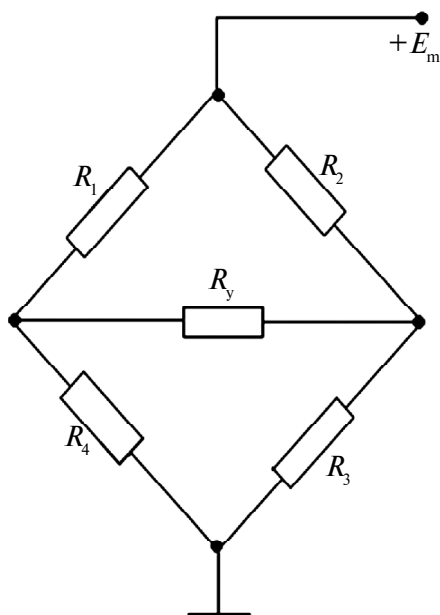
2.4.2. Balans sxemalari asosidagi kuchaytirgichlar

Yakka kuchaytirgich bosqichlarini manfiy teskari zanjiri orqali bosqichlash yo'li bilan keng polosali kuchaytirgichlarni integral usulda yasashda yaxshilash mumkin.

Bir vaqtning o'zida balans sxemalar asosida qurilgan kuchaytirgichlarda xarakteristikalar sezilarli yaxshilanishi kuzatiladi.

Bu turdagi kuchaytirgichlarda kirish bosqichi sifatida balans turli sodda sxemalar — differensial kuchaytirgichlardan foydalanish (parallel-balansli yoki farqli). Ular ishining yuqori barqarorligi va kichik nol dreyfi bilan ajralib turadi. Balans sxemaning ishlash prinsipini to'rt yelkali ko'prik sxema misolida tushuntirish mumkin (2.15-rasm).

Agar ko'prik balans sharti bajarilsa, ya'ni $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$, u holda yuklama qarshiligi R_y da tok va mos ravishda kuchlanish nolga teng bo'ladi. Kuchlanish manbayi qiymati va ko'prik yelkasidagi rezistorlar qarshilik qiymatlari o'zgarsa ham balans buzilmaydi, faqat rezistor qarshiliklari nisbati o'zgarishsiz qolsagina.



2.15-rasm.

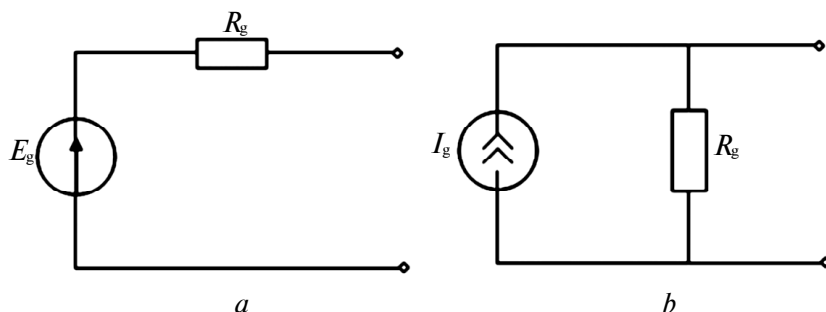
Bitta tranzistorda bajarilgan kuchaytirgich bosqichlarida kollektor (emitter) yuklamalarida signalga bog‘liq bo‘lmagan kuchlanish ajraladi. Bu kuchlanish manba qiymati o‘zgarishi, qizish natijasida tranzistor toklari qiymatlari va boshqa ta’sirlar natijasida o‘zgaradi hamda bu bilan kuchaytirish qurilmasi parametrlarining barqarorligini pasaytiradi.

Elementar kuchaytirish bosqichlariga nisbatan differensial kuchaytirgich dinamik xarakteristikalarini barqaror tok generatori hisobiga uning ish rejimini barqarorlash yordamida amalga oshirish ham mumkin.

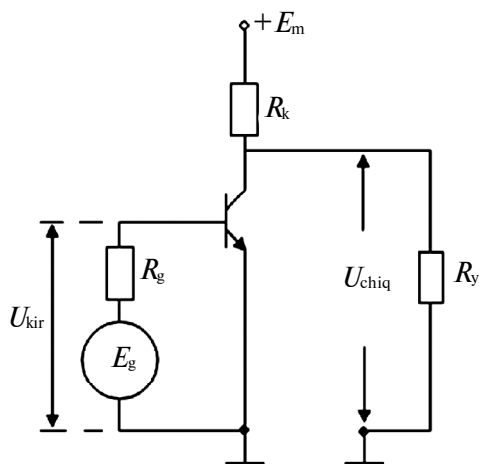
2.4.3. Bipolar tranzistorda yasalgan kuchaytirgichlar

Umumiy emitter sxemada ulangan bipolar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi eng keng tarqalgan. Kuchaytirgich tahlil qilinganda signal manbayi yoki qarshilik R_g bilan ketma-ket ulangan ideal kuchlanish manbayi E_g ko‘rinishida (2.16-*a* rasm) yoki qarshilik R_g bilan parallel ulangan ideal tok manbayi I_g ko‘rinishida (2.16-*b* rasm) ifodalanishi mumkin.

Agar R_g va kuchaytirgich bosqichining kirish qarshiligi qiymatlari bir-biriga yaqin bo‘lsa, signal manbayining turi hisoblash aniqligiga ta’sir ko‘rsatmaydi. Agar R_g kuchaytirgich bosqichining kirish qarshiligidan ancha katta bo‘lsa, 2.16-*b* rasmda



2.16-rasm.

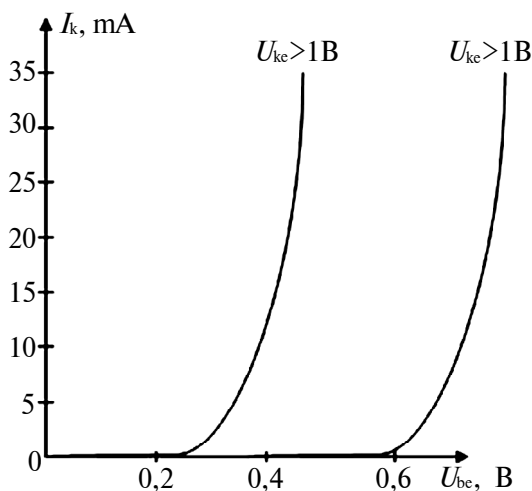


2.17-rasm.

keltirilgan signal manbayidan, aks holda esa 2.16-*a* rasmda keltirilgan signal manbayidan foydalanish tavsiya etiladi.

Umumiy emitter sxemada ulangan bipolar tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi sxemasi 2.17-rasmda keltirilgan.

Sxemani tahlil qilganda, tranzistor holati kirish kuchlanishi bilan boshqarilganda uzatish xarakteristikasi (2.18-rasm), chiqish



2.18-rasm.

xarakteristikalar oilasi hamda kirish xarakteristikalar oilasidan foydalanish qulay.

Uzatish xarakteristikasi — kollektor toki I_k ning baza-emitter kuchlanishi U_{be} ga bog‘liqligi eksponensial funksiya bilan approksimatsiyalanadi:

$$I_k = I_{ks} \exp\left(\frac{U_{be}}{\varphi_T}\right), \quad (2.29)$$

bu yerda: $\varphi_T = \frac{kT}{q}$ termik potensial; I_{ks} — proporsionallik koef-fitsiyenti bo‘lib, uning taxminiy qiymati mikroquvvatli krem-niyli tranzistorlar uchun $T = 300$ K bo‘lganda 10^{-9} mA tartibga ega bo‘ladi.

Kirish signali mavjud bo‘lmaganda kuchaytirgich bosqichi sokinlik rejimida bo‘ladi. Sokinlik rejimida kollektor-emitter kuchlanishining doimiy tashkil etuvchisi $U_{ke} = E_p - I_k R_k$.

Kirishga o‘zgaruvchan kirish signalining musbat yarim davri berilsa, baza toki ortadi va u kollektor toki o‘zgarishiga olib keladi. Bu holat uzatish xarakteristikasidan (2.17-rasm) ko‘rinib turibdi. Kollektor toki I_k ning U_{be} kuchlanishiga bog‘liq ravishda o‘zgarishi *xarakteristika tikligi* S bilan ifodalanadi:

$$S = \frac{dI_k}{dU_{be}}, \quad (2.30)$$

$$\text{bunda } U_{ke} = \text{const bo‘lganda } S = \frac{dI_k}{\varphi_T}. \quad (2.31)$$

Shunday qilib, tiklik kollektor tokiga proporsional bo‘lib, har bir tranzistorning individual xossalriga bog‘liq bo‘lmaydi. Shuning uchun bu kattalikni aniqlashda o‘lchashlar talab qilinmaydi.

Kirish signali ta’siri natijasida R_k dagi kuchlanish ortadi, U_{ke} kuchlanish esa kamayadi, ya’ni manfiy yarim davrli chiqish signali shakllanadi. Demak, bunday kuchaytirgich bosqichi chiqish va kirish kuchlanish signallari orasida 180° ga faza siljishini amalga oshiradi. Kollektor toki I_k

$$\Delta I_k = S \Delta U_{be} = S \Delta U_{kir} \quad (2.32)$$

kattalikka ortadi. Chiqish kuchlanishi U_{chiq} esa

$$\Delta U_2 = -I_k R_k = -S \Delta U_{kir} R_k \quad (2.33)$$

kattalikka kamayadi.

Demak, kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti (yuklama mavjud bo'lmaganda ($I_y = 0$)), quyidagiga teng:

$$K_U = \frac{\Delta U_{chiq}}{\Delta U_{kir}} = -S R_k. \quad (2.34)$$

Agar $R_k = 5 \text{ k}\Omega$; $\varphi_T = 25 \text{ mV}$; $I_k K = 1 \text{ mA}$; $S = 40 \text{ mA/V}$ bo'lsa, u holda $K_U = -200$.

2.4.4. Differensial chiqish va kirish qarshiligi

Kollektor toki faqat U_{be} kuchlanishiga emas, balki U_{ke} kuchlanishiga ham bog'liq bo'ladi. Bu bog'liqlik *differensial chiqish qarshiligi* bilan xarakterlanadi:

$$r_{ke} = \frac{dU_{ke}}{dI_k} = \frac{U_c}{I_k} \quad U_{be} = \text{const bo'lganda.} \quad (2.35)$$

Bu yerda proporsionallik koeffitsiyenti U_c — *Erli kuchlanishi*. U_c ning qiymatlari kremniyli n - p - n tranzistorlar uchun 80—200 V atrofida bo'ladi. r_{ke} hisobiga

$$K_U = -S(R_k // r_{ke}). \quad (2.36)$$

Signal manbayiga nisbatan kuchaytirish bosqichi uchun kirish qarshiligi katta rol o'ynaydi. Uning qiymati qancha katta bo'lsa, signal manbayi shuncha kam yuklanadi va shunchalik yaxshi kirish bosqichiga uzatiladi. Kirish zanjirini yuklamaga ulangan kuchlanish manbayi ko'rinishida ifodalash uchun *differensial kirish qarshiligi* kattaligi kiritiladi:

$$r_{kir} = r_{be} = \frac{dU_{be}}{dI_b} \quad U_{ke} = \text{const bo'lganda.} \quad (2.37)$$

Kirish qarshiligi r_{be} va tiklik S orasida quyidagi bog‘liqlik mavjud:

$$r_{be} = \frac{\beta}{S}, \quad (2.38)$$

bu yerda β — tok uzatish differensial koeffitsiyenti. Amaliy hisoblar uchun quyidagi nisbatdan foydalanish mumkin:

$$r_{be} = \frac{\beta \varphi_T}{I_k}. \quad (2.39)$$

Kuchaytirgich bosqichining chiqish yoki ichki qarshiligi r_{chiq} bu bosqichni yuklama (keyingi bosqich) bilan o‘zaro ta’sirlashuvida katta rol o‘ynaydi. Kuchaytirgichning chiqish qarshiligi yuklamadan tok oqib o‘tayotganda chiqish kuchlanishining kamayishiga olib keladi va bu holatni kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblayotganda hisobga olish kerak bo‘ladi.

Yuklama qarshiligi R_y va chiqish qarshiligi r_{chiq} kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsiyentini $R_y / (r_{chiq} + R_y)$ martaga kamaytiruvchi kuchlanish bo‘luvchisini hosil qiladilar. Chiqish ichki qarshiligi $r_{chiq} = R_k // r_{ke}$. Natijada yuklamadagi kuchaytirish koeffitsiyenti:

$$K_{Uy} = -S(R_k // r_{ke} // R_y). \quad (2.40)$$

Kuchaytirish koeffitsiyenti temperatura o‘zgarishiga bog‘liq, chunki

$$S = \frac{dI_k}{\varphi_T}. \quad (2.41)$$

Nihoyat, tok bo‘yicha differensial kuchaytirish koeffitsiyenti quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$\beta = \frac{dI_k}{dI_b} \quad U_{ke} = \text{const bo‘lganda}. \quad (2.42)$$

Bu kattalik statik koeffitsiyentdan kollektor tokining keng o‘zgarish diapazonida sezilarli farq qilmaydi va $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$ bo‘ladi.

Nochiziqli buzilishlarni kamaytirish va kuchaytirish koeffitsiyentining temperaturaviy barqarorligini oshirish maqsadida kuchaytirgich bosqichiga manfiy teskari aloqa kiritiladi.

2.4.5. Kuchaytirgichlarda teskari aloqa

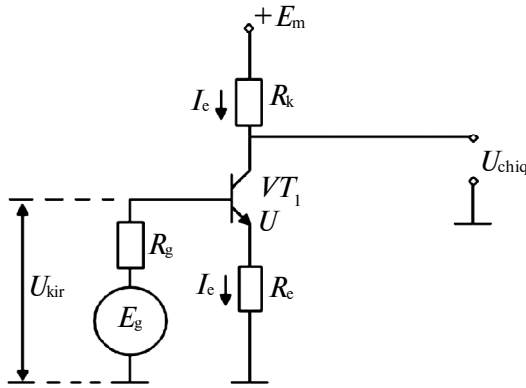
Teskari aloqa deb chiqishdagi yoki biror oraliq zveno qurilmasi chiqishidagi energiyaning bir qismini uning kirishiga uzatishga aytiladi. Buning uchun sxemaga maxsus zanjir kiritiladi va u *teskari aloqa zanjiri* deb ataladi. Bu zanjir kuchaytirgich chiqishidagi quvvatning bir qismini uning kirishiga uzatishga xizmat qiladi. Bir bosqichni o'z ichiga oladigan teskari aloqa — *mahalliy*, ko'p bosqichli kuchaytirgichning hammasini o'z ichiga oladigan teskari aloqa *umumiy* deb ataladi.

Teskari aloqaning mavjudligi qurilma chiqishidagi signalning, demak, kuchaytirish koeffitsiyentining ham ortishi yoki kamayishiga olib kelishi mumkin. Birinchi holatda kirish signali fazasi bilan teskari aloqa signali fazalari bir-biriga mos keladi va ularning amplitudalari qo'shiladi — bunday teskari aloqa *musbat teskari aloqa* deb ataladi. Ikkinchi holatda esa fazalar teskari bo'lib, amplitudalar bir-biridan ayriladi — bunday teskari aloqa *manfiy teskari aloqa* deb ataladi.

Kuchaytirgichlarda faqat manfiy teskari aloqa (MTA) qo'llaniladi. MTAning kiritilishi signal kuchayishini kamaytiradi, lekin parametrlarning barqarorligi ortadi va nochiziqli buzilishlar kamayadi.

2.19-rasmda manfiy teskari aloqali bir bosqichli kuchaytirgich sxemasi keltirilgan.

Bu yerda MTA emitter zanjiriga R_c rezistor kiritilishi bilan amalga oshirilgan. Kirish kuchlanishi U_{kir} ortishi bilan emitter toki ortadi, shu sababli R_c rezistorda kuchlanish pasayishi ham ortadi: $U_c = I_c R_c$, chunki baza-emitter o'tishida kuchlanish kirish kuchlanishiga nisbatan kichik bo'ladi:



2.19-rasm.

Kirish va R_e rezistordagi kuchlanishlarning o'zgarishi bir-biriga teng deb hisoblash mumkin, ya'ni baza-emitter kuchlanishi o'zgarishi ΔU_{be} ni hisobga olmasa ham bo'ladi:

$$U_{be} = U_{kir} - U_e. \quad (2.43)$$

R_e orqali oqib o'tayotgan tok R_k dan ham oqib o'tadi, demak, bu tokning o'zgarishi kollektordagi rezistorda emitterdagi rezistordagiga nisbatan R_k/R_e marta katta kuchlanish ortishiga olib keladi. Agar $\Delta U_e = \Delta U_{kir}$ ni inobatga olsak,

$$K_U = \frac{\Delta U_{chIQ}}{\Delta U_{kir}} = -\frac{R_k}{R_e}. \quad (2.44)$$

Bu ifodaga tranzistorning tokka bog'liq bo'lgan parametrlari kirmaydi. Shu sababli, kollektor toki emitter tokidan ancha farq qilishini hisobga olsak, MTAli kuchaytirgichning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti kam miqdorda bo'lsa ham tok qiymatiga bog'liq bo'ladi:

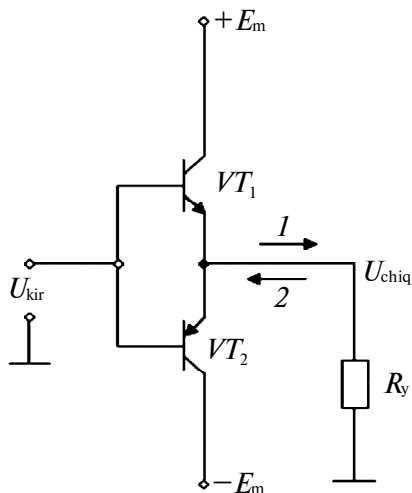
$$K_U = -\frac{SR_k}{1 + SR_e}. \quad (2.45)$$

Kuchaytirgich kirish qarshiligi qiymati $r_{kir} = r_{be} + \beta R_e$ MTA hisobiga ortadi. Chiqish qarshiligi esa manfiy teskari aloqa hisobiga sekin ortadi va R_k qiymatiga intiladi.

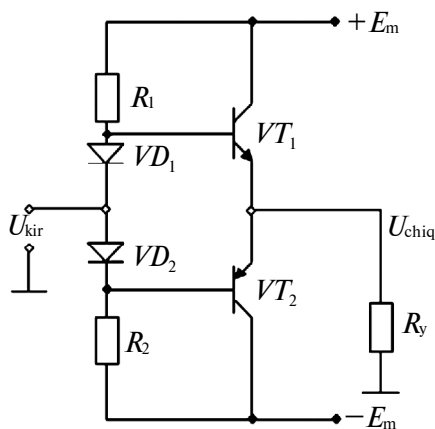
2.4.6. Komplementar emitter qaytargich

2.20-rasmda komplementar tranzistorlarda: VT_1 -tranzistor $n-p-n$ turli va VT_2 -tranzistor $p-n-p$ turli bajarilgan B -sinfiga mansub sodda ikki taktli chiqish bosqichi sxemasi keltirilgan. Yuklama tranzistorlarning emitter zanjiriga ulanadi, demak, ular kuchlanish qaytargichlari rejimida ishlaydi. Quvvat kuchayishi tok kuchayishi bilan amalga oshiriladi. Ikki qutbli kuchlanish manbalari ($+E_m$ va $-E_m$) qo'llanilganiga alohida e'tibor qaratamiz. Shu sababli sokinlik rejimida ikkala tranzistor berk holatda bo'ladi, chunki emitter o'tishlardagi kuchlanish nolga teng bo'ladi. Natijada sokinlik rejimida sxema energiya iste'mol qilmaydi.

Kirishga U_{kir} signalning musbat yarim davri berilsa, VT_1 ochiladi va R_y yuklama orqali I strelka yo'nalishida tok oqib o'tadi. Manfiy yarim davr mobaynida $p-n-r$ turli tranzistor ochiladi va tok 2 strelka yo'nalishida oqib o'tadi. Quvvat kuchaytirish koef-fitsiyenti taxminan emitter va baza toklari nisbatiga teng bo'ladi, ya'ni $(\beta+1)$.



2.20-rasm.

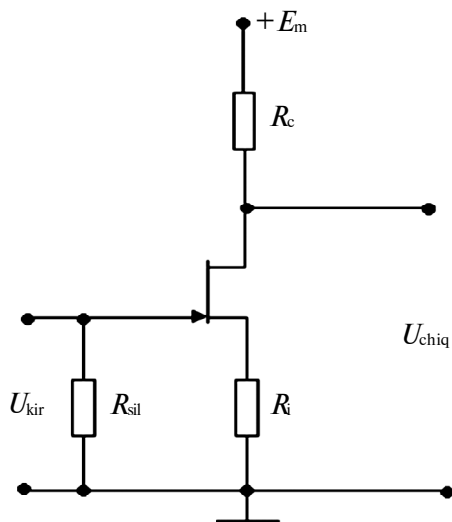


2.21-rasm.

Lekin, *B* turli kuchaytirgich bo'la turib, sxema katta nochi-ziqli buzilishlar koeffitsiyentiga ega ($K_g > 10\%$). Bu kamchilikni bartaraf etish maqsadida kuchaytirgich murakkablashtiriladi. R_1 va R_2 rezistorlar hamda VD_1 va VD_2 diodlar yordamida tranzistor bazalariga individual siljish kiritiladi (2.21-rasm). Natijada dastlabki ishchi nuqta ikkala tranzistor ozgina ochiq holatdagi (*AB* rejim) sohada joylashadi, lekin ulardan *A* turli kuchaytirgichlardagiga nisbatan ancha kichik tok oqib o'tadi.

2.4.7. Maydoniy tranzistorlarda yasalgan kuchaytirgichlar

Maydoniy tranzistorlardan kuchaytirgich yasashda umumiy istok (UI) sxemada ulangan maydoniy tranzistorlar keng qo'llaniladi. 2.22-rasmida *n*-kanalli *p-n* o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorda yasalgan kuchaytirgich bosqichi keltirilgan. *p-n* o'tish bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorda stok va zatvorga berilayotgan kuchlanish ishoralari (qutblari) bir-biriga teskari bo'lishi kerak. Shu sababli o'zgarmas tok bo'yicha rejim hosil qilish uchun R_1 rezistor kiritiladi va u ketma-ket MTAni hosil qiladi. Bundan tashqari, kuchaytirgich parallel kirishlariga R_{sil} rezistor ulanadi va u zatvorning umumiy



2.22-rasm.

shina bilan galvanik aloqasini ta'minlaydi hamda kuchaytirgich kirish qarshiligini barqarorlaydi.

Berilgan I_{S0} sokinlik toki uchun R_l kattaligi maydoniy tranzistor stok-zatvor VAXsidan aniqlanadi. VAXdan U_{Z10} ni aniqlab, R_l ni quyidagi ifodadan oson aniqlash mumkin:

Kirishga o'zgaruvchan signalning musbat yarim davri U_{kir} berilganda chiqishda teskari fazadagi signal U_{chiq} hosil bo'ladi, ya'ni U_l sxemadagi kuchaytirgich bosqichi kirish signalini inverslaydi. Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish ko'effitsiyenti quyidagiga teng:

$$K_U = \frac{\Delta U_{chiq}}{\Delta U_{kir}} = \frac{\Delta U_{si}}{\Delta U_{zi}} = -\frac{S_{r_c} \cdot R_c}{r_c + R_c} = -\frac{\mu_n \cdot R_c}{r_c + R_c}. \quad (2.46)$$

«Manfiy» ishora U_l li sxema signalni inverslashini bildiradi. Amaliyotda $r_c \geq R_c$, shu sababli kuchaytirish ko'effitsiyentini quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

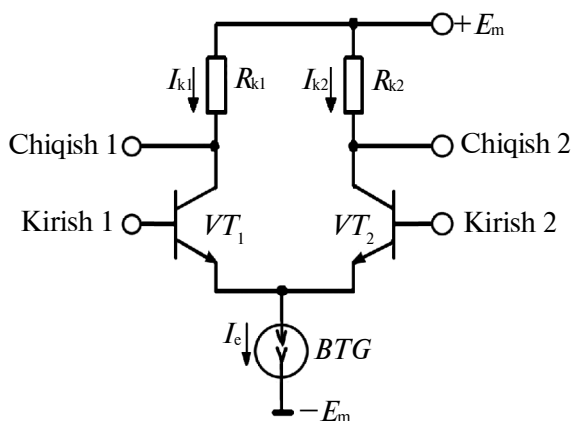
U_l sxemadagi real kuchaytirgich bosqichlarida $K_u = 3 \div 50$, $R_{kir} \cong R_{sil}$, $R_{chiq} \cong R_c$.

2.4.8. Differensial kuchaytirgichlar

Differensial kuchaytirgich (DK) deb ikki kirishga ega bo'lgan kuchaytirgichga aytiladi. Uning chiqishidagi signal kirish signallari farqiga proporsional bo'ladi. 2.23-rasmda sodda simmetrik DK sxemasi keltirilgan. Kuchaytirgich ikkita simmetrik yelkaga ega bo'lib, birinchi yelka VT_1 tranzistor va R_{k1} rezistordan, ikkinchi yelka esa VT_2 tranzistor va R_{k2} rezistordan tashkil topgan. Sxemaning dastlabki ish rejimi I_e toki yordamida ta'minlanadi. Bu tokning barqarorligi esa barqaror tok generatori (BTG) tomonidan ta'minlanadi.

Mazkur sxema 2.22-rasmdagi sxemaga aynan o'xshashligini kuzatish mumkin. Buning uchun R_2 va R_3 rezistorlarni VT_1 va VT_2 tranzistorlar bilan almashtirish hamda $R_1 = R_{k1}$, $R_4 = R_{k2}$ deb hisoblash kerak. Agar R_{k1} va R_{k2} qarshiliklar bir-biriga teng bo'lsa va VT_1 tranzistor parametrlari VT_2 niki bilan bir xil bo'lsa, u holda bu sxema simmetrik bo'ladi.

Amaliyotda to'rtta ulanish sxemasining ixtiyoriy biridan foydalanish mumkin: simmetrik kirish va chiqish, simmetrik kirish va nosimmetrik chiqish, nosimmetrik kirish va simmetrik chiqish, nosimmetrik kirish va chiqish. Simmetrik kirishda kirish signali manbayi DK kirishlari orasiga (tranzistorlarning bazalari



2.23-rasm.

orasiga) ulanadi. Simmetrik chiqishda yuklama qarshiligi DK chiqishlari oralig'iga (tranzistorlarning kollektorlari orasiga) ulanadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, DK kuchlanishlari qiymati (moduli bo'yicha) bir-biriga teng bo'lgan ikkita manbadan ta'minlanadi. Ikki qutbli manbadan ta'minlanish sokinlik rejimida umumiy shinagacha tranzistor baza potentsiallarini kamaytirishga imkon beradi. Bu holat DK kirishlariga signallarni qo'shimcha sath siljitish qurilmalarini kiritmasdan uzatishga imkon yaratadi.

Ikkala yelka ideal simmetrikligida kirish signallari mavjud bo'lmaganda ($U_{kir1} = 0$, $U_{kir2} = 0$) kollektor toklari va tranzistorlarning kollektor potentsiallari bir xil bo'ladi, chiqish kuchlanishi esa $U_{chiq1,2} = 0$. Sxema simmetrik bo'lganligi sababli, tranzistor xarakteristikasining sabablarga bog'liq bo'lmagan ravishda ixtiyoriy o'zgarishi ikkala yelka toklarining bir xil o'zgarishiga olib keladi. Shu sababli sxema balansi buzilmaydi va *chiqish kuchlanishi dreyfi* deyarli nolga teng bo'ladi.

DK ikkala kirishiga fazasi va amplitudalari bir xil bo'lgan signal (sinfaz signal) berilsa, $U_{kir1} = U_{kir2}$ yelkalarining simmetrikligi va BTGning mavjudligi tufayli kollektor toklari o'zgarmaydi va ular o'zgarishsiz hamda bir-biriga tengligicha qoladi:

$$I_{k1} = I_{k2} = 0,5\alpha I_e, \quad (2.47)$$

bu yerda α — emitter tokining uzatish koeffitsiyenti.

Demak, kollektor potentsiallari tengligicha qoladi, chiqish kuchlanishi esa $U_{chiq} = U_{k1} - U_{k2} = 0$. Bu degan so'z, ideal DK sinfaz kirish signallariga sezgir emas.

Agar kirish signallari amplitudasi bo'yicha bir xil, lekin fazalari qarama-qarshi bo'lsa, u holda ular *differensial* deb ataladi. Differensial signal ta'siri natijasida bir yelkadagi tok ikkinchi yelkadagi tok kamayishi hisobiga ortadi: $\Delta I_{e1} = -\Delta I_{e2}$, chunki toklar yig'indisi doim $I_e (I_{e1} + I_{e2} = I_e)$. Bir tranzistor kollektori potentsiali kamayadi, ikkinchisining esa xuddi shu qiymatga kamayadi. DK chiqishida potentsiallar farqi hosil bo'ladi, demak, chiqish kuchlanishi $U_{chiq1,2} = U_{chiq1} - U_{chiq2} = 0$.

Umumiy emitter ulanish sxemasida ishlaydigan kuchaytirgich tahlili natijalaridan foydalangan holda, differensial signal (simmetrik kirish va chiqishga ega bo'lgan)ning kuchaytirish ko'effitsiyenti qiymatini olamiz:

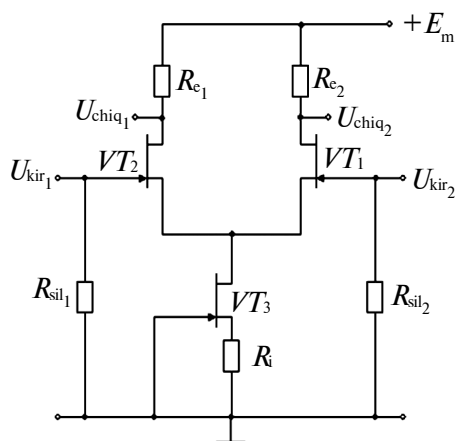
$$K_U = -S(R_k // r_{ke}). \quad (2.48)$$

Ideal DKlarda sinfaz signallarni so'ndirish natijasida nol dreyfi mavjud bo'lmaydi. Turli temperatura o'zgarishlari, shov-qinlar va navodkalar sinfaz signal bo'lishi mumkin. Real DKlarda yelkalarining absolut simmetriyasiga erishish mumkin emas, shuning uchun nol dreyfi mavjud bo'lib, u juda kichik qiymatga ega bo'ladi. Differensial kirishda, ya'ni kirish simmetrik bo'lganda, DK kirish qarshiligi sxemaning chap va o'ng yelkalari kirish qarshiliklari yig'indisi $R_{kir1} + R_{kir2}$ ga teng bo'ladi, chunki bu qarshiliklar signal manbayiga nisbatan ketma-ket ulanadi. Shunday qilib, $R_{kir1,2} = R_{kir1} + R_{kir2} = 2r_{kir}$, bu yerda r_{kir} — UE sxemasida ulangan tranzistorning kirish qarshiligi. r_{kir} kattaligi tranzistorning sokinlik toki I_b ga bog'liq bo'ladi. Shu sababli signalini oshirish uchun kuchaytirgichni kichik toklar rejimida ishlatish kerak.

Differensial kuchaytirgichning kuchaytirish ko'effitsiyenti kirish signallari generatorining ulanish va chiqish signalining o'lchanish usuliga bog'liq. DK kuchaytirish ko'effitsiyenti simmetrik kirishda ham, nosimmetrik kirishda ham bir xil bo'ladi.

Nosimmetrik chiqishda yuklama qarshiligi bir uchi bilan bir tranzistor kollektoriga, ikkinchi uchi bilan esa umumiy shinaga ulanadi. Bu vaqtda K_U simmetrik chiqishdagiga nisbatan 2 martaga kichik bo'ladi.

Yuklama qarshiligi ikkinchi chiqish va umumiy shina oralig'i-ga ulangan bo'lsin. Agar kirish signali 1-kirishga uzatilsa, u holda chiqish signali fazasi kirish signali fazasiga mos keladi. Bu vaqtda 1-kirishga «*inverslamaydigan*» kirish nomi beriladi. Agar kirish signali 2-kirishga uzatilsa, u holda chiqish va kirish signallari fazasi bir-biriga qarama-qarshi bo'ladi va 2-kirish «*inverslaydigan*» kirish deb ataladi.

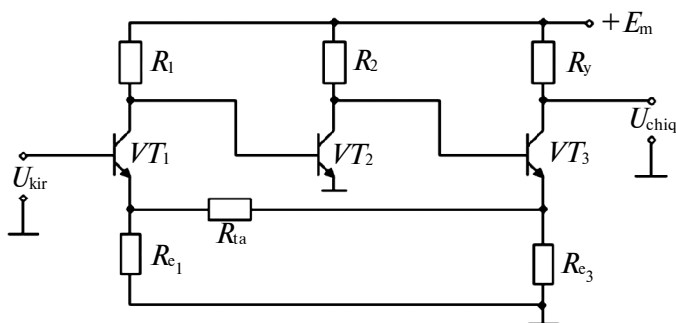


2.24-rasm.

Kichik kirish toklariga ega bo'lgan maydoniy tranzistorlarni qo'llash natijasida differensial kuchaytirgichning kirish qarshiligini sezilarli oshirish mumkin. Bu vaqtda $p-n$ bilan boshqariladigan maydoniy tranzistorlarga katta e'tibor qaratiladi. $p-n$ bilan boshqariladigan, kanali n -turli maydoniy tranzistorlarda bajarilgan DK sxemasi 2.24-rasmda keltirilgan. Barqaror tok generatori VT_3 va R_i da bajarilgan. R_{sil1} va R_{sil2} rezistorlari VT_1 va VT_2 tranzistor zatvorlariga boshlang'ich siljishni berish uchun mo'ljallangan.

2.4.9. Ko'p bosqichli kuchaytirgichlar

Kuchaytirgich parametrlarining yaxshi barqarorligini ta'minlab beruvchi manfiy teskari aloqa kuchaytirish koeffitsiyentini keskin kamaytiradi. Katta KU qiymatini olish uchun keng polosali ko'p bosqichli kuchaytirgichlar qo'llaniladi. 2.25-rasmda ketma-ket, parallel teskari aloqali uch bosqichli kuchaytirgichning prinsipial sxemasi keltirilgan. Birinchi UE bosqich VT_1 tranzistorda bajarilgan, unda tok bo'yicha mahalliy ketma-ket MTA mavjud bo'lib, u R_{e1} da bajarilgan. Ikkinchi bosqich VT_2 tranzistorda bajarilgan. Uchinchi bosqich VT_3 tranzistorda bajarilgan bo'lib, R_{e3} rezistor mahalliy MTAni amalga oshiradi.



2.25-rasm.

Mahalliy MTAdan tashqari kuchaytirgichda umumiy teskari aloqa qo'llanilgan. U kuchaytirgich bosqich chiqishini VT_1 tranzistor emitteri bilan bog'lovchi R_{TA} rezistor zanjirida bajarilgan. Mahalliy (bosqichlar ichidagi) teskari aloqalarga nisbatan butun kuchaytirgichni qamrab oladigan teskari aloqa yanada yuqori barqarorlikni hamda alohida bosqichlarning kuchaytirish koeffitsiyenti og'ishiga sezgirlikning kamayishini ta'minlaydi. 2.25-rasmdagi sxema integral kuchaytirgichni yasashda asos hisoblanadi. Lekin teskari aloqali asosiy uch bosqichli kuchaytirgichdan tashqari, integral kuchaytirgich sxemasi kichik chiqish qarshiligini ta'minlash uchun va kuchaytirgichda qo'shimcha keng polosalik, chidamlilik, temperaturaviy barqarorlik va o'zidan oldingi chiqish bosqichi kuchlanishi o'zgarmas tashkil etuvchisini keyingi bosqich kirish kuchlanishi o'zgarmas tashkil etuvchisi bilan muvofiqlashni ta'minlash uchun chiqish bosqichi sifatida emitter qaytargichga ega bo'ladi. Gap shundaki, turli katta sig'implarga ega bo'lgan kondensatorlarning mavjud emasligi tufayli barcha bosqichlar o'zgarmas tok bo'yicha o'zaro bog'langan.

Nazorat savollari

1. Differensial kuchaytirgich deb nimaga aytiladi?
2. Ko'p bosqichli kuchaytirgichlarga qanday kuchaytirgichlar kiradi?

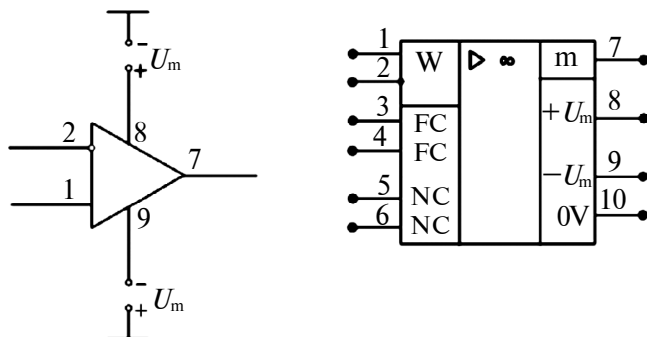
2.5. Operatsion kuchaytirgichlar

2.5.1. Umumiy ma'lumotlar

Operatsion kuchaytirgich (OK) — bu kuchlanish bo'yicha yuqori kuchaytirish koeffitsiyenti ($10^4 \div 10^6$), yuqori kirish ($10^4 \div 10^7 \Omega$) va kichik chiqish ($0,1 \div 1 \text{ k}\Omega$) qarshiliklariga ega bo'lgan o'zgarmas tok kuchaytirgichi. OK ikkita kirish va bitta chiqishga ega. Chiqish va kirishdagi signallarning qutbiga ko'ra kirishlarning biri *inverslaydigan* («—» ishorasi bilan belgilanadi), ikkinchisi — *inverslamaydigan* («+» ishorasi bilan belgilanadi) deb ataladi.

OKning shartli belgisi 2.26-*a*, *b* rasmda keltirilgan. Manba qiymatlari bir-biriga teng, lekin umumiy shinaga nisbatan ishoralari teskari bo'lgan ikkita manbadan ta'minlanadi. Bu bilan kirish signali mavjud bo'lmaganda chiqishda nol potensial ta'minlanadi va chiqishda ham musbat, ham manfiy signal olish imkoniyati yuzaga keladi. Real OKlarda kuchlanish manbayi qiymati $\div 3 \text{ B} \div \pm 18 \text{ B}$ oralig'ida yotadi. Signal umumiy shinaga ulangan simmetrik signal manbayidan 1 va 2-kirishlarga yoki ikkita alohida manbalardan uzatilishi mumkin. Bu kirishlardan biri inverslaydigan kirish va umumiy shinaga, ikkinchisi esa inverslamaydigan kirish va umumiy shinaga ulanadi.

OK doim teskari aloqa zanjirlari bilan qamrab olingan bo'ladi. Teskari aloqa zanjiri turiga ko'ra OK analog signallar ustida turli



2.26-rasm.

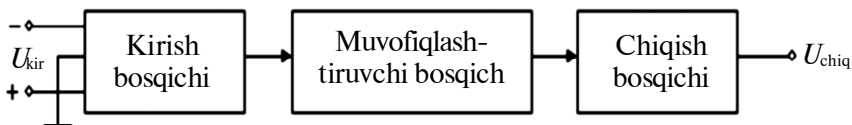
amallarni (operatsiyalarni) bajarishi mumkin. Bunday amallarga yig'indi olish, integrallash, differentsiallashtirish, solishtirish, logarifmlash va boshqalar kiradi. Shuning uchun bunday kuchaytirgichlar *operatsion kuchaytirgichlar* deb ataladi.

OK ideal kuchaytirgich element hisoblanadi va butun analog elektronikaning asosini tashkil etadi. OK yetarlicha murakkab tuzilmaga ega bo'lib, yagona kristall yuzasida bajariladi va birvarakayiga ko'p miqdorda ishlab chiqariladi. Shuning uchun OKni diod, tranzistor va h.k. kabi elektron sxemalarning sodda elementi kabi qarash mumkin. Hozirgi kunda OKlarning yuzlab turi ishlab chiqariladi, kichik o'lchamga ega va juda arzon hisoblanadi.

Katta kuchaytirish olish uchun OKlar ikki yoki uch bosqichli o'zgarmas tok kuchaytirgichlari asosida quriladi. 2.27-rasmda uch bosqichli OK tuzilmasi keltirilgan.

OKlarda kirish bosqichi sifatida differensial kuchaytirgich qo'llaniladi, bu kuchaytirish dreyfini maksimal kamaytirishga va ancha yuqori kuchaytirish olishga imkon yaratadi. U bilan kuchaytirgichning yuqori kirish qarshiligi, sinfaz signallarga sezgirlik va siljish kuchlanishi aniqlanadi. Oraliq (muvofiqlashtiruvchi) bosqichlar kerakli kuchaytirishni ta'minlaydi va differensial kuchaytirgich chiqishidagi kuchlanish siljishini nolga yaqin qiymatgacha kamaytiradi. Oraliq bosqichlarda differensial kuchaytirgichlar kabi, bir bosqichli kuchaytirgichlar ham qo'llaniladi. Chiqish bosqichlari OKning kichik chiqish qarshiligi va katta chiqish quvvatini ta'minlashi kerak. Chiqish bosqichlari sifatida, odatda, AV rejimda ishlaydigan komplementar emitter qaytargich qo'llaniladi.

Birinchi avlod operatsion kuchaytirgichlari, masalan, K140YД1, uch bosqichli tuzilmasi sxema asosida *n-p-n* tranzistorlarda bajarilgan. Birinchi kuchaytirish bosqichi klassik diffe-



2.27-rasm.

rensial kuchaytirgichda bajarilgan. Ikkinchi bosqich ham differensial kuchaytirgichda bajarilgan bo'lib, bu bosqichda BTG qo'llanilmaydi. Chiqish bosqichi *A*-rejimida ishlaydi, ya'ni emitter qaytargich vazifasini bajaradi. Mazkur operatsion kuchaytirgichlarning kamchiligi bo'lib uncha katta bo'lmagan kuchaytirish koeffitsiyenti ($K_{U_0}=300\div 4000$) va kichik kirish qarshiligi ($R_{kir}\cong 4\text{ k}\Omega$) hisoblanadi.

Aytib o'tilgan kamchiliklar *ikki bosqichli* sxemada yasalgan ikkinchi avlod OKlarda bartaraf etilgan. Xarakteristikalarini yaxshilash *tarkibiy tranzistorlar*, yuqori Ω li rezistorlar qo'llash va differensial bosqich yuklama rezistorlarini dinamik yuklamalarga almashtirish hisobiga amalga oshirilgan. Bir qator ikkinchi avlod OKlari maydoniy tranzistorlarda bajarilgan, buning natijasida kirish qarshiligi yanada oshirilgan.

140YД7 turdagi kuchaytirgich keng tarqalgan ikki bosqichli OK hisoblanadi. Bu OKning kuchaytirish koeffitsiyenti $K_{U_0}=45000$, kirish qarshiligi esa $R_{kir}=400\text{ k}\Omega$.

Ma'lumotnomalarda K_{U_0} , R_{kir} va R_{chiq} qiymatlari MTAsiz OKlar uchun keltiriladi. OK chiqish bosqichini yana maksimal chiqish toki (tez ishlaydigan keng polosali OKlar uchun $I_{chiq.maks}\leq 20\text{ mA}$ va quvvati katta OKlar uchun $I_{chiq.maks}\leq 500\text{ mA}$) va yuklamaning minimal qarshiligi ($R_{y.min}\geq 1\text{ k}\Omega$) parametrlari ham keltiriladi.

OKning asosiy xarakteristikalarini bo'lib uning amplituda (uzatish) xarakteristikalarini hisoblanadi. Xarakteristikaning qiya (chiziqli) sohasi ishchi soha hisoblanadi, uning og'ish burchagi K_{U_0} qiymati bilan aniqlanadi. $U_{chiq.maks}$ — maksimal chiqish kuchlanishi bo'lib, manba kuchlanishi E qiymatidan biroz kichik bo'ladi.

OKning chastota xossalari uning ACHXsida aks ettiriladi. Bu xarakteristikani qurishda K_{U_0} dB larda ifodalanadi, chastota esa logarifm masshtabida gorizont al o'q bo'ylab o'rnatiladi.

OKning bunday ACHXsi *logarifmik amplituda-chastota xarakteristikasi (LACHX)* deb ataladi. 2.28-rasmda tez ishlaydigan K140YД10 turdagi OKning LACHXsi keltirilgan. f_y — chas-

totadan kichik qiymatlarda kuchaytirish koeffitsiyenti $20 \lg K_{U_0}$ ga teng bo'ladi, ya'ni LACHX chastota o'qiga parallel to'g'ri chiziqni beradi. Kirish signalining ortishi bilan K_{U_0} kamaya boshlaydi va f_1 chastotada kuchaytirish koeffitsiyenti birga teng bo'ladi.

2.5.2. Operatsion kuchaytirgichlarning asosiy ulanish sxemalari

OKning asosiy ulanish sxemalari. OKlarda doim chiziqli yoki nochiziqli zanjir ko'rinishidagi chuqur manfiy teskari aloqa bajarilgan bo'ladi. MTA xossalari OK asosida turli analog va impuls elektron qurilmalar yaratish imkonini beradi.

Bunday sxemalarning ishlash prinsipini tushunish va ularni taxminiy tahlil qilish uchun *ideal operatsion kuchaytirgich* tushunchasi kiritiladi. Ideal operatsion kuchaytirgich quyidagi xossalarga ega bo'ladi:

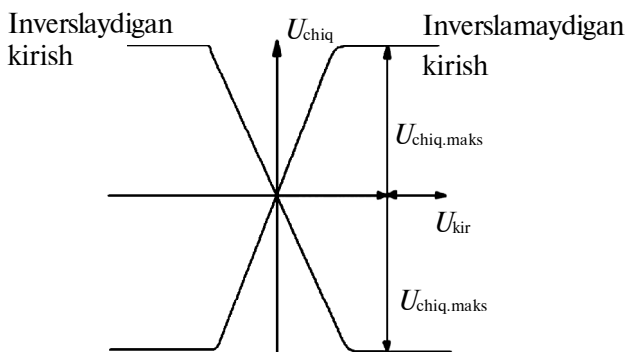
a) kuchlanish bo'yicha cheksiz katta differensial kuchaytirish koeffitsiyenti K_{U_0} ;

b) nol siljish kuchlanishining nolga tengligi U_{sil} , ya'ni kirish signallari bir-biriga teng bo'lganda, chiqish kuchlanishi nolga teng bo'ladi; demak, OK kirish potentsiallari doim bir-biriga teng;

d) kirish toklari nolga teng;

e) chiqish qarshiligi nolga teng;

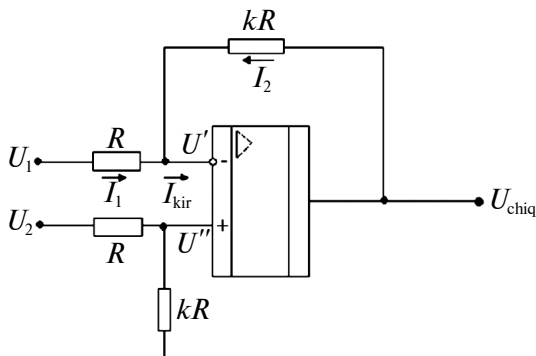
f) sinfaz signallarni kuchaytirish koeffitsiyenti nolga teng.



2.28-rasm.

2.5.3. Operatsion kuchaytirgichlarning differensial ulanishi

OKning differensial ulanishi. 2.29-rasmda OKning differensial ulanish sxemasi keltirilgan. Kirxgof qonuniga binoan $I_1 + I_2 - I_{kir} = 0$. Bundan d) xossa $I_{kir} = 0$ bo'lsa, u holda $I_1 + I_2 = 0$.



2.29-rasm.

$$I_1 = \frac{U_1 - U'}{R}; \quad (2.49)$$

$$I_2 = \frac{U_{chiq} - U''}{kR}; \quad (2.50)$$

$$\frac{U_1 - U'}{R} = \frac{U_{chiq} - U''}{kR}; \quad (2.51)$$

$$\kappa U_1 - U''(k + 1) = -U_{chiq}; \quad (2.52)$$

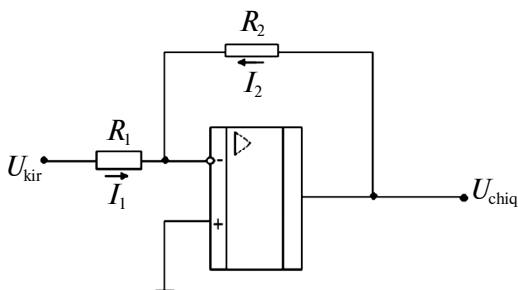
$$\text{b) xossaga ko'ra } U' = U'' = U_2 \frac{k}{k + 1}, \quad (2.53)$$

$$\text{bu yerdan } U_{chiq} = k(U_2 - U_1). \quad (2.54)$$

Shunday qilib, OKning differensial ulanishi natijasida yuzaga kelgan qurilma *ayiruvchi-kuchaytirgich* hisoblanadi.

2.5.4. Operatsion kuchaytirgichlarning invers ulanishi

Invers ulanishda OKning inverslamaydigan kirishi umumiy shina bilan ulanadi (2.30-rasm). d) xossa natijasida $I_1 + I_2 = 0$. Kirish potentsiallari nolga teng, demak,



2.30-rasm.

$$I_1 = \frac{U_{kir}}{R_1}; \quad (2.55)$$

$$I_2 = \frac{U_{chiq}}{R_2}; \quad (2.56)$$

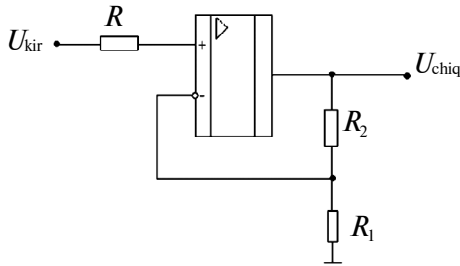
$$k = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = -\frac{R_2}{R_1}. \quad (2.57)$$

Real OK uchun bu formulaning qo'llanilishi kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblashda xatoliklarga olib keladi. OKning K_{U_0} va R_{kir0} qancha katta bo'lsa, bu formuladan foydalanish shuncha kichik xatolik beradi. Shunday qilib, $K_{U_0} = 10^3$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ va $R_{kir0} = 10 \text{ k}\Omega$ bo'lsa, kuchaytirish koeffitsiyentini aniqlashdagi xatolik 9 % ni tashkil etadi, $K_{U_0} = 10^5$ (qolgan kattaliklar o'zgarishsiz) bo'lganda esa 0,1 % dan kichik.

Kuchaytirgichning chiqish kuchlanishlari kirishga nisbatan teskari fazada bo'ladi. Bu sxemaning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti rezistor qarshiliklarining nisbatlariga bog'liq ravishda birdan katta ham, kichik ham bo'lishi mumkin va deyarli barqaror bo'ladi.

2.5.5. Operatsion kuchaytirgichlarning inverslamaydigan ulanishi

Inverslaydigan ulanishda kirish signali OKning inverslamaydigan kirishiga uzatiladi, inverslaydigan kirishga esa R_1 va R_2 bo'luvchi rezistorlar orqali kuchaytirgich chiqishidan teskari aloqa signali uzatiladi (2.31-rasm).



2.31-rasm.

$$\frac{U_{kir} - U'}{R} = 0; \quad (2.58)$$

$$U' = U'' = U_{chiq} \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \quad (2.59)$$

$$\text{bu yerdan } U_{chiq} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{kir}, \quad (2.60)$$

$$\text{ya'ni } k = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}. \quad (2.61)$$

Ko‘rinib turibdiki, bu yerda chiqish signali kirish signaliga sinfaz. Agar OK invers kirish bilan qisqa tutashgan bo‘lsa, bu koeffitsiyent birga teng bo‘ladi. Bunday sxemalar *inverslamaydigan qaytargichlar* deb ataladi va yagona qobiqda bajarilgan bir necha kuchaytirgich ko‘rinishidagi alohida integral mikrosxemalar ko‘rinishida birvarakayiga ishlab chiqariladi.

Qaytargichda qo‘llanilagan OK turi uchun maksimal kirish qarshiligi va minimal chiqish qarshiligi amalga oshiriladi. OK asosidagi qaytargich, ixtiyoriy biror qaytargich kabi (emitter yoki istok), muvofiqlashtiruvchi bosqich sifatida ishlatiladi.

Nazorat savollari

1. OK deb nimaga aytiladi?
2. OKning asosiy funksional qismlari nimalardan iborat?
3. Ideal OKga ta’rif bering.
4. OKning uch xil ulanish sxemasini keltiring.

3-bob. AVTOGENERATORLAR

3.1. Avtogeneratorlar va ular haqida umumiy ma'lumotlar, asosiy ko'rsatkichlari, ishlash prinsipi

3.1.1. Avtogeneratorlar va ular haqida umumiy ma'lumotlar

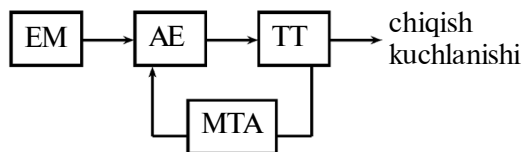
Kuchaytirish qurilmalari, chastota ko'paytgichlar, modulatorlar, detektorlar va shu kabi bir qator qurilmalar, faqat ularning kirish uchlariga tashqi qurilmalardan signallar berilganda o'z chiqishlarida tegishli aks ta'sir signalni paydo qiladilar. Bunday qurilmalar, odatda, *majburan qo'zg'aluvchi qurilmalar* deb ataladi.

Ammo shunday qurilmalar borki, ularning chiqishidagi tebranuvchan kuchlanishlar, bu qurilma ularning kirishiga tashqaridan hech qanday ta'sir kuchlanishi berilmaganda ham hosil bo'ladi. Bunday tebranishlar *avtotebranishlar* deb va ularni hosil qiluvchi qurilmalar *avtogeneratorlar* (AG) yoki *generatorlar* deb ataladi.

Tebranishlarni generatsiyalash axborot tizimlaridagi asosiy vazifalardan biri hisoblanadi. Avtogeneratorlar doimiy tok elektr manbayi (EM) quvvatini so'nmaydigan davriy tebranishlar quvvatiga aylantirib beradi. AGning strukturaviy sxemasi 3.1-rasmda keltirilgan.

AGning asosiy elementlari: EM — elektr manbayi, AE — aktiv element (tranzistor, elektron lampa va h.k.), TT — tebranish tizimi va MTA — musbat teskari aloqa.

AG o'z-o'zidan qo'zg'alishi uchun kerakli shartlarni batafsilroq ko'rib chiqamiz. Buning uchun dastlab oddiy LC-parallel konturga tashqi ta'sir bo'lganda unda bo'ladigan fizik jarayonni kuzatamiz. Tashqi impuls ta'sir etganda LC-konturda sinusoidal

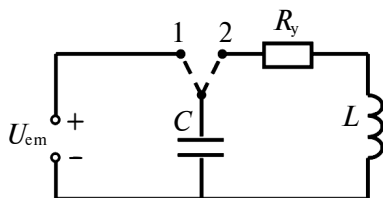


3.1-rasm.

shaklda o'zgaruvchi elektr tebranishlari hosil bo'ladi. Konturdagi bu tebranish cheksiz davom etmaydi, asta-sekin so'nadi, chunki konturdagi yo'qotishlar sababli undagi energiya uzluksiz kamayib boradi, yeyiladi va natijada nolga teng bo'ladi.

Tebranish konturidagi tebranishlar so'nmasligi uchun LC -konturga yeyilayotgan (yo'qotilayotgan) energiyani qoplovchi energiya berib turish kerak. LC -konturning o'zida bunday ichki manba yo'qligi sababli, uni tashqi manba hisobiga qoplash kerak. Elektr manbayi sifatida doimiy tok yoki kuchlanish manbayidan foydalaniladi. Endi LC -konturdagi fizik jarayonni 3.2-rasm yordamida ko'rib chiqamiz.

LC -konturda boshlang'ich holatda tebranishlar yo'q deb hisoblab K kalitni 2-holatga o'tkazsak, kondensator C kuchlanish U_{em} gacha zaryadlanadi. So'ngra kalitni 1-holatga o'tkazsak, LC -konturda sinusoidal shaklidagi erkin tebranishlar paydo bo'ladi. LC -konturdagi tebranishlar induktivlik L ning yo'qotish qarshiligi R_y hisobiga so'nmasligi uchun tebranishlar davriga mos ravishda kondensator C ni elektr manbayi U_{em} ga ulab-uzib turamiz. Natijada kondensator doimiy ravishda o'z zaryadini to'ldirib turadi. Shuning hisobiga LC -konturdagi tebranishlar so'nmaydi.



3.2-rasm.

ko'rsatmani tebranishlar chastotasi $\omega_g = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ni o'rnatuvchi

131

nuqtasi oʻrnatiladi. Ammo oʻz-oʻzidan generatsiya hosil boʻlishi uchun qoʻzgʻalish sharti hamda tebranishlar amplitudasi va chastotasini oʻzgarmas barqaror saqlab turish uchun turgʻunlik shartlari bajarilishi kerak.

Dastlab oʻz-oʻzidan qoʻzgʻalish jarayonini koʻrib chiqamiz. Tabiiyki, generatorda tebranishlar yoʻqdan bor boʻlmaydi, qandaydir ichki yoki tashqi turtki boʻlishi kerak. Shunday turtki vazifasini zaryad tashuvchi (elektron, ion)larning issiqlik harakati natijasida paydo boʻladigan tok yoki kuchlanish qiymatining tasodifiy oʻzgarishi — fluktuatsiyasi hisoblanadi. Bu fluktuatsiyalar quvvati juda oz boʻlib, maʼlum bir sharoitda tartibli tebranishlar manbai boʻlishi mumkin. Buning uchun 3.3-rasmdagi qurilmada E_{em} elektr manbai ulanishi bilan sodir boʻladigan jarayonni koʻrib chiqamiz. i_s stok toki paydo boʻlishi bilan LC -kontur kondensatori C zaryadlanadi va konturda erkin soʻnuvchi tebranishlar hosil boʻladi. Induktivlik L dan oʻtayotgan i_L tok L_A gʻaltagida oʻzaro induksiya natijasida oʻzgaruvchan kuchlanish U_z ni hosil qiladi. Tranzistor zatvori va istogi orasiga qoʻyilgan U_z kuchlanish, stok toki i_s ning birdan oʻzgarishiga olib keladi. Bu i_s toki oʻzgaruvchan tashkil etuvchisi LC -konturda U_k kuchlanish hosil qiladi. Bu U_k kuchlanish zatvor-istok oraligʻidagi U_z kuchlanishni K_k marta kuchaytirish natijasi deb qaralishi mumkin. Zatvordagi tebranishlar chastotasi LC -konturdagi tebranishlar chastotasiga teng, demak i_s toki oʻzgaruvchi spektral

tashkil etuvchisining chastotasi ham $\omega_g = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ga teng. Shuning

uchun LC -konturda toklar rezonansi sodir boʻladi va kontur qarshiligi oshib, R_{oe} ga teng rezistiv qarshilikka ekvivalent boʻladi. Oʻz-oʻzidan qoʻzgʻalish uchun teskari musbat bogʻlanish kerakligicha katta boʻlishi kerak, aks holda zatvordagi kuchsiz kuchlanish U_z stok toki i_s ning oʻzgaruvchi spektral tashkil etuvchisining quvvati LC -konturdagi yoʻqotilgan energiyani qoplashga yetarli boʻlmazligi mumkin.

Avtogenerator, bir tomondan, kuchaytirish qurilmasiga o'xshash, chunki LC -konturdagi tebranish kuchlanishining bir qismi teskari bog'lanish orqali tranzistor kirishiga beriladi, u kuchaytiriladi va LC -konturda kuchlanish hosil qiladi, yana takroran teskari bog'lanish orqali tranzistor kirishiga beriladi va ushbu jarayon qayta-qayta takrorlanadi. Tebranishlar amplitudasi asta-sekin oshib boradi va ma'lum kattalikka ega bo'lgandan so'ng, zatvordagi U_z kuchlanish kichik qiymatlarida chiziqli rejimda ishlayotgan tranzistor, asta-sekin U_z katta qiymatga erishgandan so'ng nochiziqli rejimga o'tadi, stok toki to'yinish tokiga teng bo'ladi. Natijada LC -konturda qancha energiya yo'qotsa, unga shuncha miqdorda energiya stok toki orqali keladi, tebranishlar amplitudasi barqarorlashadi.

Shunday qilib, generator o'z-o'zidan qo'zg'alishi va undagi tebranishlar so'nmasligi uchun teskari bog'lanish musbat bo'lishi va uning qiymati konturda yo'qotilayotgan energiyani to'liq qoplash uchun yetarli bo'lishi kerak.

Agar teskari bog'lanish manfiy bo'lsa, bu nafaqat o'z-o'zidan generatsiya sodir bo'lishi, balki dastlab bo'lgan tebranishlarning ham so'nishiga sabab bo'ladi.

3.1.2. Avtogeneratorlardagi energetik bog'lanishlar

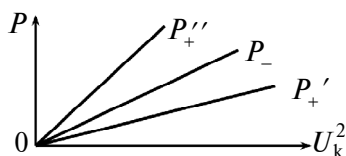
LC -konturda energiya yo'qotilishining asosiy sababi induktivlik L ning xususiy qarshiligi R_y hisoblanadi. Ushbu qarshilik R_y da yo'qotiladigan quvvat

$$P_- = 0,5I_1 \cdot U_k, \quad (3.1)$$

bunda: I_1 — stok toki birinchi garmonikasi amplitudasi; U_k — konturdagi kuchlanish bo'lib, $I_1 = U_k/R_e$ ligini va, o'z navbatida,

$$R_e = \frac{L}{R_y C} \text{ ni e'tiborga olsak,}$$

$$P_- = 0,5U_k / R_e \quad (3.2)$$



3.4-rasm.

bo‘ladi. Bu ifodadan ko‘rinib turibdiki, P_- quvvat konturdagi kuchlanish U_k ning kvadratiga proporsional.

Elektr manbayidan konturga berilayotgan quvvat P_t ham konturdagi kuchlanish U_k ning kvadratiga proporsional, ya‘ni $P_t \sim U_m^2 \cdot P_t$ va P_- larning o‘zaro nisbatlari LC-konturdagi jarayonning holatini va uning rivojlanishini bildiradi. 3.4-rasmda P_t va P_- quvvatlarning U_k^2 ga bog‘liqlik grafigi keltirilgan.

Agar $P_- > P_t$ bo‘lsa, konturda faqat so‘nuvchi tebranish bo‘ladi. $P_t > P_-$ bo‘lsa, kontur ortiqcha quvvat oladi va undagi tebranishlar amplitudasi oshadi. Tok fluktuatsiyasi natijasida hosil bo‘lgan tok va kuchlanishning kichik qiymatlari asta-sekin oshib boradi, generatorning qo‘zg‘alish sharti bajariladi, konturni turg‘un holatdan tebranish holatiga keltiradi. 0 nuqtasi turg‘un bo‘lmaydi. Generatorda kuchaytirish elementining nol asta-sekin noxiziqli rejimga o‘tishi dastlab P_t qiymatining o‘shishini sekinlashtiradi, natijada $P_t = P_-$ ga erishiladi. Tebranishlar amplitudasi barqarorlashadi.

3.1.3. Avtogeneratorlarning ishlash rejimlari

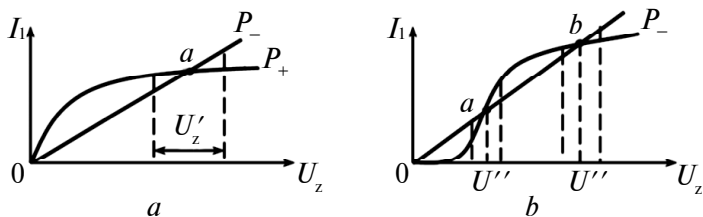
Avtogeneratorlarning ishlash rejimlari ularning tebranish xarakteristikalarini va o‘rtacha qiyalik xarakteristikalarini orqali baholanadi.

AGning *tebranish xarakteristikasi* deb, aktiv element (transistor, elektron lampa va h.k.)dan o‘tayotgan tok birinchi garmonikasi I_1 ning uning kirishidagi garmonik shakldagi

kuchlanish U_z amplitudasiga bog'liqligiga aytiladi, ya'ni $I_1 = F(U_z)$.

3.5-*a* rasmdagi holatda U_z qiymati nolga yaqin holatdan to (*a*) nuqtagacha $P_t > P_-$, demak, o'z-o'zidan qo'zg'alish generatsiya sodir bo'ladi va $P_t = P_-$ (*a*) nuqtada tebranishlar amplitudasi barqarorlashadi, agar ba'zi sabablarga ko'ra U_z ning (*a*) nuqtasiga mos qiymati $\pm \Delta U$ ga o'zgarsa, uning qiymati biroz vaqtdan keyin o'zining (*a*) nuqtasiga mos holatiga qaytadi, chunki (*a*) nuqtadan chapda $P_t > P_t$ jarayon rivojlanib, (*a*) nuqtaga intiladi. (*a*) nuqtadan o'ngda $P_t < P_-$ bo'lib, bu holat uzoq davom etolmaydi va yana asta-sekin $P_t = P_-$ bo'lgan (*a*) nuqtaga qaytadi. Bu rejim *yumshoq rejim* deb yuritiladi. Bu rejimda 0 nuqtasi dinamik rejimda barqaror emas, (*a*) nuqtasi dinamik rejimda barqaror, bu holat agar tashqi ta'sir generatsiyani so'ndirishga sabab bo'lmasa, generatsiya davomida o'zgarmaydi.

3.5-*b* rasmda P_t va P_- uchta nuqtada kesishadi. Boshlang'ich nuqtada (0) $P_t = P_-$, agar biron-bir sabab bilan $U_z > 0$, ammo $0 < U_z$ bo'lsa, generatsiya sodir bo'lmaydi $P_t < P_-$, 0 — nuqtada rejimi turg'un. (*a*) nuqtasida $P_t = P_-$, ammo undan chapda $P_t < P_-$, o'ngda esa $P_t > P_-$. Agar (*a*) nuqtaga mos kuchlanish qiymati U_z amplitudasi $\pm \Delta U$ ga o'zgarsa, qurilma ish rejimi o'zgaradi, bunda (*a*) nuqtadan chapda $P_t < P_-$ bo'lgani uchun bor bo'lgan tebranish asta so'nadi, (*a*) nuqtaning o'ng tomonida



3.5-rasm.

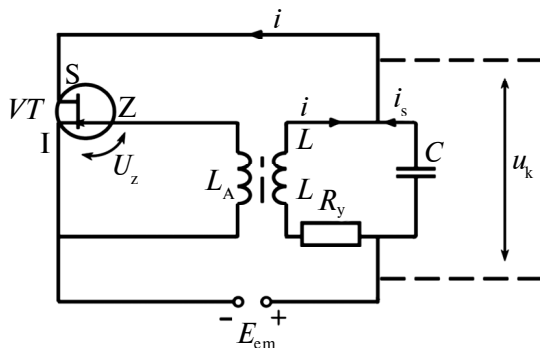
$P_t > P_-$ bo'lgani uchun u (a) nuqtadagi holatidan (b) nuqtaga mos ish holatiga o'tadi. (a) nuqtasi dinamik rejimda barqaror emas. (b) nuqtasi dinamik rejimda barqaror (bu holat yumshoq rejimdagi (a) nuqtasiga o'xshash holat). 3.5-b rasmdagi holatda generatsiya hosil qilish uchun unga tashqaridan amplitudasi U_z dan katta bo'lgan turtki kuchlanishi berilishi kerak. Bu tahlilda o'z-o'zidan qo'zg'aluvchi generator rejimi *qattiq rejimda qo'zg'alish rejimi* deb ataladi.

Generatorning yumshoq yoki qattiq rejimda o'z-o'zidan qo'zg'alishi — generatsiya qilishi ish nuqtasi AE VAXsining qaysi qismida o'rnatilganligiga bog'liq.

Agar boshlang'ich holat ish nuqtasi AE VAXning eng katta qiyalikka ega qismida o'rnatilsa va qo'zg'alish sharti bajarilsa, bu yumshoq rejimga mos keladi. Boshlang'ich ish nuqtasi AE VAXning qiyaligi kam bo'lgan boshlang'ich qismiga o'rnatilgan bo'lsa, bu qattiq ish rejimiga mos keladi.

3.1.4. Avtogenertorning qo'zg'alish sharti

Tranzistor kirishidagi kuchlanish uning VAXsining juda oz qismiga mos kelsa, ushbu nuqta atrofida uning xarakteristikasini chiziqli va qiyaligi S_0 deb hisoblash mumkin, chunki generatsiya juda kuchsiz tok va kuchlanishlar qiymatining tasodifiy o'zgarishi



3.6-rasm.

natijasida yuzaga keladi. Generatsiya sodir bo'lishi jarayonida, uni chiziqli doimiy parametrga ega deb qaraladi.

Avtogenerator tenglamasini tuzish uchun Kirxgof qonuni-dan foydalanamiz.

Tranzistor stok toki $i_s = i_L + i_s$ bo'lib,

$$i = S_1 U_z \quad (3.3)$$

ga teng. Tranzistor zatvoridagi kuchlanish U_z aloqa induktiv-ligidagi EYK E_y ga teng

$$U_z = E_y = M \frac{di_L}{dt}. \quad (3.4)$$

(3.4) ni (3.3) ifodaga qo'yib,

$$i = MS_0 \frac{di_L}{dt} \quad (3.5)$$

ni olamiz. Sig'im orqali o'tuvchi tokni LC -konturdagi kuchla-nish U_k orqali ifodalaymiz:

$$i_s = C \frac{dU_k}{dt}. \quad (3.6)$$

U_k kuchlanishi L induktivlik va R_y dagi kuchlanishlar yig'in-disiga tengligini e'tiborga olsak,

$$U_k = R_y i_L + L \frac{di_L}{dt}, \quad (3.7)$$

(3.7) ifodani differensiallab, i_s tok uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$i_s = R_y C \frac{di_L}{dt} + LC \frac{d^2 i_L}{dt^2}. \quad (3.8)$$

i_s va i_L toklar yig'indisi i ni aniqlaymiz, ya'ni

$$MS_0 \frac{di_L}{dt} = i_L + R_y C \frac{di_L}{dt} + LC \frac{d^2 i_L}{dt^2}, \quad (3.9)$$

(3.9) ifodaning hamma tashkil etuvchilarini LC ga bo'lib, quyi-dagi ifodani olamiz:

$$\frac{d^2 i_L}{dt^2} + \left(\frac{R}{L} - \frac{MS_0}{LC} \right) \frac{di_L}{dt} + \omega_0^2 i_L = 0 \quad (3.10)$$

bunda $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ — shu LC -konturning rezonans chastotasi.

(3.10) tenglama generatorning o'z-o'zidan qo'zg'alish ish rejimini ifodalaydi. Bu ikkinchi darajali differensial tenglama bo'lib, uning hamma koeffitsiyentlari doimiy va tokka bog'liq emas.

Oddiy parallel LC -tebranish konturi quyidagi differensial tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\alpha \frac{di}{dt} + \omega_0^2 i = 0, \quad (3.11)$$

bunda $2\alpha = \frac{R_y}{L}$ — konturning so'nish koeffitsiyenti.

(3.10) va (3.11) tenglamalarning tuzilishi bir xil. Shuning uchun generatorni so'nish koeffitsiyenti teskari bog'lanish qiymatiga bog'liq tebranish konturi sifatida qaralishi mumkin. Bu holda (3.10) ni (3.11) ga o'xshash ko'rinishga olib kelish mumkin.

$$\frac{d^2 i_L}{dt^2} + 2\alpha \frac{di_L}{dt} + \omega_0^2 i = 0, \quad (3.12)$$

bunda, ekvivalent so'nish koeffitsiyenti:

$$2\alpha_e = 2\alpha - \frac{MS_0}{LC}. \quad (3.13)$$

(3.13) dan ko'rinish turibdiki, agar teskari bog'lanish musbat bo'lsa, so'nish koeffitsiyenti α kamayadi, chunki $\frac{MS_0}{LC}$ musbat. So'nish koeffitsiyenti α tebranishning so'nish tezligini, ya'ni energiyaning qarshilik R_y da yo'qotilish tezligini tavsiflaydi. Demak, MTB (musbat teskari bog'lanish) orqali tebranish konturiga qo'shimcha energiya olib kiriladi, bu so'nish koeffitsiyentini kamaytirish, demakdir.

3.7-a rasmda α_e ning musbat qiymatlarida konturdagi tebranishning so'nish jarayoni keltirilgan. So'nish tezligi α_e ning absolut qiymatiga bog'liq. Teskari bog'lanishli M ni oshirish hisobiga

$$2\alpha_e = 2\alpha - \frac{MS_0}{LC} = 0 \quad (3.14)$$

holatga erishish mumkin. Bunda konturdagi tebranishlar soʻnmas boʻladi (3.7-*b* rasm) va energiyani yoʻqotish toʻliq qoplanadi.

Agar M qiymatini, yaʼni MTB qiymatini yanada oshirsak, $2\alpha_e$ manfiy boʻladi va LC -konturdagi tebranishlar amplitudasining oshishiga olib keladi, yaʼni

$$2\alpha_e = 2\alpha - \frac{MS_0}{LC} < 0. \quad (3.15)$$

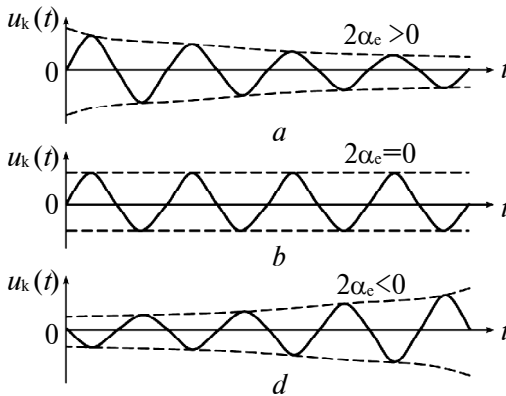
(3.15) oʻz-oʻzidan qoʻzgʻalish shartini aniqlash imkoniyatini beradi. (3.15) ifodaga $2\alpha = \frac{R_y}{L}$ ni qoʻyib,

$$\frac{R_y}{L} - \frac{MS_0}{LC} < 0 \quad (3.16)$$

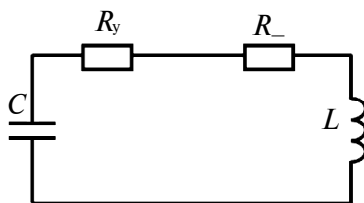
ni olamiz. Bu (3.16) ifodadan M ning oʻz-oʻzidan generatsiya boʻlishi uchun kerak qiymatini aniqlaymiz, yaʼni

$$M > M_{kr} = \frac{R_y C}{S_0}. \quad (3.17)$$

Quyida musbat teskari bogʻlanishning boshqacha talqinini keltiramiz. (3.10) tenglamani boshqacha koʻrinishda yozamiz:



3.7-rasm.



3.8-rasm.

$$\frac{d^2 i_L}{dt^2} + \frac{1}{L} \left(R_y - \frac{MS_0}{C} \right) \frac{di_L}{dt} + \omega_0^2 i_L = 0. \quad (3.18)$$

(3.18) ifodada $\frac{MS_0}{C}$ qarshilik o'lchamiga ega, chunki ushbu tenglamadagi R_y dan faqat ushbu fizik birlikdagi kattalikni ayirish mumkin, ya'ni $-\frac{MS_0}{C} = R_y$ bo'lib, konturga energiya olib kiruvchi musbat teskari bog'lanish ushbu konturga manfiy qarshilik kiritilganligiga teng bo'ladi. Shuning uchun generatorni LC -tebranish konturiga uning yo'qotish qarshiligi R_y ga qo'shimcha manfiy R_- qarshilik kiritilgan ekvivalent sxema (3.8-rasm) ko'rinishida tasvirlash mumkin. Generator o'z-o'zidan qo'zg'alishi uchun

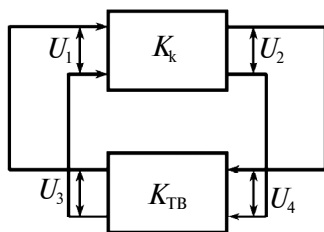
$$R_y + R_- < 0 \text{ yoki } |R_-| > |R_y| \quad (3.19)$$

bo'lishi shart.

Demak, LC -tebranish konturiga manfiy qarshilik R_- ning kiritilishi konturga undagi yo'qotilayotgan energiyani qoplovchi energiya kiritildi deb hisoblanishi mumkin.

3.1.5. Avtogeneratorning barqaror rejimi

Avtogeneratorni quyidagi umumiy ko'rinishda tasavvur etish mumkin. U ikki asosiy qismdan iborat: kirish signalini K marta kuchaytiruvchi qurilma va kuchaytirilgan kuchlanishning bir qismini teskari bog'lanish hisobiga kuchaytirgich kirishiga qayta kiritishni ta'minlovchi qism. Avtogenerator barqaror re-



3.9-rasm.

jimda ishlashi uchun uning chiqishidagi kuchlanish $\dot{U}_{ch}$, teskari bog‘lanish qismida necha marta kamaygan bo‘lsa, kuchaytirish qurilmasi shuncha marta $\dot{U}_3$ ni kuchaytirishi kerak.

Agar kuchaytirish qismi va teskari bog‘lanish ko‘effitsiyentlarini mos ravishda

$$\dot{K}_k = K_k e^{j\varphi_k(\omega)} \quad \text{va} \quad \dot{K}_{TB} = K_{TB} e^{j\varphi_{TB}(\omega)} \quad (3.20)$$

deb olishimiz mumkin. Barqaror rejimda

$$\dot{K}_k \cdot \dot{K}_{TB} = 1 \quad \text{yoki} \quad K_k \cdot K_{TB} = 1 \quad \text{va} \quad \varphi_k(\omega) + \varphi_{TB} = 0; 2\pi n \quad (3.21)$$

shart bajarilishi kerak.

(3.21) ifoda *avtogeneratorlarning kompleks tenglamasi* deb ataladi. Unga binoan AG yopiq tizimidagi umumiy kompleks uzatish ko‘effitsiyenti birga teng bo‘lishi kerak yoki alohida-alohida shart sifatida, ya’ni:

— AG yopiq tizimidagi uzatish ko‘effitsiyenti birga teng bo‘lishi;

— AG yopiq tizimidagi fazalar o‘zgarishi yig‘indisi 0 (nol) ga yoki $2\pi n$ ga teng bo‘lishi kerak.

(3.21) ifodadagi fazalar balansi sharti bajarilishi uchun LC-tebranish konturi yopiq tizimga olib kirayotgan faza $\varphi_{LC}(\omega) = 0$ bo‘lishi kerak. Ushbu shartdan avtogeneratorning

tebranish chastotasi aniqlanadi, ya’ni $\omega_r = \omega_g = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, chunki

faqat konturning rezonans chastotasida u faqat rezistiv kattalik bo'ladi. Xulosa qilib aytganda, LC -generator o'z-o'zidan qo'zg'alishi uchun dastlab $\dot{K}_k \cdot \dot{K}_{TB} > 1$ bo'lishi va barqaror rejimda yoki $\dot{K}_k \cdot \dot{K}_{TB} = 1$ bo'lishi kerak.

3.2. Uch nuqtali avtogeneratorlar

Avtogeneratorlarni 3.10-rasmda keltirilgan ekvivalent sxema orqali o'rganish mumkin. Bunda AG aktiv element tranzistor stogi va zatvori orasidagi elementlar $\dot{Z}_1$; zatvor-istok orasidagi elementlar $\dot{Z}_2$ va stok-istok orasidagi elementlar $\dot{Z}_3$ ekvivalent kattalikka ega deb hisoblanadi. Ma'lumki, AG tebranish chastotasi uning konturi rezonans chastotasiga teng bo'ladi. Buning uchun hamma reaktiv qarshiliklar yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak, ya'ni

$$\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 = 0. \quad (3.22)$$

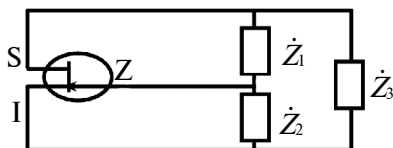
(3.22) shart bajarilishi uchun

$$\dot{Z}_1 > \dot{Z}_2 \text{ va } \dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 \quad (3.23)$$

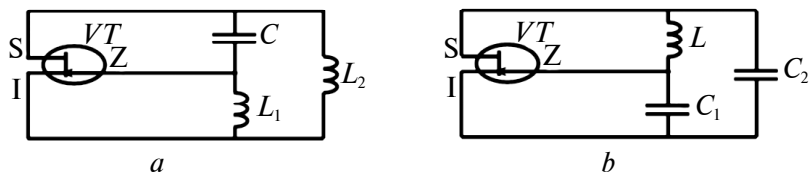
bo'lishi, demak, $\dot{Z}_2$ va $\dot{Z}_3$ bir xil reaktiv xarakterga ega bo'lishi kerak.

(3.22) va (3.23) ifodani e'tiborga olib, $\dot{Z}_1$, $\dot{Z}_2$ va $\dot{Z}_3$ larni tegishli induktiv element va kondensator bilan almashtiramiz.

3.11-a rasmda keltirilgan induktivlik uch nuqta AG deb nomlanadi, chunki tranzistor AE ning uch ulanish nuqtasiga induktivliklar ulangan. L_1 , L_2 va C ning ma'lum bir qiymatlarida (3.22) shart, ya'ni faza balansi sharti bajariladi.



3.10-rasm.



3.11-rasm.

3.11-*b* rasmda keltirilgan sig‘imli uch nuqta AG deb nomlanadi, chunki tranzistor AE ning uch ulanish nuqtasiga kondensatorlar ulangan bo‘lib, L , C_1 va C_2 ning ma‘lum bir qiymatlarida (3.22) shart bajariladi. Ushbu (3.22) shart bajarilgan chastotada AG tebranadi, chunki fazalar balansi sharti bajariladi. Ikkinchi shart, amplitudalar balansi sharti juda oson bajariladi, chunki hozirgi AE tranzistorlar va operatsion kuchaytirgichlar katta kuchaytirish qobiliyatiga ega.

AG asosiy ko‘rsatkichlaridan biri u tebranayotgan chastotaning doimiyligi — barqarorligidir. AG tebranish chastotasi

barqarorligi absolut o‘zgarishi $\pm\Delta\omega_0$ va nisbiy o‘zgarishi $\pm\frac{\Delta\omega}{\omega_0}$

orqali baholanadi. AG chastotasining barqarorligi, birinchi navbatda, LC -kontur aslligi Q ga bog‘liq, shuning uchun AG tebranish chastotasini asllik ta‘minlaydi deb qaraladi.

AG tebranish chastotasining barqarorligini ta‘minlash maqsadida LC -kontur o‘rniga kvars rezonatorlaridan foydalaniladi, chunki uning aslligi $Q = 10^3 \div 10^4$ qilib olinishi mumkin. Bundan tashqari, AG chastotasini barqarorlashtirish uchun elektr manba E_{ep} kuchlanishini doimiy o‘zgarmas saqlanadi va AGni maxsus issiqlik va namlik o‘zgarmas konteynerlarga joylashtiriladi.

Nazorat savollari

1. Majburan qo‘zg‘aluvchi qurilmalar deb qanday qurilmaga aytiladi?
2. Avtogeneratorning tebranish xarakteristikasi deb nimaga aytiladi?
3. Uch nuqtali avtogeneratorlar ishlash prinsipi nimaga asoslangan?

3.3. RC-generatorlar

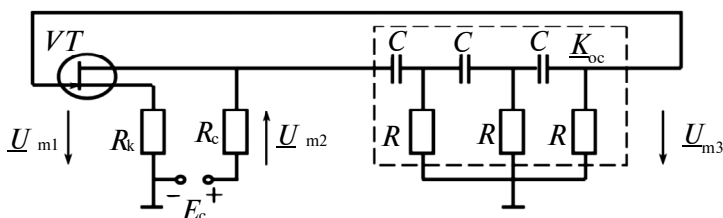
LC-konturli AG yordamida past chastotali signallarni generatsiyalash qiyin, chunki *L* va *C* larning qiymatlari oshgan sari *LC*-kontur aslligi *Q* juda kamayib ketadi va amplituda balansi sharti bajarilmaydi, induktivlik *L* o'ramlari oshadi, natijada yo'qotish qarshiligi R_y da tok katta quvvati sarf bo'ladi, *L* va *C* larning geometrik o'lchamlari ham katta bo'ladi.

RC-generatorlarda generatsiyalanadigan tebranishlar davri, ushbu elementlar vaqt davriyligi $\tau = RC$ bilan o'lchamdosh. *R* va *C* larning qiymatlari katta bo'lgani bilan geometrik o'lchamlarini kichik qilib tanlash mumkin, natijada generatsiya chastotasi Hz ning mingdan biridan bir necha yuz kHz gacha bo'lishi mumkin.

Xuddi *LC* AGdagi kabi, *RC*-generatorlarda ham amplituda va faza balansi sharti bajarilishi kerak. AE bipolar tranzistor umumiy emitter yoki maydon tranzistori umumiy istok sxemasi bo'yicha foydalanilsa, ularning chiqishidagi kuchlanish kirishdagiga nisbatan 180° ga o'zgaradi. Fazalar balansi bajarilishi uchun uni yana $\pm 180^\circ$ ga surish kerak. Fazalarni 180° ga surishni *RC*-zanjirchalar orqali amalga oshirish mumkin.

3.3.1. Faza suruvchi RC-zanjirli generator

Bunday generator sxemasi 3.12-rasmda keltirilgan bo'lib, maydon tranzistori *VT*, uning yuklamasi R_y va teskari bog'lanish zanjiri K_{TBZ} dan iborat. Faza balansi bajarilishi uchun teskari bog'lanish zanjiri o'z kirishidagi kuchlanishni 180° ga surishi kerak, natijada umumiy faza surilishi 2π ga teng bo'ladi. Bitta yuqori chastota *RC*-zanjiri (3.13-*a* rasm) kirishidagi U_m , kuchlanishni φ gradusga suradi. 3.13-*b* rasmda 3.12-rasmdagiga mos belgilashda vektor diagramma keltirilgan. Bunda asos qilib tok I_m olingan, u bilan rezistor *R* dagi kuchlanish $\dot{U}_{m2}$ mos keladi; kondensator *C* dagi kuchlanish $\dot{U}_{mc}$ tok I_m dan 90° ga kechikadi.



3.12-rasm.

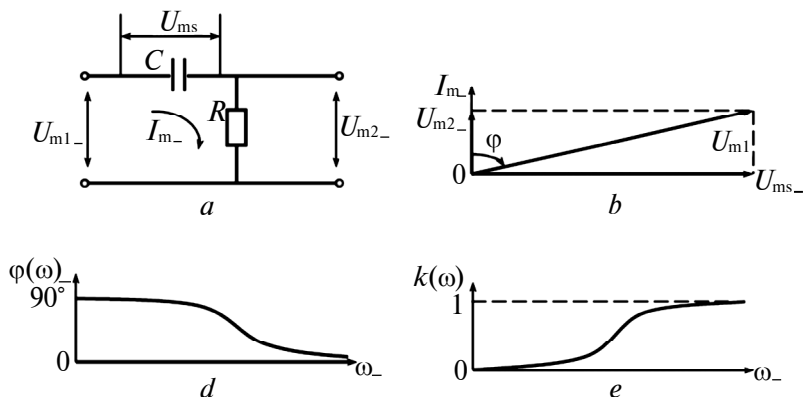
Kirish kuchlanishi $\dot{U}_{m1}$ chiqish kuchlanishi $\dot{U}_{m2}$ va kondensatordagi kuchlanish vektor yig'indisi shaklida aniqlanadi, natijada U_{m2} fazasi U_{m1} ga nisbatan 90° ga surilgan bo'ladi.

RC -zanjir faza-chastota xarakteristikasini 3.13-b rasmdagi vektor diagramma orqali aniqlaymiz:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\dot{U}_{m1}}{\dot{U}_{m2}} = \frac{1}{\omega RC}. \quad (3.24)$$

3.13, d-rasmdagi RC -zanjir faza-chastota xarakteristikasidan ko'rinib turibdiki, kirish va chiqish orasidagi kuchlanish fazasi chastotaga bog'liq. Chastota nolga teng bo'lganda faza siljishi 90° bo'ladi. Ushbu zanjirning uzatish koeffitsiyenti:

$$\dot{K}_{uk} = \frac{\dot{U}_{m2}}{\dot{U}_{m1}} = \frac{R}{\frac{1}{\omega C} + R} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\omega RC}}. \quad (3.25)$$



3.13-rasm.

RC -zanjirning uzatish koeffitsiyenti $\omega=0$ da nolga teng va $\omega \rightarrow \infty$ da $K_{uk} = 1$.

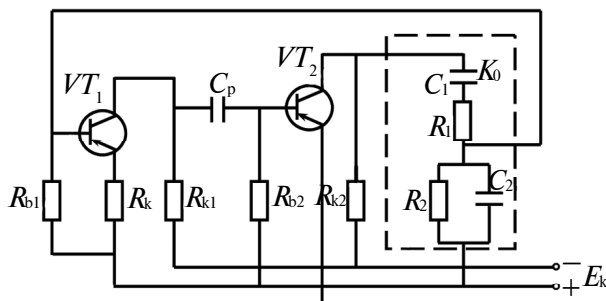
Har bir RC -zanjir qandaydir chastota ω da kirish kuchlanishi fazasini 60° ga siljitsa, ulardan uchta 180° ga suradi.

Ushbu uchta RC -zanjirli generator $\omega_g = \frac{1}{\sqrt{6}RC}$ chastotada tebranadi. Tranzistorning kuchaytirish koeffitsiyenti $K_{kk}=29$ bo'lganda amplituda balansi sharti bajarilmaydi. Agar past chastota RC -zanjiridan (3.13-*a* rasm) uchta olsak, generatsiya chastotasi $\omega_g = \frac{\sqrt{6}}{RC}$ va $K_{kk} = 18$ bo'ladi.

3.3.2. Faza balanslovchi Vinn ko'priqli RC -generator

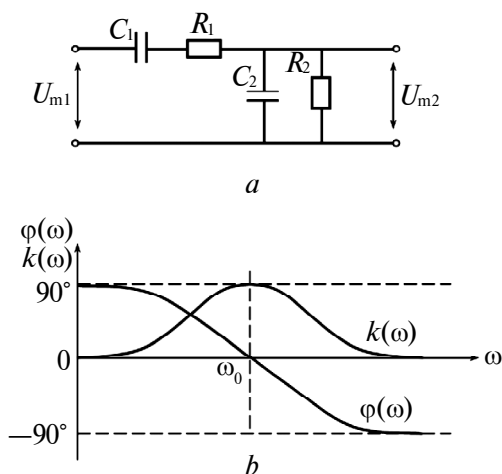
RC -generatorining sxemasi 3.14-rasmda keltirilgan.

Generator ikkita umumiy emitterlik kaskadli kuchaytirgichdan va teskari bog'lanish zanjiridan iborat. Ma'lumki, har bir kaskad kirish signali fazasini 180° ga buradi, natijada ikki kaskad 360° faza surilishini, ya'ni faza balansi shartining bajarilishini ta'minlaydi. Kuchaytirish kaskadlari yuklamalari R_{k1} va R_{k2} lardagi kuchlanishlar shakli trapetsiyasimon bo'ladi, chunki bir vaqtning o'zida keng spektrli chastotalar uchun faza balansi sharti bajariladi. Bunga sabab yuklamalar R_{k1} va R_{k2} tanlovchanlik



3.14-rasm.

xususiyatiga ega emaslar. Dastlab generatsiya chiziqli rejimda boshlanib, soʻngra tranzistorlar nochiziqli rejimda ishlaydi. Faza balansi sharti faqat bitta chastotada bajarilishini taʼminlash, boshqa chastotalarda ushbu shartning bajarilishini buzish uchun parallel va ketma-ket ulangan RC -zanjir VT_2 tranzistor kollektori va umumiy ulanish simiga ulanadi hamda uning parallel ulangan RC -zanjiri va umumiy sim orasidagi kuchlanish qismi VT_1 bazasi va umumiy ulanish simi orasiga beriladi. Odatda, $R_1 = R_2$ va $C_1 = C_2$ qiymatlar tanlanadi. Ketma-ket RC -zanjir va parallel RC -zanjirlar kiritadigan faza surilishi faqat bitta chastotada nolga teng boʻladi, boshqa chastotalardagi tok tashkil etuvchilari uchun ushbu zanjirlar turlicha kattaliklarda fazani suradilar. Faza surilishi teng boʻlgan chastotada generatsiya sodir boʻladi. 3.15-*a* rasmda RC -zanjirlar alohida keltirilgan, 3.15-*b* rasmda RC -zanjirlarning amplituda-chastota va faza-chastota xarakteristikalarini keltirilgan. 3.15-*a* rasmda kuchlanish U_{m1} — VT_2 tranzistor chiqishidagi kuchlanish va U_{m2} kuchlanish VT_1 kirishidagi kuchlanish 3.15-*a* rasmdagi zanjir kirishiga chastotasi $\omega_0 \rightarrow 0$ kuchlanish berilsa, kondensatorning qarshiligi rezistorning qarshiligidan juda katta boʻladi, yaʼni



3.15-rasm.

$$\frac{1}{\omega C_1} \gg R_1 \quad \text{va} \quad \frac{1}{\omega C_2} \gg R_2, \quad (3.26)$$

bunda RC -zanjir yuqori chastotalar filtri sifatida qaralishi mumkin. Agar RC -zanjir kirish kuchlanishining chastotasi $\omega_0 \rightarrow 0$ bo'lsa, (3.26) ning teskarisi yuz beradi, ya'ni

$$\frac{1}{\omega C_1} \ll R_1 \quad \text{va} \quad \frac{1}{\omega C_2} \ll R_2 \quad (3.27)$$

bo'ladi. Ma'lum bir chastotada ushbu qarshiliklar teng bo'ladi:

$$\frac{1}{\omega_0 RC} = \omega_0 RC. \quad (3.28)$$

(3.28) ifodadan generatsiya chastotasi aniqlanadi:

$$\omega_g = \omega_0 = \frac{1}{RC}. \quad (3.29)$$

Mazkur ikki kaskadli kuchaytirgichda amplituda balansi sharti juda oson bajariladi, chunki ikki kaskaddan $K_{kk} = 3$ talab qilinadi. Teskari bog'lanish zanjiri uzatish koeffitsiyenti K_{TB} , odatda, birga yaqin bo'ladi. Vinn ko'priqli RC -generator amaliyotda keng qo'llanadi. Bu generatorda ham generatsiya qilinishi kerak bo'lgan umumiy chastotalar diapazoni bir necha diapazonlarga bo'linadi. Har bir diapazonchalar ichida generatsiya chastotasi har ikki kondensator sig'imini bir xil kattalikda o'zgartirish hisobiga erishiladi.

Keng chastotalar diapazonini qamrash har ikki rezistorning qarshiligi boshqa rezistorlar bilan almashtirish hisobiga amalga oshiriladi.

Ushbu turdagi generatorlarda ma'lum bir keng chastotalar diapazonini qoplash kerak bo'lsa, u bir necha alohida diapazon qismlariga bo'linadi. Bunda har bir diapazon ichida generatsiya chastotasini o'zgartirish bir vaqtda har uch kondensator C lar-ning sig'imini o'zgaruvchan kondensator yordamida bajariladi. Bir chastotalar diapazonidan boshqasiga o'tish rezistorlar qarshiligini almashtirish hisobiga amalga oshiriladi.

Nazorat savollari

1. Avtogenerator qanday qurilma?
2. AGdagi LC -kontur qanday vazifani bajaradi?
3. LC -konturga berilgan quvvat nima uchun asta-sekin kamayadi va tebranishlar soʻnadi?
4. LC -kontur soʻnish koefitsiyenti nima va u qanday aniqlanadi?
5. AGda musbat teskari bogʻlanish nima uchun kerak?
6. AGda tranzistor qanday vazifani bajaradi?
7. LC -konturdagi tebranishlar amplitudasini qaysi usul bilan barqaror qilish mumkin?
8. Oʻz-oʻzidan qoʻzgʻalish sharti nimalardan iborat?
9. AG tebranishlari chastotasi nimaga teng?
10. AG tebranishlari chastotasini qanday oʻzgartirish mumkin?
11. AG tebranish xarakteristikasi deb qanday bogʻlanishga aytiladi?
12. AGda amplituda va faza balansi nima uchun kerak?
13. AG yumshoq qoʻzgʻalganda boshlangʻich ish nuqtasi AE VAXsining qaysi qismida tanlanishi kerak?
14. AG qattiq qoʻzgʻalganda boshlangʻich ish nuqtasi AE VAXsining qaysi qismida tanlanishi kerak?
15. 3 ta faza suruvchi RC -elementli generatsiya chastotasi va AE kuchaytirish koefitsiyenti nimaga teng?
16. Vinn koʻpriqli RC -generator generatsiya chastotasi nimaga teng?
17. Majburiy tebranish qurilmalari avtogeneratorlardan qanday farq qiladi?
18. LC -konturdagi tebranish soʻnmasligini taʼminlash uchun nima qilish kerak?
19. Avtogenerator chiqishidagi kuchlanish nima sababdan cheksiz katta qiymatga erisha olmaydi?
20. AG tebranish chastotasi nimaga teng va u qanday shart orqali aniqlanadi?
21. Yumshoq va qattiq rejim bir-biridan nima bilan farq qiladi?
22. AG qoʻzgʻalish shartlarini yozing.
23. Kiritiluvchi manfiy qarshilik qanday fizik maʼnoga ega?
24. Amplituda balansi va faza balansi shartlari qanday fizik maʼnoga ega?
25. Faza suruvchi RC -zanjirli generatorda faza balansi sharti qanday bajariladi va generatsiya chastotasi nimaga teng?
26. Vinn koʻprigili RC -generatorda faza balansi sharti qanday bajariladi?
27. Uch nuqtali LC -avtogenerator deb qanday generator nomlanadi?
28. RC -generatorlarda generatsiya chastotasini qanday usulda oʻzgartirish mumkin?

**4-bob. RAQAMLI SXEMOTEXNIKANING
ASOSIY TUSHUNCHALARI VA ATAMALARI,
QO‘LLASH SOHALARI**

4.1. Asosiy tushunchalar va atamalar, qo‘llash sohalari

Integral mikrosxemalardan tashkil topgan raqamli texnika, shu jumladan, mikroprotsessor sistemalari, televizion, radio-uzatish va aloqa apparaturalarida axborot tashkil etishda keng tatbiq etilgan.

Raqamli texnika hozirgi kunda hisoblash texnikasining asosini tashkil qilib, quyidagi yo‘nalishlarda keng qo‘llanilmoqda:

— texnologik jarayonlarni avtomatik boshqarish, texnik xususiyatlarini avtomatik nazorat va tashxis qilish;

— elektron hisoblash mashinalarida ma‘muriy boshqarish, ilmiy ishlar va avtomatlashtirilgan loyihalashtirishlar uchun foydalanilmoqda.

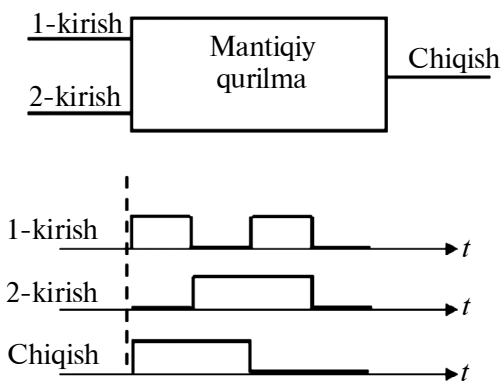
Raqamli texnikaning rivojlanishiga 1949-yilda tranzistorning yaratilishi turtki bo‘ldi. Bizga ma‘lum bo‘lgan mantiqiy funksiya va amallarni hosil qilishda tranzistorlardan foydalanish imkoniyati mavjudligi raqamli texnikaning jadal rivojlanishiga olib keldi. Hozirgi kunga kelib barcha EHM protsessorlarining asosini tashkil qiluvchi integral mikrosxemalarda, tranzistorlarda qurilgan mantiqiy funksiyalar asosiy hisoblash ishlarini amalga oshiradi.

Raqamli qurilmalar deb, mantiqiy algebra funksiyalarini amalga oshirish uchun ishlatiladigan qurilmalarga aytiladi.

Mantiqiy algebra funksiyalarini tashkil etishda qo‘llaniladigan qurilma *mantiqiy qurilma* deb ataladi.

Raqamli qurilmalar kodli so‘zlarni kiritish va chiqarish usuliga qarab ketma-ket, parallel va aralash turlarga bo‘linadi.

Ketma-ket raqamli qurilma kirishiga kodli so‘z belgilari bir vaqtda berilmaydi. Misol tariqasida 4.1-rasmdagi qurilmani keltirish mumkin.



4.1-rasm. Ketma-ket raqamli qurilma.

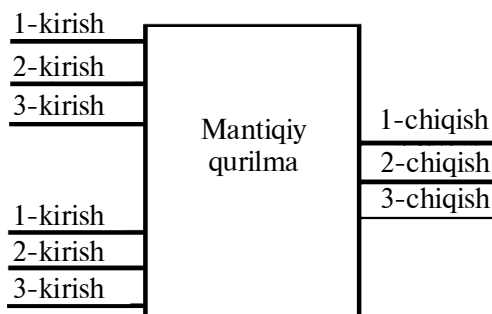
Parallel raqamli qurilma kirishiga har bir kirish signal bir vaqtda beriladi. Bunda kirishda 2 ta (I, II) uch razryadli signal belgilari bir vaqtda beriladi va chiqishda ham uch razryadli signal belgilari bir vaqtda chiqadi.

Aralash turli raqamli qurilmalarda kirish va chiqish kodli soʻzlari har xil turda beriladi. Masalan, kirishlar ketma-ket, chiqishlar parallel. Bunday qurilmalar kodli soʻzlarni bir shakldan boshqa shaklga oʻtkazishda ishlatilishi mumkin (masalan, ketma-ket shakldan parallel shaklga va aksincha) (4.2-rasm).

Kirishiga har bir kirish belgi bir vaqtda beriladi. Bunda kirishda 2 ta (I, II) uch razryadli signal belgilari bir vaqtda beriladi va chiqishda ham uch razryadli signal belgilari bir vaqtda chiqadi.

Avtomatlashgan tizimlarda axborot almashinishi signallar yordamida amalga oshadi. Signalning tashuvchilari sifatida fizik kattaliklardan foydalaniladi, masalan, tok, kuchlanish, magnit holatlar va h.k. Fizik kattaliklar oʻzining vaqt funksiyasi orqali yoki belgilangan fazoviy taqsimlanishida ifodalanadi.

Chastota, amplituda, faza, impulslar davomiyligi, ketma-ket impulslar seriyalarining bir yoki bir nechta parallel liniyalarida taqsimlanishi, tasvir nuqtalarining tekislik va h.k.larda taqsimlanishi kabi uzatuvchi vaqtli funksiyalarni aniqlovchi parametrlar (ular orqali axborot uzatish holatida) *axborot para-*



4.2-rasm. Parallel raqamli qurilma.

metrlari deb ataladi. Agar fizik kattalik ikki yoki undan ortiq axborot parametrlarning tashuvchisi bo'lsa, u ko'p o'lchovli signal hisoblanadi. Axborot parametrlari bir qator aniq miqdorlar to'plamiga ega.

Analog signallar (axborot parametrlari berilgan diapazon ichida har qanday miqdorni qabul qilishi mumkin);

Diskret signallar (axborot parametrlari faqatgina berilgan aniq diskret miqdorlarni qabul qilishi mumkin);

Uzluksiz signallar (axborot parametrlari har vaqtda o'zgarishi mumkin);

Uzluqli signallar (axborot parametrlari vaqtning o'zgarishi davomida diskret qiymatlarni qabul qilishi mumkin).

EHM yordamida avtomatlashtiriladigan tizimlarda uchraydigan signallarning tipik shakllariga ba'zi misollar quyida keltirilgan:

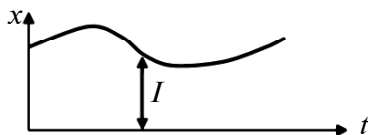
Signallar:

- Diskret signallar raqamli va ko'p pozitsiyali signal turlariga bo'linadi.

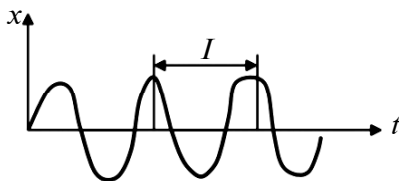
- Barcha raqamli bo'lmagan diskret signallar ko'p pozitsiyali deb ataladi.

- Raqamli signallar, asosan, ketma-ket yoki parallel tarzda uzatiladi. Parallel signallarda axborot parametrlarining barcha parametrlari turli n signal liniyalari orqali uzatiladi (4.3-rasm).

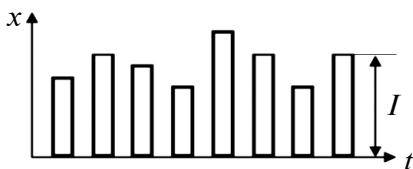
Analog signal (analogli, uzluksiz, axborot parametri: amplituda)



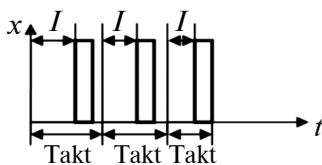
Chastota-analogli signal (analogli, uzluksiz, axborot parametri: chastota)



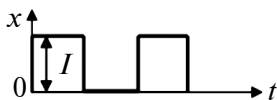
Chaqirilgan signal (analogli, uzluksiz, axborot parametri: to'rtburchakli impulslar balandligi: amplituda)



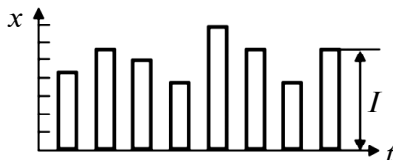
Impulsli signal (analogli, uzluksiz, axborot parametri: to'rtburchakli impuls fazaning holati)



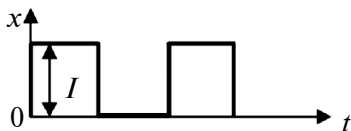
Ikkilik signal (diskret, uzlukli, axborot parametri: amplituda)



Diskret chiqarilgan signal (analogli, uzluksiz, axborot parametri: to'rtburchakli impulslar balandligi: amplituda)

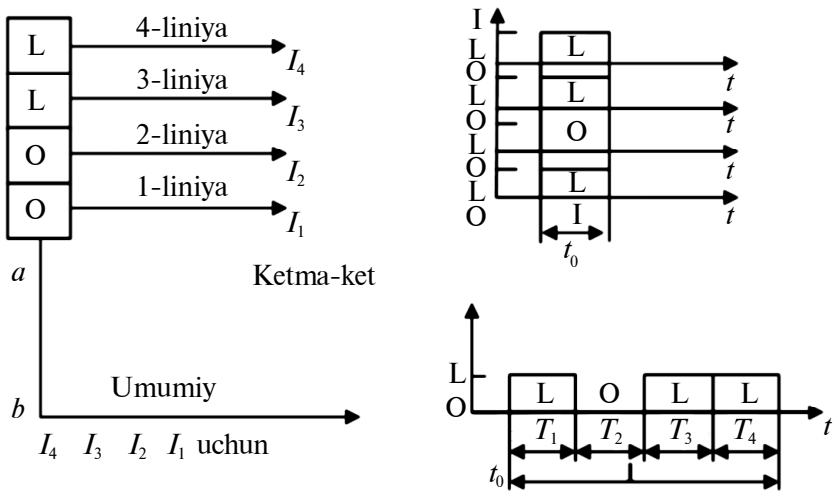


Impuls hisobli signal (diskret, uzlukli, axborot parametri: takt chegaralaridagi ikkilik impuls soni)



4.3-rasm. Parametrlarning turli signal liniyalari orqali uzatilishi.

Parallel uzatma



4.4-rasm. To'rt razryadli raqamli signal.

• Ketma-ket signallarda axborot parametrlarning barcha parametrlari aniq vaqt ketma-ketligida umumiy signal liniyalari bo'yicha birin-ketin amal qiladi.

Raqamli signallar.

• 4.4-rasmda to'rt razryadli raqamli signalning ko'rinishi tasvirlangan.

Unda:

- a —parallel signal;
- b —ketma-ket signal.

4.2. Mantiqiy algebra va oddiy mantiqiy elementlar. Mantiqiy funksiyalar va elementlar

4.2.1. Ikkilik sanoq sistemasida arifmetik amallar bajarish

Yuqorida keltirilgan ikkilik sanoq sistemasidagi asosiy amallardan tashqari qo'shimcha amallar ham mavjud:

Implikatsiya $a \rightarrow b$ 1 ni qabul qiladi, agar $a = 0$ yoki $b = 1$, bunda $a \rightarrow b = \bar{a} + b$.

Taqiqlash funksiyasi $a \Delta b$ 1 ni qabul qiladi, agar $a = 1$ va $b = 0$ bo'lganda $a \Delta b = a \bar{b}$ funksiyaning ikkinchi argumenti taqiqlovchi hisoblanadi.

«YOKI», «EMAS» funksiyasi (*Pirs funksiyasi, Pirs strelkasi, Vebb funksiyasi*) $a \downarrow b$ 1 ni qabul qiladi, agar $a = 0$ va $b = 0$, bunda $a \downarrow b = \overline{a \cdot b}$.

«VA», «EMAS» funksiyasi (*Sheffer funksiyasi, Sheffer shtrixi*) $a | b$ 1 ni qabul qiladi, agar $a = 0$ yoki $b = 0$, bunda $a | b = \overline{a \cdot b}$.

Logik tengqiymatlilik funksiyasi $a \equiv b$ 1 ni qabul qiladi, agar argumentlar bir xil qiymatni qabul qilsa, bunda $a \equiv b = \bar{a} \bar{b} + ab$.

Logik tengqiymatlilik bo'lmagan funksiya («YOKI»ni inkor etuvchi modul bo'yicha yig'indi 2) $a \oplus b = \bar{a} b + a \bar{b}$.

Yuqorida keltirilgan elementlarning haqqoniyligi 4.1-jadvalda keltirilgan.

4.1-jadval

2 ta o'zgaruvchidan iborat bo'lgan mantiqiy elementlarning haqqoniylilik jadvali

a	b	$a \rightarrow b$	$a \Delta b$	$a \downarrow b$	$a b$	$a \equiv b$	$a \oplus b$
0	0	1	0	1	1	1	0
0	1	1	0	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	0	1
1	1	1	0	0	0	1	0

Bul algebrasining asosiy qoidalari

Bitta o'zgaruvchi uchun Bul algebrasi qonuni. Bu teorema 0 va 1 o'zgarvaslar uchun qo'shish, ko'paytirish va inkor amallari bajarilayotgan bitta o'zgaruvchi uchun hamma hollarda to'liq bajariladi.

- | | |
|------------------------------|--|
| 1) $x + 0 = x$; | 5) $x \cdot 0 = 0$; |
| 2) $x + 1 = 1$; | 6) $x \cdot 1 = x$; |
| 3) $x + x + \dots + x = x$; | 7) $x \cdot x \cdot \dots \cdot x = x$; |
| 4) $x + \bar{x} = 1$; | 8) $x \cdot \bar{x} = 0$. |

Ikkita va undan ortiq o'zgaruvchi uchun Bul algebrasi qonuni. Mantiqiy qo'shish va mantiqiy ko'paytirish jarayonlari uchun har bir teorema ikki martadan beriladi. Bul algebrasi qonuniga asosan keltirilgan teoremlarni isbotlash juda oson va shuning uchun isbotlarni keltirib o'tirmaymiz.

1) *O'rin almashish qonuni:*

- a) $x+y = y + x$ qo'shish amali uchun;
 b) $x \cdot y = y \cdot x$ ko'paytirish amali uchun;

2) *o'zaro guruhlash qonuni:*

- a) $x + y + z = x + (y + z) = (x + y) + z$;
 b) $x \cdot y \cdot z = x \cdot (y \cdot z) = (x \cdot y) \cdot z$;

3) *umumiy guruhlash qonuni:*

- a) $x \cdot (y + z) = x \cdot y + x \cdot z$;
 b) $x + y \cdot z = (x + y) \cdot (x + z)$;

4) *nomsiz guruh:*

- a) $(x + \bar{y}) \cdot y = xy$;
 b) $x \cdot \bar{y} + y = x + y$;

5) *o'zaro yutilish qonuni:*

- a) $x + xy = x$;
 b) $x(x + y) = x$;

6) *o'zaro yelimlanish qonuni:*

- a) $xy + \bar{x}y = y$;
 b) $(x + y)(\bar{x} + y) = y$;

7) *de Morgan qonuni yoki inkor qonuni:*

- a) $\overline{x+y} = \bar{x} \cdot \bar{y}$;
 b) $\overline{x \cdot y} = \bar{x} + \bar{y}$;

de Morgan qonuni yoki inkor qonuni har qanday ko‘plikdagi o‘zgaruvchilar uchun ham haqli:

$$d) \overline{x+y+z+\dots} = \bar{x} \cdot \bar{y} \cdot \bar{z} \cdot \dots;$$

$$e) \overline{x \cdot y \cdot z \dots} = \bar{x} + \bar{y} + \bar{z} + \dots.$$

«VA»-«EMAS» hamda «YOKI»-«EMAS» elementlar bazasida de Morgan qonuni quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$x + y = \overline{\overline{x \cdot y}};$$

$$x \cdot y = \overline{\overline{x + y}}.$$

Bul algebrasi qonunlaridan kelib chiqqan holda de Morgan teoremlarini xuddi shunday qabul qilish kerak.

Ma’lumki, ikkilik sanoq sistemasida faqat ikkita, 0 va 1 raqamlari qatnashadi. Shu sistemada qo‘shish, ayirish va ko‘paytirish quyidagicha bajariladi:

$$a) 0+0=0$$

$$b) 0-0=0$$

$$d) 0 \cdot 0=0$$

$$0+1=1$$

$$1-0=1$$

$$0 \cdot 1=0$$

$$1+0=1$$

$$10-1=1$$

$$1 \cdot 0=0$$

$$1+1=10$$

$$1 \cdot 1=1$$

Endi ikkilik sanoq sistemasida turli arifmetik amallarni bajarishga doir misollar ko‘ramiz:

1-misol. 1010_2 va 1011_2 sonlarining yig‘indisini toping.

Yechish. Bu sonlarni bir ustunga yozib, umumiy qoida bo‘yicha qo‘shamiz:

$$\begin{array}{r} 1010_2 \\ + 1011_2 \\ \hline 10101_2 \end{array}$$

Javob: 10101_2

2-misol. $1011,01_2$ va $101,101_2$ sonlarining yig‘indisini toping.

$$\begin{array}{r} 1011,01_2 \\ + 101,101_2 \\ \hline 10000,111_2 \end{array}$$

Yechish.

Javob: $10000,111_2$

3-misol. $101,01_2$ va $10,10_2$ sonlarining ayirmasini toping.

$$\begin{array}{r} 101,01_2 \\ - 10,10_2 \\ \hline 10,11_2 \end{array} \quad \text{Javob: } 10,11_2$$

4-misol. $1011,11_2$ va $101,101_2$ sonlarining ayirmasini toping.

$$\begin{array}{r} 1011,11_2 \\ - 101,101_2 \\ \hline 110,001_2 \end{array} \quad \text{Javob: } 110,001_2$$

5-misol. 101112 va 1012 sonlarining ko'paytmasini toping.

Ikkilik sanoq sistemasida sonlarni ko'paytirish o'nlik sanoq sistemasidagi qoida kabi bajariladi:

Yechish.

$$\begin{array}{r} \times 10111_2 \\ 1011 \\ \hline + 00000 \\ 1011 \\ \hline 1110011_2 \end{array} \quad \text{Javob: } 1110011_2$$

4.2.2. Mantiqiy algebra

Arifmetik-mantiqiy qurilma (AMQ) deb axborotni qayta ishlashda qo'llaniladigan arifmetik va mantiqiy operatsiyalarni bajaruvchi EHMning funksional to'liq qismi ataladi. Bu operatsiyalar mantiqiy elementlar asosidagi tegishli elektron qurilmalar qo'llaniluvchi apparat usuli yoki bir necha ketma-ket qo'llaniluvchi apparat usullaridagi dasturiy usullar bilan bajariladi.

Shuning uchun AMQ EHMning asosiy qismlaridan biri bo'lib keladi.

Hozirgi zamon AMQlarning bajaruv operatsiyalari keng bo'lishiga qaramasdan, arifmetik qo'shish va ko'paytirish operatsiyalari asosiy vazifalar bo'lib qoladi.

Kirish o'zgaruvchilari ustidan bajariladigan arifmetik va mantiqiy operatsiyalar AMQga kiritilishi lozim. Shuning uchun AMQ boshlang'ich ma'lumotlarni, bajarilgan operatsiyalar natijalarini saqlash uchun qo'shimcha qurilmalar bilan ta'minlanadi.

Odatda, AMQ ma'lumotlarning ikki kirish va bir chiqish nuqtasi bilan ta'minlanadi va bundan tashqari, qo'shimcha ma'lumotlar olish uchun chiqishlar guruhi mavjud bo'ladi.

Ma'lumotlarni vaqtincha saqlash uchun ikkala kirish nuqtalari (kirish portlari) moslash registrlari bilan ta'minlanadi. Har bir moslash registri axborotning bir so'zini saqlash imkoniyatiga ega. So'zning razryadligi qurilmaning ma'lum bir turi bilan aniqlanadi. AMQning birinchi kirish porti axborotni ma'lumotlar shinasidan to'g'ridan to'g'ri, ikkinchi port esa ma'lumotlar shinasidan yoki akkumulator deyiladigan maxsus registrdan qabul qilishga imkon beradi. Bu registrning kirishi chiqish porti bilan ulanadi.

Ko'p hollarda akkumulatorni ma'lumotlar shinasini bilan ulash uchun ikkinchi kirish nuqtasi o'rnatiladi. Shuning uchun umumiy holatda akkumulator xotirasida oldingi operatsiya paytida olingan ma'lumotlar yoki ma'lumotlar shinasini orqali berilgan axborotlar saqlanishi mumkin.

AMQ ishi to'g'risidagi qo'shimcha axborotni olish uchun mo'ljallangan chiqishlar guruhi holatlar, shartlar kodi registri yoki indikator nomini olgan maxsus registrga ulanadi. Uning razryadlarida oxirgi operatsiya bajarilishi haqidagi xizmat axboroti saqlanadi, masalan, akkumulator ishchi holatidan chiqarib tashlangani to'g'risidagi ko'rsatma yoki oxirgi operatsiyada salbiy natija olingani va h.k.

Operatsiya turiga qarab AMQ bir yoki ikki ma'lumot so'zlari bilan ish olib borishi mumkin, demak, bir yoki ikki kirish shartlari bilan foydalanadi. Masalan, arifmetik qo'shish operatsiyasini bajarishda ikki port qo'llaniladi, teskari kod tuzish operatsiyasida esa faqat bir port. Operatsiya natijalari har doim akkumulatorlarda jamlanib qoladi.

Bul doimiylari (0 va 1) ustida mantiqiy amallar bajarish qoidalari to'plami *Bul algebrasi* yoki *mantiqiy algebra* deyiladi.

Faqatgina mantiqiy «0» va mantiqiy «1» dan iborat bo'lgan signallar *ikki sathli signallar* deyiladi.

Ikki sathli signallar kodlanishida ularning razryadlar soni katta ahamiyatga ega bo'ladi.

Masalan, 3 razryadli signalda signal uzunligi 3 ta mantiqiy «0» va mantiqiy «1» ketma-ketligidan iborat bo'ladi.

n -razryadli kodli signal yordamida $2n$ ta turli kombinatsiyali kodlar hosil qilish mumkin:

$$n = 3 \rightarrow 2^3 = 8.$$

$$n = 4 \rightarrow 2^4 = 16.$$

Agar $n = 3$ bo'lsa, quyidagi kombinatsiyalardagiday kodlar hosil bo'ladi: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111.

Raqamli qurilmaning kirishiga berilgan kodli axborot ma'lum tugunlardan o'tib raqamli qurilmaning chiqishida yangi, boshqa kodli axborot ko'rinishida hosil bo'ladi. Bundan aytish mumkinki, chiqish axboroti kirish axborotini argument sifatida qabul qilib, ma'lum funksiya hisobiga hosil bo'ladi.

Shunday bo'lsa-da, funksiya va uning argumenti faqat mantiqiy «0» va mantiqiy «1» qiymatlarni qabul qiladi. Bunday funksiyalar *mantiqiy algebra funksiyasi* deyiladi.

Bitta mantiqiy amal bajaradigan funksiyalar *oddiy mantiqiy funksiyalar* deyiladi.

Agar argumentlar soni n ta bo'lsa, undan turli kombinatsiyali 2^n ta argumentli 2^{2^n} ta funksiyani ifodalash mumkin.

Masalan, 2 argumentdan hosil qilish mumkin bo'lgan funksiyalarni 4.2-jadvalda ko'rib o'tamiz:

4.2-jadval

f_3	0	0	1	1	x_1
f_9	1	0	0	1	$x_1 \sim x_2$
f_{10}	1	0	1	0	$\overline{x_2}$
f_{11}	1	0	1	1	$x_2 \rightarrow x_1$
f_{12}	1	1	0	0	$\overline{x_1}$
f_{13}	1	1	0	1	$x_1 \rightarrow x_2$
f_{14}	1	1	1	0	x_1/x_2
f_{15}	1	1	1	1	1

Ushbu jadvaldagi funksiyalar ichida f_3 , f_{10} , f_{12} lar bir o'zgaruvchili funksiyalar hisoblanadi. f_0 va f_{15} lardan boshqa hamma funksiyalar esa ikki o'zgaruvchili funksiyalar hisoblanadi.

4.2.3. Oddiy kombinatsion qurilmalarni qurish. Kombinatsion qurilmalar va ularni tasvirlash usullari

Raqamli qurilmalarda analog elektron qurilmalarga nisbatan kirish va chiqish signallar chegaralangan holat sonlariga teng bo'lishi mumkin. Raqamli qurilmalarni qurish mantiqiy sathning fizik qiymatining yarmidan ortiq yuqori qismini qamrab oluvchi « N -sath» bo'lagiga mos keluvchi holatga «mantiqiy 1», sathning yarmidan past qismiga « L -sath» bo'lagiga mos keluvchi «mantiqiy 0» holatlar qabul qilingan. Bunday kelishuv *musbat mantiqiylilik* deb ataladi. Teskari munosabat esa *manfiy mantiqiylilik* deb ataladi. Raqamli mikrosxemalarni nomlash, ta'riflash va

shartli belgilarning asosiy parametr va xarakteristikalari Davlat standartida keltirilgan.

Raqamli qurilmalarni loyihalashning mantiqiy o'zgaruvchilar asosiy nazariyasi bilan ishlovchi operatsiya mantiqiy algebra hisoblanadi. Faqat ikki qiymat qabul qiluvchi mantiqiy o'zgaruvchilar uchun 4 xil asosiy operatsiyalar mavjuddir. Mantiqiy ko'paytirish konyunksiya «VA» (AND) operatsiyasi Q yoki 1 ko'rinishda belgilanadi.

Mantiqiy qo'shish yoki dizyunksiya «YOKI» (OR) operatsiyasi + yoki V ko'rinishda belgilanadi.

Inversiya yoki inkor etish, qiymatni o'zgartirish «EMAS» (NOT) operatsiyasi mantiqiy o'zgartiruvchining ustiga chiziqcha qo'yilish bilan belgilanadi. Mantiqiy inversiya $\sim$ belgisi bilan belgilanadi. Ekvivalentlik operatsiyasi «= $\Rightarrow$ » belgi bilan ko'rsatiladi, quyidagi munosabatlar anisolitlardir.

4.3-jadval

(4.1)	$0 + 0 = 0$	$1 * 1 = 1$	(4.1')
(4.2)	$1 + 1 = 1$	$0 * 0 = 0$	(4.2')
(4.3)	$1 + 0 = 0 + 1 = 1$	$0 * 1 = 1 * 0 = 0$	(4.3')
(4.4)	$\sim 1 = 0$	$\sim 0 = 1$	(4.4')

(4.1, 4.2) va (4.1', 4.2') dan quyidagi kelib chiqadi:

$$x + x = x \text{ va } x * x = x \quad (4.5)$$

(4.1, 4.3) va (4.2', 4.3') dan quyidagi kelib chiqadi:

$$x + 0 = x \text{ va } 0 * x = 0. \quad (4.6)$$

(4.2, 4.3) va (4.1', 4.3') dan quyidagi kelib chiqadi:

$$1 + x = 1 \text{ va } x * 1 = x. \quad (4.7)$$

(4.3) va (4.3') dan quyidagi kelib chiqadi:

$$x + \sim x = 1 \text{ va } \sim x * x = 0. \quad (4.8)$$

(4.4) va (4.4') dan quyidagi kelib chiqadi:

$$\sim(\sim x) = x. \quad (4.9)$$

Va nihoyat

(4.1, 4.1'), (4.2, 4.2'), (4.3, 4.3') va (4.4, 4.4') dan quyidagi kelib chiqadi:

$$\sim(x_0 + x_1) = \sim x_0 * \sim x_1 \text{ va } \sim(x_0 * x_1) = \sim x_0 + \sim x_1. \quad (4.10)$$

Bu *De Morgan teoremasining ikki taraflamaligi* (mantiqiy yig'indining inversiyasi o'zgaruvchilarning inversiyalarining ko'paytmasiga teng va uning aksidir) deb ataladi. N o'zgaruvchilar uchun ikki taraflamachilik ko'pincha quyidagicha yoziladi:

$$\sim(x_1 + \dots + x_n) = \sim x_1 * \dots * \sim x_n \text{ va } \sim(x_1 * \dots * x_n) = \sim x_1 + \dots + \sim x_n \quad (4.11)$$

«VA» va «YOKI» funksiyalari uchun oddiy algebraning qonunlari: o'rin almashtirish, guruhlanuvchi va taqsimlanishlik qonunlari o'rinli bo'lib, ularning isboti oddiy o'rniga qo'yish yo'li bilan amalga oshiriladi.

x_1 or $x_0 = x_0$ or x_1 , o'rin almashtirish,

x_2 or x_1 or $x_0 = (x_2 \text{ or } x_1) \text{ or } x_0$ guruhlanuvchilik va $x_2 * (x_1 + x_0) = (x_2 * x_1) + (x_2 * x_0)$ va $x_2 + (x_1 * x_0) = (x_2 + x_1) * (x_2 * x_0)$ taqsimlanishlik bo'lib, bu yerda «or» o'rniga «VA» va «YOKI» operatsiyalar qo'yilishi mumkin.

4.2.4. Mantiqiy funksiyalar

n -mantiqiy o'zgaruvchilar (argumentlar) uchun ularning $2n$ kombinatsiyasi yoki ikkilik to'plami mavjuddir. To'plamlarning har biri uchun funksiyaning 0 yoki 1 qiymatlari aniqlanishi mumkin. Agar funksiya qiymatlarining hech bo'lmasa bir to'plamda bir-birlari bilan farqlansa, bunday funksiyalar turlidir.

n o'zgaruvchilik mantiqiy funksiyalar $N=2^n$ tengdir. $n=2$ uchun $N=16$, $n=3$ uchun esa $N=256$ va undan keyin funksiyalar soni keskin o'sib ketadi. Amaliy jihatdan 2-o'zgaruvchilik 16 funksiya ahamiyatiga ega, chunki har bir murakkab ifodani

oddiy ifodalarning kompozitsiyasi deb qarash mumkindir. 4.4-jadvalda $n=2$ ga teng bo'lgan mantiqiy funksiyalar keltirilgan bo'lib, i -raqam o'zgaruvchi kirishlarning x_1 va x_0 aniqlaydi.

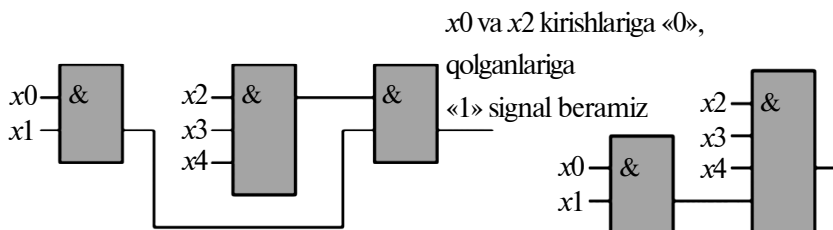
4.4-jadval

Asosiy mantiqiy funksiyalarning sxemada shartli belgilanishi

F1 funksiyasi «VA» (konyunksiya)	x_0 x_1  $x_0 * x_1$
F6 funksiyasi «YOKI NI ISTISNO ETUVCHI»	x_0 x_1  $x_0 (+) x_1$
F7 funksiyasi «YOKI» (dizyunksiya)	x_0 x_1  $x_0 + x_1$
F8 funksiyasi «YOKI-EMAS»	x_0 x_1  $(\bar{x}_0 \bar{+} \bar{x}_1)$
F12 funksiyasi «EMAS» (inversiya)	x  $\bar{x}$ invertor
F14 funksiyasi «VA-EMAS»	0 1  $(\bar{x}_0 \bar{*} \bar{x}_1)$

F6 funksiyasi «YOKI NI ISTISNO ETUVCHI», ikki argumentli funksiyalar uchun «TENG QIYMATLI EMAS» yoki «MODUL IKKI BO'YICHA QO'SHISH» deb ham nomlanadi. (+) mantiqiy operatsiya *modul ikki bo'yicha qo'shish* deb ataladi.

Mantiqiy funksiyalarni tashkil etishda ishtirok etuvchi mantiqiy element kirishlar soni *Kob birlashtirish koeffitsiyenti* deb ataladi (tarmoqlanish koeffitsiyenti bilan almashtirmang). Yuqorida keltirilgan sxemalarda, faqat invertorda tashqari birlashtirish koeffitsiyenti ikkiga teng. Sanoatda sxemalar $K_{ob}=2, 3, 4, 8$ teng ko'rinishda ishlab chiqariladi. Sxemalarni



4.5-rasm. (+) mantiqiy operatsiya modul
ikki bo'yicha qo'shish.

boshqa sonli kirishlar bilan hosil qilish uchun asosiy elementlarni birlashtirish mumkin. Masalan, «I» elementini belgilash kirishini hosil qilish uchun, quyidagi guruhlash qonuni asosida $x_0 * x_1 * x_2 * x_3 * x_4 = (x_0 * x_1) * (x_2 * x_3 * x_4) = (x_0 * x_1) * x_2 * x_3 * x_4$ ikkita ikki kirishli va bitta 3 kirishli «I» sxema birinchi varianti uchun yoki bitta ikki kirishli va bitta to'rt kirishli ikkinchi variant uchun foydalanish mumkin.

4.2.5. Mantiqiy funksiyalarni tasvirlash usullari

Mantiqiy qurilmalarni loyihalash asosida uning mantiqiy funksiyasini (MF) aniqlash va unga mos sxemani qurish maqsadi yotadi. MF turli shakllarda tasvirlanishi mumkin: 1) so'z; 2) grafik; 3) jadval; 4) algebraik; 5) aluritmik til bilan, masala VHDL va 6) sxemalar bilan. Misol uchun ikki x_1 va x_0 o'zgaruvchi funksiyaning so'z bilan tasvirlanishini ko'rib chiqamiz, agar $u=1$, o'zgaruvchilar bir-biriga teng bo'lmasa $u=0$, agar $x_1=x_0$ bo'lsa. Bunday funksiya *tengsizlik funksiyasi* deb ataladi. Tasvirlash navbatining jadval ko'rinishiga o'tamiz (4.5-jadval). MFning hamma o'zgaruvchilarga bog'liq bo'lgan holatlarini tasvirlash uning holatilar jadvali deb ataladi.

i	0	1	2	3
x_0	0	1	0	1
x_1	0	0	1	1
Y	f_0	f_1	f_2	f_3
	0	1	1	2

$$Y = \sum_{i=0}^n (F_i * m_i)$$

MF (SOND) mantiqiy funksiyaning barkamol dizyunktiv normal formasi (BDNF) deb atalib, m_i — minteri yoki i —ikkilik to‘plamning hamma o‘zgaruvchilarning mantiqiy ko‘paytmasi bo‘lib, o‘zgaruvchi to‘g‘ri ko‘rinishda ifodalanadi, agar o‘zgaruvchi to‘plamda 1 ga teng bo‘lsa, inversiya ko‘rinishda ifodalanadi, agar o‘zgaruvchi to‘plamda 0 ga teng bo‘lsa, 12-ifodaning isboti, ajratish (yoyish) teoremasiga asoslanib, unga asosan n o‘zgaruvchiga teng mantiqiy funksiya x_i o‘zgaruvchi asosida quyidagi ko‘rinishda ajratib yozish mumkin:

$$f(x(p-1), \dots, x_i, \dots, x_0) = \sim x_i * f(x(n-1), \dots, 0, \dots, x_0) + x_i * f(x(n-1), \dots, 1, \dots, x_0). \quad (4.12)$$

$$\text{Bu ifoda } x_i=0 \text{ bo‘lganda } \sim 0 * f(x(n-1), \dots, 0, \dots, x_0) + 0 * f(x(n-1), \dots, 1, \dots, x_0) = f(x(n-1), \dots, 0, \dots, x_0). \quad (4.13)$$

$x_i=0$ holda $u \sim 1 * f(x(n-1), \dots, 1, \dots, x_0) + 1 * f(x(n-1), \dots, 1, \dots, x_0) = f(x(n-1), \dots, 1, \dots, x_0)$ ga teng bo‘ladi. Boshqacha qilib aytganda, ajralish teoremasi ixtiyoriy x_i uchun o‘rinlidir. Ajralish teoremasini n marta qo‘llash natijasida mantiqiy funksiyani hamma o‘zgaruvchilari bo‘yicha ajratib chiqish mumkindir. Misol tariqasida ikki o‘zgaruvchiga bog‘liq bo‘lgan $F=f(x_1, x_0)$ funksiyani ko‘rib chiqamiz. Bu funksiyaning x asosida ajralish quyidagi ifodani beradi:

$$F = \sim x_1 * x_1 * f(0, x_0) + x_1 * f(1, x_0). \quad (4.14)$$

Keltirilgan ifodani x_0 uchun davom ettirsak, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$F = \sim x_1 * (\sim x_0 * (f(0,0) + x_0 * (f(0,1))) + x_1 * (\sim x_0 * (f(1,0) + x_0 * (f(1,1))) = \sim x_1 * \sim x_0 * f(0,0) + \sim x_1 * x_0 * f(0,1) + x_1 * \sim x_0 * f(1,0) + x_1 * x_0 * f(1,1). \quad (4.15)$$

Ifoda ikki o'zgaruvchiga bog'liq bo'lgan hamma mantiqiy funksiyasi, faqat uchta asosiy mantiqiy operatsiyalar bilan tasvirlash imkonini beradi. F_7 -«YOKI» va $/1$ -«I» funksiyalarning yoyish jarayonini ko'rib chiqamiz, buning uchun 4.4-jadvalning mos qatorlariga murojaat etamiz. «I» funksiya x_1 va x_0 larning ikkilik to'plamlarida (00,01,10,11) qiymatlarida 0,0,0,1 qiymatlarni oladi. (4.15) ifodani yuqoridagi qiymatlari uchun yozib, quyidagini hosil qilamiz:

$$F_1(x_1, x_2) = \sim x_1 * \sim x_0 * 0 + \sim x_1 * x_0 * 0 + x_1 * \sim x_0 * 0 + x_1 * x_0 * 1 = x_1 * x_0. \quad (4.16)$$

Bu esa aniqlangan bilan mosdir. Shunday qilib, F_7 «YOKI» uchun algebraik ifodani aniqlaymiz, ular ham ko'rilgan yo'nalishlarda 0,1,1,1 qiymatlar oladi. Bunda (4.15) ifodaga asosan,

$$F_7(x_1, x_2) = \sim x_1 * x_0 * 0 + \sim x_1 + \sim x_0 * 1 + \sim x_1 * x_0 * 1 + x_1 * x_0 * 1 \quad (4.17)$$

oxirgi ifodalarda x_1 qavsdan tashqariga chiqarsak,

$$F_7 = \sim x_1 * x_0 * 1 + x_1 * (\sim x_0 + 1 + x_0 * 1) \quad (4.18)$$

aksiomaga asosan qavsdagi ifoda 1 ga tengdir va $F_7 = \sim x_1 * x_0 * 1 + x_1$ taqsimlanish qonunini qo'llab, $(\sim x_1 + x_1) * (x_0 + x_1) = x_1 + x_0$ ni aniqlaymiz.

4.5-jadvalga qaytib,

$$\begin{aligned} Y &= 0 * \sim x_1 * \sim x_0 + 1 * \sim x_1 * x_0 + 1 * x_1 + \sim x_0 + 0 * x_1 * x_0 = \\ &= \sim x_1 + x_0 + x_1 * \sim x_0 = x_1 + x_0 = F_6 \end{aligned} \quad (4.19)$$

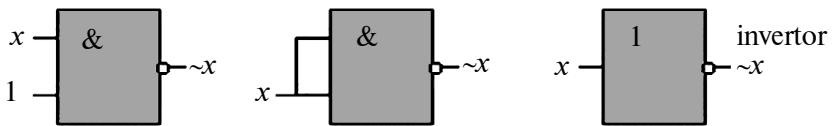
(tengsizlik funksiyasi) topamiz.

4.2.6. Mantiqiy bazis

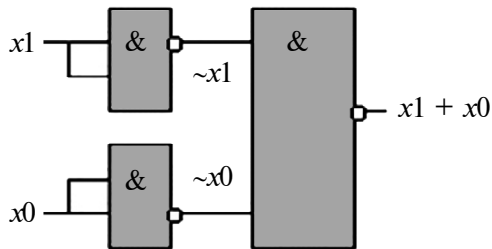
Ixtiyoriy funksiyalarni ko‘rish uchun kerak bo‘ladigan mantiqiy funksiya to‘plami *mantiqiy bazis* deb ataladi. VA, YOKI, EMAS funksiyalar minimal mantiqiy bazis emas, chunki ular boshqa bazislar bilan tasvirlanishi mumkindir, masalan, /8 (YOKI-EMAS) va /14 (VA-EMAS).

VA, YOKI, EMAS elementlarini «VA-EMAS» bazisda amalga oshirish.

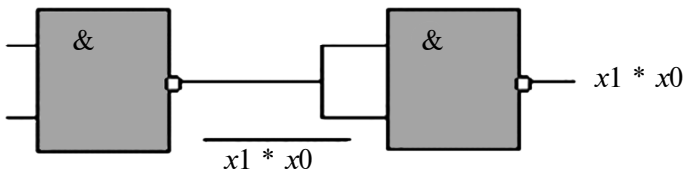
EMAS: $\sim x \ll \sim(x * 1) - \sim(x * x)$



YOKI: $x1 + x0 = \sim(\sim x1 * \sim x0)$



VA : $x1 * x0 = \sim(\sim(x1 * x0))$



4.6-rasm.

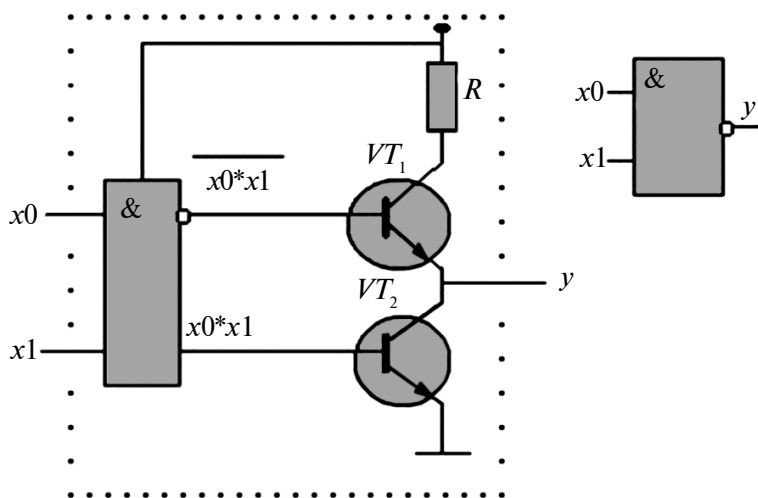
4.2.7. Mantiqiy element sxemalarining o'ziga xosligi.

Bazaviy mantiqiy element

Yuqorida keltirilgan VA, YOKI, EMAS, VA-EMAS va boshqa mantiqiy elementlarning sxemotexnik o'ziga xosligi mavjuddir.

4.7-rasmda VA-EMAS sxemaning qisqartirilgan ko'rinishi VA uchun shartli belgilanish keltirilgan.

Tranzistorning VT_1 va VT_2 bazalardagi kuchlanish qarama-qarshi fazada bo'ladi va agarda $x_0 * x_1 = 1$ bo'lsa, u holatda pastdagi tranzistor ochiq bo'ladi, yuqoridagisi esa yopiq, chunki $\sim(x_0 * x_1) = 0$ VT_1 kollektor potentsiali bu holda taxminan nolga teng va shuning uchun $y = 0$. Boshqa hollarda x_0 va x_1 qiymatlarida tranzistor yopiq, yuqoridagisi esa ochiq va sxema chiqishi — yuqori sathga teng, ya'ni sxema VA-EMAS element sifatida ishlaydi. Bazaviy mantiqiy element chiqishlarini umuman bir-



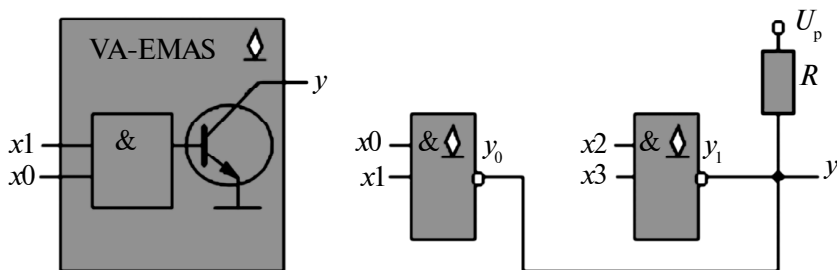
4.7-rasm. VA-EMAS sxemaning qisqartirilgan ko'rinishi
VA uchun shartli belgilar.

lashtirish mumkin emas, chunki, agar $p-1$ elementlar «1» holatda bo'lsa, n -chi «0» bo'lsa, 7 holda VT_1 tranzistor tokini yagona VT_2 tranzistorning n -chi elementiga «tugadi». U holda yakuniy tok ruxsat etilgan darajadan ortib ketadi va VT_2 ishdan chiqadi.

4.2.8. Ochiq kollektorlik element

VA-EMAS mantiqiy element ochiq kollektorlik pastda romb chizig'i bilan belgilanadi.

Tashqaridan ochiq kollektorlarga rezonatorlar, rele va dvigatellar o'ramlari, yorug'lik diodlari va boshqalar ulanishi mumkin. Bir necha elementlarning ochiq kollektorlari bazaviy elementdan farqli birlashtirish mumkin bo'lib, o'zgaruvchilarning to'g'ri qiymatlari uchun «VA montaj» tashkil qiladi, chunki $y = y_0 * y_1 = 1$, $y_0 = y_1 = 1$ qoldi. Ba'zida sxemani «YOKI montaj» (YOKI ulashgichi) sxemasi deb atashadi, chunki $y = \sim(x_0 * x_1) * \sim(x_2 * x_3)$ VA-EMAS o'rin almashtirish munosabatiga asosan $\sim(x_0 * x_1 + x_2 * x_3)$ ga teng ochiq elementar VA elementi 4.8-rasmda romb belgisi bilan, raqam chiziqcha ko'rinishida tasvirlanadi.

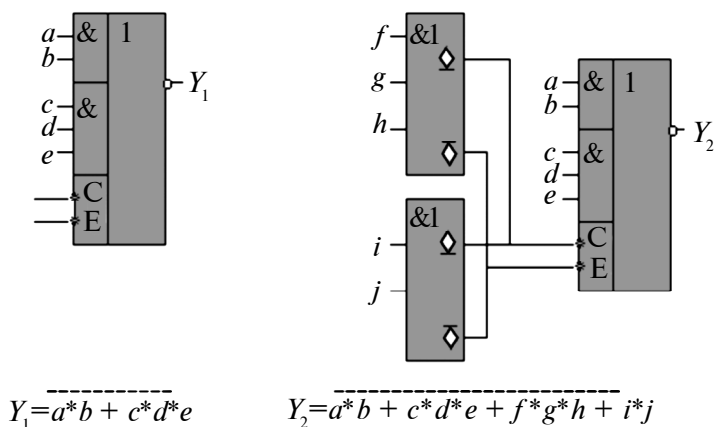


4.8-rasm. VA-EMAS sxemaning qisqartirilgan ko'rinishi
VA uchun shartli belgilar.

4.2.9. «VA-YOKI-EMAS» elementlari va kengaytiruvchilar

YOKI-EMAS element chiqishiga ulangan bunday sxemalar bir necha «VA» elementlarni birlashtiradi. Agarda $a, b, \dots e$ o'zgaruvchi yetarli bo'lmasa, u holda kengaytiruvchi elementlar qo'llaniladi. Buning uchun ular kengaytirish C va E kirishlariga (ochiq kollektor va elementar kirishlar uchun) ulanadi. Q1 belgisi VA funksiyani aniqlab YOKI bo'yicha birlashtiradi (4.9-rasm). Bu yerda va keyin $*$ belgi mantiqiy elementlarning yordamchi kirishlari deb belgilanadi. Quyidagi sxemalarda, «YOKI» elementlardagi kabi foydalanmaydigan kirishlarga «0» ulangan bo'lishi kerak. Shuning uchun «VA» elementdagi bir soniya foydalanmayotgan bo'lsa, u holda uning kirishlardagi biriga 0 berilishi shart. Aks holda x har doim 0 ga teng bo'ladi.

Sxemadagi bu munosabat, TTD (I) texnologiya asosida qurilgan bo'lib, bo'sh mantiqiy kirishlarga mantiqiy «1» ulanishga ekvivalentdir (shuni qayd qilish lozimki, bunda mikro-sxemaning ba'zi bir xarakteristikalar yomonlashadi).



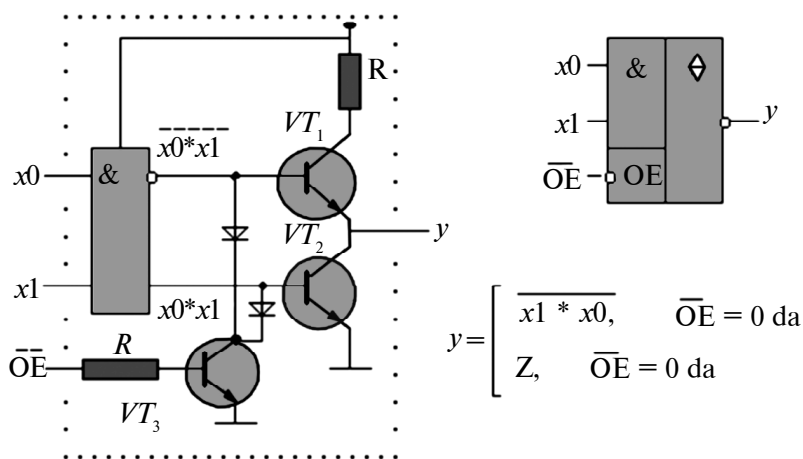
4.9-rasm. Q1 belgili VA funksiyani aniqlab
YOKI bo'yicha birlashtirish.

4.2.10. Uch holatli elementlar

Ikki holatli mantiqiy elementlar bilan bir qatorda uchinchi texnologik holat ham mavjud bo'lib, bu element chiqishi ichki sxemadan o'chirilgan holatga tushish deb tushuniladi. Ko'ri-
layotgan holatda chiqish va «yer» orasidagi qarshilik juda katta bo'ladi hamda mikrosxemalar chiqishlari boshqa mikrosxemalar chiqishlarining ulanishiga hech qanday ta'sir ko'rsatmaydi. Bunday sxemalarning bir necha chiqishlari birga ulanishi mumkin. Bunday ulanish turi xatodir. Giper murojaat obyekt uchun mumkin emas, ammo qachonki manbaga ulanayotgan kirishlar navbat bilan bir yoki bir necha qabul qiluvchiga bir-biriga xalaqit qilmay ulansa ishlatilishi mumkin.

Uchinchi holat *yuqori impedans* yoki *Z holat* deb ataladi. VA-EMAS sxema uchun Z holatli chiqish sxemasi 4.10-rasmda chapda keltirilib, uning shartli belgisi o'ngda ko'rsatilgan.

Agar signal $\sim 0E=0$ bo'lsa, VT_3 tranzistor yopiq va qarama-qarshi ulangan diodlar «VA» elementning mantiqiy chiqishiga



4.10-rasm. Uchinchi holat yuqori impedans yoki Z holat.

hech qanday ta'sir o'tkazmaydi. VT_1 va VT_2 bazalarda kuchlanishlar qarama-qarshi fazada joylashadi va agar $x_0 \cdot x_1 = 1$ bo'lsa, yuqoridagi tranzistor yopiq, pastdagi esa ochiq. VT_2 kollektor potentsiali taxminan nolga teng, shuning uchun $y = 0$. x_0 va x_1 boshqa qiymatlarida pastdagi tranzistor yopiq bo'lib, yuqoridagisi esa ochiq va sxemaning chiqishida yuqori sath, ya'ni $\sim OE = 0$ holda sxema oddiy VA-EMAS element sifatida ishlaydi. $\sim OE = 1$ holda esa rasm sezilarli darajada o'zgaradi. VT_3 tranzistor to'yinguncha ochiladi va VT_1 va VT_2 tranzistorlar bazalaridagi potentsial taxmin nolgacha tushib ketib, uni yopadi. Mantiqiy sxemalarning «V» chiqishlari uzilish holatga o'tib qoladi. Uch holatli elementlar sxemada qolib ko'ndalang chiziqcha bilan yoki Z harfi bilan belgilanadi. Bunday elementlar bir aloqa liniyalari bo'yicha bir necha manba signallarini bir yoki bir necha qabul qiluvchilarga ma'lumot uzatish uchun ishlatiladi. Ko'pincha, aloqa liniyasi yagona bo'lib, passiv manba chiqishlari aktiv element chiqishlari uzatayotgan ma'lumotlarning buzmasligi uchun, ular uchinchi holatga o'tkaziladi. Shuning uchun Z holat xotira mikrosxemalarida shina tashkil qiluvchilarda ishlatiladi.

Qo'shimcha inversiya kirishi boshqarish yoki funksional natijalarda ishlarni bajaruvchiga taalluqlidir. Kirish funksiyasi belgilashda shifrlangan ($On + pn + Enable$ —chiqishga ruxsat ($\sim OE$)), bu kirish aktivlanadi, agarda kirish to'g'ri va 0 ga teng bo'lsa hamda kirish sxemada ko'rsatilgandek inversiyaga teng bo'lsa.

4.2.11. Mantiqiy funksiya va qurilmalarni soddalashtirish.

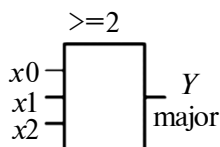
Karno kartasi asosida soddalashtirish

BONF (SDNF) qayta ishlanib, shunday ko'rinishga (har doim ham emas) keltirilishi mumkinki, unda o'zgaruvchilar va operatsiya soni birlamchi ifodadan kam holatda bo'lishi mumkin. Bunday qayta ishlanish *ixchamlash* deyiladi.

Misol. Uchta ikkilik X_i datchiklar bor. Shunday mantiqiy funksiyalash ishini bajarish kerakki, chiqish funksiyasi 1 ga teng bo'lsin, agarda ikki va undan ortiq datchiklardan olinadigan signallar 1 ga teng bo'lsa, bunday funksiya *majoritar funksiya* deyiladi. Uning holatlar jadvali quyidagi ko'rinishga ega.

4.6-jadval

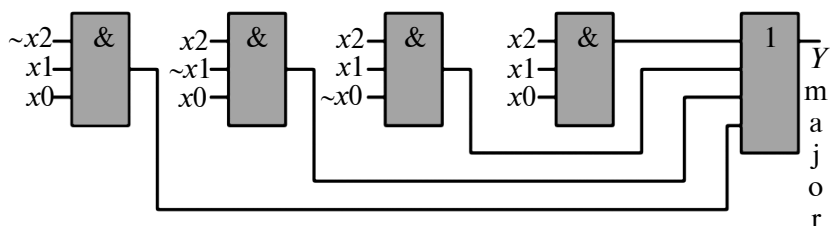
Kirish to'plami i raqami	Datchikdan kelayotgan signal			LF
	x_2	x_1	x_0	Y_{major}
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	1
4	1	0	0	0
5	1	0	1	1
6	1	1	0	1
7	1	1	1	1



Keltirilgan sxema 4 ta uch kirishli «VA» elementi va to'rt kirishli «YOKI» elementlardan iborat. Mantiqiy funksiyalarning ixcham shaklida algebrani qayta ishlab, qarama-qarshi yoki katta o'zgaruvchilar amalga oshirish mumkin.

4.2.12. Karno kartasi

Karno kartasi holatlar jadvalining o'zgartirilgan shaklidir. Majori-tar funksiya uchun Karno kartasi quyidagi ko'rinishga ega.



4.11-rasm. Majoritar funksiya uchun Karno kartasi.

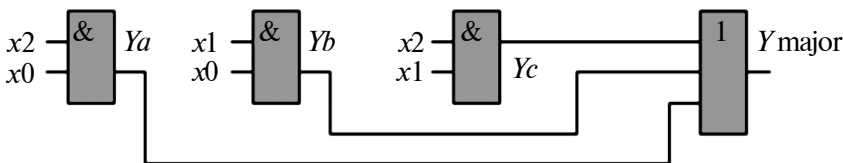
		«Y major»			
		x_1x_0			
		00	01	11	10
x_2	0	0	0	1 <i>B</i>	0
	1	0	1 <i>A</i>	1	1 <i>C</i>

4.12-rasm. Karno kartasini qurish qoidasi.

Karno kartasini qurish qoidasi quyidagichadir:

1. Karno kartasi kataklari holatlar jadvali qatoriga tengdir.
2. Chap va yuqorida agrument qiymatlari ko'rsatilgan. Argumentlarning joylashuvi shundayki, qo'shni gorizontal va vertikal kataklardagi qiymatlar faqat bir argument qiymati bilan farqlanadi (chetki qarama-qarshi kataklar shuning uchun qo'shni hisoblanadi).
3. Har bir katakka MF qiymatlar yoziladi.
4. Bir teng kataklar *yi* katak (to'rtburchaklarga) birlashtiriladi.
5. Har bir to'rtburchak uchun argumentlarning shunday qiymatlari yoziladiki, ular o'z qiymatlarini yozishda, qo'shni kataklarda o'zgartirilmaydi.

$$Y_{\text{major}} = Y_a + Y_b + Y_c = x_2 * x_0 + x_1 * x_0 + x_2 * x_1. \quad (4.20)$$



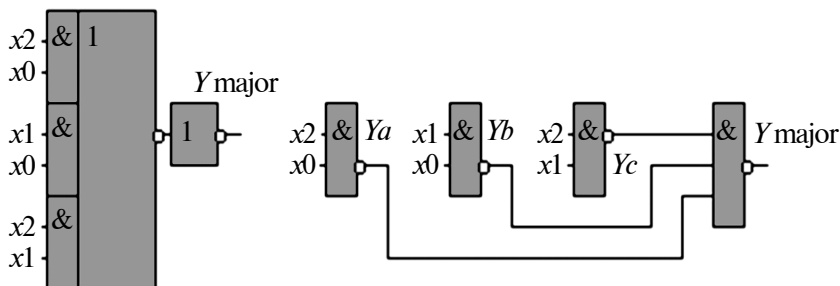
4.13-rasm. Karno kartasini qurish qoidasi.

4.2.13. Mantiqiy funksiyalarni «VA-EMAS» va «VA-YOKI-EMAS» bazisga almashtirish

(4.20) ifodaga (4.9) ikki marta inkor etish aksiomasini qo'llab:

$$Y_{\text{major}} = \sim(\sim(x_2 * x_0 + x_1 * x_0 + x_2 * x_1)). \quad (4.21)$$

(4.21) formula (4.14-rasm chapdagisi) VA-YOKI-EMAS bazisdagi sxemaga mos keladi.

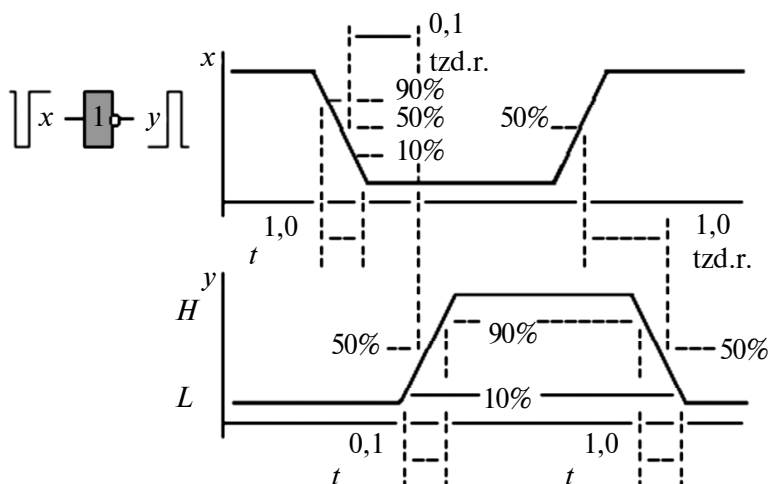


4.14-rasm. Karno kartasini qurish qoidasi.

(4.21) ifodaga ikki taraflamalik (4.11) munosabatni qo'llab (4.21) $\sim(\sim(x_2 * x_0) * \sim(x_1 * x_0) * \sim(x_2 * x_1))$ ni hosil qilamiz. Aniqlangan ifodaga (4.14-rasmning o'ngdagisi) VA-EMAS bazisdagi sxema to'g'ri keladi.

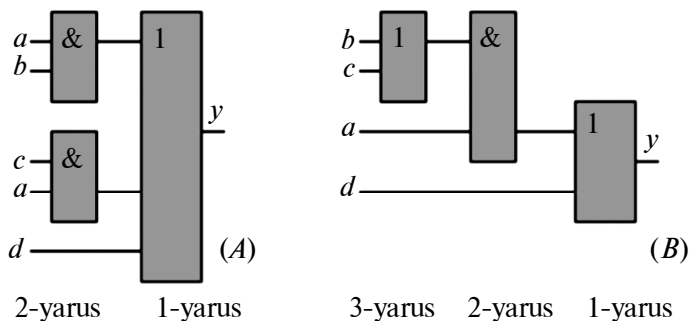
4.2.14. Mantiqiy elementlarning vaqtli parametrlari

Invertorning kirish signaliga reaksiyasini ko'rib chiqamiz (4.15-rasm). Signal kirishdan chiqish invertorda harakat qilganda uning qandaydir ulanib qolish inverter xususiyati ko'rinadi. Kuchlanishning past sathdagi L yuqori H sathga o'tish jarayoni *signal fronti* deb ataladi (musbat o'tish, musbat front), teskari jarayon esa qiyalik manfiy o'tish, manfiy front. Agar ularning o'zaro joylashishini hisobga olsak, u holda oldingi va orqa frontlar bo'lishi mumkin. 4.15-rasm front uzunligi t 1,0-manfiy va t 0,1-musbat ko'rinishda tasvirlangan. tzd.r. 0,1 va tzd.r 1,0



4.15-rasm. Invertorning kirish signaliga reaksiyasi.

o'lchamlar signallarining chiqishga harakat qilish vaqtidagi ulanib qolishni aniqlab 0 dan 1 ga o'tish vaqtini belgilaydi (4.15-rasm). Element kirishidagi impulsning minimal uzunligi t i. min tzd.r. 0,1 va tzd.r. 1,0 yig'indisi yarmining o'rtacha miqdori tzd.r. yerga tengdir. Kirish signallarning maksimal chastotasi Rim tok tzd.r.yer teskari proporsionaldir. Keltirilgandan shunday xulosa qilish mumkinki, element tezligi shuncha yuqori



4.16-rasm. Birinchi (DNF) shakl (A) sxema, ikkinchisi (B) sxema.

bo‘ladi, agar tzd.r. yer kichkina bo‘lsa. Sxema tezligi mantiqiy funksiyaning algebratik formasi qanday keltirilganligiga ham bog‘liqdir.

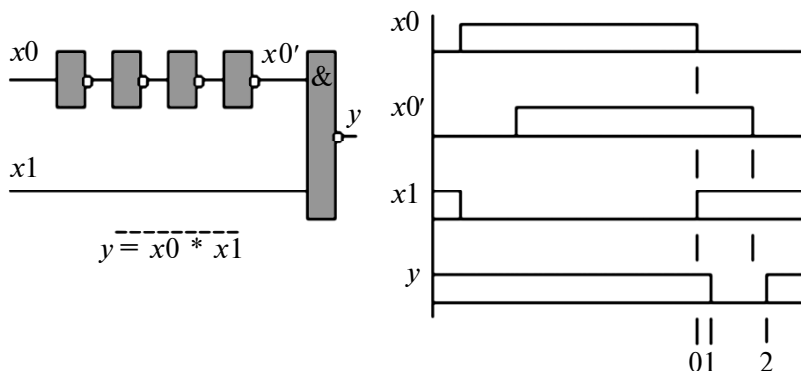
$$U = a * b + c * a + d = a * (b + c) + d \text{ bo‘lsin.} \quad (4.22)$$

Birinchi (DNF) forma uchun (A) sxema, ikkinchisi uchun — (B) sxema (4.16-rasm) to‘g‘ri keladi.

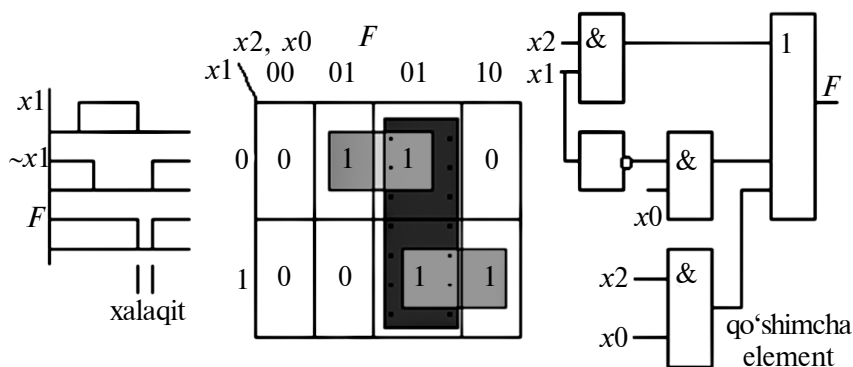
Agar har bir elementda signal ulanish bir xil bo‘lsa, u holda 2 tzd.r.yer 3 tzd.d.yer va ikki yarusli sxemalar (SDNF) umuman olganda tezroq ishlaydi. To‘g‘ri BA foydalarni qavslar bilan tasvirlashda elementlar sonini va (yoki) o‘tkazuvchilarni qaytarish mumkin.

4.2.15. Mantiqiy sxemalardagi o‘tish jarayonlari

Signallarning mantiqiy elementlaridan o‘tish jarayonida tzd.r. noldan farq bo‘lishi chiqish signalida turli xalaqitlarni vujudga keltiradi. Bunday xalaqitlar juda qisqa impulslar ko‘rinishida bo‘lib, ba’zi bir vaqtda sxemalarda juda jiddiy uzilishlarga olib keladi. 4.17-rasmda keltirilgan qurilmani ko‘rib chiqamiz. Agar sxema elementlari signalni ushlab qolmasa, x_0 va



4.17-rasm. Birinchi (DNF) forma (A) sxema, ikkinchisi (B) sxema.



4.18-rasm. Kirish signallarining harakatlanish jarayoni.

$x1$ qarama-qarshi fazada bo'ladi, $x0 = \sim 1$, u holda $y = \sim(x1 \cdot x1) = 1$. Agarda besh elementdagi har bir tzd.r. signalni ushlab qolsa, u holda $x0'$ $x0$ ga nisbat 4 tzd.r vaqt ushlanib qoladi va sxema chiqishida rejalashtirilmagan «manfiy» impuls (1.2 interval) VA-EMAS elementda tzd.r suriladi (0.1 intervali). Kirish signallarning harakatlanish jarayoni umumiy chiqishga kelganda musobaqa yoki «quvlash» hosil qiladi.

«Quvlash» effektining yomonligi bir necha usullar bilan yo'q qilinishi mumkin bo'lib, shulardan biri mantiqiy funksiyaga qo'shimcha qo'shilishdan iboratdir. $F = x1 \cdot x2 + \sim x1 \cdot x0$ qandaydir funksiya bo'lsin, $x2 = x0 = 1$ holda xalaqit berish paydo bo'lishi mumkin, bu esa $\sim x1$ signalni $x1$ ga nisbatan invertorda ulanishga (4.18-rasm qarang) olib keladi.

Qo'shimcha kerakmas implikant muammoni hal qilish uchun qo'yiladi, chunki u kritik holatni bartaraf etadi, qachon $x2 = x0 = 1$ bo'lganda, qo'shimcha ifoda $x0 \cdot x2 = 1$ va funksiya $Y = x1 \cdot x2 + \sim x1 \cdot x0 \cdot x0 \cdot x2 = x0 \cdot x2 = 1$ holda har doim 1 ga teng. Indikatsiya qurilmasida ham bunday qisqa xalaqitlar bartaraf etiladi, chunki ular ko'zga ko'rinmasdir.

4.3. Kombinatsion mikrosxemalar

4.3.1. Shifrador, deshifrador, multipleksor va demultipleksor

Kombinatsion sxemalarda mantiqiy funksiya qiymati faqat kirishga berilayotgan signallarning kombinatsiyasiga bog'liqdir. Ko'pchilik raqamli qurilmalarni o'rganishda, kirish va chiqish ikkilik signallarning tartibsiz kirishi mumkin emas. Bu to'plamlarni qandaydir sanoq sistemalari orqali keltirish qulay.

Sanoq tizimi turlari

Pozitsion sanoq tizimda har bir razryad «og'irligi» sonning qaysi pozitsiyasida joylashganligiga bog'liqdir. Pozitsion emas sanoq tizimiga rim raqamlari kiradi, masalan, XVII soni.

Ixtiyoriy n -razryadli $C(n-1)$, $C(n-2)$ $C(1)$, $C(0)$, manfiy emas butun son pozitsion sanoq tizimlar quyidagi ko'rinishda keltirilishi mumkin:

$$D = C_{n-1} * b^{n-1} + C_{n-2} * b^{n-2} + \dots + C_1 * b^1 + C_0 * b^0. \quad (4.22)$$

Bu yerda: D —sonning o'nlik ekvivalenti; C — j -razryad qiymati; b —sanoq tizimi asosi, b ning i -darajasi; n —butun son razryadi soni. Raqamli va hisoblash texnikasida eng ko'p tarqalgan ikkilik (BIN), o'nlik (DBC), o'n oltilik (HEX) va pozitsion bo'lmagan ikkilik-o'nlik (BCD) sanoq tizimlaridir. BCD sanoq tizimida har bir razryad o'nlik sanoq tizimi kabi og'irligi 10 ga teng bo'lib, har bir i -razryad raqami 4 ta ikkilik raqamlar bilan belgilanadi. Sakkizlik sanoq tizimida (OST) raqamlar 0 dan 9 gacha, o'nlik sanoq tizimdagilar bilan mos tushadi, 10 dan ortiq bo'lganlari esa lotin harflari bilan $A(a)=10$, $B(b)=11$, $C(c)=12$, $D(d)=13$, $E(e)=14$, $F(f)=15$ belgilanadi. Ikkilik sonlar o'nlik ishorasiz songa (4.22) formula yordamida o'zgartiriladi, masalan, $10010011=1*2^7+1*2^4+1*2^1+1*2^0=147$ (DEC). Ikkilik sanoq tizimidagi sonlarni 16 lik sanoq tizimiga o'tkazish uchun, uni o'ng tomondan 4 ta taktlik sonlar guruhlariga ajratib, har bir guruh (8, 4, 2, 1) og'irlik

bilan qo'shib chiqish lozimdir. Teskari jarayonga o'tkazish uchun har bir raqam 4 ta ikkilik sonlar bilan almashtiriladi.

Qayta almashtirishga misollar:

00111011 ikkilik songa mos keluvchi ishorasiz o'nlik sonini aniqlang.

4.7-jadval

razryad raqami	7	6	5	4	3	2	1	0
razryad og'irligi	128	64	32	16	8	4	2	1
razryad qiymati	0	0	1	1	1	0	1	1
o'nlik ekvivalenti	$(0*128)+(0*64)+(32*1)+(16*1)+(8*1)+(0*4)+(2*1)+(1*1)=59(DEC)$							
javob	59(DEC)							

$0+0+32+16+8+2+1=69$ (DEC) yuqorida keltirilgan ikkilik son 00111011 uchun 16 lik koddagi son aniqlansin.

4.8-jadval

razryad raqami	3	2	1	0	3	2	1	0
razryad og'irligi	8	4	2	1	8	4	2	1
razryad qiymati	0	0	1	1	1	0	1	1

JAVOB: 16 lik ekvivalenti $0+0+2+1$ (3) $8+0+2+1(11)=3B(HEX)$ bu yerda HEX larda 11 soni uchun B harfi yoziladi.

Ikkilik-o'nlik sonlarni o'nlik raqamlar bilan yozish mumkin, masalan, 1998 va ikkilik ko'rinishda 0001100110011000. Har bir o'nlik son BCD ko'rinishda ko'rsatilishi mumkin, masalan, 19 (DBC)=19(BCD) ga teng emasdir. 10011(19DEC) teng emas 11001 (19 BCD). Hamma nol va birlar ketma-ketligi ikkilik-o'nlik ekvivalentga ega emas. Masalan, 11001001(BIN)[C9(HEX), 201(DEC)]=? (BCD), chunki 1100 uchun o'nlik son mavjud emas: 1100=12.

Deshifrator

Deshifrator kirishdagi ikkilik kodni chiqishning shunday aktiv signaliga aylantiradiki, uning raqami kirishdagi ikkilik kodning o'nlik ekvivalentiga tengdir. To'liq deshifratorning chiqishlar soni $m=2n$ ga deshifratorda $m<2m$. To'liq deshifrator aniqlashiga $2i$ chiqish mantiqiy funksiyalarni ishlab chiqarib, ular n kirish o'zgaruvchilarining hammasida aniqlangandir. $n=2$ va $m=4$ ga teng DSHni ko'rib chiqamiz. Bunday DSH «2 dan 4», uni OE chiqishlariga ruxsat berish kirishi bilan to'ldiramiz. To'g'ri kirishlardagi aktiv signalga 1 sath, 0 esa inversiyalarga taalluqlidir. Ushbu aniqlanganga asosan holatlar jadvalini to'lg'azamiz, bu yerda x ixtiyoriy qiymatga tengdir.

4.9-jadval

DEC sonlar	Kirish				Chiqish								LF		
	a_1	a_0	OE	$\bar{0}$ $\bar{E}$	y_0	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}_0$	$\bar{y}_1$	$\bar{y}_2$	$\bar{y}_3$			
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	$y_0=OE*\sim a_1*\sim a_0$	
1	0	1			0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	$y_1=OE*\sim a_1*a_0$
2	1	0			0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	$y_2=OE*a_1*\sim a_0$
3	1	1			0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	$y_3=OE*a_1*a_0$
x	x	x	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	$y_i=0 (\sim y_i=1)$	

Karno kartasi $y0$ chiqish va 3 ta kirish o'zgaruvchilariga asosi quyidagi ko'rinishga egadir. Keltirilgan chiqish uchun faqat bir

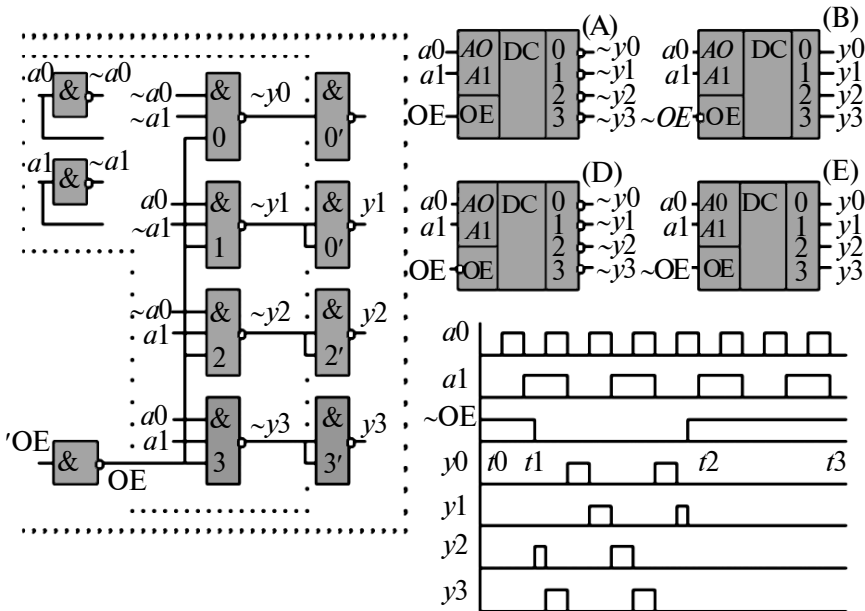
		$a1a0$		« $y0$ »			
		00	01	11	10		
OE	0	0	0	0	0		
	1	1	0	0	0		

4.19-rasm. $y0$ chiqish mantiqiy funksiyasi.

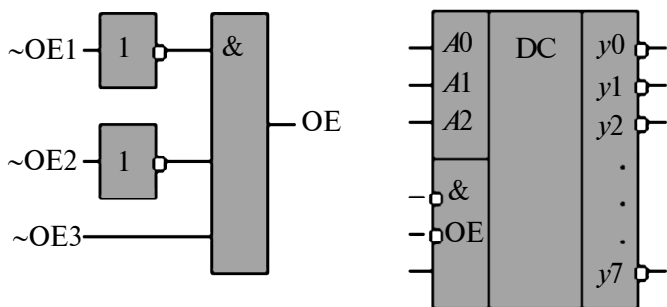
joyda 1 bo'lganligidan, y_0 chiqish mantiqiy funksiya 4.19-rasmdagi ko'rinishga egadir.

$Y_0 = OE \sim a_1 * \sim a_0$ qolgan uchta tenglama ham yuqoridagiga o'xshab aniqlanadi. Aniqlangan y_i tenglamalar ikki marta inversiyalash aksiomasiga asosan VA-EMAS bazasiga o'tkaziladi. $Y_0 = \sim \sim (OE * \sim a_1 * a_0)$. Aniqlanganga 4.20-rasmdagi sxema mos keladi.

DSH ishini vaqt diagrammalari asosida (E) sxema uchun tushuntiramiz. $\sim OE = 1$ sxema uchun mavjud davrida rasmdagi VA-EMAS (0,3) bo'ladi va a_0 va a_1 lar bog'liq bo'lmagan holda chiqish qiymatlari $\sim y_j = 1$, $y_j = 0$, ular 4.19-rasmda aniq ko'rsatilgan. t_0 , t_1 va t_2 , t_3 vaqt oralig'ida chiqishlar «taqiqlangan», ya'ni y_i to'g'ri chiqishlarida passiv sath «0», inversiya chiqishlarida esa passiv «1» ga teng. t_1 , t_2 intervalda $\sim OE = 0$ ($OE = 1$) signali va uning y_i qiymati faqat a_1 , a_0 o'zgaruvchilarga bog'liq. Agar kirishda A_1 , $A_0 = 10$ kod bo'lsa, unga o'nlik ikki mos keladi



4.20-rasm.



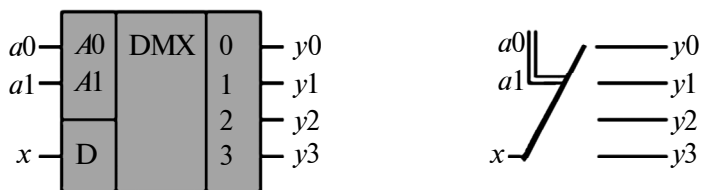
4.21-rasm. «3 va 8» 1533ND7 (555ND7) turdagi deshifratrlar.

va ikkinchi VA-EMAS element kirishlarida mantiqiy «1» y_2 diagramma ko‘rinib turibdi. OE inventli ishlatilishi mumkin. Bu yerda $OE=1$ ga teng, qachonki $\sim OE_1=\sim OE_2=0$ va $OE_3=1$. Bunday sxema «3 va 8» 1533ND7 (555ND7) turdagi deshifratrlarda qo‘llaniladi, ularning shartli belgilanishi 4.20 va 4.21-rasmlarda keltirilgan.

Deshifratrlar hisoblash texnikasida keng qo‘llanib kelinadi. Ular bir necha tashqi qurilmalarni tanlash, ma‘lumotlarni ulash va mikroprotessorlar orasida almashinishni tashkil qiladi. Bu uchun ham *ai* kirishlarga tashqi qurilmalar adresi beriladi, kirishlar esa *adres kirishlari* deyiladi.

Demultipleksor

Signalni informatsion kirishdan chiqishlarning biriga uzatuvchi, qabul qiluvchi chiqishlarning raqami esa adres kirishlarga



4.22-rasm. DM «1 va 4» DM va uning mexanik analogi.

berilayotgan ikkilik kodning oʻnlik ekvivalentiga teng qurilmalar *demultipleksor* (DM) deb ataladi. DM sifatida deshifrator ishlatilishi mumkin boʻlib, uning OE signali oʻrniga X informatsion signal beriladi. Masalan, agar kirishlarga $a_1a_0=10(\text{BIN})=2(\text{DEC})$ berilsa, u holda X signal U_2 chiqishda paydo boʻladi. Qolgan chiqishlarda esa $y_i=0$. 4.22-rasmda DM «1 da 4» DM va uning mexanik analogi keltirilgan.

Multipleksor

Multipleksor deb n informatsion kirishdagi signallardan birini yagona chiqishga uzatuvchi, uzatilayotgan kirishda adresning oʻnlik ekvivalent ikkilik adresi ni ga teng qurilmaga aytiladi. Agarda OE chiqishga ruxsat berish kirishi mavjud boʻlsa, u holda kirishda «0» holat chiqishi passiv holatga oʻtqazadi. «4 dan 1» multipleksorni koʻrib chiqamiz, u 4 informatsion kirish va lod $4=2$ adres kirishga egadir.

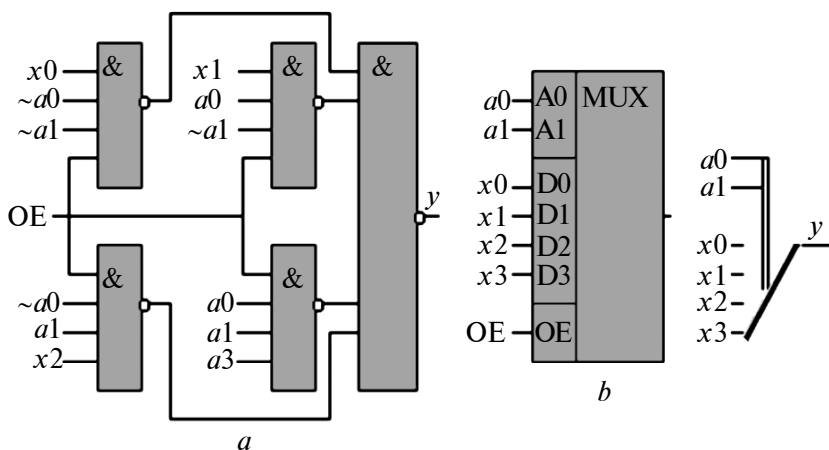
Oʻnlik sonlar	Kirish $a_1\ a_0\ OE\ \overline{OE}$				Chiqish Y	LF
0	0	0		$x_0\ x\ x\ x$	x_0	$y = x_0 * OE * \sim a_1 * \sim a_0$
1	0	1	1	$x\ x_1\ x\ x$	x_1	$y = x_1 * OE * \sim a_1 * a_0$
2	1	0		$x\ x\ x_2\ x$	x_2	$y = x_2 * OE * a_1 * \sim a_0$
3	1	1		$x\ x\ x\ x_3$	x_3	$y = x_3 * OE * a_1 * a_0$
x	$x\ x$	0	1	$x\ x\ x\ x$	0	$y=0$

Uning umumiy mantiqiy tenglamasi quyidagi koʻrinishga tengdir:

$$Y=OE(x_0*\sim a_1*\sim a_0+x_1*\sim a_1*a_0+...). \tag{4.23}$$

Keltirilgan ifodaning oʻng tomonidagilarga ikki marta inverlash va oʻz-oʻziga oʻtish aksiomalarni qoʻllab

$$Y=\sim(OE\ x_0\sim a_1*\sim a_0+...+OE*x_3*a_1*a_0) \tag{4.24}$$



4.22-rasm.

ni aniqlaymiz. (4.24) ifodaga mos sxema 4.22-*a* rasmda keltirilib, uning shartli belgisi va mexanik analogi 4.22-*b* rasmda ko‘r-satilgan.

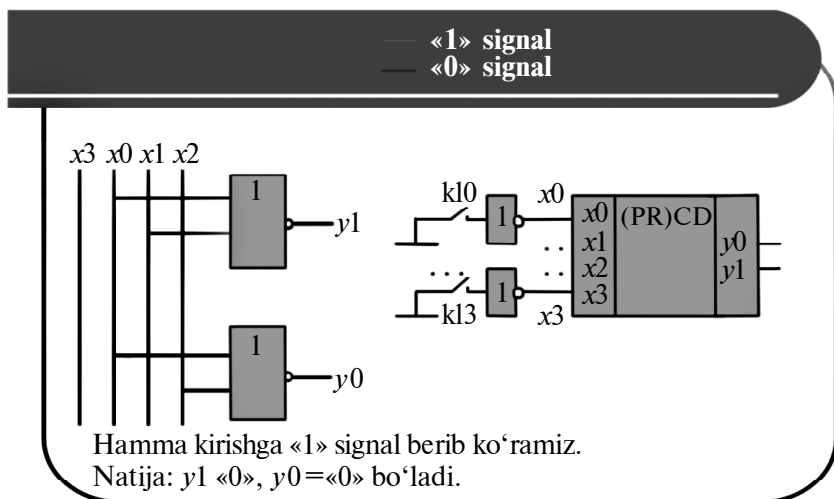
Shifrador

Shifrador — bir turdagi ma’lumotlar oqimini ikkinchi turdagi ma’lumotlar oqimiga aylantirib beruvchi qurilmadir.

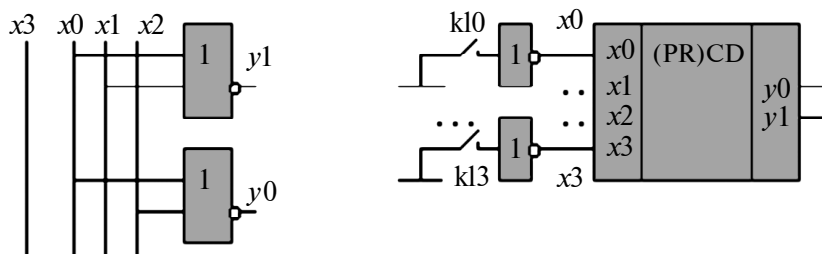
Shifratorlar, raqamli texnikada har xil signallarni boshqa turdagi signallar bilan almashtirish imkoniyatini yaratadi.

Shifrator mavqesiz bo‘ladi, agarda faqat bitta haqiqiy signal uzatishga ruxsat etilsa, mavqelik bo‘lishi mumkin. Agarda birdaniga bir necha signallarning kirishiga ruxsat etilsa, mavqesiz SH o‘nlik raqamli haqiqiy kirish raqamini chiqishga uning ikkilik ekvivalentiga qayta ishlovchi qurilmaga aytiladi. Mavqesiz «4 dan 2» shifrator uchun hajmlar jadvali 4.23-rasmdagi ko‘rinishga ega.

Shifratorlarning qurilishi va shartli belgilanishi 4.24-rasmda keltirilgan.



4.23-rasm.



4.24-rasm.

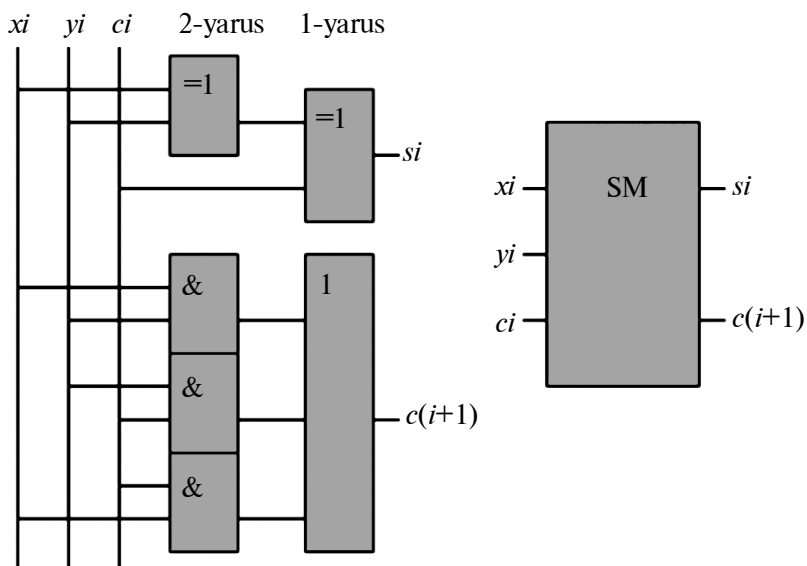
4.3.2. Jamlagichlar

Jamlagich deb n -razryadli $x=(x(n-1), \dots, x_0)$ va $y=(y(n-1), \dots, y_0)$ kodlarni arifmetik qo'shishni amalga oshiruvchi qurilmaga aytiladi. Ikki bir razryadli ikkilik sonlarning qo'shish qoidasi

$$0 (+) 0 = 0$$

$$0 (+) 1 = 1 \quad (+) 0 = 1$$

$$1 (+) 1 = 0 \text{ yuqori razryadga uzatiladi}$$



4.25-rasm. Bir razryadli to'liq jamlagich.

Uchta bir razryadli sonlarning qo'shilishi quyidagicha amalga oshiriladi:

$$0 (+) 0 (+) 0 = 0$$

$$0 (+) 0 (+) 1 = 1$$

$$0 (+) 1 (+) 1 = 0 \text{ 1 ta katta razryadga uzatiladi}$$

$$1 (+) 1 (+) 1 = 1 \text{ 1 ta katta razryadga uzatiladi.}$$

Keltirilgan qoidaga asosan to'liq jamlagich mantiqiy funksiyasi quyidagiga teng:

Jamlagich razryad natijasi

$$s(i+1) = xi * yi + xi * si + yi * si. \quad (4.25)$$

Orttirma

$$si = \sim yi (xi (+) si) + yi \sim (xi (+) si) =$$

$$= yi (+) (xi (+) si) = yi (+) xi (+) si. \quad (4.26)$$

Bir razryadli to'liq jamlagichning (4.25) va (4.26) tenglamalarga mos sxema va shartli belgi 4.25-rasmda keltirilgan.

4.5. Triggerlar

4.5.1. Triggerlar turlari va ishlash asoslari, qo'llash sohalari

Sxemalar ketma-ketligida chiqish signallari faqat kirish kombinatsiyalariga bog'liq bo'lmasdan, ish paytidagi chiqish signallariga ham bog'liqdir.

Trigger deb ikki mustahkam 0 va 1 holatga ega bo'lgan ketma-ket bog'langan musbat teskari aloqa bo'lgan sxema tushuniladi. Triggerlar asinxron kirish, pog'onali yoki sinxronlashtiruvchi va axborotlar kirishlariga ega. Triggerlar tipiga:

- alohida o'rnatilgan holatdagi triggerlar (RS);
- *D*-trigger;
- universal trigger (JK);
- hisobli kirishli trigger (*T*-trigger)lar kiradi.

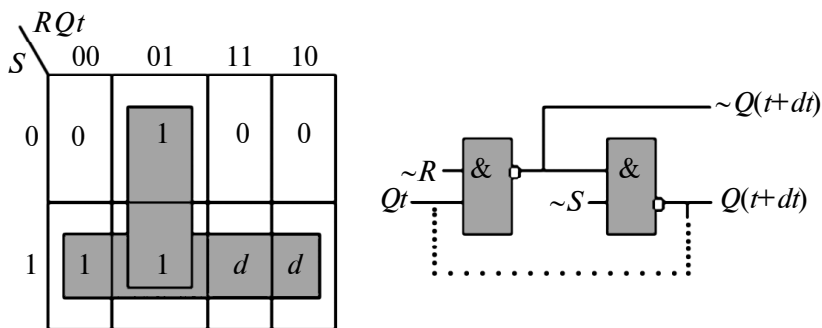
Axborotlarni yozish usullariga ko'ra triggerlar sinxron va asinxron, boshqarish usullariga ko'ra statik va dinamik boshqaruvga bo'linadi.

4.5.2. Asinxron RS-trigger

Asinxron triggerlar 2 ta kirishga ega. *S* (set) — o'rnatish va *R*(reset) — bosh holatga keltirish. 2 ta chiqishga: to'g'ri $\sim Q$ va inversiyali-*Q*. Trigger oldingi *X* holatdan chiqishda — 0-holatga, *S*-ga nol berilganda va $\sim R$ -ga 1 berilganda, $\sim S$ -ga 1, *R* ga nol berilsa *y*-1-holatga o'tadi. Agar $S=R=0$ bo'lsa, trigger eski holatini saqlab qoladi. $S=R=1$ kombinatsiyasida holatlar noaniq bo'ladi. Yuqorida keltirilganlarga asoslanib holatlar jadvalini hosil qilamiz.

4.11-jadval

Joriy holat	Keyingi holat		Rejim nomi
<i>S</i> <i>R</i> <i>Qt</i>	$Q(t+dt)$	$\sim Q(t+dt)$	

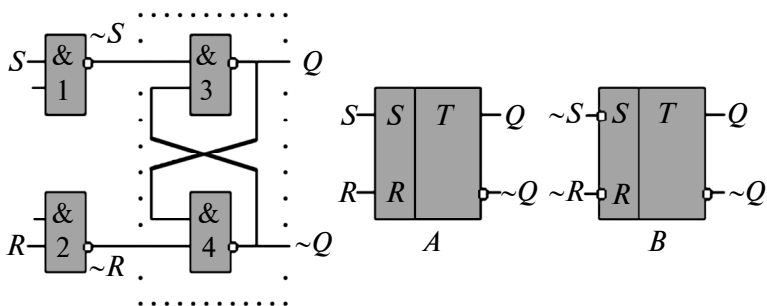


4.26-rasm. $Q(t+dt)$ funksiya uchun Karno kartasi.

Q va X ixtiyoriy qiymatlarni qabul qiladi, lekin $\sim Q$ - bir oraliqda o'zgarmasdir. D ning qiymati minimizatsiya asosida aniqlanadi. Q va X ning har xil qiymatlarida, albatta, uchta kirish S , R va Qt joriy holat bo'lganligi uchun 8 ta holat bo'ladi. Chiqishlarning keyingi holatini joriy holatdan ajratuvchi vaqtinchalik ushlab turuvchi dt signal mavjud. 4.26-rasmda $Q(t+dt)$ funksiya uchun Karno kartasi keltirilgan.

$$Q(t+dt) = S + \sim R * Qt = \sim(\sim S * \sim(\sim R * Q)). \quad (4.27)$$

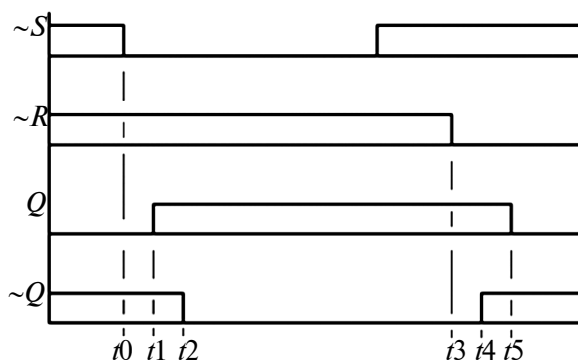
Bu tenglikka 4.27-rasmda o'ngda keltirilgan sxema mos keladi. Qt dt va $(t+dt)$ signallari chiqish signallari bo'lganligi uchun ularni birlashtiramiz. Triggerning to'liq ko'rinishi va shartli belgilari quyidagi ko'rinishda bo'ladi.



4.27-rasm. Triggerning to'liq ko'rinishi va shartli belgilari.

Nuqtalar bilan chegaralangan qism B uchun tegishlidir, ya'ni RS -triggerning inversiyali kirishlari, A hamma rasm uchun yoki RS -trigger to'g'ri chiqish ushun.

Agar to'g'ri kirishli trigger ushun kirishlariga $R=S=1$ berilsa, u holda 2 ta chiqishi Q va $\sim Q$ ham ~ 1 - ga o'rnatiladi. Shuning uchun bu rejimni taqiqlagan holat deb yuritiladi. Qo'shimcha «VA» elementini ishlatib bu holatdan chiqish mumkin. 4.28-rasmda RS -triggerning inversiyali kirishlari ko'rsatilgan. $t_{zd.r}$ vaqtdan so'ng 3 raqam bilan ko'rsatilgan VA-EMAS elementidagi $\sim S=0$ beriladi, Q chiqishi qayta yoqiladi.

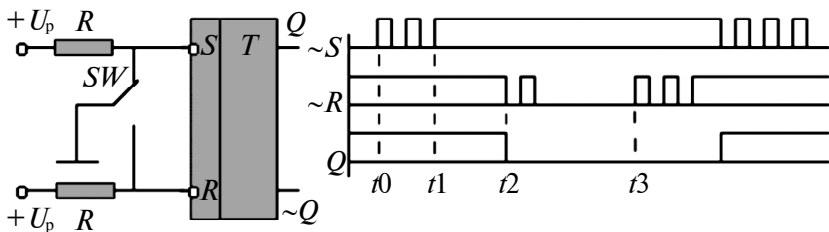


4.28-rasm.

Undan so'ng qandaydir vaqt ichida $\sim Q$ ishga tushadi. $t_2 - t_0 = dt$ vaqt oraliq chiqishida yangi qiymatlar hosil bo'ladi. $\sim R = 0$ bo'lganda ham shu holat takrorlanadi, lekin — Q birinchi bo'lib yonadi. Xulosa qilib aytish mumkinki, kirish signallarining o'zgarishi dt vaqtdan oldin bajarilishi mumkin emas.

«Drebezg» sxemasi 2 ta inversiyali kirishga ega bo'lgan RS -triggerni qo'llash uchun ishlatiladi. Drebezg — qayta yoqishi natijasida bir necha bor uzilishlar yoki qayta tiklanish kuzatiladi.

t_0 klavish tushishi bilan yuqori va o'rta aloqadagilar ta'siri boshlanadi. t_1 signali kelguncha $\sim S$, $\sim R$ ketma-ketlikda 1,1 va 0,1 qiymatini oladi, bu esa h.k. rejimining 1-holatiga o'rnatilganini

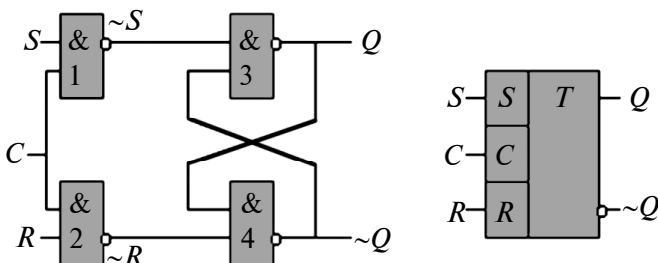


4.29-rasm.

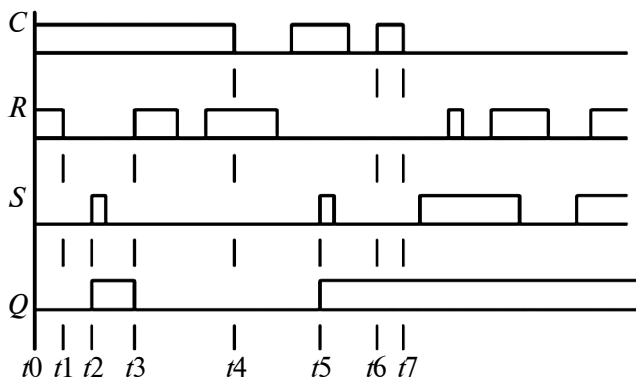
bildiradi. Bu holda xuddi talab qilinganidek, $Q=1$ boshlang'ich holati o'zgarmas qoladi. $t1...t2$ vaqt oralig'ida o'rta kontakt «havoda» turib qoladi. $t2$ vaqtda uning pastki kontaktga birinchi tegishidayoq trigger $\sim S=1, \sim R=0$ ga o'tadi. $t3$ vaqt lahzasigacha bu triggerning — $S, \sim R$ kirishlari navbat bilan 1,0 va 1,1 qiymatini oladi, bu esa triggerning tashlash va xotira holatiga, ya'ni $Q=0$ holatiga mos keladi. Klavishning qo'yib yuborilishi bilan ($t3$ lah-zasi) teskari jarayon yuz beradi. Chizmaning ishlashi natijasida chiqish signali impuls holatlaridan xolis bo'ladi.

4.5.3. Sinxron RS-trigger

Agar 1 va 2 «VA-EMAS» elementining ishlatilmagan kirishlari birlashtirilsa (4.30-rasm), u holda statik boshqaruvli (sinxronizatsiya qatlamli) sinxron RS -trigger hosil bo'ladi. 4.30-rasmda uning chizmasi va shartli belgilanishi keltirilgan. Ko'rib turgani-



4.30-rasm. Statik boshqaruvli (sinxronizatsiya qatlamli) sinxron RS -trigger.



4.31-rasm. «Tiniq» triggerlarning vaqt diagrammasi.

mizdek, $S=0$ da $Q = -(\sim Q*1) = Q - Q = \sim(Q*1) = \sim Q$, ya'ni, S va R kirishlarining qiymatidan qat'i nazar chiqishda triggerning eski qiymatlari saqlanib qoladi, ya'ni u xotira holatida turadi.

$S=1$ bo'lganda u xuddi asinxron RS -trigger kabi ishlaydi. Statik boshqaruvli triggerlarni S sinxrosignal aktiv bo'lganida kirishdagi axborot to'siqsiz chiqishga uzatilganligi uchun «tiniq» triggerlar deyiladi. Ularning vaqt diagrammasi 4.31-rasmda keltirilgan.

t_4 vaqt momentigacha $S=1$ ga teng va chiqish qiymati R va S signallarining yig'indisiga bog'liq. $t_0 \dots t_1$ vaqt oralig'ida R kirish 1 ga teng, S kirishi esa 0 ga teng, shuning uchun $Q=0$ ga teng t_1 momentdan t_2 ga $R=S=0$ ga teng va bu holda xotira holati yuz beradi (Q o'zgarmaydi). t_2 momentida $R=0$ va $S=1$ ga teng va trigger $Q=1$ ga o'tadi. Bu holat S signali tugaguncha va t_3 vaqt momentigacha saqlanadi, so'ng $Q=0$ ga o'tadi, chunki $R=1$, $S=0$ ga o'tadi. Xuddi shu asnoda chiqishlarning barcha holatlarini tahlil qilib chiqish mumkin.

4.5.4. Statik boshqaruvli D-trigger

D -trigger ikki kirishga: axborot D (ata) va yozish xotirani boshqarish L (oad) IL (atch) kirishlariga ega. Ikkinchi kirishni qo'shimcha C (lock) deb ham ataladi. Chiqish signali Q kirish

signali D ning qiymatini $L=1$ da qabul qiladi va $L=0$ holatda avvalgi holatini saqlab qoladi, ya'ni $Q(t+dt) = Q$. Triggerning holatlar jadvali quyidagi ko'rinishga ega:

4.12-jadval

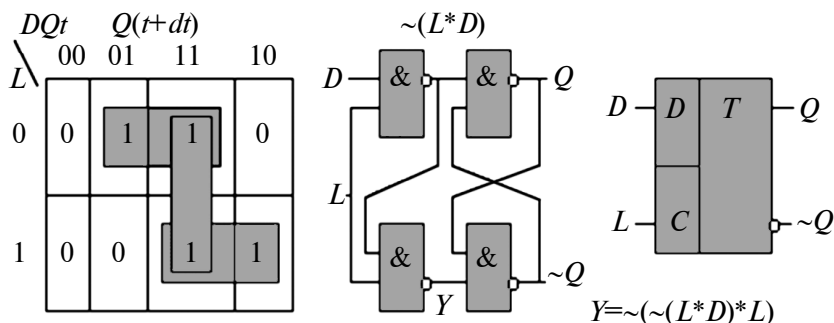
Joriy holat			Keyingi holat		Holatlarning nomlanishi
L	D	Q	$Q(t+dt)$	$\sim Q(t+dt)$	
0	X	Q	Q	$\sim Q$	Ma'lumotlarni saqlash
1	0	X	0	1	«0» ni o'rnatish
1	1	X	1	0	«1» ni o'rnatish

Q va X ixtiyoriy qiymatni qabul qilishi mumkin, lekin Q bir satr oralig'ida o'zgarmasdir. 4.12-jadvalda Karno jadvali berilgan.

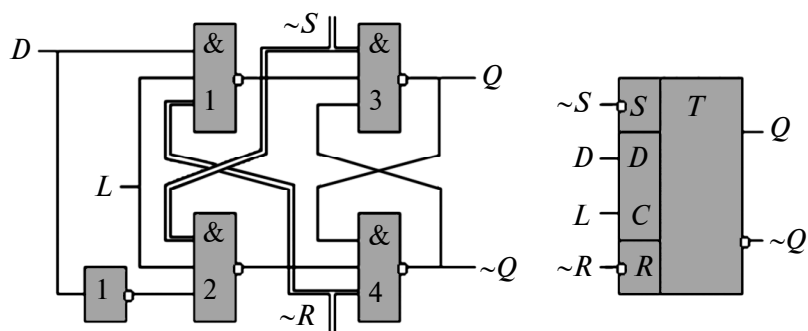
Bog'lovchi implikant «poyga»dan (o'tish jarayonlari bo'lishiga qarang) va kirish qiymatlarining inversiyasidan ozod bo'lgan chizmani olish uchun kiritilgan. $Q(t+dt) = \sim L * Q + L * D * \sim Q$
 $t = L * D * \sim Q + (\sim L * D) = L * D * \sim Q + ((\sim L * D) * (\sim L * L)) = L * D * \sim Q + ((\sim L * D * \sim L) * L) = L * D * \sim Q + (\sim L * D * L) = (\sim L * D) * L + L * D * \sim Q$
 $= \sim(\sim(L * D) * (Q + \sim(D * L * L)))$. (4.28)

Bu formulaga 4.32-rasmdagi o'rtada va o'ngdagi chizma hamda shartli belgilanishlar mos keladi.

Agar tenglamada $\sim(D * L) * L$ o'rniga $\sim(D * L) * L = (\sim D * \sim L) * L = \sim D * L$ qo'yilsa, RS -trigger yordamida D -trigger quriladi, lekin



4.32-rasm.



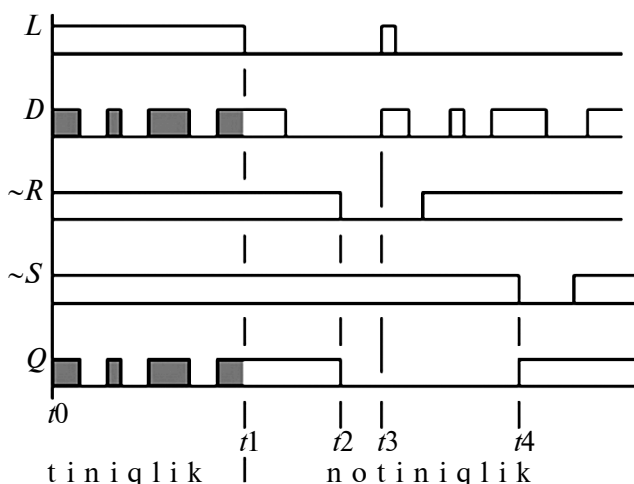
4.33-rasm. Asinxron invers $\sim S$ va $\sim R$ oʻrnatish
hamda tozalash kirishli trigger.

qoʻshimcha invertor paydo boʻladi. 4.33-rasmda asinxron invers $\sim S$ va $\sim R$ oʻrnatish va tozalash kirishli (chizmada ikkitali chiziqlar bilan koʻrsatilgan) trigger chizmasi berilgan.

Agar $\sim S$ ga aktiv 0 signali berilsa, $\sim R$ ga esa 1 berilsa, u holda qolgan kirishlardan qatʼi nazar 3-element chiqishidagi $Q=1$ ga teng. Xuddi shu sababli 2-element chiqishida ham $Q=1$. Uchala 1 signali 4-element kirishida birlashib, uning chiqishida 0 ni paydo qiladi. Bu nol 3-elementga kirib uning holatini tasdiqlaydi va trigger 1 ga oʻtadi. D va L signallari bu jarayonga taʼsir qilmaydi. Shu sababli $\sim S$ va $\sim R$ asinxron kirishlari birinchi navbatli ustunlikka ega. Asinxron aloqalarning simmetrik koʻrinishga egaligi sababli $\sim S=1$ va $\sim R=0$, yaʼni triggerning $Q=0$ ga oʻtishi ham yuqorida aytib oʻtilganidek yuz beradi. Sinxron oʻrnatish sinxron tozalanishni $\sim S$ va $\sim R$ kirishli D -trigger tenglamasi quyidagi koʻrinishga ega:

$$Q(t+dt) = S + \sim R * (\sim L * Qt + L * D + D * Qt). \quad (4.29)$$

Bu tenglamada qavsgacha asinxron RS -trigger tenglamasi, qavs ichida esa sinxron D -trigger tenglamasi yozilgan. Koʻrish qiyin emaski, $\sim S=0$ va $\sim R=1$ boʻlsa butun ifoda 1 ga teng, $\sim S = \sim R=1$, boʻlganda RS -trigger «oʻchadi» va chizma D -trigger kabi ishlaydi. Triggerning vaqt diagrammasini 4.34-rasmida keltiramiz.



4.34-rasm. Triggerning vaqt diagrammasi.

t_0 vaqt momentidan t_1 gacha L signali ~ 1 ga teng ($\sim R$ va $\sim S$ kirishlarida passiv qatlam) va D kirishdagi ma'lumot («tiniqlik» xossasiga muvofiq) Q chiqishiga to'siqsiz o'tadi. t_1 momentidan boshlab trigger «notiniq» bo'lib, axborot «yopiladi», ya'ni chiqishdagi oxirgi qiymat $\sim R$ kirishiga 0 kelgunga qadar saqlanib qoladi (t_2 vaqt momenti). Bunda $L=D=1$ bo'lsa ham $Q=0$ ligicha qoladi (t_3 vaqt momenti). $\sim S=0$ bo'lgandagina (t_4 vaqt momenti) trigger chiqishida $Q=1$ bo'ladi. Agar 4.34-rasmga qaytsak va shartli belgidan C kirishini olib tashlasak, xotira xossalariga ega bo'lmagan qaytargich-invertor hosil bo'ladi:



4.35-rasm. Triggerning vaqt diagrammasi.

Shuning uchun tabiatan asinxron D -triggerlar mavjud emas va D -trigger uchun sinxron so'zi ortiqchadir.

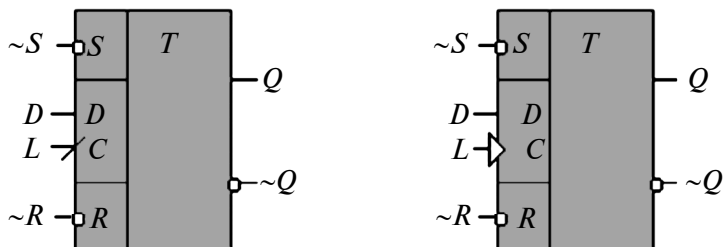
4.5.4 Dinamik boshqaruvli D-trigger

Bu trigger statik D -triggerdan L (c) kirish xususiyatlari bilan farq qiladi. Axborotni yozish faqat L signalining 0 dan 1 ga o'tish momentida yuz beradi. $L=0$, $L=1$ ning doimiy holatida yoki uning manfiy o'tishida trigger oldingi axborotni saqlab turadi, ya'ni «tiniqlik» xususiyatiga ega (4.13-holatlar jadvalini qarang). Sanoatda chiqarilayotgan triggerlar o'rnatish va tozalashli $\sim S$ va $\sim R$ asinxron invers kirishlari bilan to'ldiriladi.

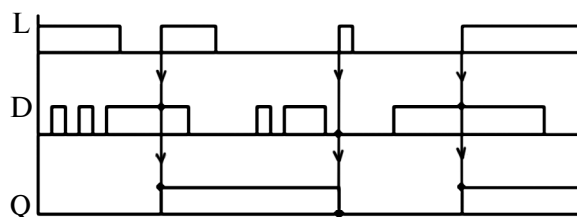
4.13-jadval

Joriy holat				Keyingi holatlar		Holatlarning nomlanishi
$\sim S \sim R$	L	D	Q	$Q(t+dt)$	$\sim Q(t+dt)$	
1 1	0,1 , 	X	Q	Q	$\sim Q$	saqlash
		0	X	0	1	«0» ni o'rnatish
		1	X	1	0	«1» ni o'rnatish
0 1	X	X	X	1	0	«1» ni o'rnatish
1 0	X	X	X	0	1	«0» ni o'rnatish
0 0	X	X	X	1	1	noma'lum holat

Q va X — ixtiyoriy qiymatni egallaydi, lekin Q bir satr davomida o'zgarmasdir. Chizmalarda D -triggerning to'g'ri dinamik kirishlari egri chiziq yoki ichkariga qaragan strelka bilan belgilanadi.



4.36-rasm.



4.37-rasm.

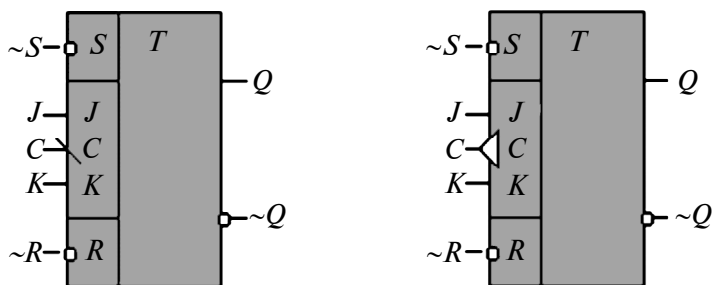
Dinamik kirishli triggerlarning vaqt diagrammasi ancha farq qiladi. Bunda statik boshqaruvli *D*-triggerda asinxron kirishining ishlashi bir xil bo'lgani uchun vaqt diagrammasida ular ko'rsatilmagan.

4.5.5. Universal JK-trigger

JK-trigger J va K ikki axborot, taktdinamik, qo'shimcha invers bo'lgan, o'rnatish va tozalashli kirishlarga egadir. Uning holatlar jadvali quyidagi ko'rinishga ega:

4.14-jadval

Joriy holat					Keyingi holatlar		Holatlarning nomlanishi
$\sim S \sim R$	C	J	K	Q_t	$Q(t+dt)$	$\sim Q(t+dt)$	
1 1	0,1, $\sqrt{\quad}$	X	K	Q	Q	$\sim Q$	saqlash
	$\sqrt{\quad}$	0	0	Q	Q	$\sim Q$	saqlash
	$\sqrt{\quad}$	1	0	X	1	0	«1» ni oʻrnatish
	$\sqrt{\quad}$	0	1	X	0	1	«0» ni oʻrnatish
	$\sqrt{\quad}$	1	1	Q	$\sim Q$	Q	Modul 2 boʻyicha hisob (kirish impulslari chastotasini 2 ga boʻlish)
0 1	X	X	X	X	1	0	«1» ni oʻrnatish
1 0	X	X	X	X	0	1	«0» ni oʻrnatish
0 0	X	X	X	X	1	1	nomaʼlum holat



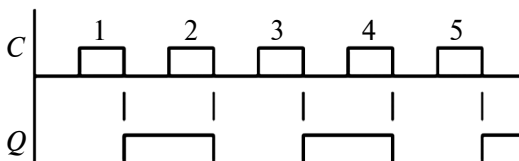
4.38-rasm.

Q va X ixtiyoriy qiymatni egallaydi. Lekin Q bir satr davomida o'zgarib qolmaydi. Axborotni yozish, tozalash ($\sim R$) va o'rnatish ($\sim S$) signallarining passiv qatlamlarida S signalining 1 dan 0 ga o'tish paytidagina yuz beradi, ya'ni JK -triggerlari «notiniq» dirlar (bunga TB15 tipdagi trigger kirmaydi, chunki u o'z holatini musbat fronti bilan o'zgartiradi). $\sim R$ va $\sim S$ asinxron kirishli JK -triggerining tenglamasi:

$$Q(t+dt) = S + \sim R (J * \sim Q + \sim K * Q). \quad (4.30)$$

Dinamik invers kirishli JK -triggerning shartli belgisi 4.38-rasmda keltirilgan. Bunda egri chiziq chapdan o'ngga, tepadan pastga yo'naltirilgan, strelka esa tashqariga qaragan. JK -triggerning universalligi quyida keltiriladi.

Holatlar jadvalining ikkinchi, uchinchi va to'rtinchi satrlari RS -trigger bilan bir xil bo'lishi uchun J kirishini S kirishiga va K ni R kirishiga almashtiramiz. Farqi esa shundaki, $J=K=1$ bo'lganida trigger juda foydali xossa kasb etadi (4.14-jadvalga qarang), ya'ni S kirishiga kelayotgan signalning har bir manfiy fronti, chiqish qiymatini 4.39-rasmda ko'rsatilganidek o'zgartiradi.



4.39-rasm.

4.5.6. T-trigger

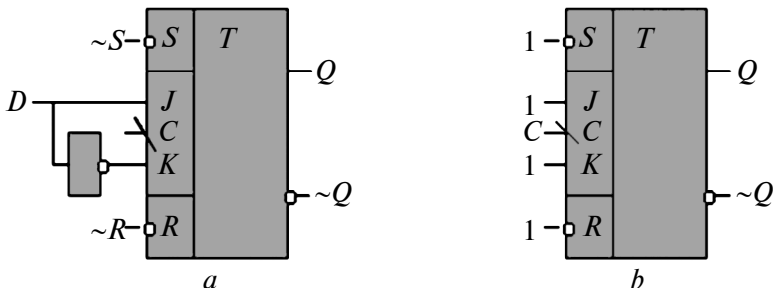
$J=K=1$ bo'lganidagi vaqt diagrammasining tahlilida ikki muhim xulosaga kelamiz. Birinchidan, chiqish impulslarining qaytarilish davri ikki baravar oshadi, demak trigger bu rejimda chiqish impulslarining takrorlanishini ikkiga bo'ladi. Ikkinchidan, juft impuls kelishi bilan chiqish signali 0 ga, toq impuls kelishi bilan 1 ga teng, ya'ni trigger modul s bo'yicha hisoblashga aylanadi.

Hisoblash chiqishilik trigger yoki T -trigger sanoat tomonidan chiqarilmaydi, u dinamik D yoki JK -triggerlaridan yasalanadi.

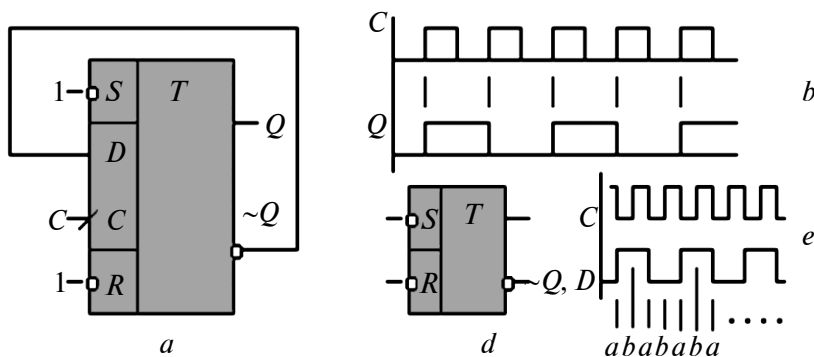
4.5.7. Triggerlarning biridan biriga aylanishi

JK -trigger dinamik D -triggerga aylanishi uchun K kirishiga invertor ulash kerak bo'ladi. Bu holda signallarning to'rtta kombinatsiyasidan $J=K=0$, $J=K=1$, $J=0$ $K=1$, $J=1$ $K=0$ oxirgi ikkitasi olinadi (sinxron o'rnatish va tozalash). Agar sinxron kirish talab qilinsa, u holda C kirishiga yana bitta invertor ulanadi.

4.40-*b* rasmda JK -trigger ($J=K=1$) ga mos keluvchi T -trigger ulangan. Hisoblashni asinxron kirishlarining biriga 0 berib to'xtatish mumkin.



4.40-rasm. JK -trigger ($J=K=1$) ga mos keluvchi T -trigger ulanishi.



4.41-rasm.

Dinamik boshqaruvli D -trigger T -triggerga aylanishi uchun uning invers chiqishidan D -kirishiga teskari aloqani kiritish kerak bo'ladi. Bunda $Q(t-dt)=D$, biroq D iz vaqtida $D=\sim Q$ bo'lgani uchun $Q(t-dt)=\sim Q$ t, ya'ni trigger chiqishining har bir yangi qiymati eski qiymatning inversiyasi bo'lib, u C takt impulsining har bir musbat o'zgarishida o'z qiymatini o'zgartiradi (4.41- a , b rasm).

Va nihoyat, barcha sanab o'tilgan triggerlar invers kirishli asinxron RS -trigger kabi ishlatilishi mumkin. Buning sababi $\sim S$ va $\sim R$ kirishlarining boshqalaridan ustunligidadir. D -triggerning hisoblash rejimida takt kirishidagi kirish impulsining maksimal chastotasi F_{maks} ni baholashga imkon beradi. Ma'lumotnomalarda C kirishning trigger chiqishida yangi qiymat hosil bo'lish momentigacha bo'lgan signalning aktiv frontining kechikish vaqti beriladi $t_{\text{kech}}=t_{v.a.}$ (4.41-rasm). Ayrim hollarda o'rnatish vaqtidan uzib ketish $t_{o'rn}=t_{a.v.}$ keltiriladi. Yangi aktiv front ushbu ikki vaqt ko'rsatkichlari yig'indisiga teng bo'lgan vaqt intervali tugamasidan kelishi kerak. Bundan xulosa shuki, $F_{\text{maks}} \sim 1/(t_{\text{kech}} + t_{o'rn})$. Yana bir parametr th -ushlash vaqti bo'lib, u axborot signallarini takt (sinxron) signaliga nisbatan ushlash vaqtini ko'rsatadi, lekin bu vaqt juda kichik bo'lgani uchun uni hisobga olmasa ham bo'ladi.

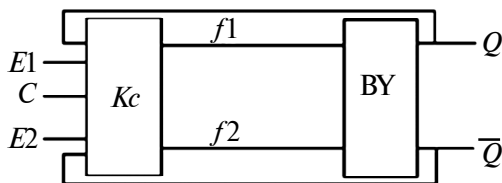
4.5.8. Ixtiyoriy trigger sintezi. Ixtiyoriy trigger qurish usuli

KBY asosida ikki kirishdan iborat 4.15-jadval asosida ishlaydigan sinxron triggerni sintez qilish kerak.

4.15-jadval

$E1$	$E2$	Qn
0	0	0
1	0	Qn
0	1	Qn
1	1	1

Sintez qilmoqchi bo'lgan triggerning tuzilishi 4.42-rasmda keltirilgan.



4.42-rasm. Ixtiyoriy trigger tuzilishi.

Trigger sintezi masalasi uning kombinatsion sxemasini qurish yo'li bilan yechiladi. Kombinatsion sxema kirish signallarini ($E1$ va $E2$) chiqish signallariga ($f1$ va $f2$) shundoq o'tkazishi kerakki, bunda BY ixtiyoriy triggerning o'tishini 4.15-jadval asosida amalga oshirsin.

Kombinatsion sxemaning ishlash jadvali ixtiyoriy trigger o'tish jadvali (4.15-jadval) va BYning boshqaruv jadvali (4.16-jadval) asosida tuziladi.

4.16-jadval

Qn	$Qn+1$	$f1$	$f2$
0	0	1	~
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	~	1

Kombinatsion sxemaning ishlash jadvali (4.17-jadval) kirish signallari qiymatlarining 16 ta kombinatsiyasidan iborat (C , $E1$, $E2$, Qn). Jadvalning beshinchi ustuni ($Qn+1$) triggerning o'tish jadvali (4.15-jadval), oltinchi ($f1$) va yettinchi ($f2$) ustunlari esa BYning boshqaruv jadvali (4.16-jadval) asosida to'ldiriladi.

4.17-jadval

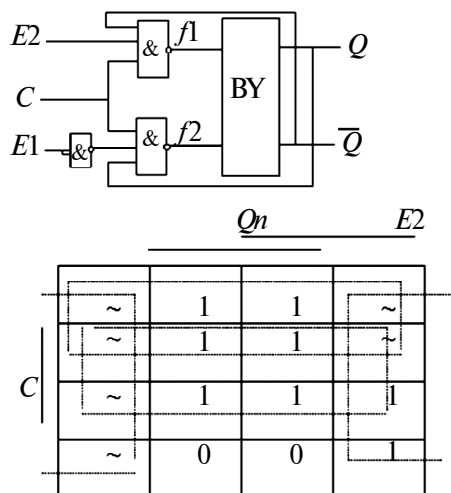
C	$E1$	$E2$	Qn	$Qn+1$	$f1$	$f2$
1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	1	~
0	0	0	1	1	~	1
0	0	1	0	0	1	~
0	0	1	1	1	~	1
0	1	0	0	0	1	~
0	1	0	1	1	0	1

Sinxron trigger faoliyatidan ma'lumki, $C=0$ bo'lganda trigger avvalgi holatini saqlab qoladi ($Qn+1=Qn$), $C=1$ bo'lganda esa, trigger o'tish jadvali asosida ishlaydi.

$f1$ va $f2$ signallari uchun Karno kartalari quyidagi 4.43 va 4.44-rasmlarda keltirilgan.

		Qn $E2$	
$E1$ C			
	1	~	~
	1	~	~
	1	~	0
	1	1	1

4.43-rasm. $f1$ signali uchun Karno kartasi.



4.44-rasm. f_2 signali uchun Karno kartasi.

Karno kartalaridan quyidagilarni topamiz:

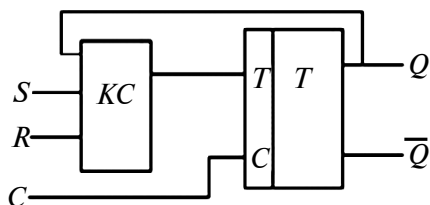
$$f_1 = C + E_2 + Q_n = C \cdot E_2 \cdot Q_n; \quad (4.31)$$

$$f_2 = C + E_1 + Q_n = C \cdot E_1 \cdot Q_n. \quad (4.32)$$

Topilgan funksiyalar asosida ixtiyoriy triggerning sxemasini quramiz.

4.5.9. Berilgan trigger asosida boshqa turdagi triggerning sintezi

Raqamli qurilmalarni qurish jarayonida bir trigger asosida boshqa turdagi triggerni qurish kerak bo'ladi. T-triggeri asosidagi RS-triggerning funksional tuzilishi 4.45-rasmda keltirilgan.



4.45-rasm. T-triggeri asosidagi RS-triggerning funksional tuzilishi.

Sintez qilinayotgan RS-triggerning funksional tuzilishi.

Ixtiyoriy trigger sintezi masalasidan ma'lumki, trigger sintezi masalasi kombinatsion sxemani qurish yo'li bilan yechiladi. Kombinatsion sxemaning ishlash jadvali RS-triggerning o'tish jadvali va T-triggerning boshqaruv jadvali (4.18-jadval) asosida tuziladi.

4.18-jadval

Q_n	Q_{n+1}	S	R	J	R	T	D
0		0	$\sim$	0	$\sim$	0	0
0		1	0	1	$\sim$	1	1
0	1	0	1	$\sim$	1	1	0
1	0	$\sim$	0	$\sim$	0	0	1
1							
1							

Kombinatsion sxemaning ishlash jadvali kirish signallari (S , R , Q_n) qiymatlarining 8 ta kombinatsiyasidan iborat. Q_{n+1} signalining qiymati (to'rtinchi ustun) RS-triggerning o'tish jadvali asosida, T signalining qiymati (beshinchi ustun) esa, T-triggerining boshqaruv jadvali asosida topiladi.

T-funksiyasi quyidagi Karno kartasi bilan ifodalanadi:

4.19-jadval

S	R	Q_n	Q_{n+1}	T
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	1	0
1	1	0	x	x
1	1	1	x	x

	$\overline{Qn}$		R
	0	0	1
S	1	0	x
			x

4.46-rasm. T-funksiyasining Karno kartasi.

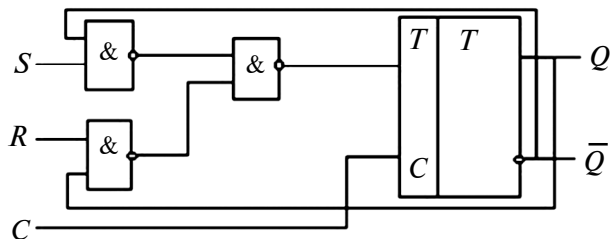
Karno kartasidan quyidagini topamiz:

$$T = SQn \vee RQn.$$

T-funksiyani VA-EMAS bazisiga o'tkazamiz:

$$T = SQn \cdot RQn.$$

Topilgan funksiya asosida trigger sxemasini quramiz:

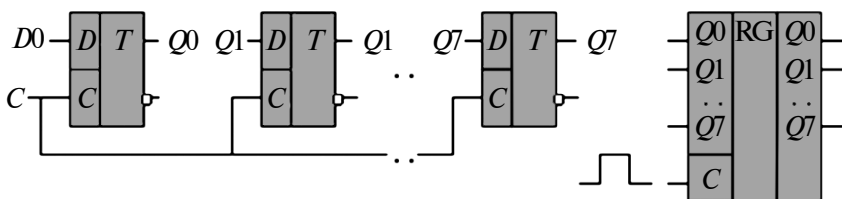


4.47-rasm. T-trigger asosida qurilgan RS-trigger sxemasi.

4.6. Registr turlari, ishlash prinsipi va qo'llash sohalari

4.6.1. Parallel va ketma-ket registrlar

*Parallel yozishli registr*larni yana *xotira registr*lar ham deyiladi. Ularda dinamik boshqaruvli triggerlar hamda «tiniq qulflar» deb ataluvchi triggerlar ishlatilishi mumkin. 4.48-rasmda axborotni yozishda umumiy boshqariladigan kirishli 8-darajali xotira registri va uning shartli belgisi keltirilgan. *S*-kirishdagi yuqori qatlam

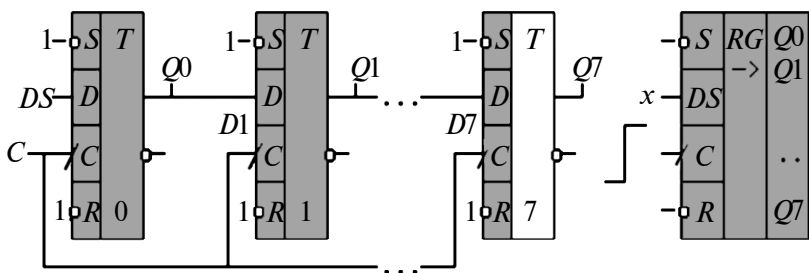


4.48-rasm. Axborotni yozishda umumiy boshqariladigan kirishli 8-darajali xotira registri va uning shartli belgisi.

axborotning kirishdan chiqishga qayta yozilishiga, past qatlam esa axborotning «qulflanishiga» (saqlab qolinishiga) olib keladi.

Ketma-ket registrlar, ya'ni siljish registrleri dinamik sinxro kirishli triggerlar asosida quriladi (bir taktli registrlar uchun mos keladi). Ikki taktli registrlarda «qulflanadigan» tiniq registrlar ham ishlatilishi mumkin. D -triggerlarda qurilgan siljish registrining N -darajasiga yozish funksiyasi quyidagi ko'rinishda beriladi: $DO = DS = x$, $DI = Q(i-1)$. Bu yerda $i = 1, 2, \dots, n-1$. DS —ketma-ket yozish kirishi.

S -sinxro impulsning navbatdagi musbat fronti kelishi bilan, i -trigger kirishidagi signal t_{ush} . r —vaqtdan so'ng uning chiqishida paydo bo'ladi va ($i=1$) trigger kirishiga uzatiladi. Biroq uning chiqishigacha bu signal yetib bormaydi, chunki $t_{0,1}$ —aktiv front uzunligi $t_{ush,r}$ dan kichikdir. Shu bilan bir darajaga siljish jarayoni keyingi takt signalining musbat fronti kelgunga qadar yakunlanadi. Bundan statik boshqaruvli triggerlarni ishlatish mumkin emasligi kelib chiqadi. Chunki har safar $S=1$ bo'lganda butun



4.49-rasm. Registrlarning amaliy chizmalari.

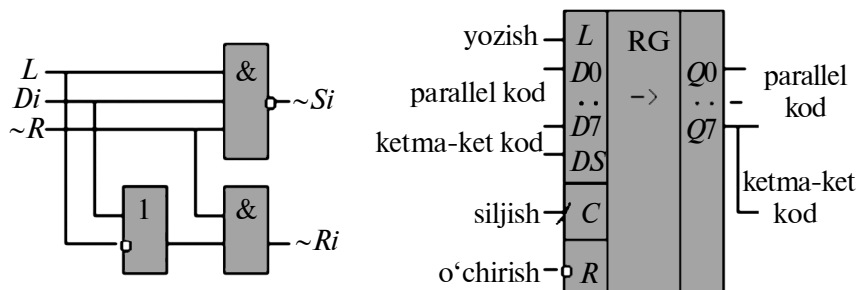
zanjir DS kirishidan Q_7 chiqishigacha tiniq bo‘lib, $DS=x$, barcha triggerlarga yozilib qoladi. Siljish registrlarida strelka yo‘nalishi shartli berilgan. Turli lug‘atlarda bu yo‘nalishlar turlicha. Shartli ravishda ushbu siljish kichik darajadan yuqoriga qarab yo‘naltirilgan deb olinadi.

Registrlarning amaliy chizmalari har bir triggerga ulanadigan, Di -parallel yozishli kirishga ega bo‘lgan va har bir trigger uchun umumiy tozalash $\sim R$ asinxron kirishiga va yozishga ruxsat beradigan L -kirishga ega bo‘lgan chizmalar bilan to‘ldiriladi. Bu chizmalar $\sim Ri$, $\sim Si$ bo‘sh kirishlarga ulanadi. Bunga 4.20-holatlar jadvali mos kelishini ko‘rishimiz mumkin.

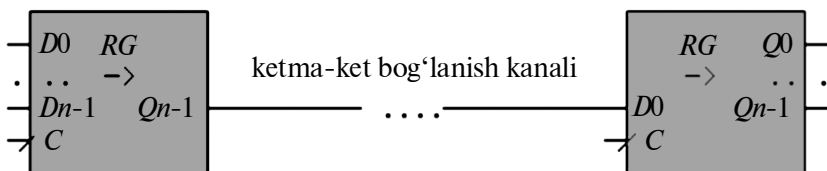
4.20-jadval

Kirish			Chiqish		Holatlarning nomlanishi
L	Di	$\sim R$	$\sim Si$	$\sim Ri$	
X	X	0	0	0	Trigger registriga «0» ni o‘rnatish
1	Di	1	$\sim Di$	Di	Triggerga parallel ma‘lumot saqlash
0	X	1	1	1	Saqlash va siljitish holatlari

Di va X -turli qiymatga ega bo‘lishi mumkin, lekin Di bir satr oralig‘ida o‘zgarmasdir. $\sim Ri$ va $\sim Si$ mantiqiy funksiyalarini Karno kartasi yordamida minimizatsiyalashtirib quyidagilarni olamiz: $\sim Si = \sim(1 * Di * \sim R)$ va $\sim Ri = \sim R * (\sim L + Di)$. Ushbu juft tenglamaga 4.50-rasmda ko‘rsatilgan chizma va siljish registrining shu chizmaga mos shartli belgisi berilgan.



4.50-rasm. Siljish registrining shartli belgisi.



4.51-rasm. Ketma-ket bog'lanish kanali.

$\sim R$ kirishi yuqori afzallikka ega bo'lib, agar $\sim R=0$, u holda $\sim Ri=0$, $\sim Si=1$ bo'lib, u holda L , Di va C signallaridan qat'i nazar barcha triggerlar nollanadi. L va Di kirishlari eng past afzallikka ega. Agar $\sim R=1$, u holda $L=1$ da axborotni parallel yozish yuz beradi. ($Qi=Di$ C -signalidan qat'i nazar) va nihoyat, agar $\sim R$ va L kirishlarda past qatlam bo'lsa, u holda $\sim Ri=1$ $\sim Si=1$ ham past qatlam bo'lib, registr axborotni saqlaydi yoki uni siljitadi. Kodlarni parallel qo'yadigan siljish registrlari ma'lumotlarni parallel formatdan ketma-ket formatga o'tkazish, shu ma'lumotlarni bir simli aloqa yo'li bo'yicha uzatish (ikkinchi yo'l «yer» yoki ekran) va ikkinchi tarafda ketma-ket ma'lumotni parallel formatga o'tkazish uchun ishlatiladi.

Bunday chizma EHM kommunikatsion portlarida (COM-port), K580 IK51 mikrosxemada va shuningdek, modemlarda ishlatiladi.

4.6.2. Reversiv siljish registri

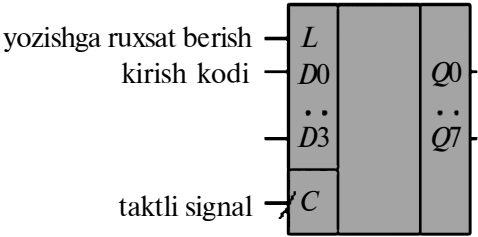
Ma'lumotni bir darajadan ikkinchisiga siljitish ikki yoqlama bajariladi. 4.52-rasmda ikkita ketma-ket axborot kirishiga (axborotni chapga DSL va o'ngga DSR siljitish uchun) yozish parallel kirishlariga ($D0...D2$), C sinxrokirishiga, barcha triggerlarni nollash $\sim R$ kirishiga, $M1$, $M0$ ikkita rejim tanlash kirishiga ega bo'lgan uch darajali reversiv registr chizmasi berilgan.

Chetdagi darajalardan tashqari barcha D -kirishlariga multipleksorning 1 va 2-kirishlari orqali chap va o'ng qo'shni trigger-

qiladi. Xuddi shunday chizma asosida 1533IR13 8-darajali registr olingan. Reversiv registr ikkilik sonlarni tez (atigi n takt ichida) ko‘paytirish va bo‘lish uchun ishlatiladi; masalan, 5 soni o‘rniga chapga 2-daraja siljiganidan so‘ng 20 soni paydo bo‘ldi.

4.6.3. Parallel kodlarni sinxron va asinxron yuklash usullari

Di parallel kodini yozish uchun L -yozishga ruxsat beruvchi signal ishlatilib, c -takt signali ishlatilmaydigan qurilmalar (shu jumladan, registrlar ham) — *kodni parallel yozuvchi asinxron qurilmalar* deyiladi. *Di* parallel kodini yozish uchun ham L -yozishga ruxsat beruvchi signal, ham c -takt signali ishlatiladigan qurilmalar (shu jumladan, registrlar ham) — *kodni parallel yozuvchi sinxron qurilmalar* deyiladi.



4.54-rasm. Asinxron qurilma.

Ushbu kirishlar shartli belgilanishda deyarli farq qilmasligi sababli ma’lumotnomalarga murojaat qilish lozim (holatlar jadvali yoki ta’rif).

4.6.4. Siljituvchi registr sintezi. Siljituvchi registrlar va ularni qurish

Registr deb axborot qabul qilish, xotirada saqlash va uzatish, shuningdek, ushbu axborot ustida ayrim mantiqiy harakatlarni bajarish imkoniyatiga ega bo‘ladigan qurilmaga aytiladi. Bajaradigan funksiyalarning kurs registrlar 3 turga bo‘linadi:

1. Ma'lumotni parallel yozuvchi va parallel o'quvchi.
2. Ma'lumotni ketma-ket yozuvchi va parallel uzatuvchi (ma'lumotni ketma-ketidan parallel kodga o'zgartiruvchi qurilma).
3. Ma'lumotni parallel yozuvchi, ketma-ket yozuvchi (ma'lumotni paralleldan ketma-ket kodga aylantiruvchi qurilma).

Siljuvchi registr (o'ngga, chapga, siklik).

Registr ma'lum bir tarzda ulangan qurilma bo'lib, ayrim amallarning bajarilishini ham ta'minlaydi.

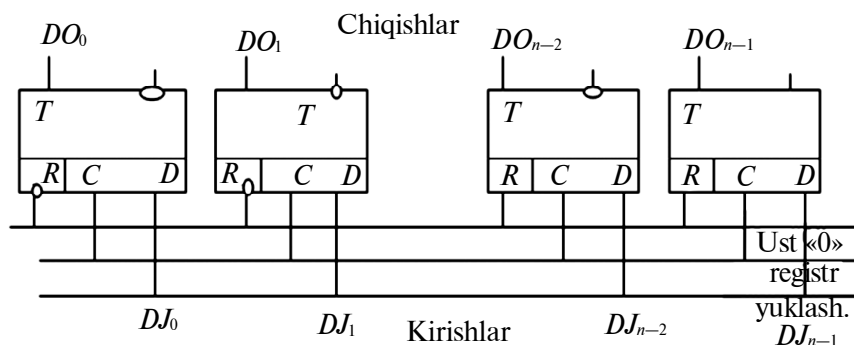
Ularga:

- registrni dastlabki holatga o'rnatish;
- boshqa qurilmadan ma'lumotni qabul qilish;
- boshqa qurilmaga ma'lumotni uzatish;
- registr tarkibini o'ngga yoki chapga surish;
- ma'lumot kodini ketma-ketdan parallelga o'zgartirish kiradi.

4.55-rasmda ma'lumotni parallel yozuvchi n -darajali registr chizmasi keltirilgan.

Kirishida signal $c=1$ bo'lgan holatda registrga D -kirishdagi ma'lumot yoziladi, R -kirishga «0» signal berilgan taqdirda registr dastlabki holatga o'rnatiladi, ya'ni registrning barcha kirishlarida «0» bo'ladi.

Raqamli avtomatlarda aksariyat hollarda bir necha ikkilik so'zlar ma'lumotini qayta ishlovchi qurilmaning bevosita yaqiniga



4.55-rasm. Parallel yozuvchi va o'quvchi dastlabki «0» holatiga o'tuvchi registr chizmasi.

joylashtirish talab qilinadi. Shuning uchun bir registrdan ikkinchi registrga ma'lumot o'ta oladigan registrlar massivi yaratiladi.

Registrklararo axborotni tashkil qilish uchun n -ta multipleksorlardan foydalaniladi, ular yordamida har bir registrning chiqishi multipleksor yordamida ulangan. Ma'lumotning soni esa registr p -ning razryadiga bog'liq.

Uzatuvchi registr adres kodini multipleksorning boshqaruvchi kirishlariga uzatib ma'lumotlar shinasida uning tarkibini olish mumkin.

Axborotni ma'lumotlar shinasidan kerakli registrga yozish uchun uning C -kirishiga yozishni ruxsat etuvchi ~ 1 signalni uzatish kerak. Yozishni ruxsat etuvchi signalni hosil qilish uchun deshifратор ishlatiladi, uning kirishiga qabul qiluvchi registrning adres kodi uzatiladi. Deshifраторning kirishlar soni quyidagicha aniqlanadi. $k = \log_2(m+1)$: Bu yerda: m —registrklar soni. Agar k kasr son chiqsa, uni o'ziga yaqin katta songacha qisqartirish kerak.

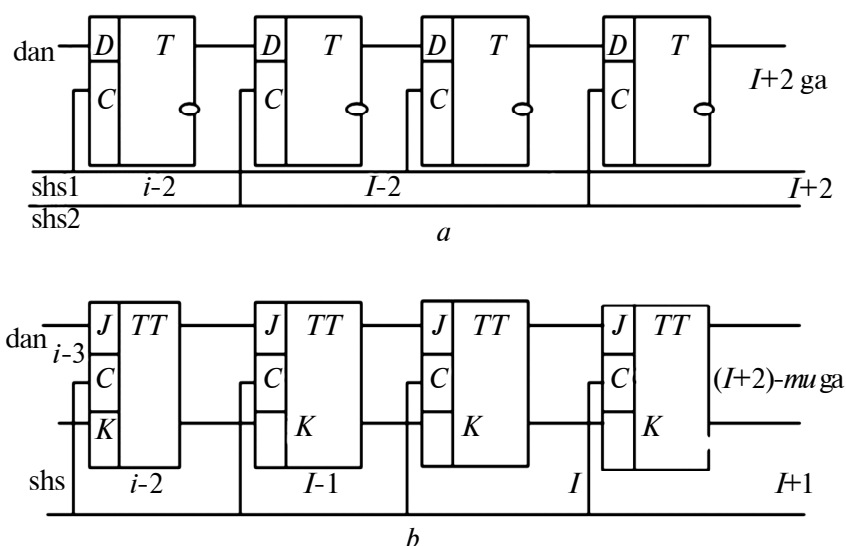
Multipleksor va deshifраторning dastlabki holatida kirishlariga faqat nollardan tashkil topgan (0, 0...0) kod uzatiladi. Shuning uchun biror-bir registr tanlangan bo'lmaydi.

Ko'p hollarda raqamli avtomatlar, registr tarkibini ma'lumot bir darajalar soniga o'ngga yoki chapga siljitish kerak bo'ladi. Bu operatsiyani siljitish registrklari bajaradi.

Axborotni saqlash uchun n -ta trigger qo'llanuvchi siljish registriga *n -darajali siljish registri* deyiladi. Chetdagi chap darajani katta, o'ngni esa kichik daraja deb qabul qilingan. Katta daraja «0» nomerga ega, kichigi esa $(n-1)$ ga. Shuning uchun o'ng va chap siljish haqida gapiriladi.

Umumiy holatda registrda siljish operatsiyasi J -triggerdan iborat axborotni $g+J$ -triggerga uzatib, so'ng $g-i$ dan J -triggerga uzatiladi. Siljitiluvchi axborot yo'qolishi yoki qaytarilishi uchun avtomatning boshqa qurilmalariga uzatilishi mumkin.

Triggerlar va kombinatsion sxemalarning asosiy xususiyati, ular eng oddiy holatda axborotni keyingi triggerga uzatishi va bir



4.56-rasm. Siljitish sxemalari.

vaqtning o'zida, oldingidan qabul qilish imkonini berish mumkin. Bunda ishlatilayotgan triggerning turi katta ahamiyatga ega.

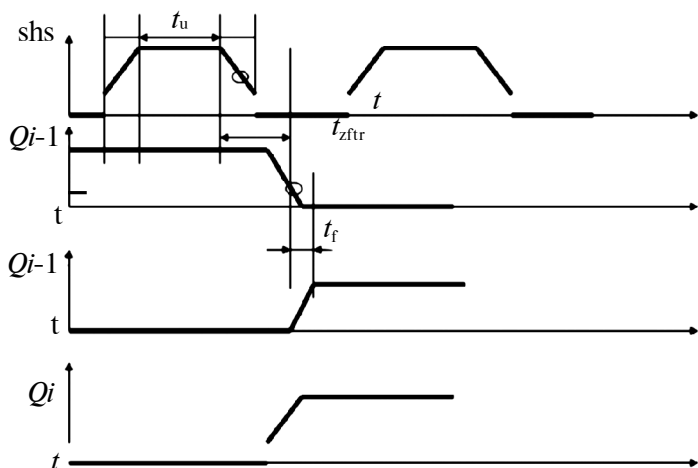
4.56-rasmda bir kaskadli va ikki kaskadli triggerlar uchun siljitish sxemasi keltirilgan:

- a) D -turdagi bir kaskadli triggerlar uchun;
- b) JK -turdagi bir kaskadli triggerlar uchun.

Bir kaskadli triggerlarning registrida axborotni siljitish uchun ikkita SHS-1 va SHS-2 siljitish shinalari ishlatiladi. Juft triggerlardan tok triggerlarga axborotni yozish uchun SHS-1 shina xizmat qiladi.

Toklardan juftga yozish uchun esa SHS-2 shina xizmat qiladi. Toq triggerlar siljitish operatsiyasini bajarish axborotni oraliq saqlash uchun xizmat qiladi. Siljishning birinchi taktida signal SHS-1 ga, ikkinchi taktida esa SHS-2 ga uzatiladi.

Ikki kaskadli triggerning siljish registri sxemasida bitta siljish sxemasi zarurdir. Ikki kaskadli triggerda registrning ishlashini

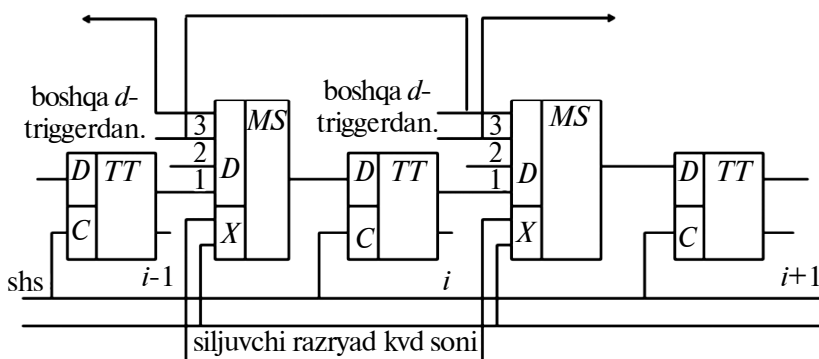


4.57-rasm. Vaqt diagrammasi.

4.57-rasmda ko'rsatilgan vaqt diagrammasida ko'rsatish mumkin. Vaqt diagrammasidan registrning tezkorligini aniqlash mumkin. T_{sdv} ning qiymati siljitish impulsi yetib kelish momentining sxeda o'tish jarayoni momenti tugaguniga qadar oraliq intervalga teng. Agar axborotni K darajaga siljitish talab etilsa, K marta «1» razryadga ketma-ket siljishni amalga oshirish kerak. Bu operatsiyaning bajarilish vaqtini kamaytirish uchun registr sxemasi multipleksorlar bilan to'ldiriladi.

Kerakli siljishni amalga oshirish uchun razryadlar soni, multipleksorlarning boshqariluvchi kirishlariga uzatiluvchi kod bilan aniqlanadi. Siljishni boshlashdan oldin multipleksorlarning boshqaruvchi kirishlariga, registrdagi saqlanuvchi sonni kerakli siljitish uchun razryadlar soni kodi o'rnatiladi. Natijada multipleksor J -trigger kirishini kerakli $(i-k)$ shu trigger chiqishi bilan kommutatsiyalaydi, so'ngra siljish impuls SHS shassisiga uzatiladi va operatsiya tugallanadi.

Multipleksorni ishlatib, axborotni o'ngga va chapga siljitish imkonini beruvchi, reversiv siljish registrlarini ko'rish mumkin. Buning uchun multipleksor kirishlarining bir qismini ham o'ngga va chapga joylashgan triggerlar bilan ulash kerak. Unda

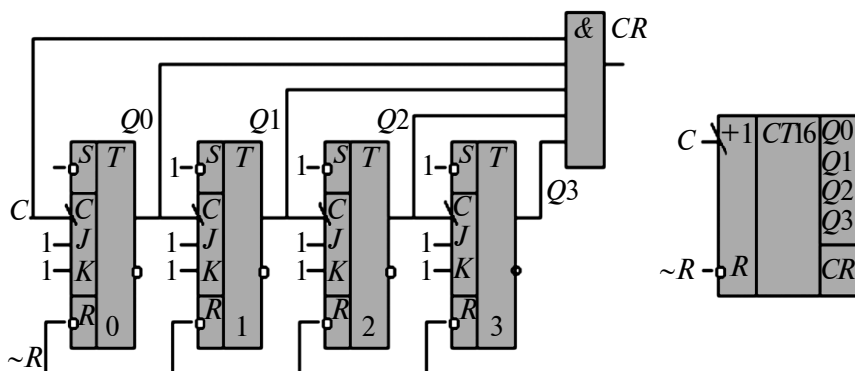


kodlarning bir qismi o'ngga siljishni, boshqa qismi esa chapga siljishni aniqlaydi.

4.7. Hisoblagichlar

4.7.1. Hisoblagich turlari, ishlash asoslari va qo‘llash sohalari

Misol tariqasida 4 darajali hisoblagichni olamiz. Hisoblagichning to'rtta ikkilik darajasi $M=16$ holatni ta'minlaydi. Quyida invers dinamik kirishli JK -triggerda qurilgan hisoblagichning chizmasi va shartli belgisi keltirilgan.



4.59-rasm. Invers dinamik kirishli JK -trigger.

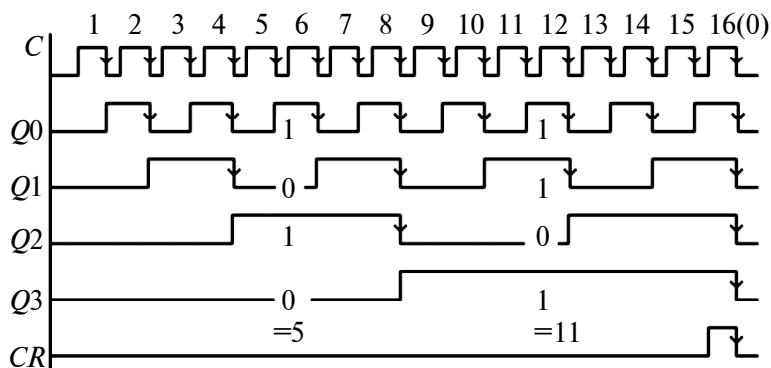
2-qoida bo'yicha ko'chirish signali asinxron, ya'ni ketma-ket ulanadigan triggerning to'g'ri chiqishidan olinishi kerak. Triggerlar ($J=K=1$) hisob rejimiga o'rnatilgan. Hisoblagich chiqishi xuddi shunday hisoblagichning C -kirishiga ulangan CR (*Carry*) tezkor ko'chirishni shakllantirish chizmasi bilan qo'shimcha ta'minlangan. Barcha triggerlarning $\sim R$ -kirishlari birlashtirilgan, $\sim S$ -kirishlariga mantiqiy «1» ulangan va bu ulanish hisoblagichni $\sim R=0$ signali bilan «yangilash»ni ta'minlaydi. Qo'shuvchi hisoblagichning hisob kirishi «+1» deb belgilangan. Tutilishni hisobga olmag holdagi vaqt diagrammasi 4.60-rasmda berilgan.

Vaqt diagrammasining analizi qator xulosalar chiqarishga imkon beradi:

1) Sanog'i n -chi bo'lgan kirish impulsidan so'ng chiqishi-dagi kod $Q=Q_3Q_2Q_1Q_0=N$, masalan, 5-dan so'ng $Q=0101=5$, 2-dan so'ng $Q=1011=11$ (DEC) dir, ya'ni chizma haqiqatan ham hisoblagichdir.

2) 16-impulsning aktiv fronti kelishi bilan barcha triggerlar «yangilanadi» va hokazo takrorlanadi, ya'ni hisob moduli $M=16$ ga tengdir.

3) Chizma, shuningdek, kirish impulslarining chastotasini 2 ning $(i+1)$ darajasiga bo'luvchisi deb olinadi, bunda i -chiqish signali olinadigan trigger raqami.



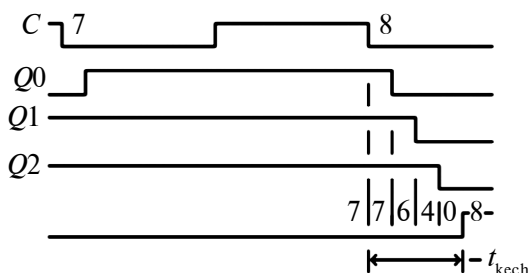
4.60-rasm. Vaqt diagrammasi.

4) Agar chiqish kodi invers chiqishlaridan olinsa, u holda boshlang'ich qiymat $Q = Q_0Q$ ($Q_2Q_3 = 1111 = 15$) ligini, ya'ni barcha to'rt daraja uchun maksimal qiymatga egaligini ko'rish mumkin va har bir keyingi sanoq impulsi chiqishdagi kodni bittaga kamaytiradi. Bu holda hisoblagich *ayiruvchi* deyiladi. Xuddi shunday natijaga triggerlarning qarama-qarshi chiqishlaridan ko'chirishni, kodni esa avvalgidek to'g'ri chiqishidan olinsa erishish mumkin. Bunga ishonch hosil qilish uchun mustaqil tarzda vaqt diagrammasini qurish mumkin. Ayiruvchi hisoblagichning sanoq kirishi «—1» deb belgilanadi.

5) Shuni ta'kidlash lozimki, ko'chirish impulsining orqa fronti barcha triggerlarning 1 dan 0 ga o'tish lahzasiga (qo'shuvchi hisoblagichlarda) mos keladi.

Sanoq tezligi yoki kirish impulslarining maksimal chastotasi sanoq impulsining aktiv fronti kelish lahzasidan, oxirgi trigger chiqishida yangi kod hosil bo'lgungacha ketgan ushlanish vaqti orqali aniqlanadi. $t_{ush. his} = n * t_{ush. trig.}$, bu yerda n —triggerlar soni. U holda: $F_{maks. sanoq} < 1/t_{ush. his}$; 4.61-rasmda sakkizinchi impuls kelishi vaqtida hisoblagichning alohida triggerlarining ketma-ket yoqilish jarayoni ko'rsatilgan.

Chiqish kodi $t_{ush. his}$ intervalda mumkin bo'lmagan (6, 4, 0) qiymatlarni oladi. Kirish signali chastotasining bo'linish tezligi triggerlar soniga bog'liq bo'lmaydi va kirish triggerining yoqilish maksimal chastotasi bilan aniqlanadi, ya'ni $F_{maks.}$, bo'1 $< 1/(t_{ush. trig.} + t_{joyl.})$ va $F_{maks.}$, bo'1 $> F_{maks. his}$.

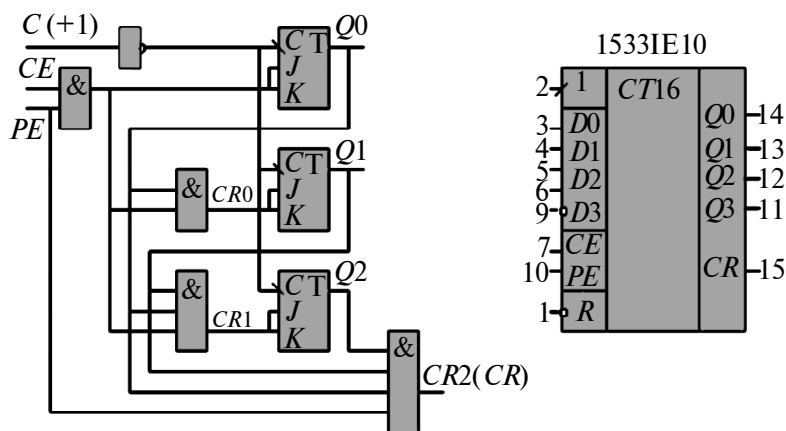


4.61-rasm. Triggerlarning ketma-ket yoqilish jarayon.

4.7.2. Parallel ko‘chirishli sinxron hisoblagich

Sinxron hisoblagichda impulslar triggerlarning barcha takt kirishiga bir vaqtda kelib tushadi. Quyidagi rasmda $M=8$ hisob moduli uch darajali hisoblagich keltirilgan. O‘ngda sanoatda chiqarilgan «yangilash» kirishi $\sim R$ bo‘lgan, $\sim L=0$ bo‘lganda $C(+1)$ kirishdagi boshlang‘ich kodini parasinxron qo‘yadigan qo‘shimcha Di kirishli hisoblagichning shartli belgisi keltirilgan. «VA» elementlari yordamida i -nchi darajadan $(i+1)$ chi darajaga o‘tish $CRi = Qi \cdot \dots \cdot Q1 \cdot Q0 (CE \cdot PE)$ formuladan ko‘rinadi. CE (hisobga ruxsat) va PE (ko‘chirishga ruxsat) kirishlari birlashtirilgan ($CE=RE=1$). Triggerlarning J va K -kirishlari birlashtirilgan, shuning uchun ularning faqat ikki holatda bo‘lishi ko‘zda tutilgan: xotira ($J=K=0$) va sanoq ($J=K=1$). Trigger «i» o‘z holatini $CR(i-1)=J=K=1$ dagina, ya’ni 1-qoidaga mos ravishda barcha oldingi triggerlar chiqishining qiymati «1» bo‘lgandagina o‘zgartiradi. Qolgan barcha holatlarda $CR(i-1)=J=K=0$ va Qi o‘zgarmasdir.

Sinxron hisoblagichning tezkorligi asinxrondan ancha yuqori bo‘lganligi sababi triggerlar baravariga yoqilishi, CRi signali JK -kirishlarida $t_{ush. trig.} + t_{ush.}$ «VA» el. va triggerlar soniga bog‘liq emasligidir.



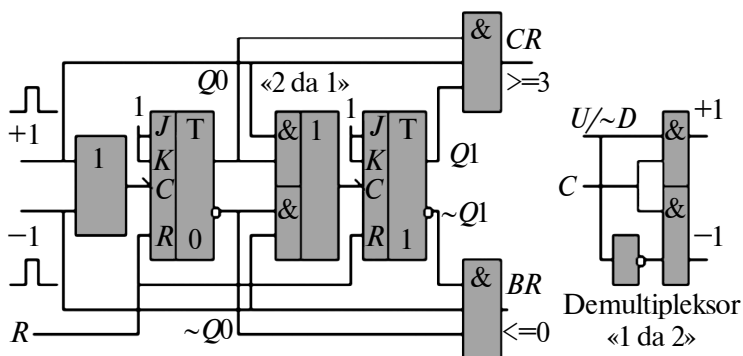
4.62-rasm. Sinxron hisoblagich.

4.7.3. Reversiv hisoblagich

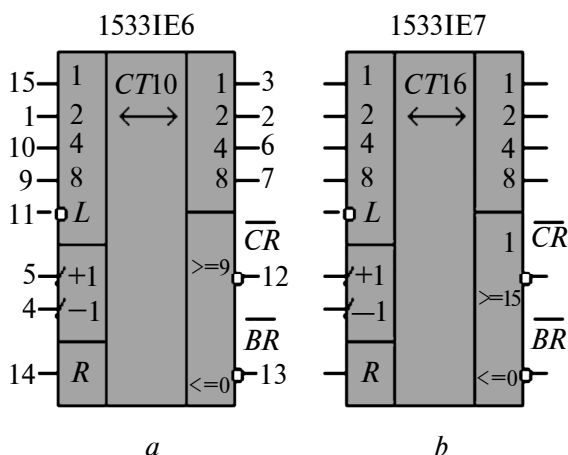
Quyidagi rasmda ayirishda ishlatiladigan BR va qo'shishda ishlatiladigan CR chiqishlari, umumiy R yangilash kirishlari bo'lgan ikki darajali hisoblagich chizmasi berilgan. Deylik, kodning dastlabki qiymati 2 ga teng ($Q1=1$ va $Q0=0$). Qo'shish rejimini ko'rib chiqamiz, unda « -1 » kirishiga nol « $+1$ » kirishiga ega impuls ulangan. Kirish impulsining manfiy fronti VA-YOKI-EMAS elementida bajarilgan «1 da 2» multipleksorining yuqori kanalidan o'ta olmaydi. Bunga $Q0=0$ ning eski qiymati yo'l qo'ymaydi. Pastki kanal kirishlariga esa bir va nolning konyunksiyasi ta'sir ko'rsatadi ($\sim Q0=1$). Shuning uchun multipleksor chiqishdagi signal nolga teng va $T1$ triggeri ilgarigi holatini saqlab qoladi. $T0$ triggerining hisob kirishiga «YOKI» elementining tutilish vaqtiga teng bo'lgan vaqtdan so'ng manfiy front kelib tushadi. Shundan so'ng chiqishdagi yangi qiymat o'rnatiladi: $Q0=1(\sim Q0=0)$.

Bunda yuqori kanal sanoq impulsining manfiy fronti o'tishi uchun ochiladi, biroq multipleksorning chiqish signali hamon «0» ga teng, chunki $t-1,0$ o'tish fronti $t_{ush.}$ «YOKI» + $t_{ush.trig.}$ dan ancha kam. $T1$ triggeri ilgarigi holatda saqlanib qoladi. Hisoblagich chiqishidagi kod bittaga ortib, $Q1\ Q0=11=3$ ga teng bo'ldi.

Endi ayirish rejimini ko'rib chiqamiz. « $+1$ » kirishga nol, « -1 » kirishiga impuls ta'sir qilsin. Kirish impulsining manfiy fronti hech bir to'siqlarsiz multipleksorning pastki kanalidan ($\sim Q0=1$) o'tib,



4.63-rasm. Reversiv hisoblagich.



4.64-rasm. Reversiv hisoblagich.

$T1$ triggerini yoqadi. t_{ush} vaqti o'tgach, $T0$ trigger chiqishlarida yangi kod paydo bo'ladi, biroq $\sim Q0$ chiqishidagi manfiylikka o'zgarish $T1$ triggerining sanoq kirishiga yotib kelmaydi. Chunki « -1 » kirishidagi signal bu vaqtga kelib nolga teng bo'ladi. Chiqishdagi 10 eski kod 01 ga, ya'ni ayirish tarafga o'zgardi.

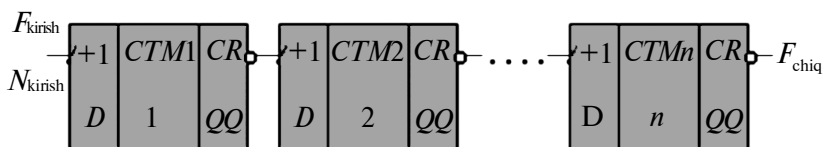
Ushbu usulda 1533HE6 va 1533HE7 hisoblagichlari ko'rilgan. Ular $\sim L$ boshlang'ich kodni parallel yozuvchi asinxron kirishli hisoblagich deyiladi.

Ayrim hisoblagichlarda alohida takt kirishi va hisob yo'nali-shini boshqarish kirishi o'rnatiladi. Buning uchun « $+1$ » va « -1 » kirishlariga «2 da 1» demultipleksor ulanadi. Bu holda agar bosh-qaruvchi signal $U/\sim D=(Up/\sim Down)=1$ bo'lsa, c -takt impulslari qo'shuvchi kirishlarga beriladi va nol bo'lsa, ayiruvchi kirishlariga beriladi. Bu tipli hisoblagich 4.64-rasmda ko'rsatilgan.

4.7.4. Hisoblagichlarni kaskadli ulash

Mi -hisob modullari har xil bo'lgan N -ta hisoblagichlarning ketma-ket ulanishini ko'rib chiqamiz. Bunda ikki xil masala qo'yilishi mumkin.

Birinchi masalada kirish signali F_{kir} da har bir hisoblagich-ning ko'chirish chiqishi CR ning signal chastotasini aniqlash



4.65-rasm. Hisoblagichlarning kaskadli ulanishi.

lozim. Ikkinchi masalada N_{kir} impulsi berilgandan so'ng har bir hisoblagichning QQ chiqishlarida qanday qayd etilganligini aniqlash lozim.

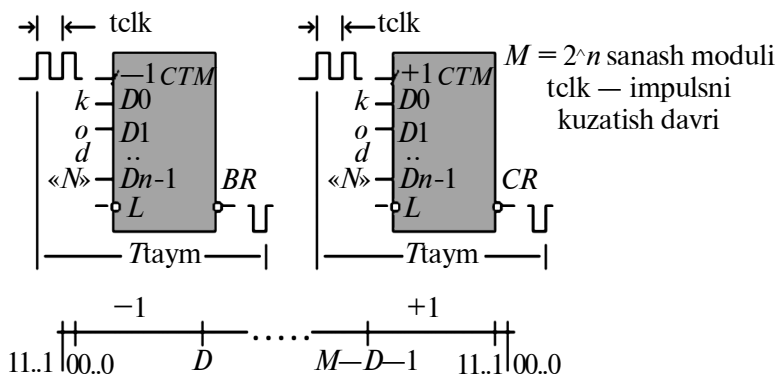
Masalaning yechimida hisoblagich formulasidan foydalanamiz.

Shundan 1-hisoblagich ko'chirish chiqishiga (1 sek) vaqt birligida $CR1 = (D1 + F_{kir}) / M1$ impuls kelib tushadi. Qavslarni ochib va $D < M$ deb olib, $CR1 = F_{kir} / M1$ ni topamiz. Xuddi shu tarzda ikkinchi hisoblagichning o'tish chiqishida: $CR2 = F_{kir} / M2 = F_{kir} / (M1 * M2)$ impuls kelib tushishini aniqlaymiz. Natijaviy yechim esa $CRn = F_{chiq} = F_{kir} / (M1 * M2 * \dots * Mn)$ ga teng ekanini aniqlaymiz.

Ikkinchi masalada 1-hisoblagich QQ1-chiqishidagi kod: $QQ1 = (D1 + N_{kir}) \bmod M1$, $QQ2$ da: $QQ2 = (D2 + CR1) \bmod M2$ va hokazo, $QQn = (Dn + CR(n-1)) \bmod Mn$ gachaligini ko'ramiz. Bunda CRi qiymati birinchi masalada ko'rib chiqilgan.

4.7.5. Hisoblagich-taymer

Hisoblagich-taymer (HT) berilgan uzunlikdagi vaqt oralig'i ni shakllantirishda qo'llaniladi. Taymer ayiruvchi hisoblagichlarda yoki ayrim hollarda qo'shuvchi hisoblagichlarda ko'riladi. Umumiy qoida bo'lib boshlang'ich kodning parallel kiritilishi va hisoblagich to'lgan taqdirda sanoqning to'xtalishi olinadi. Bu holda vaqt intervali o'tish signalining orqa frontigacha bo'lgan birinchi hisob impulsining aktiv frontidan boshlab olinadi. Agar $t_{sek} = 1$ sekund bo'lgandagina D tutilishni shakllantirish lozim bo'lsa, u holda ayiruv hisoblagichga yuklanadigan N boshlang'ich kodi D ga teng

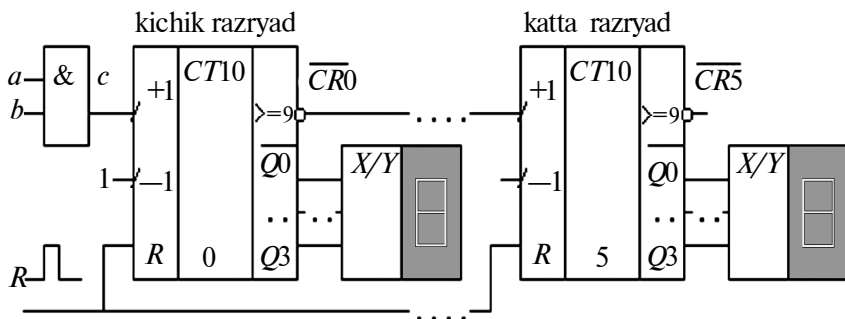


4.66-rasm. Hisoblagich-taymer.

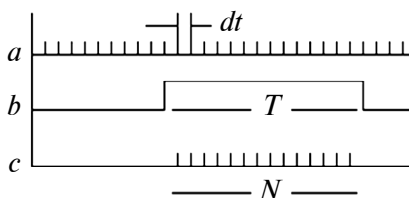
bo‘ladi. Qo‘shuvchi hisoblagichga $N=M-1-D$ yozish talab qilinadi ($M-1=11\dots1$). Diagrammadan ko‘rinib turibdiki, ikkala holatda ham $D+1$ ikkinchi impuls kerak bo‘ladi, shunda barcha triggerlar bir holatdan ikkinchi holatga o‘tadi. Va: $T_{\text{taym}} = \text{telk} * D$, chunki $D-0=M-1-(M-1-D)=D$. Bu yerda $M=2^n$ hisob moduli telk.

4.7.6 Hisoblagichlarning hisoblash texnikasida qo‘llanilishi

Quyidagi rasmda moduli 10 (ikkilik-o‘nlikda) bo‘lgan 6 ta hisoblagich ketma-ket ulangan. Har bir kaskadning Q_i -axborot chiqishlari VSD kod o‘zgartiruvchisi orqali yetti segmentli indikatorga ulangan. Umuman, ushbu qurilma uch masalani yechishi mumkin: impulslar sonini hisoblash, ularning qaytarilish chastotasini va uzunligini o‘lchash.



4.67-rasm. Moduli 10 (ikkilik-o‘nlikda) bo‘lgan 6 ta hisoblagich.



4.68-rasm. Impuls diapazoni.

O'lchashni bajarishdan oldin hisoblagichlarni tozalash kerak. Bu R kirishga impuls berish bilan amalga oshiriladi.

1) Impulslar sonini hisoblash ularni $V A$ elementining ikkala kirishiga (yoki bitta

kirishiga 1) berish yo'li bilan bajariladi. Masalan: kirishga $N=1997$ impulsi kelib tushdi. Shunda kichik hisoblanadi, $QQO=1997 \bmod 10=7$ holda saqlanib qoladi. O'tish chiqishiga $CRO=1997 \setminus 10=199$ impulsi o'tadi va shu tariqa $QQ1=(199 \bmod 10)=9$ va $CR1=199 \setminus 10=19$. Sanoq oxirida hisoblagichlar chiqishida SVD kodli 0000 0000 0001 1001 1001 0111 soni qayd etiladi. Indikatorlarda esa 001997 raqami paydo bo'ladi. Diqqat! Hisoblagichlarda kichik daraja chapda joylashgan, sonlarda esa — o'ngda. VSD kodining o'nlik ekvivalenti umumiy holda $N=QQ(n-1)*10^{(n-1)} + \dots + QQ1*10^1 + QQQ*10^0$. Ushbu formuladan ko'rinishicha, $N:1 \leq N \leq 999999$ diapazonda joylashgan.

2) Kirish impulslarining chastotasini o'lchashda, ularni «a» kirishiga berish lozim, «c» kirishiga esa o'lchangan uzunlikdagi 10^i ($i=\sim 1,0,1..$). T impulsi, masalan, $T=1$ sek uzatilish lozim.

«a» kirishidagi impulslar qaytarilish chastotasi ushbu ifodaga bo'ysunadi: $F=1/dt$. Yuqoridagi diagrammadan $dt=T/N$ qaytarilish davrini topishimiz mumkin. U holda $F=N/T$ va $T=1$ sekunddagi chastota $F=N$. O'lchashlar diapazoni: $(1 \square (10 \ 6) - 1)$ Hz oralig'ida yotadi. Impuls uzunligini o'lchash uchun «a» kirishga $F=10i$ ($i=2, 3..$) bo'lgan signal, masalan, $F=10 \ 6$ [Hz] berish kerak. Bunda impuls uzunligi $T=N * DT = N/F$; bo'ladi. O'lchashlar diapazoni esa $(1...999999)$ mksek ga teng.

4.7.7. Ixtiyoriy hisoblagich sintezi

Hisoblagich raqamli qurilmalar tarkibiga kiradi va impulslar sonini sanaydi. Impulslar hisoblagichning kirishiga uzatiladi. Hisoblagichning chiqishida esa sanalgan impulslar soni o'rnatilgan kodda tasvirlanadi.

Hisoblash moduli (sig'imi) M hisoblagichlarning asosiy ko'rsatkichlaridan biridir. Hisoblash moduli hisoblagichni maksimal nechtagacha (M) sanashi mumkinligini ko'rsatadi. Hisoblagich M ta impulsni sanagandan so'ng yana boshidan sanaydi.

Hisoblash modulining qiymati bo'yicha hisoblagichlar ikkilik va ikkilikda tasvirlangan (kodlangan) bo'lishi mumkin. Ikkilikda tasvirlangan hisoblagichlarning hisoblash moduli ixtiyoriy, lekin sanashi ikkilik kodlarda bo'ladi.

Sanash yo'nalishi bo'yicha hisoblagichlar qo'shuvchi (to'g'ri sanaydigan), ayiruvchi (teskari sanaydigan) va reversiv (sanash yo'nalishi o'zgaruvchan) bo'ladi.

Razryadlararo bog'lanish usuli bo'yicha hisoblagichlar ketma-ket, parallel va kombinatsion bo'lishi mumkin.

Hisoblagichlarning ishlash tezligi quyidagi ko'rsatkichlar bilan belgilanadi:

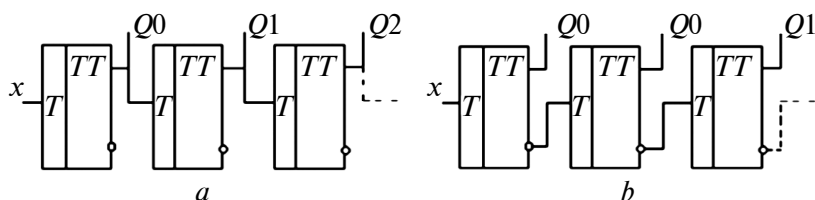
1. Kodni o'rnatish vaqti — T_k .
2. O'tish razryadini uzatish vaqti — T_y .
3. Kirish impulslarining maksimal chastotasi — F_m .

Kirish signalining boshidan hisoblagichni yangi holati o'rnatil-gangacha bo'lgan vaqt kodni o'rnatish vaqti hisoblanadi. Kirish signalining boshlanish vaqtidan chiqish signalining boshlanish vaqtigacha bo'lgan davr o'tish razryadini uzatish vaqti hisoblanadi.

4.7.9. Ikkilik hisoblagichlar

Ikkilik hisoblagichning hisoblash moduli 2 ning n -chi darajasiga ($M=2^n$) teng, bu yerda n — hisoblagichning razryadlar soni. Hisoblagichning holati triggerlarning chiqishidan olinadigan quyidagi $Q_{n-1} \dots Q_1 Q_0$ ikkilik kodi bilan ifodalanadi.

Qo'shuvchi (yig'uvchi) va ayiruvchi ikkilik hisoblagichlarning ishlash jarayoni 4.69-rasmda keltirilgan. Kichik (Q_0) razryad triggeri har bir kirish signalidan so'ng o'z qiymatini o'zgartiradi (rasmning o'ng ustunida Q_0 0 va 1 qiymatlarni galma-gal qabul qiladi). Keyingi Q_1 razryad ikkita 0 va ikkita 1 qiymatlarni galma-gal qabul qiladi, keyingi Q_2 razryad to'rtta 0 va to'rtta 1 qiymatlarni galma-gal qabul qiladi va h.k. Har bir keyingi trigger



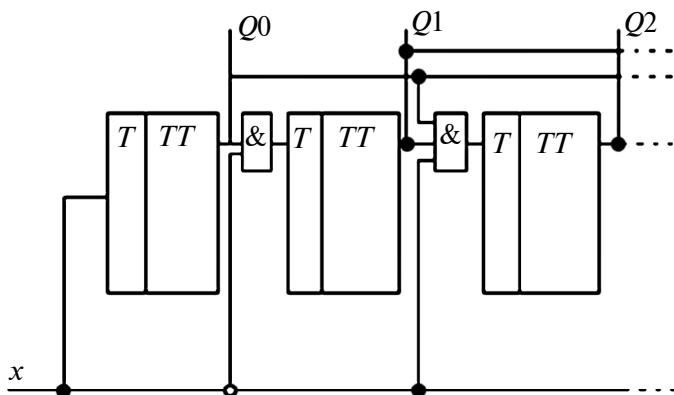
4.69-rasm. Qo‘shuvchi (a) va ayiruvchi (b) ketma-ket hisoblagichlar.

holatining o‘zgarish chastotasi oldingi trigger holatining o‘zgarish chastotasidan ikki marta kichikdir. Hisoblagichlarni triggerlarni ketma-ket ulash yo‘li bilan qurish mumkin.

Qurilgan hisoblagichlar ketma-ket hisoblagichlar qatoriga kiradi, chunki har bir triggerning holati keyingi triggerning chiqish signali kelgandan so‘ng o‘rnatiladi. Ketma-ket hisoblagichlarning sxemasi oddiy, lekin ishlash tezligi past. Ketma-ket hisoblagichni o‘rnatish vaqti hisoblagichning razryadlar soniga (n) va trigger holatini o‘rnatish vaqtiga (T_{tg}) to‘g‘ri proporsional.

Parallel hisoblagichlarda triggerlar bir-biriga konyunktorlar bilan ulanadi. Hisoblagichga kirish signali kelganda hamma triggerlar birdaniga o‘z holatlarini o‘rnatadilar. Har bir trigger o‘z holatini faqat oldingi triggerlar «1» holatida bo‘lgan taqdirdagina o‘zgartiradi.

Parallel hisoblagichning o‘rnatish vaqti razryadlar soniga bog‘liq emas va quyidagicha topiladi:



4.70-rasm. Parallel hisoblagich.

$$T_k = T_{zk} + T_{tg}, \quad (4.33)$$

bu yerda: T_{zk} — signalning konyunktordan o'tish vaqti.

4.21-javdal

Kirish	To'g'ri sanash					Teskari sanash				
	Q3	Q2	Q1	Q0	No'nlik	Q3	Q2	Q1	Q0	No'nlik
	0	0	0	0	0	1	1	1	0	15
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	14
1	0	0	1	0	2	1	1	0	0	13
1	0	0	1	1	3	1	1	0	1	12
1	0	1	0	0	4	1	0	1	0	11
1	0	1	0	1	5	1	0	1	1	10
1	0	1	1	0	6	1	0	0	0	9
1	0	1	1	1	7	1	0	0	1	8
1	1	0	0	0	8	0	1	1	0	7
1	1	0	0	1	9	0	1	1	1	6
1	1	0	1	0	10	0	1	0	0	5
1	1	0	1	1	11	0	1	0	1	4
1	1	1	0	0	12	0	0	1	0	3
1	1	1	0	1	13	0	0	1	1	2
1	1	1	1	0	14	0	0	0	0	1
1	1	1	1	1	15	0	0	0	1	0

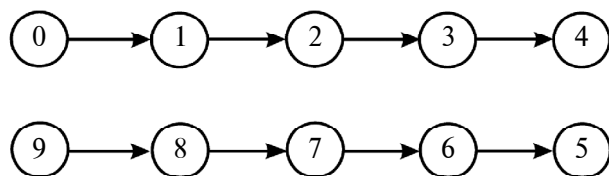
4.7.9. Ixtiyoriy modulli hisoblagich sintezi

Ixtiyoriy K modulli hisoblagichni qurish uchun $M=2^n$ modulli ikkilik hisoblagichdan foydalanish kerak. Ikkilik hisoblagichning razryadlar soni n quyidagi shartni qoniqtirishi lozim: $n = \lceil \log 2K \rceil$.

Ikkilik hisoblagichning ortiqcha ($L=M-K$) holatlari chiqarib tashlanishi kerak.

Ixtiyoriy hisoblagichning o'tish jadvali quriladi. Jadvalning chap tarafida hisoblagich triggerining hozirgi holati, o'ng tarafida esa keyingi holati ko'rsatiladi. Jadval asosida hisoblagich triggerlari qaysi holatdan qanday holatga o'tish kerakligi aniqlanadi. Triggerning boshqaruv jadvali asosida triggerning kirishiga qanday signal uzatilishi kerakligi topiladi.

Misol uchun parametrlari $K=10$ va $n=4$ bo'lgan dekadali hisoblagichni sinxron T -triggeri asosida quramiz.



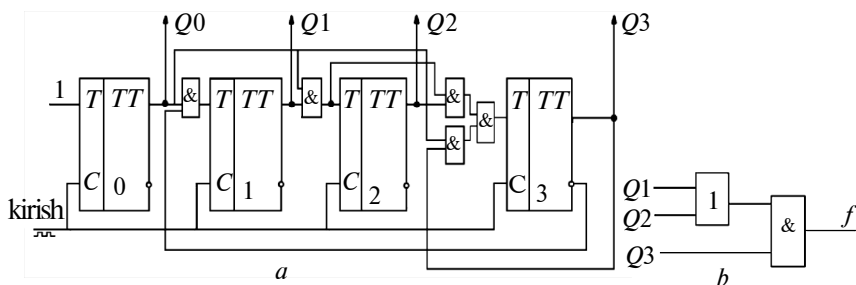
4.71-rasm. Hisoblagichning o'tish grafi.

Dekadali hisoblagichning o'tish grafi 4.71-rasmida keltirilgan. Hisoblagichning ichki holatlari va bir holatdan keyingi holatga o'tishlari grafikda tasvirlangan. S_{10} , S_{11} , S_{12} , S_{13} , S_{14} va S_{15} holatlari ishlatilmaydi.

O'tish grafi asosida hisoblagichning o'tish jadvali qurilgan (4.22-jadval). Jadvalning o'ng tarafida to'rtta triggerning kirish signal-larining qiymati keltirilgan. 4.22-jadval bo'yicha qanday o'tish bo'lganligi aniqlanadi va buning uchun trigger kirishiga qanday signal uzatish kerakligi triggerning boshqaruv jadvali asosida topiladi.

4.22-jadval

N	t				$t+1$				T_3	T_2	T_1	T_0
	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0				
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1
4	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
5	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1
6	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1
7	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1



4.72-rasm. Dekadali hisoblagich sxemasi (a) va avariya signali uchun sxema (b).

Karno kartalari asosida T_0 , T_1 , T_2 va T_3 funksiyalari topilgan. Dekadali hisoblagichning sxemasi 4.72-rasmda keltirilgan.

Agar hisoblagich ayrim nosozliklar sababli taqiqlangan holatga o'tsa, unda uning ishlashi maxsus signal bilan to'xtalishi va avariya signali berilishi mumkin. Hisoblagichning taqiqlangan holatga o'tishini 4.72-rasmdagi sxema (b) aniqlaydi. Avariya signali quyidagi funksiya bilan ifodalanadi:

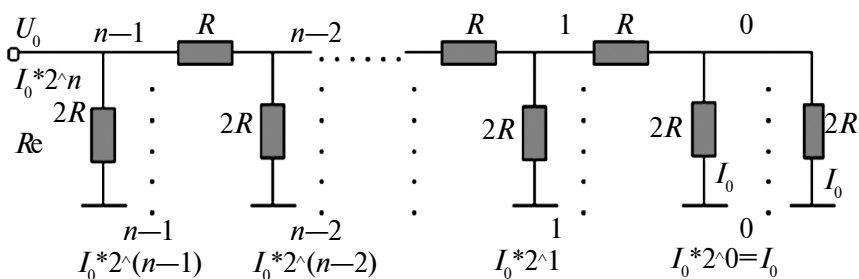
$$fn = Q_2 Q_3 + Q_3 Q_1 = Q_3 (Q_1 + Q_2). \quad (4.34)$$

Ushbu funksiya d belgili kataklar asosida hosil qilingan kon-tur asosida aniqlangan.

4.8. RAO' mikrosxemalarining ishlash asoslari va qo'llash sohalari

RAO'da ikkilik razryad koeffitsiyenti og'irligining proporsionalligi bo'yicha toklarni qo'shish va yig'ish metodi qo'llaniladi. Matritsa kirishga $I_{kir} = I_0 \cdot 2n$ tok iste'mol qiluvchi U_0 tayanch kuchlanishli pretsizion manba ulanadi.

Zanjirning ekvivalent qarshiligi «O kesishish»dan o'ng tomonda $R_{20} = 2R$ ga teng. «Bir kesish»dan o'ng tomonda zanjirning qarshiligi $R_{21} = R + 2R \parallel R_{70} = 2R$ ga teng. $\parallel$ belgi bilan ikki qarshilikning parallel ulanganligi ko'rsatilgan. Shu tariqa $R_{En-1} = R + 2R \parallel R_{En-2} = 2R$ ga tengligi va U_0 kuchlanishi berilayotgan kirish



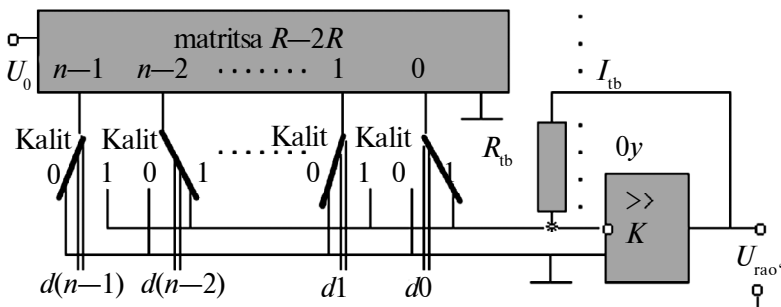
4.73-rasm. Qarshiliklarning ulanish sxemasi.

tomondan zanjirning to'liq qarshiligi $Re = 2R \parallel R = R$ ga, ya'ni matritsa zvenolari soniga bog'liq bo'lmasdan nominal R ga teng. Endi tokning qiymatini topish mumkin.

$$I_0 \cdot 2^n = U_0 / R. \quad (4.35)$$

Tok $n-1$ tugunda ikki bo'linishni hisoblash qiyin emas. Bunda tokning birinchi yarmi $2R$ qarshilikka, ikkinchi yarmi esa $2R$ teng bo'lgan $Re-1$ qarshilik tomon oqadi, $n-2$ tugunga tushuvchi tok ham ikkiga bo'linadi va hokazo. Har bir «tarmoqda» tokning qiymati $I_0 \cdot 2^i$ ga teng, ya'ni og'irlik koeffitsiyenti 2^i ga proporsional toklarni yig'ish (qo'shish) summator sxemasi bo'yicha ulangan operatsion kuchaytirgich (OK) orqali amalga oshiriladi. Sxema-ning bir qismi o'qdan chapga mikrosxema ko'rinishida sanoatda ishlab chiqariladi. Misol uchun K5752PA1,2.

Elementar kalitlar $K1$ kirish signallarning di raqamli kodi bilan boshqariladi 4.47-rasmdagi kalitning chap tomondagi holati



4.74-rasm. K5752PA1,2 mikrosxemasi.

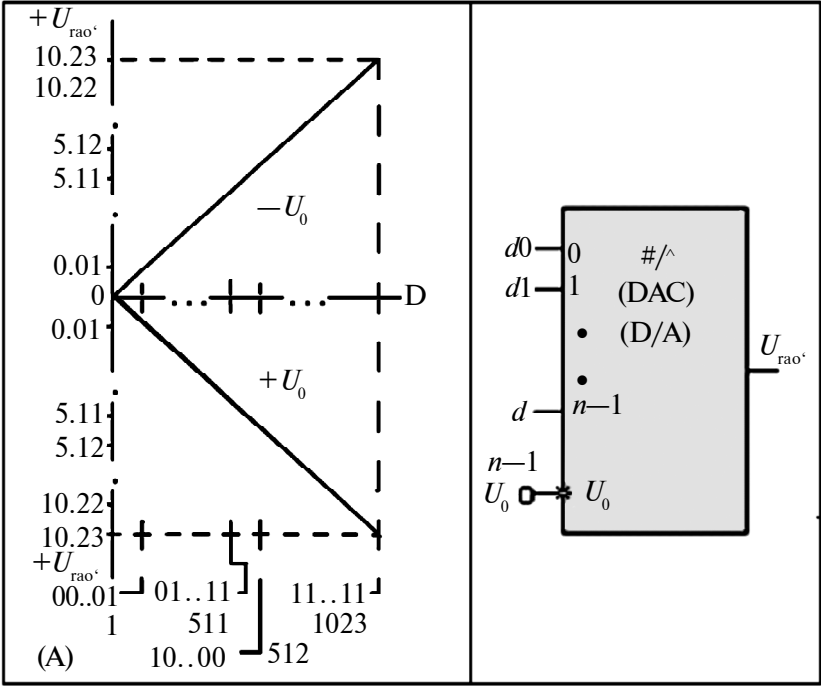
I razryadining nol qiymatiga proporsional o'ng tomondagi holati esa birga tushuvchi nisbatan OK quyidagilarni bajarishi kerak:

1) OKning kuchaytirish koeffitsiyenti OKsiz cheksizlikka intilishi kerak.

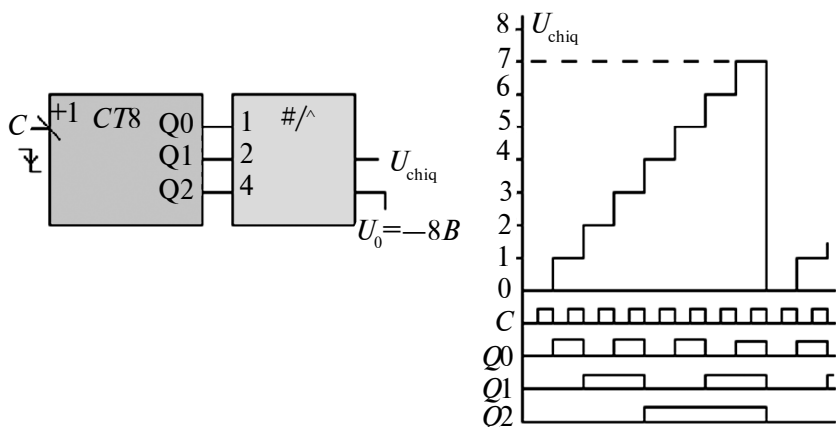
2) Har ikkila kirishning R_{kir} qarshiligi ham cheksiz.

Bunda, birinchidan, OK kirishdagi potentsiallar farqi $I_{y_{kir}}$ nolga yaqinligi kelib chiqadi. Chunki $dU_{chiq} = U_{rao'}/(K=cheksizlik)$, demak OK invers kirishida potentsiallar farqi ham nolga yaqin; ikkinchidan, OKning har bir kirishdagi tokni hisobga olmasa ham bo'ladi. (*) tugunga oqib keluvchi va ketuvchi toklar yig'indisi nolga teng, shuning uchun qiyidagi ifodani yozish mumkin: $I_{os} + \sum(I_0 * 2i * di) = 0$ yoki $\sum(I_0 * 2i * di) = -I_{os}$

Oxirgi ifodagi I_0 ning qiymatini (4.35)dan qo'yamiz va quydagiga ega bo'lamiz: $-I_{os} = (U_0 / (R * 2n)) * (\sum(2i \text{ gacha}))$. O'z navbatida, $U_{rao'} = I_{os} * R_{os}$. Bunga I_{os} qiymatini qo'yib, $R_{os} = R$



4.75-rasm. RAO'ning uzatish xarakteristikasi.



4.76-rasm. Unipolar RAO'ning arrasimon kuchlanishi.

ekanligini hisobga olsak, RAO'ning chiqishidagi kuchlanishning formulasiga ega bo'lamiz:

$$U_{\text{rao}} = \sum_{i=0}^{n-1} U_0 \cdot D_i \cdot 2^i = (2^i \cdot di) = \dots, \quad (4.36)$$

Bu yerda RAO' chiqishdagi $D = \text{summa}(2^i \cdot di)$ — raqamli kodning o'nlik ekvivalenti. Razryadlar soni $n=10$ va $U_0 = -10,24$ V bo'lsin, unda $U_{\text{rao}} = (10.24/10.24) \cdot D$ bo'lsin va (0,0.01,0.02,...,10.22,10.23) oralig'ida topiladi. Bu kabi RAO' ning uzatish xarakteristikasi 4.75-rasmda ko'rsatilgan.

Yuqoridagi kvadrat $-U_0$ pastdagi $+U_0$ ga tegishli. 4.76-rasmning tagida unipolar RAO'ning arrasimon kuchlanishni vujudga keltirishda qo'llanilishi keltirilgan.

4.8.2. To'rt kvadratli RAO'

Bipolar RAO'ning kamchiligi — chiqishdagi kuchlanishi nol qiymatga ega bo'lmasligi va kirish kodi nol bo'lmasligidir. Bu kamchilikni agar ba'zi ikkilik sonlarni musbat, qolganlarini manfiy deb hisoblansa yechish mumkin. Ishorali sonlar uchun ikkilik kodlardan biri «ikkiga qo'shimcha». Unda qarama-qarshi ishorali son boshlang'ich sonning inversiyasi va natijaning birga oshiruvchisidir. Bunda katta bit son ishorasini ko'rsatadi, agar u birga teng bo'lsa ishora manfiy, nolga teng bo'lsa musbat, minimal

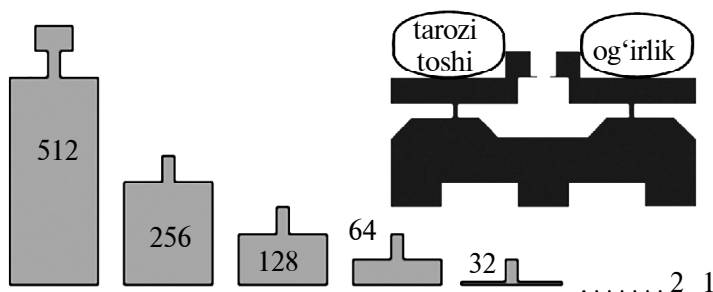
10 razryadli manfiy son $10\dots00$ (BIN) = -512 (DEC) maksimal musbat $01\dots11$ (BIN) = -1 (DEC). Minimal musbat $00\dots001$ (BIN) = 1 (DEC), katta bitni inverslatib U_0 ishorasiga qarab 4 kv ichida nol qiymat o'rtasida bo'lgan uzatish xarakteristikasini olamiz, bular RAO' to'rt kvadratli deb ataladi.

4.8.3. ARO' mikrosxemalarining ishlash asoslari va qo'llash sohalari

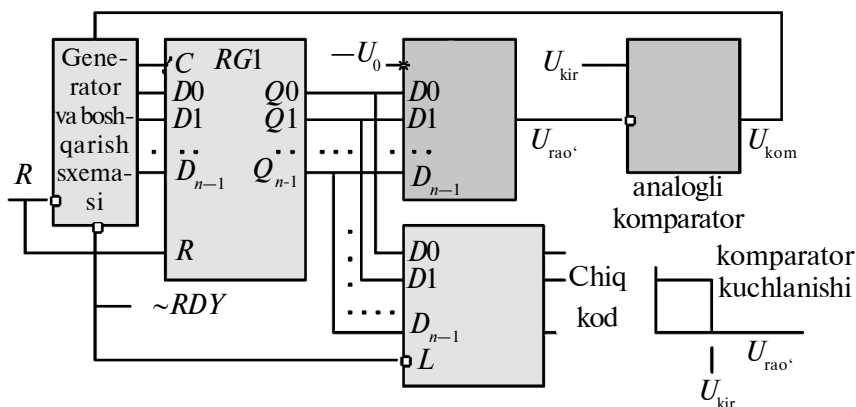
Bu usul yukning vaznini o'lchashga o'xshaydi, registrning katta razryadiga bir yoziladi (taroziining bir pallasiga eng katta tosh qo'yiladi). Agar kirish kuchga bu birdan katta bo'lsa (yuk toshdan og'ir), katta razryaddagi bir saqlanadi (tosh tarozidan qoladi), agar teskari bo'lsa—0 bilan almashtiriladi (tosh olib tashlanadi), so'ng bir oxirigidan oldingi razryadga yoziladi (taroziga navbatdagi tosh qo'yiladi) va tenglashtirish jarayoni takrorlanadi.

ARO' razryadlar soni 10 ga teng bo'lsin. RAO' o'zgartirishlar jarayoni R kirishga «musbat» impuls kelishi bilan boshlaydi. $S-n$ = yuqori darajasi bilan $RC1$ nolga tenglashadi, R signalning nolga o'tishi ichki inverter va boshqaruv sxemasini ishga tushiradi.

t_0 momentida $RC1$ registrning katta razryadga mantiqiy «1» ulanadi (eng katta vaznli tosh). RGI registr chiqishida 10.00 (BIN) = $2^{(n-1)} = 512$ kod paydo bo'ldi. RAO' $U_{rao'}(n-1) = U_0 * 2^{(n-1)/2^n} = U_0/2$ kuchlanish generatsiyalanadi. Analog komparator kuchlanishni solishtiradi, agar $U_{rao'}(n-1) < U_{kir}$ bo'lsa katta razryadga 0 yoziladi.

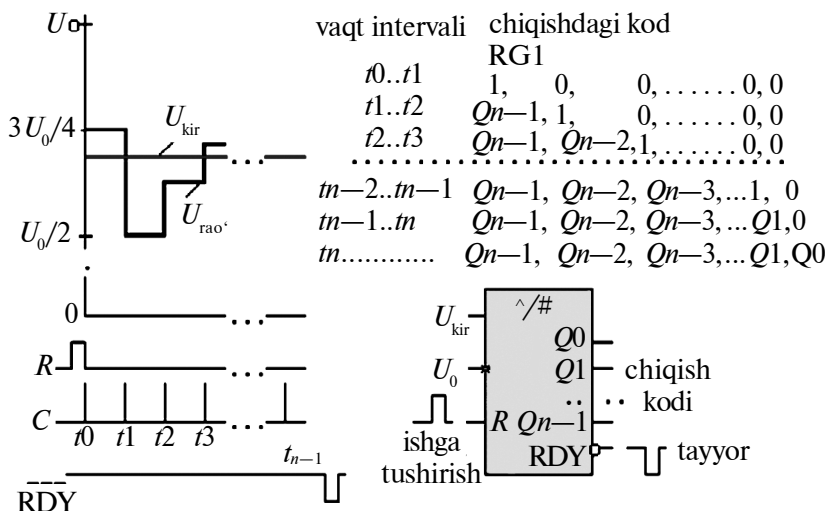


4.79-rasm. Tenglashtirish jarayoni.



4.80-rasm.

t_1 vaqt momentida 1 raqam oxiridan bitta oldinga $(n-2)$ razryadga yoziladi va $RG1$ registr chiqishida ikki kodning yig'indisi: $(Q_{n-1}) \cdot 2^{(n-1)}$ — bitta oldingi taktida olingan katta bit razryadi qiymati va $2^{(n-2)} = 0100..00(\text{BIN}) = 256(\text{DEC})$ — og'irligi ikki marta kamaygan raqamli kodga teng bo'lgan $Q_{n-1}, 1, 0, 0, \dots, 0$ kod hosil bo'ladi. Chiqish kuchlanishi $U_{rao'}(n-2) \cdot Q(n-1) + U_0 \cdot 2^{(n-2)} / 2^n = Q(n-1) + U_0/4$ yana kirish



4.81-rasm. ARO'ning shartli belgilanishi vaqt diagrammasi.

kuchlanishi bilan solishtiriladi. Agar $U_{\text{rao}}(n-2) \leq U_{\text{kir}}$ bo'lsa, oxiridan bitta oldingi razryadga bir raqami yoziladi, agar $U_{\text{rao}}(n-2) > U_{\text{kir}}$ bo'lsa $(n-2)$ razryadga nol raqami yoziladi.

Ko'rsatib o'tilgan jarayon n marta takrorlanadi. Sikl so'nggida boshqaruv sxemasi $\sim$ RDU tayyorgarlik impulsini ishlab chiqaradi va u olgan kodni chiqish registrga yozadi. Xabar berish uchun shu impulsning o'zi tashqariga chiqariladi. O'zgarish vaqti $T_{\text{o'zg}} = ts/k * n$. Bu yerda $ts/k = t(i+1)$ — ichki generator takt impulsining ti takrorlanish davri. ARO'ning shartli belgilanishi vaqt diagrammasi 4.81-rasmda keltirilgan.

Shu ishlash prinsipi bo'yicha 572 *PV1* va 1113 *PV1* (*A.V.*) o'zgartirgichlar ishlab chiqiladi. Ikkilik kod D ning kirish kuchlanishiga bog'liqligi: $D = |U_{\text{kir}} * 2^n| / U_0$, bu yerda D —ARO' kirishidagi ikkilik kodning o'nlik sanoq sistemadagi ekvivalenti.

Nazorat savollari

1. Raqamli texnika hozirda qaysi yo'nalishlarda qo'llanilmoqda?
2. Raqamli qurilmalar deb nimaga aytiladi?
3. Axborot parametrlari nima?
4. Bul algebrasining asosiy qoidalarini bayon eting.
5. Arifmetik-mantiqiy qurilmaga ta'rif bering.
6. Qanday funksiyalar mantiqiy algebra funksiyasi deyiladi?
7. Mantiqiy bazis nima?
8. Deshifrator, demultiplektor, multipleksor, shifratirlarga ta'rif bering.
9. Trigger deb nimaga aytiladi?
10. Registr qanday qurilma?
11. Hisoblagich-taymer (HT) nimalarda qo'llaniladi?

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. *Landsberg G. S.* Elementar fizika kursi. III tom. — M.: «Nauka», 1973.
2. *Savelyev I.V.* Umumiy fizika kursi. III tom. — T.: «O'qituvchi», 1976.
3. *Ismoilov M., Yunusov M.* Elementar fizika kursi. — T.: «O'qituvchi», 1990.
4. *Mirzaxmedov B. M.* Fizika o'qitish metodikasi kursidan o'quv eksperimenti. — T.: «O'qituvchi», 1989.
5. *Гершензон Е.М.* и др. Курс общей физики. Оптика и атомная физика. — М.: «Просвещение», 1981.
6. *Игнатов А.Н., Калинин С.В., Савиных В.Л.* Основы электроники. — Н.: СибГУТИ, 2005.
7. Elektron texnika va radioelektronikaga oid atamalarning o'zbekchalaruscha izohli lug'ati. Prof. M. Muhitdinov umumiy tahriri ostida. — T.: «Bilim», 2007.
8. *Aripov X.K., Abdullayev A.M., Alimova N.B.* Elektronika: O'quv qo'llanma. — T.: TATU, 2009.
9. *Морозов А.Г.* Электротехника, электроника и импульсная техника. — М.: «Высшая школа», 1987.
10. *Алексенко А.Г., Шагурин И.И.* Микросхемотехника. — М.: «Радио и связь», 1990.
11. *Игумнов Д.В., Королев Г.В., Громов И.С.* Основы микроэлектроники. — М.: «Высшая школа», 1991.
12. *Опадший Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И.* Аналоговая и цифровая электроника. — М.: «Горячая линия — Телеком», 2003.
13. *Степаненко И.П.* Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: «Лаборатория Базовых Знаний», 2001.

MUNDARIJA

Kirish.....	3
-------------	---

1-bob. YARIMO‘TKAZGICHLI, OPTOELEKTRONLI VA ELEKTROVAKUUM QURILMALAR

1.1. Elektrovakuum qurilmalar.....	5
1.1.1. Elektrovakuumli diodlar.....	5
1.1.2. Elektrovakuumli triodlar.....	8
1.1.3. Elektron-nurli qurilmalar.....	9
1.1.4. Rentgen nurlanishi, turlari, spektri. Rentgen trubkasi.....	11
1.2. Yarimo‘tkazgichli elektron qurilmalar.....	16
1.2.1. Yarimo‘tkazgichli materiallar.....	16
1.2.2. Xususiy yarimo‘tkazgichlarning elektr o‘tkazuvchanligi.....	18
1.2.3. Kiritmali yarimo‘tkazgichlarning elektr o‘tkazuvchanligi.....	20
1.2.4. Elektron-kovak o‘tish va uning hosil bo‘lishi.....	21
1.2.5. p - n o‘tishning to‘g‘ri ulanishi.....	23
1.2.6. p - n o‘tishning teskari ulanishi.....	25
1.2.7. p - n o‘tishning volt-amper xarakteristikasi (VAX).....	26
1.2.8. Muvozanatsiz holatda elektron-teshikli o‘tish.....	28
1.2.9. Tokning p - n o‘tish orqali ideallashtirilgan tenglamasi.....	31
1.2.10. p - n o‘tish sig‘im turlari.....	34
1.2.11. p - n o‘tishning teshilish turlari.....	35
1.3. Yarimo‘tkazgich diodlar va ularning turlari.....	37
1.3.1. Stabilitron.....	38
1.3.2. Varikaplar.....	40
1.3.3. Tunnel diodlari.....	40
1.3.4. Generator diodlar.....	41
1.3.5. Fotodiodlar.....	43
1.4. Bipolar tranzistorlar.....	47
1.4.1. Bipolar tranzistorlarning ulanish sxemalari va fizik parametrlari.....	48
1.4.2. Tiristorlarning turlari va asosiy texnik parametrlari.....	52
1.4.3. Maydoniy (unipolar) tranzistorlar.....	55
1.4.4. Zatvori izolatsiyalangan maydoniy tranzistorlar (metall-dielektrik-yarimo‘tkazgich (MDY) strukturali).....	58
1.4.5. Kanali qurilgan MDY-tranzistorlar.....	60
1.5. Fotoeffekt hodisasi. Fotoelement va uning qo‘llanilishi.....	63
1.5.1. Fotoelektron asboblari.....	65
1.5.2. Yorug‘lik diodi. Yorug‘lik diodlarining tavsifi va parametrlari.....	67
1.5.3. Fotoelektr asboblari.....	73
1.5.4. Fotorezistorlar.....	75
1.5.5. Optronlar.....	77

2-bob. KUCHAYTIRGICHLAR

2.1. Elektr signallarini kuchaytirgichlar va ular haqida umumiy ma’lumotlar, asosiy ko‘rsatkichlari.....	82
---	----

2.1.1. Kuchaytirgichlar va ular haqida umumiy ma'lumotlar.....	82
2.1.2. Kuchaytirgichlarning o'tkazish polosasi.....	85
2.1.3. Kuchaytirgichlarning kirish va chiqish kattaliklari.....	85
2.2. Kuchaytirgich turlari.....	88
2.2.1. Chiziqli kuchaytirgich.....	88
2.2.2. Nochiziqli kuchaytirgich.....	95
2.2.3. Ishchi nuqta va kuchaytirish sinflari.....	101
2.3. Kuchaytirgichlarda chiziqli va nochiziqli buzilishlar.....	103
2.3.1. Nochiziqli buzilishlar.....	103
2.3.2. Chiziqli buzilishlar.....	104
2.4. Analog integral sxemalarning chiqish bosqichlari.....	105
2.4.1. Quvvat kuchaytirgichlari.....	105
2.4.2. Balans sxemalari asosidagi kuchaytirgichlar.....	105
2.4.3. Bipolar tranzistorda yasalgan kuchaytirgichlar.....	107
2.4.4. Differensial chiqish va kirish qarshiligi.....	110
2.4.5. Kuchaytirgichlarda teskari aloqa.....	112
2.4.6. Komplementar emitter qaytargich.....	114
2.4.7. Maydoniy tranzistorlarda yasalgan kuchaytirgichlar.....	115
2.4.8. Differensial kuchaytirgichlar.....	117
2.4.9. Ko'p bosqishli kuchaytirgichlar.....	120
2.5. Operatsion kuchaytirgichlar.....	122
2.5.1. Umumiy ma'lumotlar.....	122
2.5.2. Operatsion kuchaytirgichlarning asosiy ulanish sxemalari.....	125
2.5.3. Operatsion kuchaytirgichlarning differensial ulanishi.....	126
2.5.4. Operatsion kuchaytirgichlarning invers ulanishi.....	126
2.5.5. Operatsion kuchaytirgichlarning inverslamaydigan ulanishi.....	127

3-bob. AVTOGENERATORLAR

3.1. Avtogeneratorlar va ular haqida umumiy ma'lumotlar, asosiy ko'rsatkichlari, ishlash prinsipi.....	129
3.1.1. Avtogeneratorlar va ular haqida umumiy ma'lumotlar.....	129
3.1.2. Avtogeneratorlardagi energetik bog'lanishlar.....	133
3.1.3. Avtogeneratorlarning ishlash rejimlari.....	134
3.1.4. Avtogeneratorning qo'zg'alish sharti.....	136
3.1.5. Avtogeneratorning barqaror rejimi.....	140
3.2. Uch nuqtali avtogeneratorlar.....	142
3.3. RC-generatorlar.....	144
3.3.1. Faza suruvchi RC-zanjirli generator.....	144
3.3.2. Faza balanslovchi Vinn ko'priqli RC-generator.....	146

4-bob. RAQAMLI SXEMOTEXNIKANING ASOSIY TUSHUNCHALARI VA ATAMALARI, QO'LLASH SOHALARI

4.1. Asosiy tushunchalar va atamalar, qo'llash sohalari.....	150
4.2. Mantiqiy algebra va oddiy mantiqiy elementlar. Mantiqiy funksiyalar va elementlar.....	154
4.2.1. Ikkilik sanoq sistemasida arifmetik amallar bajarish.....	154
4.2.2. Mantiqiy algebra.....	158
4.2.3. Oddiy kombinatsion qurilmalarni qurish. Kombinatsion qurilmalar va ularni tasvirlash usullari.....	161

4.2.4. Mantiqiy funksiyalar.....	163
4.2.5. Mantiqiy funksiyalarni tasvirlash usullari.....	165
4.2.6. Mantiqiy bazis.....	168
4.2.7. Mantiqiy element sxemalarining o'ziga xosligi. Bazaviy mantiqiy element.....	169
4.2.8. Ochiq kollektorlik element.....	170
4.2.9. «VA-YOKI-EMAS» elementlari va kengaytiruvchilar.....	171
4.2.10. Uch holatli elementlar.....	172
4.2.11. Mantiqiy funksiya va qurilmalarni soddalashtirish. Karno kartasi asosida soddalashtirish.....	173
4.2.12. Karno kartasi.....	174
4.2.13. Mantiqiy funksiyalarni «VA-EMAS» va «VA-YOKI-EMAS» bazisga almashtirish.....	176
4.2.14. Mantiqiy elementlarning vaqtli parametrlari.....	176
4.2.15. Mantiqiy sxemalardagi o'tish jarayonlari.....	178
4.3. Kombinatsion mikrosxemalar.....	180
4.3.1. Shifrador, deshifrador, multipleksor va demultipleksor.....	180
4.3.2. Jamlagichlar.....	187
4.5. Triggerlar.....	189
4.5.1. Triggerlar turlari va ishlash asoslari, qo'llash sohalari.....	189
4.5.2. Asinxron RS-trigger.....	189
4.5.3. Sinxron RS-trigger.....	192
4.5.4. Statik boshqaruvli D-trigger.....	193
4.5.4 Dinamik boshqaruvli D-trigger.....	197
4.5.5. Universal JK-trigger.....	198
4.5.6. T-trigger.....	200
4.5.7. Triggerlarning biridan biriga aylanishi.....	200
4.5.8. Ixtiyoriy trigger sintezi. Ixtiyoriy trigger qurish usuli.....	202
4.5.9. Berilgan trigger asosida boshqa turdagi triggerning sintezi.....	204
4.6. Registr turlari, ishlash prinsipi va qo'llash sohalari.....	206
4.6.1. Parallel va ketma-ket registrlar.....	206
4.6.2. Reversiv siljish registri.....	209
4.6.3. Parallel kodlarni sinxron va asinxron yuklash usullari.....	211
4.6.4. Siljituvchi registr sintezi. Siljituvchi registrlar va ularni qurish.....	211
4.7. Hisoblagichlar.....	216
4.7.1. Hisoblagich turlari, ishlash asoslari va qo'llash sohalari.....	216
4.7.2. Parallel ko'chirishli sinxron hisoblagich.....	219
4.7.3. Reversiv hisoblagich.....	220
4.7.4. Hisoblagichlarni kaskadli ulash.....	221
4.7.5. Hisoblagich-taymer.....	222
4.7.6 Hisoblagichlarning hisoblash texnikasida qo'llanilishi.....	223
4.7.7. Ixtiyoriy hisoblagich sintezi.....	224
4.7.9. Ikkilik hisoblagichlar.....	225
4.7.9. Ixtiyoriy modulli hisoblagich sintezi.....	227
4.8. RAO' mikrosxemalarining ishlash asoslari va qo'llash sohalari.....	229
4.8.2. To'rt kvadratli RAO'.....	232
4.8.3. ARO' mikrosxemalarining ishlash asoslari va qo'llash sohalari.....	233
Foydalanilgan adabiyotlar.....	236

3-61 N.F. Zikrillayev va boshq. Elektronika, mikroelektronika asoslari va radioelektron qurilmalar. Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma. / — T.: «ILM ZIYO», 2016. — 240 b.

I. Hammuallif

UO'K: 621.396.6(075)

KBK: 32.844.1

ISBN 978-9943-16-233-4

ZIKRILLAYEV NURULLO FATXULLAYEVICH,
NASRIDDINOV SAYFILLO SAIDOVICH,
ALI HASANOVICH HAYDAROV

**ELEKTRONIKA, MIKROELEKTRONIKA
ASOSLARI VA RADIOELEKTRON QURILMALAR**

Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma

Toshkent — «ILM ZIYO» — 2016

Muharrir *T. Mirzayev*
Badiiy muharrir *M. Burxonov*
Texnik muharrir *D. Hamidullayev*
Musahhih *M. Ibrohimova*

Nashriyot litsenziyasi № AI 275, 15.07.2015-y.

2016-yil 2-fevralda chop etishga ruxsat berildi. Bichimi 60×90¹/₁₆.

«Times» harfida terilib, ofset usulida chop etildi.

Bosma tabog'i 15,0. Nashr tabog'i 14,5. 50 nusxa.

Buyurtma №

«ILM ZIYO» nashriyot uyi. Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30-uy.

«PAPER MAX» xususiy korxonasida chop etildi.

Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30-uy.