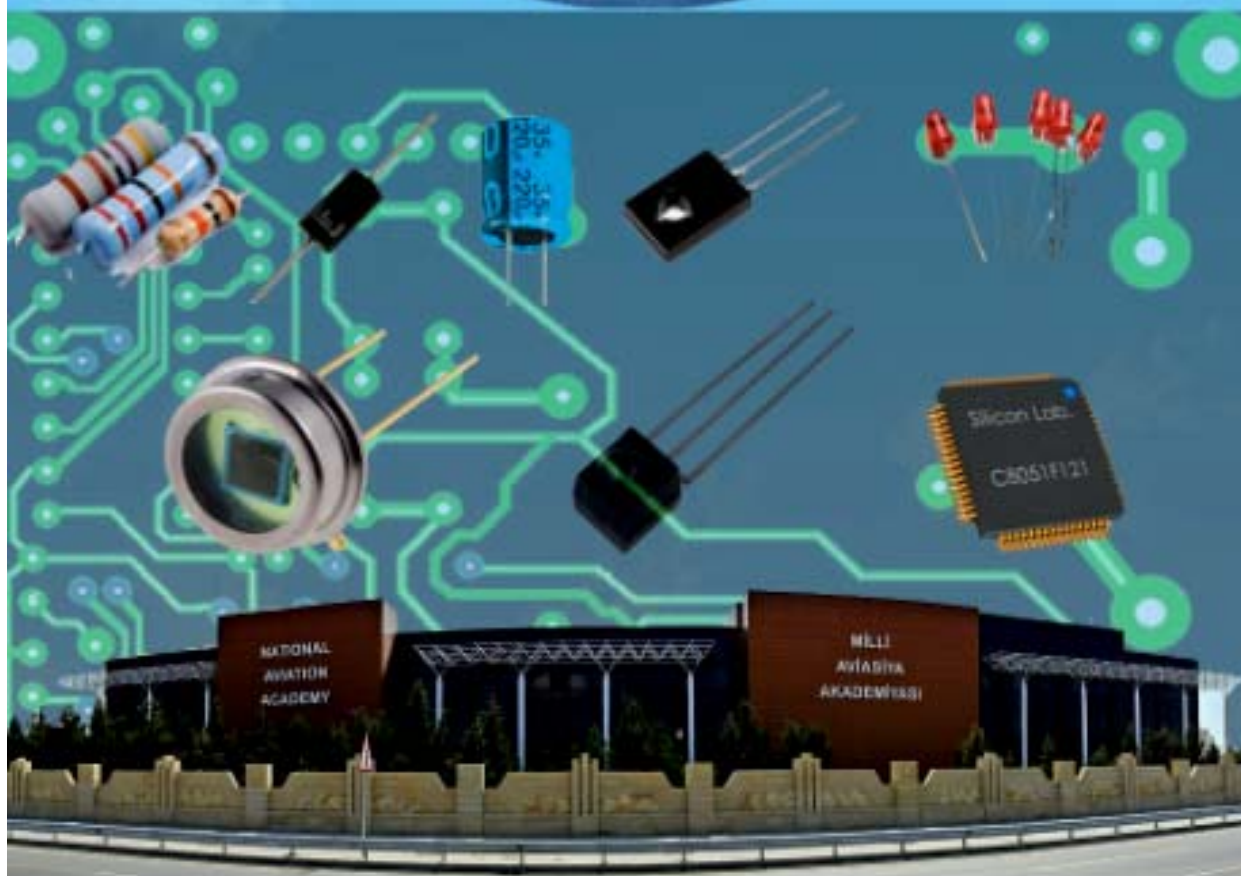


A.M. PAŞAYEV, A.R. HƏSƏNOV
İ.Ə. İSGƏNDƏROV, F.A. ƏBDURƏHİMOV

ELEKTRON QURĞULARININ ƏSASLARI

ELEKTRON QURĞULARININ ELEMENT BAZASI



Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi
«Azərbaycan Hava Yolları» Qapalı Səhmdar Cəmiyyəti
Milli Aviasiya Akademiyası

A.M. Paşayev, A.R. Həsənov
İ.Ə. İsgəndərov, F.A. Abdurəhimov

ELEKTRON QURĞULARININ
ƏSASLARI

Cild I. ELEKTRON QURĞULARININ ELEMENT BAZASI

Cild II. Analox və impuls qurğuları

Cild III. Rəqəm qurğuları

Ali məktəblərin texniki ixtisaslarının tələbələri üçün dərslik

Azərbaycan Respublikası
Təhsil Nazirinin 594 saylı
16 may 2014-cü il tarixli
əmrinə əsasən qıf verilmişdir

Bakı – 2014

A.M. Paşayev, A.R. Həsənov, İ.Ə. İsgəndərov, F.A. Abdurəhimov
ELEKTRON QURĞULARININ ƏSASLARI. Cild I. Elektron
qurğularının element bazası. Dərslük, Bakı: MAA, 2014, - 313s.

Elmi redaktor:

Az.TU-nun “Elektronika” kafedrasının
professoru, f.-r.e.d., əməkdar elm xadimi

Z.Ə. İsgəndərzadə

Texniki redaktor:

T.e.n., dosent

R.M. Rəhimov

Rəyçilər:

AMEA-nın Fizika İnstitutunun
“Bərk cisim elektronika” laboratoriyasının müdiri,
AMEA-nın həqiqi üzvü, f.-r.e.d., professor

C.Ş. Abdinov

ADNA-nın “İnformasiya-ölçmə və kompüter texnikası”
kafedrasının müdiri, t.e.d., professor

R.Q. Məmmədov

MAA-nın Trenajor mərkəzinin
direktoru, t.e.d., professor

R.M. Cəfərzadə

MAA-nın “Aerokosmik cihazlar”
kafedrasının müdiri, f.-r.e.d., professor

A. Z. Bədəlov

Dərslük, müxtəlif növ elektron qurğularının, onlar əsasında qurulan müxtəlif texniki sistemlərin işlənməsi, tətbiqi və onların istismarını gələcək peşə fəaliyyətində həyata keçirən texniki ixtisasların tələbələrinin istifadəsi üçün nəzərdə tutulub. Eyni zamanda yeni növ elektron qurğularının işlənməsi və tətbiqi, onların əsasında qurulan sistemlərin yaradılması və istismarı ilə məşğul olan mühəndis-texniki heyət, magistr, doktorant və elmi işçilər də bu dərslükdən faydalana bilərlər.

Dərslük, MAA-nın texniki ixtisaslarında uzun illər tədris olunan “Elektronikanın əsasları”, «Sxemotexnika» və digər uyğun fənlərin, o cümlədən, bakalavriat təhsil sisteminin “05.06.14 - Aviasiya texnikası avadanlıqlarının istismarı mühəndisliyi” və “05.06.27 – Elektronika, telekommunikasiya və radiotexnika mühəndisliyi” ixtisaslarında tədris olunan «Elektronikanın əsasları» fənninin işçi proqramlarına uyğun hazırlanmışdır. Vəsait, həmçinin, digər ixtisasların bakalavriat və magistratura səviyyələrində tədris olunan «Elektronikanın əsasları», «Sxemotexnikanın əsasları», “Elektronika”, «Analoq və rəqəm elektronika» kimi fənlərin əsas fəsilərini də əhatə edir.

Ön söz

“Elektron qurğularının element bazası”, “Analoq və impuls qurğuları” və “Rəqəm qurğuları” adlanan 3 cilddən ibarət olan bu dərslik, müxtəlif növ elektron qurğularının və onlar əsasında qurulan texniki sistemlərin işlənməsi, tətbiqi və istismarını gələcək peşə fəaliyyətində həyata keçirən texniki ixtisasların tələbələrinin istifadəsi üçün nəzərdə tutulub. Eyni zamanda, bu sahələrdə çalışan mühəndis-texniki heyət, magistr, doktorant və elmi işçilər də bu dərslikdən faydalana bilərlər.

Elektron qurğularının işlənməsi və tətbiqi, onlar əsasında qurulan sistemlərin yaradılması və düzgün istismarı *elektron qurğularının əsasları* və onların sxem həlləri ilə bağlı olan biliklərlə sıx bağlıdır. Ona görə də bu dərslikdə elm və texnikanın xüsusi bir sahəsi olan, texnikanın digər sahələri, xüsusən də, elektronika ilə həmahəng olaraq dinamik inkişaf edən *elektron qurğularının əsasları* və *onların sxemotexnikasının* predmeti, rolu, həll etdiyi məsələlər baxılmış, texniki sistemlərdə geniş tətbiq olunan qurğuların sxemotexniki təsvirinə geniş yer verilmişdir.

Elektronikanın sürətli inkişafı, belə ki, funksional elektronikanın, mikroelektronikanın və elektronikanın tamam yeni bir sahəsi olan nanoelektronikanın nailiyyətləri elektron qurğularının əsaslarının və sxemotexnikasının inkişafı üçün gələcəkdə yeni imkanlar açır.

Yüksək texniki-iqtisadi göstəricilərə malik olan elektron, radioelektron və digər texniki sistemlərin yaradılması üçün onların müxtəlif sxemotexniki realizə edilmə variantlarına baxılır və bu sistemlərin təşkil olunduğu elektron qurğularının və müxtəlif hissələrinin elektrik, konstruktiv və digər növ hesabata aparılaraq, element bazası və digər komponentləri seçilir. Hal-hazırda belə hesabatların ən effektiv yerinə yetirilməsinə nail olmaq üçün müasir riyazi modelləşdirmə metodlarından da geniş istifadə olunur. Qeyri standart və verilmiş istismar-texniki xarakteristikalara malik elektron qurğularının sxemini operativ qurmaq və laboratoriya dərslərini yerinə yetirmək üçün MicroCapV, Electronics Workbench, MultiSim, Proteus və onların daha yeni versiyası olan müasir sxemotexniki modelləşdirmə proqramları istifadə oluna bilər ki, bu da tələbənin, yaradıcı mütəxəssisin işini xeyli sürətləndirir və asanlaşdırır.

Dərslikdə, texnikada geniş tətbiq olunan elektron qurğuların qurulma və işləmə prinsiplərinin təhlilinə və izahına geniş yer verilmiş, onların sxemotexnikasına ətraflı baxılmış, oxucuların *elektron qurğularının əsaslarını* sistemətik və sərbəst olaraq öyrənmə bilməsi üçün bu qurğularda tətbiq olunan elektron cihazlarının təsvirinə də xüsusi yer verilmişdir.

Hal-hazırda elektron qurğularının və onların elementlərinin təsviri zamanı iki, bir-birinə zidd olan, biri dərin təhlil, digəri isə səthi təhlil təsvirləri ilə fərqlənən üsullardan geniş istifadə olunur. Eyni zamanda sxemotexniki modelləşdirmə sistemlərinin müasir səviyyəsinə əsaslanan təhlillər də geniş yer

tapmışdır. Bunları nəzərə alaraq, müəlliflər uyğun bölmələrdə ən əlverişli üsuldən istifadəyə üstünlük vermişdir.

Dərslinin birinci cildində elektron cihazlarının quruluşu, iş prinsipi və onlarda baş verən fiziki proseslərin izahı verilmiş, əsas elektron cihazlarının riyazi modelləri ətraflı təsvir edilmişdir. İkinci cildə analoq və impuls qurğularının, üçüncü cildə isə rəqəm qurğularının ətraflı təsviri verilmiş, lazımı sorğu materialları və praktiki sxemlər öz əksini tapmışdır.

Konkret elektron qurğularının təsviri zamanı onların sxemlərinin ətraflı təhlilinə və hesabatına xüsusi əhəmiyyət verilmişdir.

Dərslük, müəlliflərin sxemotexnika və digər elektronika yönümlü fənlər üzrə çoxillik mühazirələri və eyni zamanda malik olduqları nəzəri və praktiki biliklərinə əsaslanan təcrübəsi əsasında yazılmışdır. Onun məzmunu MAA-da uzun illər tədris olunan “Sxemotexnika” fənninin, və hal-hazırda bakalavriat pilləsində tədris olunan “Elektronikanın əsasları”, “Sxemotexnikanın əsasları” və “Analoq və rəqəm elektronikasi” fənlərinin proqramlarına uyğun olub, bu fənlərin əsas bölmələrini əhatə edir.

Texniki sistemlərin əsasını müxtəlif növ elektron qurğuları təşkil edir, ona görə də sxemotexnika ilk növbədə bu qurğuların işlənməsi və yaradılması prinsiplərini öyrədən bir sahə olaraq praktiki istiqamətliliyi ilə fərqlənir.

Elektron qurğularının təsvirinin asan mənimsənilməsi üçün onların real xarakteristikaları haqda məlumatların olması da zəruridir. Ona görə də sxemlərin və onların konkret elementlərinin, geniş yayılmış mikrosxemlərin xarakteristikalarının təsviri də dərslükdə öz əksini tapmışdır. Bunlarla yanaşı nanoelektronika, onun elementlərinin hazırlanma texnologiyaları, onlar əsasında qurulan qurğuların və sistemlərin sxemotexnikasının xüsusiyyətləri və tətbiqi perspektivləri haqqında ümumi məlumatlara da dərslükdə yer verilmişdir.

Dərslükdə bir sıra paraqrafların, məsələlərin və şəkillərin fraqmentləri digər uyğun dərslüklərin və monoqrafiyaların materialları ilə üst-üstə düşə bilər. Bu da ilk növbədə onunla bağlıdır ki, yüz ildən çox inkişaf tarixi keçmiş elektronika və digər texnika sahələrində çoxlu dərslüklər, elmi ədəbiyyat və laboratoriya praktikumları nəşr edilmişdir. Bu ədəbiyyatlarda geniş yer tapmış, cihaz və qurğuların dəyişməz olan fiziki mahiyyətinin təsvirinin bir çox ədəbiyyatda, o cümlədən, geniş oxucu kütləsi üçün nəzərdə tutulan bu dərslükdə də eyni şəkildə verilməsi qaçılmazdır.

Müəlliflər dərslinin hazırlanmasında verilən dəyərli məsləhətlərə və texniki dəstəyə görə hər bir kəsə, xüsusən də, dərslinin strukturu ilə bağlı verdiyi təkidli tövsiyələrə görə MAA-nın tədris işləri üzrə prorektoru, t.e.d., professor Ə.S.Səmədova öz minnətdarlığını bildirir, eyni zamanda bütün faydalı iradları, şərhləri, təklif və qeydləri dərin minnətdarlıq hissi ilə Bakı, Binə qəs., MAA nəşriyyatı, islam.nus@mail.ru, t.497-26-00(24-26), 055 717 32 77, 050 281 29 39 ünvanında qəbul etməyə hazır olduğunu oxucuların nəzərinə çatdırır.

Əsas ixtisasların siyahısı

AEQ - Analoq elektron qurğuları
DEQ - Diskret elektron qurğular
İEQ - İmpuls elektron qurğuları
RLEQ - Rele elektron qurğuları
REQ - Rəqəm elektron qurğuları
KSVS - konstruktör sənədləşməsinin vahid sistemi
VAX - volt-ampere xarakteristikası
İYT - İfrat yüksək tezliklər
EŞB - Elektron - şüa borusu
QBP - qaz boşalma panelləri
QDL - qaçan dalğa lampaları
ƏDL - əks dalğa lampaları
FEV - Fotoelektron vurucular
SUD - Selvari - uçuş diodları
MDY - metal - dielektrik –yarımkeçirici
MOY - metal - oksid – yarımkeçirici
MTƏ - müqavimətin temperatur əmsalı
HİS - Hibrid inteqral mikrosxemlər
RTBT–rəzəsi təcrid olunmuş bipolyar tranzistor (İGBT - İnsulated Gate Bipolar Transistor)
SİT– statik induksiya tranzistorları (SİT- Static Induction Transistor)
İMDY - İkiqat diffuziya metodu ilə hazırlanmış MDY-tranzistor
VMDY - V şəkilli MDY tranzistor
İS - İnteqral sxem
ARÇ - analoq-rəqəm çeviricisi
RAÇ - rəqəm-analoq çeviricisi
BİS - böyük inteqral sxemlər
İBİS - ifrat böyük inteqral sxemlər
İQ - infra qırmızı
İŞD - işıq şüalandırıcı diodlar
OKG - Optik kvant generatorları
MŞE - Molekulyar-şüa epitaksiya
ATX - amplitud-tezlik xarakteristikası
FTX - faza-tezlik xarakteristikası
LTX - Loqarifmik ATX
AİS - Analoq inteqral sxem
DG - Diferensial gücləndirici
SCG – Sabit cərəyan gücləndiricisi
ƏG – Əməliyyat gücləndiricisi
İQM - ikinci qida mənbələri
HMQ - Hesab-məntiq qurğusu
YQ - yaddaş qurğusu

Giriş

Elektron qurğularının yüksək texniki-iqtisadi göstəricilərinə nail olmaq üçün onlarda tətbiq olunan sxem həllərinin və element bazasının düzgün seçilməsi məsələlərinə xüsusi diqqət vermək lazımdır. Belə ki, nəqliyyat avadanlıqlarında, xüsusən də, aviasiyada tətbiq olunan elektron qurğularının ölçü, çəki, etibarlılıq, parametrlərinin stabilliyi, dəqiqliyi və s. kimi göstəriciləri ilk növbədə element bazası, **elektron qurğularının əsasları** və bu qurğularda tətbiq olunan sxem həlləri ilə təyin olunur. Elektron qurğularının optimal sxem həllərinin realizə edilməsi, onların layihələndirilməsi və tədqiqi ilə məşğul olan elm və texnika sahəsi **sxemotexnika** adlanır.

Sxemotexnika texnikanın bir çox sahələrində, ilk növbədə elektronikada, radiotexnikada, avtomatikada, hesablama texnikasında və başqa sahələrdə tətbiq olunan elektron qurğularının analiz və sintezi problemlərini əhatə edən bir elmi-texniki istiqamət olub, elektron qurğuları tərəfindən verilmiş funksiyaların optimal yerinə yetirilməsi üçün onların sxemlərinin düzgün seçilməsi və qurulması, bu qurğuların və onların tərkibinə daxil olan elementlərin hesabı və seçilməsi məsələlərinin həllini təmin etmək məqsədinə xidmət edir.

Hər bir sahədə olduğu kimi mülki aviasiyada da informasiyanın toplanması və çevrilməsi, avtomatik və avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərindən, enerji hasil edilməsi və çevrilməsi məsələlərini həyata keçirən texniki sistemlərdən geniş istifadə olunur. Texniki sistemlərdə tətbiq olunan **elektron qurğularının əsasları** və onların **sxemotexnikası** elektronika sahəsindəki biliklərlə və nailiyyətlərlə bir başa əlaqəlidir. Məhz buna görə də elektronikanın sahələrinin, inkişaf mərhələlərinin və istiqamətlərinin, onların xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Elektronika - elm, texnika və istehsalatın elektron cihaz və qurğularının işlənməsi, hazırlanması və tətbiqi ilə məşğul olan sahəsidir. Elektronikanın elektron cihazlarının işlənməsi və hazırlanması ilə məşğul olan sahəsi *fiziki elektronika*, onların əsasında elektron qurğularının yaradılması ilə məşğul olan sahəsi isə *sənaye (texniki) elektronikas* adlanır.

Müasir elektronikanın elektron vasitələrinin işlənməsi ilə məşğul olan sahəsi *funksional elektronika* adlanır və iki əsas hissəyə – *analoq* və *rəqəm elektronikasına* ayrılır.

Analoq elektronikas fasiləsiz funksiya qanunu ilə dəyişən siqnalların çevrilməsi və emal edilməsi üçün istifadə olunan elektron vasitələrindən bəhs edən bölməyə deyilir.

*Rəqəm elektronikas*ı diskret funksiya qanunu ilə dəyişən siqnalların çevrilməsi və emal edilməsi üçün istifadə olunan elektron vasitələrindən bəhs edən bölməyə deyilir.

Elektronika sənayesinin inkişafını iki istiqamətə – *energetik (güc) elektronika* və *məlumat elektronikas*ı istiqamətlərinə ayırmaq olar.

Energetik elektronika elektroenergetika, metallurgiya və s. sənaye sahələrinin ehtiyacları üçün əsasən, sabit və dəyişən cərəyanın çevrilməsini təmin edən elektron vasitələrini əhatə edir.

*Məlumat elektronikas*ı isə müxtəlif sənaye və elmi - tədqiqat sahələrinin avtomatlaşdırılmasını, müxtəlif proseslərin ölçülməsini, nəzarətini və idarə olunmasını təmin edən elektron vasitələrini əhatə edir.

Elektron sənayesinin inkişafı XX əsrin əvvəllərinə təsadüf edir. 1904-cü ildə ingilis alimi D. Fleminq ilk elektron lampasını – diodu, 1907-ci ildə amerikalı alim L.Forest dioda idarəedici tor əlavə edərək triod lampasını yaratmışlar. Triod lampası artıq elektrik rəqslərini generasiya etməyə və gücləndirməyə imkan verirdi. 1914-cü ildə Rusiyada N.D. Papaleksi ilk elektron lampasını yaratmağa nail olmuşdur.

XX əsrin 30-cu illərində akademik A.F. İoffe tərəfindən yarımkeçirici materialların elektronikada istifadə oluna bilməsi imkanları tədqiq olunur. 1948-ci ildə Amerika alimləri tərəfindən ilk *tranzistor* yaradılır. Belə cihaz bir qədər sonra sovet alimi A.V. Krasilov tərəfindən yaradılır. Tranzistorun yaradılması elektronikanın sürətli inkişafına təkan vermişdir.

Elektronikanın sonrakı inkişafı *integral sxemlərin* (İS) yaradılması ilə əlaqədardır. İS-lərin sənayedə istehsalı 60-cı illərin əvvəllərinə təsadüf edir. İS-lər, əsasən, məlumat elektronikasının sürətli inkişafına təkan vermiş, Böyük və ifrat böyük İS-lər bu prosesi daha da sürətləndirmiş və artıq mikro-EHM-lərin əsas elementlərinə çevrilmişlər.

Elektron qurğularının mikrominiatürləşdirilməsi, İS-lərin işlənib hazırlanması ilə məşğul olan elektronika sahəsi *mikroelektronika* adlanır.

Hazırda İS-lər, o cümlədən, böyük və ifrat böyük İS-lər, həmçinin, diskret yarımkeçirici cihazların ayrı-ayrı növləri müasir elektron vasitələrinin element bazasının əsasını təşkil edirlər.

Elektronikanın ən müasir sahəsi olan *nanoelektronikanın* yaranması və sürətli inkişafı yeni element bazasının və elektronika qurğularının işlənib hazırlanması sahəsində çox böyük perspektivlər açır. Nanoelektronika materiyanın çox kiçik ölçülərində (onlarla nanometr; $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) atom və molekullar səviyyəsində dəyişdirilməsi ilə məşğul olan bir elmdir. Bu elm son zamanlar bərk cisimlər fizikasında, kvant elektronikasında, fiziki kimyada və

yarımkeçiricilər elektronikasını texnologiyasında baş verən nailiyyətlərə əsaslanaraq formalaşmışdır.

Elektronika inkişaf etdikcə yaradılan elektron qurğularının tətbiq sahələri daha da genişlənir. Praktiki olaraq hər bir mürəkkəb texniki sistem müxtəlif növ elektron qurğularından təşkil olunur. Elə bir texnoloji proses göstərmək olmaz ki, orada idarəetmə elektronika qurğularından istifadə etmədən həyata keçirilsin. Bu qurğuların effektiv və etibarlı fəaliyyəti onların sxemotexnikasından çox asılıdır.

Hər hansı bir obyektin idarə olunması üçün nəzərdə tutulan sistemin misalında *elektron qurğularının* və onların *sxemotexnikasının* əhəmiyyətini nəzərdən keçirək. Müasir obyektin idarəetmə sistemində nəzarət olunan kəmiyyətlər haqqında informasiyaya malik olan analoq (kəsilməz) elektrik siqnalları uyğun vericilərlə hasil edilir. Bu siqnallar filtrasiya olunaraq, gücləndirilir və analoq-rəqəm çeviriciləri (ARÇ) vasitəsilə rəqəm formasına çevrilirlər. Sonra bu informasiya kompüter ilə qarşılıqlı əlaqədə olan mikroprosessorlu blok vasitəsilə emal edilir. Mikroprosessorlu blok vasitəsilə formalaşmış rəqəmli idarəetmə siqnalları rəqəm-analoq çeviriciləri (RAÇ) vasitəsilə analoq formaya çevrilirlər, gücləndirilir və birbaşa idarə olunan obyektə təsir edən icraedici qurğularını idarə edən güc elementlərinə verilir.

Göründüyü kimi belə sistemin tərkibində analoq siqnalları ilə işləyən elektron qurğularını (süzgəclər, gücləndiricilər, güc elektron qurğularını), rəqəm siqnallarını emal edən qurğular (mikroprosessor bloku, kompüter), həmçinin, analoq siqnalını rəqəm siqnalına və əksinə çevirən qurğular var. Ona görə də bu sistemin xarakteristikası onun tərkibindəki elektron qurğularının növü, sxemotexniki yerinə yetirilmə variantı və bu qurğuların təşkil olunduqları elementlərin xarakteristikaları ilə müəyyən olunur.

Sxemotexnikanın əsas sahəsi, elektron qurğularının sxemotexniki həlləri ilə məşğul olan *elektron sxemotexnikasıdır*. Ona görə də dərslikdə elektron qurğularının element bazasına, geniş tətbiq olunan analoq, impuls və rəqəm qurğularının, ARÇ və RAÇ-ların, onların qida mənbələrinin sxemotexnikasına geniş yer verilmişdir.

Fəsil 1. ELEKTRON QURĞULARININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ XRONOLOGİYASI VƏ ONLARIN MÜASİR TƏSNİFATI

1.1. Elektron qurğularının inkişaf mərhələləri

Elektronikanın inkişafının əsas səbəbi elektron qurğularının yerinə yetirdikləri funksiyaların fasiləsiz olaraq mürəkkəbləşməsidir. Müəyyən mərhələdə qarşıya çıxan yeni məsələləri mövcud elektron vasitələrinin və element bazasının köməyi ilə həll etmək çətinləşir. Ona görə də, cari element bazasının təkmilləşdirilməsi ehtiyacı yaranır. Elektron qurğularının yeni element bazası üzərində işlənməsi zərurəti, funksiyaların mürəkkəbləşməsi ilə yanaşı etibarlılığın artırılması, ölçülərin, kütlənin, dəyərin və güc sərfinin azaldılması kimi əsas faktorlar hesabına yaranır.

İstifadə olunan element bazasından asılı olaraq elektron qurğularının inkişafını dörd əsas mərhələyə ayırmaq olar.

I nəsil (1904 – 1950-ci illər) elektron qurğularının element bazasının əsasını vakuumda və qazlarda baş verən elektrik hadisələrindən istifadə olunmasına əsaslanan *elektrovakuum cihazları* təşkil edirdi. Elektrovakuum cihazları işçi mühitin xarakterindən asılı olaraq, elektron və ion elektrovakuum cihazlarına ayrılırlar. Elektron elektrovakuum cihazları, elektrik cərəyanı ancaq sərbəst elektronlar hesabına yaranan cihazlara deyilir. İon elektrovakuum cihazları qazda və ya buxarda baş verən elektrik boşalmaları hadisəsinə əsaslanan cihazlardır. Bu cihazlar bəzən qazboşalma cihazları da adlanır.

Elektrovakuum cihazları ailəsi kifayət qədər genişdir və bu qrupa elektron lampaları, elektron-şüa cihazları, elektrovakuum fotoelektrik cihazlar və s. aid edilir. Elektron qurğularında elektrik cərəyanının müxtəlif çevrilmələri üçün elektron lampaları daha geniş istifadə edilirdi. I nəsil elektron qurğularında vahid həcmdəki elementlərin sayı 0,001 ... 0,003 element / sm³ təşkil edirdi.

II nəsil (1950 - 1960-cı ilin əvvəlləri) əsas element bazası *diskret yarımkəçirici cihazların* (diodlar, tranzistorlar, tiristorlar və s.) tətbiqi ilə xarakterizə olunurdu. II nəsil elektron qurğularının yığılması artıq çap montajının tətbiqi ilə avtomatik olaraq yerinə yetirilirdi. Burada yarımkəçirici cihazlar, passiv elementlər çap lövhəsində - metallaşdırılmış deşikləri olan dielektrik lövhə üzərində yerləşdirilirdi. Elementlər biri-biriləri ilə naqillərlə və ya birləşmələrə uyğun şəkllə əsasən mis lövhədə alınan montaj xətləri ilə əlaqələndirilirdi. II nəsil elektron qurğularında vahid həcmdəki elementlərin sayı $\approx 0,5$ element / sm³ təşkil edirdi.

III nəsil (1960 -1980-cı illər) elektron qurğuları mikroelektronikanın sürətli inkişafı ilə əlaqədardır. *Mikroelektronika* elektronikanın bir bölməsi olub,

keyfiyyətə yeni elektron cihazlarının inteqral sxemlərinin işlənməsi, tədqiqi və onların tətbiqi prinsipləri ilə məşğul olan sahəsidir. Bu nəslin element bazasının əsasını inteqral sxem və mikroyığımlar təşkil edir.

Inteqral sxemlər (İS) vahid texnoloji mühitdə və prosesdə, vahid daşıyıcı konstruksiyada (altlıqda) hazırlanan və biri-biriləri ilə qarşılıqlı əlaqəli olan elementlər (diodlar, tranzistorlar, rezistorlar, kondensatorlar və s.) yığıdır və məlumatların çevrilməsi proseslərinin müəyyən bir funksiyanı yerinə yetirir.

Mikroyığım, tərkibində, əsasən eyni tipli elementlər (məsələn, ancaq diodlar, ancaq tranzistorlar və s.) olan inteqral sxemlərdən ibarətdir. Bu nəsil element bazası elektron qurğularının blok tipli konstruksiya ilə, yəni üzərində inteqral sxemlər və mikroyığımlar montaj edilmiş çap lövhələri yığını şəklində hazırlanması geniş vüsət almışdır. III nəsil elektron qurğularında vahid həcmdəki elementlərin sayı ≤ 50 element / sm^3 təşkil edir. Bu nəsil element bazası ölçülərin, kütlənin və enerji sərfinin kəskin azalması və etibarlılığın kəskin yüksəlməsi ilə, həmçinin, elementlərin və elektron qurğularının hazırlanmasında əl əməyinin minimuma endirilməsi ilə xarakterikdir.

IV nəsil (1980-ci ildən başlayaraq) elektron qurğularının *böyük inteqral sxemlər və ifrat böyük inteqral sxemlər (BİS)* əsasında mikro miniatürləşdirilməsi ilə xarakterikdir. Burada artıq ayrı-ayrı funksional bloklar bir inteqral sxem üzərində yerinə yetirilir. Bu sxemlər artıq informasiyanın qəbulu, emalı və ötürülməsi funksiyalarını yerinə yetirən hazır elektron qurğuları rolunu oynayırlar. İfrat BİS əsasında yerinə yetirilən elektron qurğuları, hətta ilkin məlumatın lazım olan emal alqoritmini tam təmin etməyə imkan verir. IV nəsil elektron qurğularında vahid həcmdəki elementlərin sayı 1000 element / sm^3 və daha çox olur.

Yeni nəsil element bazası və elektron qurğuları XXI əsrin əvvəllərində öz sürətli inkişafını tapmış *nanotexnologiyanın* nailiyyətləri ilə bağlıdır. Hesab olunur ki, 1981-ci ildə İBM şirkətinin tədqiqat laboratoriyasının alimləri Herd Binniq və Henrix Rorerin “ayrı-ayrı” atomları görməyə imkan verən tunel mikroskopunun yaradılması ilə bağlı ixtirası və H. Binninqin 1986-cı ildə atomların “manipulyasiyasını” həyata keçirməyə imkan verən ixtirası ilə nanotexnologiyanın bünövrəsi qoyulmuşdur.

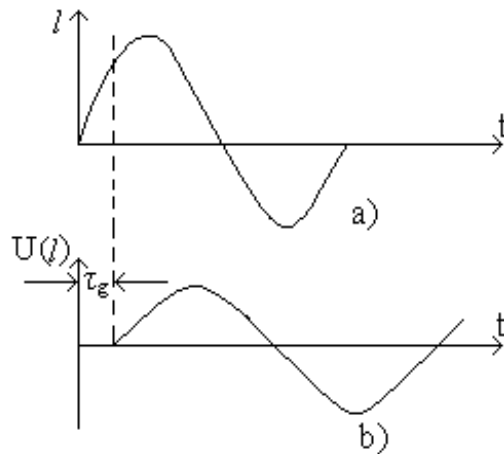
Keyfiyyətə tamamilə fərqli olan materialın qrafenin alınması (2004-cü ildə) və onun əsasında professor Heymin rəhbərlik etdiyi alimlər qrupu tərəfindən yaradılan birelektronlu tranzistor və digər nanoelektronika elementləri yeni bir texniki eranın başlanğıcından xəbər verir, yeni növ element bazasının yaradılmasına zəmin yaradır.

1.2. Elektron qurğularının təsnifatı

Elektron qurğuları idarə siqnallarının formalaşdırılması və ötürülməsi qaydasına görə iki sinfə - analoq (kəsilməz) və diskret (kəsilən) siniflərə ayrılırlar.

1.2.1. Analox elektron qurğuları (AEQ). Kəsilməz funksiya qanunu ilə dəyişən elektrik siqnallarını qəbul etmək, çevirmək və ötürmək üçün istifadə olunan qurğulara analox elektron qurğuları deyilir. AEQ, çeviricinin (detektorun) çıxışında yaranan fiziki kəmiyyətin hər bir konkret real qiymətinə sabit və ya dəyişən cərəyanın seçilmiş elektrik parametrinin müəyyən qiyməti uyğun gəlir. Bu parametr elektrik dövrə hissəsindəki gərginlik və ya cərəyan, onun tezliyi və ya fazası və s. ola bilər.

Fərz edək ki, rəqqas müvazinət vəziyyətindən ℓ qədər aralanmışdır və şəkil 1.1 a – da göstərilən (sinusoidal) asılılıqla xarakterizə olunur. Bu asılılığa uyğun olan gərginlik, ümumi halda, şəkil 1.1 b-də göstərilən qanunla dəyişəcəkdir. Aydındır ki, rəqqasın müvazinət vəziyyətindən ℓ qədər aralanması və buna uyğun elektrik ekvivalenti istənilən təsadüfi zaman anlarında təyin oluna bilən sonsuz sayda qiymətlər ala bilər. Elektrik ekvivalenti real proses (siqnal) haqqında tam məlumat daşıyır. Lakin prosesin aldığı real qiymət ilə bu prosesin elektrik ekvivalentinin qeyd edilməsi anındakı qiyməti üst-üstə düşməyə bilər, yəni bu anlar arasında müəyyən gecikmə t_ℓ ola bilər.



Şək. 1.1. Fiziki kəmiyyətin analox elektrik siqnalına uyğunluğu:
a) rəqqasın müvazinət vəziyyətindən zamana görə fərqlənməsi asılılığı,
b) fərqlənməyə uyğun elektrik siqnalı

AEQ üçün müsbət cəhətlər onların sadəliyində, yüksək dəqiqliyində və cəldişləməsindədir.

AEQ aşağıdakı çatışmayan cəhətlərə malikdirlər:

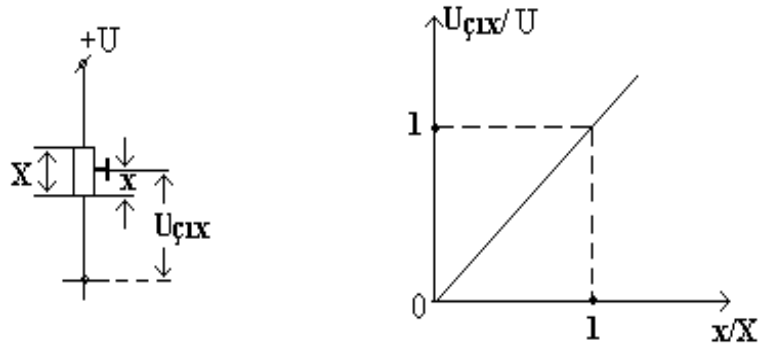
Qurğunun, xarici təsirlərdən güclü asılı olması xüsusiyyəti ilə əlaqədar olaraq, parametrlərinin qeyri-stabilliyi və maneəyə davamlılığının aşağı olması.

Siqnalın nisbətən uzaq məsafəyə ötürülməsi zamanı yaranan təhriflərin çox olması.

Nəticələrin uzun müddət yadda saxlanılmasının çətinliyi.

Enerji effektivliyinin aşağı olması.

AEQ-də baş verən prosesə xətti X yerdəyişməsini $U_{\text{çix}}$ çıxış gərginliyinə çevirən potensiometrin misalında baxmaq olar (şək. 1.2).



1.2.2. Diskret elektron qurğular (DEQ). ilkin $X(t)$ analoq funksiyanın zamana, və ya səviyyəyə görə, yaxud hər iki parametərə görə kvantlanması yolu ilə alınan elektrik siqnallarını qəbul etmək, çevirmək və ötürmək üçün istifadə olunan qurğulara diskret elektron qurğular deyilir. Bu qurğuların çıxış siqnalları real fiziki kəmiyyətin müəyyən qanunla seçilmiş qiymətlərinin sonlu sayına mütənasib olurlar. Bu qiymətlər impulsların və ya cərəyanın və gərginlik düşkünlərinin müxtəlif parametrləri şəklində təsvir olunurlar. $X(t)$ funksiyanının konkret qiyməti ilə yanaşı, onun dəyişməsi (bir neçə qiyməti) maraqlı doğurduğundan, məlumatı ötürmək üçün impulslar ardıcılığından istifadə edilir, yəni $X(t)$ funksiyası impulslar ardıcılığına çevrilir.

Diskret qurğularda informasiyanı təsvir etmək üçün istifadə olunan impulsların (gərginlik düşkünlərinin) əsas parametrləri şəkil 1.3-də göstərilmişdir.

U_m – impulsun və ya gərginlik düşküsünün amplitudu (gərginliyin qərarlaşmış ilkin U_0 qiymətinə nəzərən maksimum fərqlənməsi);

$t_{\text{ö.c}}$, $t_{\text{a.c}}$ – impulsun ön və arxa cəbhələri - gərginliyin $0,1U_m \leq U \leq 0,9U_m$ şərtini ödəyən ani qiymətlərinə uyğun anlar arasındakı zaman intervalıdır

(gərginlik düşküləri üçün analogi parametrlər impulsun müsbət cəbhəsinin t_c^+ və mənfi cəbhəsinin t_c^- davametmə müddəti adlanır);

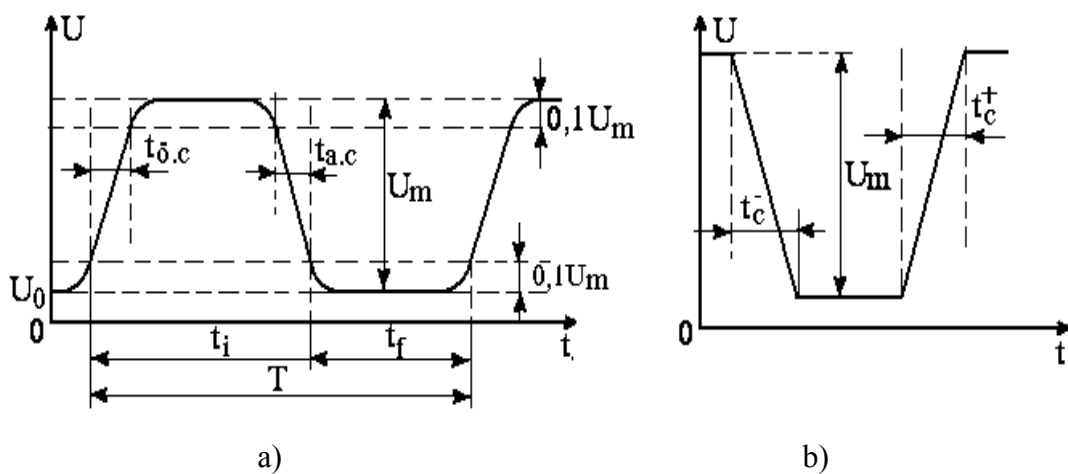
t_i – impulsun davametmə müddəti - qonşu $t_{ö.c}$ və $t_{a.c}$ cəbhələrinin $U = 0,1U_m$ səviyyəsinə uyğun gələn anları arasındakı zaman intervalıdır;

T - impulsun təkrarlanma periodu - qonşu $t_{ö.c}$ və ya $t_{a.c}$ cəbhələrinin $U = 0,1U_m$ səviyyəsinə uyğun gələn anları arasındakı zaman intervalıdır;

$f=1/T$ – impulsların təkrarlanma tezliyidir;

$t_f=T-t_i$ impulsar arasındakı fasilənin müddətidir;

$K_d = t_i / T$ – impulsların doldurma əmsalıdır; bu əmsalın tərs qiyməti $Q = T/t_i$ - impulsun dərinliyi əmsalıdır.



Şək. 1.3. İmpulsların a) və gərginlik düşkülərinin b) əsas parametrləri.

Qeyd edək ki, müxtəlif işarəli du/dt törəmələrinə malik ($du/dt > 0$ və $du/dt < 0$) dövrü təkrarlanan gərginlik düşküləri düzbucaq formada impuls yaradır. Əgər müsbət və mənfi gərginlik düşküləri bərabər zaman intervalları ilə təkrarlanarsa, düzbucaq formalı gərginlik meandr adlanır.

DEQ real fiziki kəmiyyətin hər bir qiymətinə uyğun olaraq impuls signalının müəyyən bir parametrini formalaşdırır. Fiziki kəmiyyətin dəyişməsi haqqındakı məlumat, iki qonşu impulsun müqayisəsi zamanı alındığından bu proses (məlumatın alınması) zamana görə uzadılmış olur. Odur ki, sonlu zaman intervalında fiziki kəmiyyət haqqında hərtərəfli məlumat almaq üçün sonsuz sayda impuls lazımdır.

Nəzərə almaq lazımdır ki, fiziki prosesin davametmə müddəti ilə onun impuls vasitəsilə təsvir edilməsi müddəti üst-üstə düşməzlər və bu müddətlər arasında gecikmə yaranır. Ona görə də, real fiziki kəmiyyət haqqındakı

məlumatın yalnız bir hissəsi istifadə oluna bilər, yəni məlumatın təsvir olunması müəyyən itki ilə baş verir.

DEQ aşağıdakı müsbət cəhətlərə malikdir:

1. Diskret qurğularda P_i - impuls və P_{orta} - orta güclər $P_i = Q \cdot P_{orta}$ bərabərliyi ilə əlaqədirlər. Burada Q impulsların dərinlik əmsalıdır. Göründüyü kimi, dərinlik əmsalının böyük qiymətlərində ($Q \rightarrow \infty$) impulsun orta gücünə nəzərən onun impuls gücü böyük qiymətlər alır, yaxud əksinə. Bunun sayəsində ayrı-ayrı elementlərin kütlə və həndəsi ölçü göstəriciləri yaxşılaşdırıla bilər.

2. Diskret qurğularda idarəedici cihazlar açar rejimində (açıq-bağlı) işləyirlər ki, bu da səpələnən gücün minimum olmasını təmin edir. Nəticədə, cihazın istifadə olunma əmsalı K_{ist} artmış olur və beləliklə də az gücə malik cihazlarla böyük güclərin idarə olunması imkanı yaranır. İstifadə olunma əmsalı yükə ayrılan faydalı gücün $P_{yük}$ gücləndirici cihazın çıxış dövrəsində səpələnən maksimum gücə $P_{k\ max}$ olan nisbətidir, yəni

$$K_{ist} = \frac{P_{yük}}{P_{k\ max}} ;$$

$$P_{yük} = U_{yük} I_{yük} ,$$

$$P_{k\ max} = I_{yük} U_{kguc} .$$

Burada $U_{yük}$, $U_{k.güc}$ - yükə və gücləndirici cihazın çıxış dövrəsində düşən gərginliklərdir, $I_{yük}$ - yükə axan cərəyandır. K_{ist} əmsalının ifadəsindən görünür ki, $U_{yük} > U_{k.güc}$ olarsa, yükəki gücün qiyməti gücləndirici cihazın özündə səpələnən gücdən dəfələrlə çox ola bilər. Bu xüsusiyyət böyük gücləri idarə etmək üçün diskret qurğularda zəif güclü cihazlardan istifadə edilməsinə imkan yaradır. Tranzistorlu qurğularda gücün artmasının qiyməti 10 ... 20 dəfə ola bilər.

3. Diskret qurğuların xüsusiyyətləri onların elementlərinin parametrlərinin qeyri-stabilliyindən az asılı olur. Bu az istilik ayrılması və yarımkeçirici cihazların açar rejimində işləməsi ilə izah olunur.

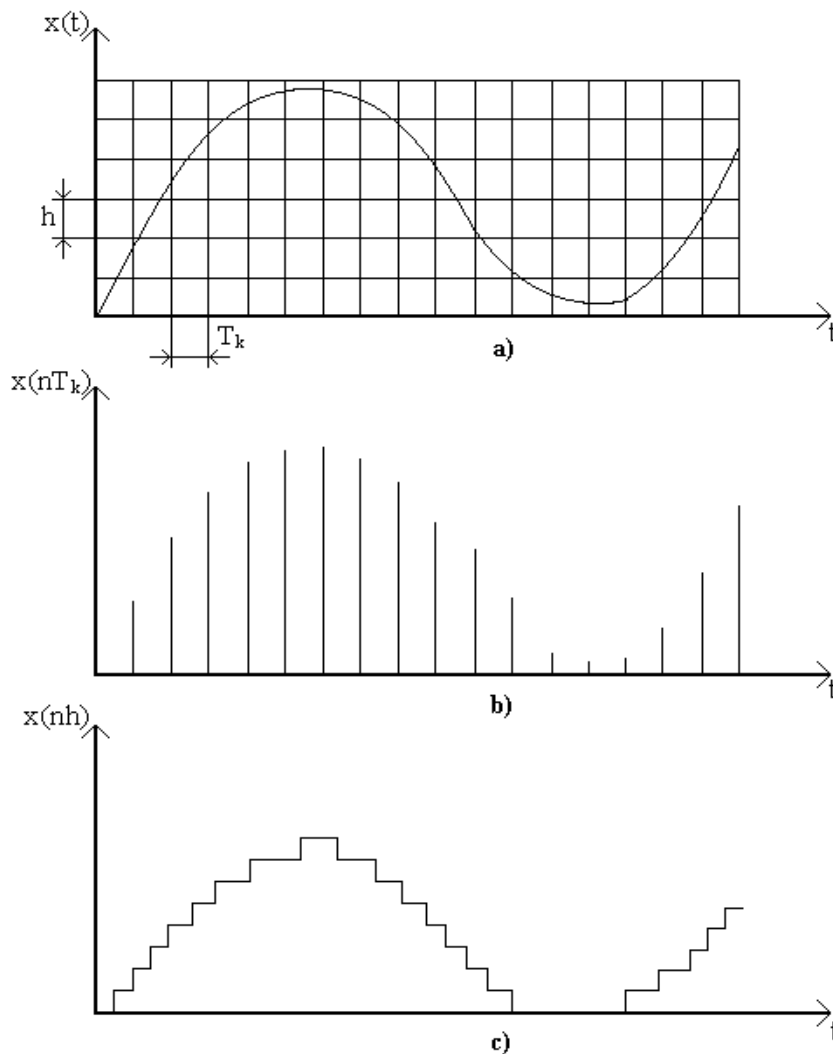
4. Diskret qurğuların maneədavamlılığı analoq qurğulara nəzərən daha yüksəkdir, çünki impulsların ötürülməsi zamanı ötürülən siqnala maneənin təsir müddəti azalmış olur.

5. Məlumatın emalı, yadda saxlanması və ötürülməsi üçün istifadə edilən diskret elektron qurğuları eyni tipli elementlər üzərində yaradılır. Bu isə onların inteqral texnologiyanın tətbiqi ilə yaradılmasını asanlaşdırır. İnteqral

texnologiya ilə yaradılmış elementlər yüksək etibarlılığa, parametrlərinin eyniliyinə, kiçik kütlə və ölçüyə, ucuz qiymətə və s. malik olurlar.

Siqnalların kvantlanması qaydasına görə DEQ impuls, rele və rəqəm qurğuları kimi üç sinfə bölünürlər.

1.2.3. İmpuls elektron qurğuları (İEQ) ilkin $X(t)$ siqnalının (şək. 1.4, a) zamana görə kvantlanmasını həyata keçirir və onu, adətən, tezliyi dəyişməz qalan impuls ardıcılığına çevirir (şək. 1.4, b). Burada siqnalların zamana görə fasiləsiz təsviri pozulursa da, seçilmiş zaman müddətləri üçün müəyyən edilmiş qiymətlər $X(t)$ funksiyasının qiymətlərinə dəqiq uyğun gəlir, yəni siqnalın fasiləsizliyi qiymətcə saxlanılır.



Şək. 1.4. Analoq siqnalın zamana və səviyyəyə görə kvantlanması.

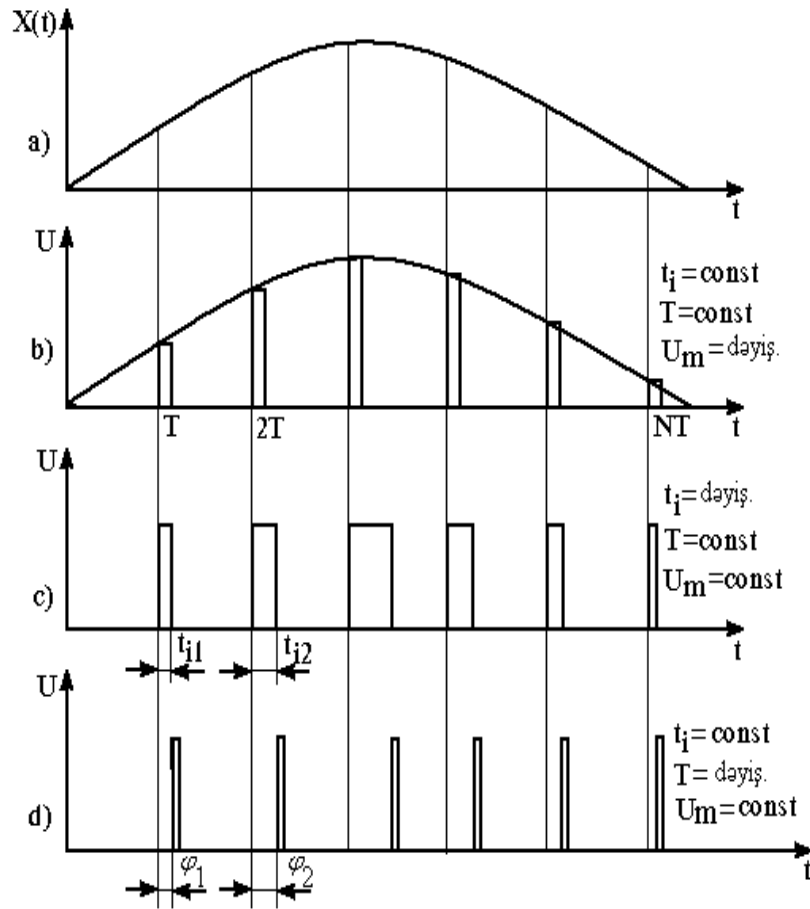
$X(t)$ asılılığının (şək. 1.5,a) amplitud-impuls modulyasiyası zamanı impuls ardıcılığının modullanan (dəyişən) parametri amplitudadır (şək. 1.5,b).

$$u_m = (nT_k) = \varphi[x(nT_k)]. \quad (1.1)$$

$X(t)$ asılılığının eninə-impuls modulyasiyası zamanı impuls ardıcılığının modullanan (dəyişən) parametri impulsun davametmə müddətidir (şəkil 1.5c).

$$t_i = \varphi[x(nT_k)]. \quad (1.2)$$

EİM xarakterizə etmək üçün adətən impulsun Q dərinlik və ya K_d doldurma əmsallarından istifadə edilir.



Şəkil 1.5. İmpuls modulyasiyasının növləri.

a) – ilkin analog kəmiyyətin dəyişməsi; b) – amplitud-modulyasiya edilmiş impuls ardıcılığı; c) – eninə-modullanmış impuls ardıcılığı; d) – faza-modullanmış impuls ardıcılığı.

$X(t)$ asılılığının faza-impuls modulyasiyası zamanı impuls ardıcılığının modullanan (dəyişən) parametri impuls ardıcılığı arasındakı məsafə olur, yəni ilkin ardıcılığa nəzərən onların faza sürüşməsi olur (şək. 1.5,d).

$$T = \varphi[x(nT_k)] \quad (1.3)$$

İEQ dəqiqlik və cəldlik nöqteyi-nəzərindən analoq qurğulara nəzərən geri qalırlar. Bu qurğularda impuls modulyatorlarından istifadə olunması onların tətbiqini məhdudlaşdırır.

1.2.4. Rele elektron qurğuları (RLEQ) ilkin $X(t)$ siqnalını səviyyəyə görə kvantlayır və onu pilləli funksiya çevirir (şək. 1.4,c). Pilləli funksiyanın hər bir pilləsinin hündürlüyü əvvəlcədən verilmiş h -kəmiyyəti (artım) qədər fərqlənir. Siqnalın səviyyəsinin dəyişməsi yalnız verilmiş $n \times h$ səviyyələri və $X(t)$ kəmiyyəti ilə təyin edilən zaman anlarında baş verir. Pillənin formalaşması anında bu qurğuların çıxış siqnalı $X(t)$ funksiyaının qiymətlərinə dəqiq uyğun gəlir. RLEQ məlumatların çevrilməsi ilə deyil, enerjinin çevrilməsi ilə, yəni güc elektronikasısı qurğuları ilə əlaqədar olur. Bu qurğular (impuls modulyatoru olmadığından) daha sadə və yüksək cəldliyə malik olurlar.

1.2.5. Rəqəm elektron qurğuları (REQ) ilkin $X(t)$ siqnalının həm zamana, həm də səviyyəyə (amplituda) görə kvantlanmasını həyata keçirirlər. Odur ki, belə siqnallar konkret (fiksə olunmuş) zaman anlarında $X(t)$ qiymətlərinə təxminən uyğun gəlirlər. Diskret siqnalda məlumatın fasiləsizliyi həm zamana, həm də amplituda görə pozulmuş olur. Siqnalın ala biləcəyi diskret qiymətlərin sayı çox olduqca, alınmış diskret siqnal ilkin analoq siqnala daha dəqiq uyğun gəlir.

İlkin fiziki kəmiyyətin diskret səviyyələrinin qiymətini müəyyən bir ədədə uyğun təsvir etmək olar. Siqnalın diskret səviyyələrinin ədədlər ardıcılığı ilə əvəz olunması prosesinə kodlaşdırma deyilir. Alınmış ədəd isə siqnalın kodu adlanır.

Fiziki dəyişənlərin real qiymətlərinə uyğun tərtib edilmiş kodları formalaşdıran, çevirən və ötürən qurğular rəqəm qurğuları adlanır.

REQ maneəyə qarşı yüksək dayanıqlıq, yüksək etibarlıq, məlumatın itkisiz uzun müddət yadda saxlanması, az enerji sərfi, inteqral texnologiyanın hərtərəfli tətbiqi imkanı kimi üstünlüklərə malikdirlər. Onların çatışmayan cəhətlərinə cəldləşməsinin və çevirmə prosesinin dəqiqliyinin aşağı olmasını aid etmək olar.

Məlumdur ki, elektron qurğusunun minimum həcmi (qurğu elementlərinin sıxlığı) bu həcmdə ayrılan istiliyin miqdarı ilə müəyyən olunur. Ona görə də, məlumatın emalının diskret üsullarından istifadə olunması rəqəm elektron qurğularını daha kiçik ölçüdə yerinə yetirməyə imkan verir. Məlumatın emalının mürəkkəb alqoritmlərinin minimal həcmdə, az enerji sərfi ilə və yüksək etibarlıqla həyata keçirilməsi rəqəm elektron qurğuları vasitəsilə daha səmərəli olur ki, bu da onların daha geniş yayılmasını sürətləndirir.

1.3. Elektron qurğularının elementləri və onların qrafiki işarələnməsi

Elektron qurğuları radio komponentlər əsasında qurulmuş elektrik dövrələrindən təşkil olunur. Radio komponentlər elektron qurğularında onun prinsiplial sxeminə uyğun olaraq öz aralarında birləşdirilərək elektrik siqnallarının zəruri emalını təmin edirlər. Radio komponentlər elektron qurğularının ayrılmaz hissəsi olaraq, onların bu qurğularda quraşdırılması, sxemin yığım-montaj əməliyyatları aparılarkən həyata keçirilir. Elektron qurğularının əsas komponentləri tranzistorlar, diodlar, rezistorlar, kondensatorlar, induktivlik sarğaçları, transformatorlar və s.-dir. Sxemdəki tranzistorların, rezistorların və b. funksiyasını yerinə yetirən çoxlu sayda radioelementlərdən təşkil olunmuş inteqral mikrosxemlər (İS) də radio komponentlərə aid edilir. Yerinə yetirdikləri funksiyalar eyni olduğundan, “radioelement” və “radio komponent” anlayışları çox vaxt eyni qəbul olunur. Məsələn, inteqral sxemin əsas və ayrılmaz elementi olan tranzistor, İS- də, elektron qurğularının komponenti olan diskret tranzistorun funksiyalarını eynilə yerinə yetirir. Radio komponentlərin iş prinsipi elektrik və maqnit sahələrinin qarşılıqlı təsirinə əsaslanmışdır, və bu komponentlərin hazırlandığı radio materialların elektrik-fiziki xassələri ilə təyin olunur.

Radio komponentlər öz növbəsində passiv və aktiv komponentlərə bölünürlər. Aktiv komponentlərə tranzistorlar, elektron lampaları, mikrosxemlər və s., yəni elektrik siqnallarını çevirmək və onları gücləndirməyə qabil olan komponentlər aid edilir. Passiv elementlərə isə elektrik siqnalının enerjisini paylaşdırmaq üçün nəzərdə tutulmuş rezistorlar, kondensatorlar, induktivlik sarğaçları, transformatorlar, kommutasiya elementləri aid edilir. Müasir elektron qurğularının əksəriyyətinin İMS-lər əsasında qurulmasına baxmayaraq, diskret rezistorlar prinsiplial sxemin elementlərinin 15%-dən 50%-ə qədərini, diskret kondensatorlar 25% - ni təşkil edir. Sxemlərdə induktivlik sarğaçları və transformatorların demək olar ki, hamısı diskret komponentlər olur.

Elektron qurğularının, onların əsasında qurulan avadanlıqların və sistemlərin işini düzgün başa düşmək, onlarda yaranan texniki nasazlıqları düzgün təhlil etmək üçün sxemin təşkil olunduğu komponentlərin işini və onların hazırlandığı materialların elektrik-fiziki xassələrini yaxşı başa düşmək lazımdır.

Müasir elektron sistemlərinin əsasını yarımkeçirici cihazlar təşkil edir. Yarımkeçirici materiallardan hazırlanmış ən geniş tətbiq olunan elementlər: yarımkeçirici diodlar, bipolyar tranzistorlar, unipolyar tranzistorlar (sahə

tranzistorları), idarə olunan ventillər (tiristorlar), optoelektron cihazları, əməliyyat gücləndiriciləri, analoq və rəqəm İS - ləridir.

Sxemlərdə elektrik elementlərini, qurğuları, həmçinin, birləşdirici elementləri şərti - qrafiki işarələrlə verilir. Prinsipial elektrik sxemlərdə elementlərin şərti qrafiki işarələri, təsviri və ölçüləri konstruktor sənədləşməsinin vahid sisteminin (KSVS) standartlarına uyğun verilir.

Sxemotexnika sahəsindəki biliklər tək elementlərin və qurğuların işarələnməsini yox, həm də sxemin elementlərinin qarşılıqlı əlaqəsini və qurğunun işini bütövlükdə özündə cəmləşdirir.

Hər hansı bir qurğunun sxemini oxumaq onun quruluşunu və işinin mahiyyətini başa düşmək deməkdir. İstənilən oxuma müəyyən vərdislər və biliklər tələb edir. Məsələn, mətni oxumaq üçün ilk əvvəl hərflər öyrənilir. Sxemotexnikanın əsas istiqaməti olan *elektron sxemotexnikasının* əsasında sxemlərin elementlərinin və geniş yayılmış elektron qurğularının işinin fiziki mahiyyətini göstərən “bilik baqajı” durur.

Elektron sxemlərinin əsas elementləri birləşmələr, açarlar, passiv və aktiv elementlərdir. Qeyd olunduğu kimi passiv elementlərə rezistorlar, kondensatorlar, sarğaclar və transformatorlar, aktiv elementlərə isə elektron lampaları, xüsusi növ diodlar, tranzistorlar və mikrosxemlər aiddir.

Elektron sxemotexnikasının əsas elementlərinin təyinatı, işarələnməsi və tətbiq sahələrini nəzərdən keçirək.

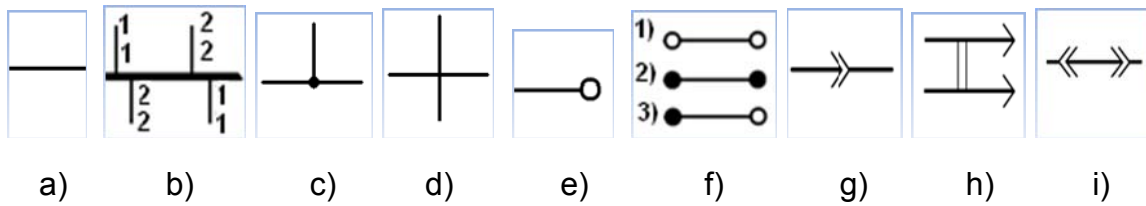
1.3.1. Birləşmələr. Elektron sxemlərinin ən sadə elementi elektrik birləşmələridir. Birləşmə, həm adi məftil, həm də sökülə bilən birləşmə (razyom) ola bilər. Bu qrupa bənd (peremiçka), lehim, bolt və oyuqlu sökülə bilən birləşmələr (razyom) daxildir. Şək. 1.6–da elektrik birləşmələrinin müxtəlif növləri göstərilmişdir.

Şəkil 1.6,a-da elektrik gərginliyinin ötürüldüyü məftilin işarələnməsi verilmişdir. Eyni qayda ilə sxemlərdə jqlar (hörmə) da (sxemin müəyyən yerində yan-yan yerləşdirilmiş məftillər dəsti) göstərilir.

Jqutdan ayrılan məftillərin sxemdə işarələnmə qaydası şəkil 1.6,b - də göstərilmişdir. Jquta daxil olan və çıxan məftillər uyğun rəqəmlərlə işarələnmişdir. Jqut özü məftildən qalın olduğunu göstərmək üçün qalın xətlə işarələnmişdir. Sxemlərdəki elementlər sıra ardıcılığına malikdirlər və onların sıra sayı ya elementin sağında, ya da üstündə yazılır. Soldan və aşağıda işarələmə düzgün hesab edilmir, lakin sxemlərdə tez-tez bu hallara rast gəlinir.

Birləşmənin başqa bir növü şəkil 1.6,c - də göstərilmişdir. Göründüyü kimi bir məftilə digər məftil birləşdirilmişdir (birləşmə qalın nöqtə ilə göstərilmişdir) və belə birləşmə qeyri – razyom birləşməsi adlanır. Əgər sxemdə məftillər biri-birilə kəsişirlərsə və qalın nöqtə yoxdursa, bu onu göstərir ki

birləşmə yoxdur, belə kommutasiya isə elementlərin birləşməsinin əlverişliliyi üçün göstərilir (şək. 1.6,d).



Şək. 1.6. Elektrik birləşmələri.

Birləşmələrin digər növü bolt, yaxud qayka birləşməsidir. Bu birləşmə şəkil 1.6,e-də verilmiş, ucunda qalın dairə olan məftil kimi, yaxud sökülən birləşmə kimi işarə edilir.

Birləşmələrin geniş yayılmış bir növü bənd birləşməsidir (peremıçka). Bənd birləşmələr həm cihazlarda, həm də avadanlıqların lövhələrində qoyulur. Bu birləşmələr hər iki tərəfdən, yaxud bir tərəfdən sökülən və sökülməyən ola bilərlər. Sökülməyən bənd birləşmələri sxemin daxilində, sökülənlər isə hər yerdə tətbiq olunurlar. Şəkil 1.6,f-də bənd birləşmələrinin mümkün variantları və onların qrafiki işarələnmələri göstərilmişdir. Hər iki tərəfdən sökülən bənd birləşmə ağ dairələrlə (şək. 1.6, f -1), hər iki tərəfdən sökülməyən bənd birləşmələr qara dairələrlə (şək. 1.6, f -2), bir ucdan sökülən, digər ucdan sökülməyən bənd birləşmələr (şək. 1.6, f -3) uyğun olaraq ağ və qara dairələrlə göstərilirlər. Sökülməyən bənd birləşmələr ya lehirlənmiş, ya da kontakt qaynaq yolu ilə qaynaqlanmış ola bilər.

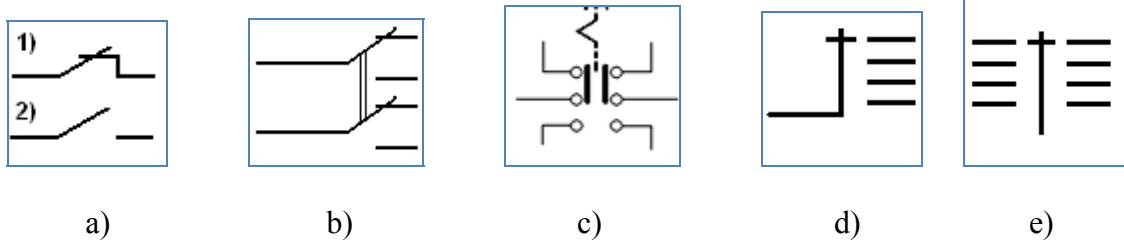
Şəkil 1.6,g - də sökülən birləşmə və ştekkerlərin işarələnməsi göstərilmişdir. Bu birləşmələr hər sahədə tətbiq olunurlar. Bu tip birləşmələrə vilkalar, rozetkalar və digər bu cür birləşdiricilər aiddirlər. Birçübuqlu və çoxçübuqlu olurlar. Bir məftildə olan paralel ştekkerlər şəkil 1.6,h-də göstərilirdiyi kimi paralel iki xətlə işarə olunurlar.

Şəkil 1.6,i - də sökülən birləşmələrin kontaktları olan kommutasiya bəndləri göstərilmişdir. Bu birləşmə bir məftildən və iki tərəfdən sökülən kontakt birləşməsindən ibarətdir.

Birləşdiricilər müxtəlif qurğuların, cihazların kommutasiyası, həmçinin, elektrik dövrələrinin birləşməsi üçün tətbiq olunurlar.

1.3.2. Dəyişdirici (Çevirici) açarlar. Açarlar - elektrik dövrələrinin dəyişdirilməsinə xidmət edən elektron komponentlər qrupudur. Düyməli, rıçaq, qaletli və s. olan açarlar var. Şəkil 1.7,a-da açılmaya (1) və qapanmaya (2) işləyən açarlar göstərilmişdir (normal qapalı və normal açıq).

Əgər sxemdə ikiqat xətlə birləşdirilən söndürən elementlər göstərilibsə (şək. 1.7, b), onda bu elementlər asinxron qoşulurlar (söndürülülər) və belə açarlar tumbler adlanırlar. Belə açarlar iki paralel dövrənin, yaxud açarların işini təmin edir və bu halda bir dövrədən başqa birisinə kommutasiya baş verir.



Şək. 1.7. Elektrik açarları.

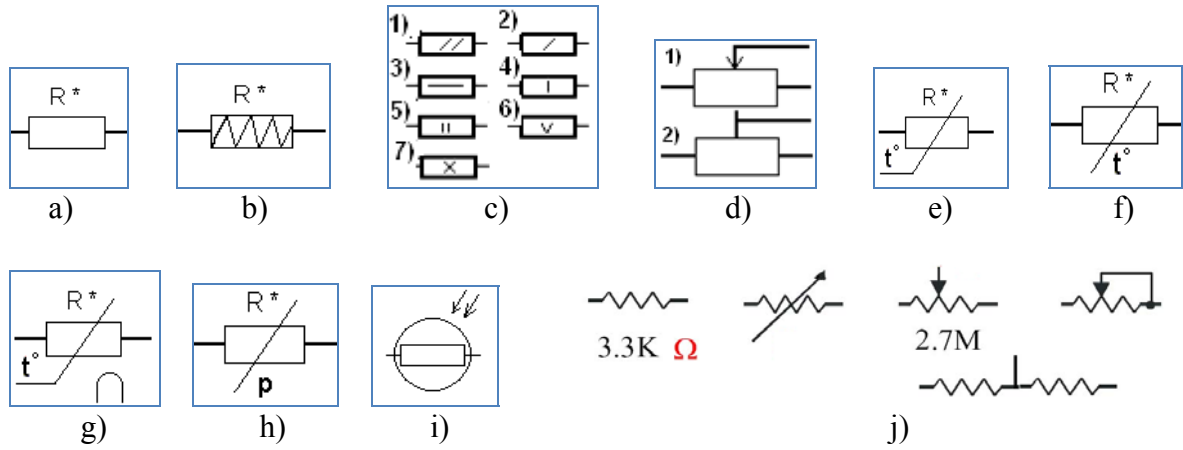
Şəkil 1.7, c-də düyməli açar göstərilmişdir. Sxemdən görüldüyü kimi dairəciklərlə göstərilmiş kontaktlardan məftillərin dövrləri ayrılır (bu halda 6 kontaktlı açar verilmişdir). Açarın ortasında qalın xətlə çəkilmiş, biri-birindən izolə edilmiş, orta kontaktları yuxarı, yaxud aşağıdakı kontaktlarla qapayan sürüşən kontaktlar cütü yerləşir. Bu açarın əsas elementlərindən biri ucları qırıq-qırıq xətlərlə göstərilən T-şəkilli düymədir və bu element kontaktların hərəkətinə, yəni qoşma, yaxud söndürməyə mexaniki təsir göstərir.

Şəkil 1.7, d-də bir neçə pozisiyalı (vəziyyətli) açar göstərilmişdir. Şəkildə verilmiş açarın 4 vəziyyətindən yalnız birinə dövrə qapanmış olur. Burada mərkəzi məftilin dörd çıxışdan biri ilə qapanması baş verir. Kontakt mərkəzi planka (ensiz lövhə) üzrə hərəkət edərək sxemin uyğun dövrəsini qapayır.

Qalet açarların işarələnməsinə misal şəkil 1.7,e - də verilmişdir. Bu variantın sxem işarələnməsi əvvəlkinə identikdir. Fərq ondan ibarətdir ki, kontakt sxemin biri-birinin qarşısındakı xətlərini qapayır.

Beləliklə, açarlar müxtəlif konstruksiyaya, müxtəlif sayda vəziyyətlərə və kontakt qruplarına malik ola bilərlər. Açarlar elektronikada çox geniş tətbiq olunurlar və elektrik dövrlərinin dəyişdirilməsi üçün xidmət edirlər.

1.3.3. Rezistorlar. Rezistor (“rezisto” latın sözündən –“müqavimət göstərirəm” deməkdir), radio-, yaxud elektrotexniki məmulat (element) olub, əsas funksional təyinatı elektrik cərəyanına məlum olan aktiv müqavimət göstərməkdir. Sxemlərdə latın hərfi “R” ilə işarə olunur (şək.1.8, a). İşarələmədə ulduz işarəsinin yerində elementin (rezistorun) tətbiq olunduğu sxemdəki sıra sayı yazılır. Rezistorların əsas parametrləri elementin müqaviməti, gücü, dəqiqlik dərəcəsi və s.-dir.



Şək. 1.8. Rezistorlar.

Rezistorların geniş yayılan növləri sabit, dəyişən, köklənən, presizion (çox dəqiq) rezistorlar, termorezistorlar, fotorezistorlardır. Şəkil 1.8, b-də məftilli rezistorun işarəsi verilmişdir.

Rezistorların gücə görə işarələnməsi şəkil 1.8, c-də göstərilmişdir. Bu elementlərə: 1) 0,125Vt; 2) 0,25Vt; 3) 0,5Vt; 4)1Vt; 5) 2Vt; 6) 5Vt; və 7) 10Vt güclərə uyğundur. Bütün bu elementlər müxtəlif konfigurasiyalara malikdirlər.

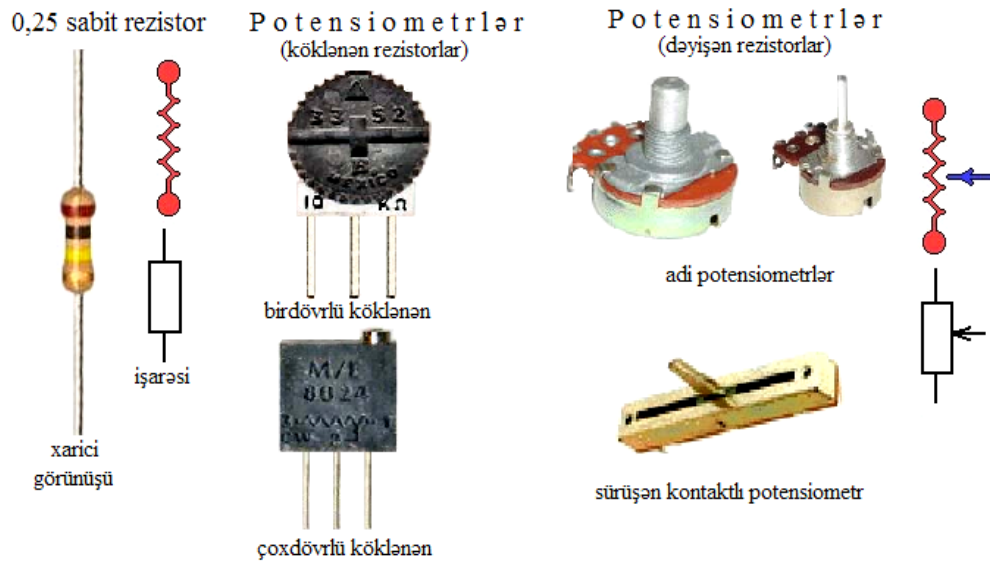
Presizion rezistorlar tamamilə adi rezistorlar kimi görünürlər və sxemlərdə eyni cür təsvir edirlər. Onların əsas fərqi müqavimətinin yüksək dəqiqliklə hazırlanmasıdır. Adi rezistorlarda, markasından asılı olaraq müqavimətin dəqiqliyi 5% və ya 10% təşkil etdiyi halda, presizion rezistorlarda dəqiqlik 0,1%-ə qədər ola bilər.

Şəkil 1.8,d - də köklənən və dəyişən rezistorlar göstərilmişdir (1 və 2). Bu rezistorlar texnikada parametrlərin tənzimlənməsi sxemlərində tətbiq olunur. Əvvəlki illərin istehsalı olan məişət aparaturasında səsin, işıqlığın və s. tənzimlənməsində istifadə olunurlar. Hal-hazırda isə əsasən, qurğuların daxilində tənzimləmə aparılması, dəqiq parametrlərin qoyulması üçün tətbiq olunur.

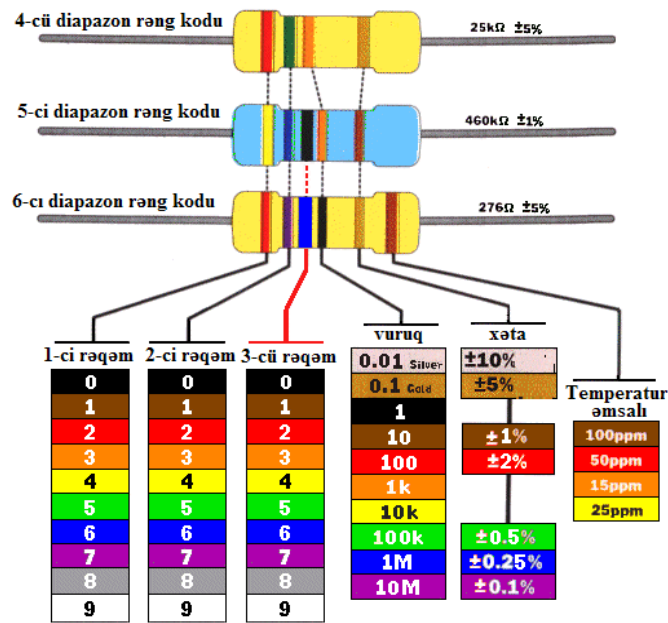
Şəkil 1.8,e - də qeyri-xətti termorezistorun, şəkil 1.8, f - də xətti termorezistorun, şəkil 1.8,g - də dolayı yolla qızdırılan termorezistorun işarələnməsi verilmişdir. Termorezistorlar, temperatur fərqi ilə əlaqəli olan elektron qurğularında, məsələn, elektron termometrlərdə, termostatlarda, termovericilərdə və s. tətbiq olunurlar.

Rezistorların başqa bir növü tenzoresistorlardır. Bu elementlərin müqaviməti onlara göstərilən təzyiqdən asılıdır. Tenzoresistorlar da termorezistorlar kimi xətti və qeyri-xətti ola bilərlər. Şəkil 1.8, h-da xətti

tenzoresistorun şərti işarəsi verilmişdir. Burada “p” latın hərfi təzyiqli təsirinə həssas element olmasını göstərir.



a)



b)

Şək.1.9. Rezistorların növləri a) və sabit rezistorların rənglərlə işarələnməsi b).

Şəkil 1.8,i - də fotorezistorun işarəsi verilmişdir. Fotorezistorlar müxtəlif vericilərdə, rəqəm texnikasında və s. tətbiq edilirlər.

Rezistorların xarici ədəbiyyatda verilən işarələnmələri şəkil 1.8.j-də göstərilmişdir.

Rezistorların xarici görünüşü, onların qrafiki işarələnməsi və sabit rezistorların müasir standartlara uyğun markalanması şəkil 1.9 - da göstərilmişdir.

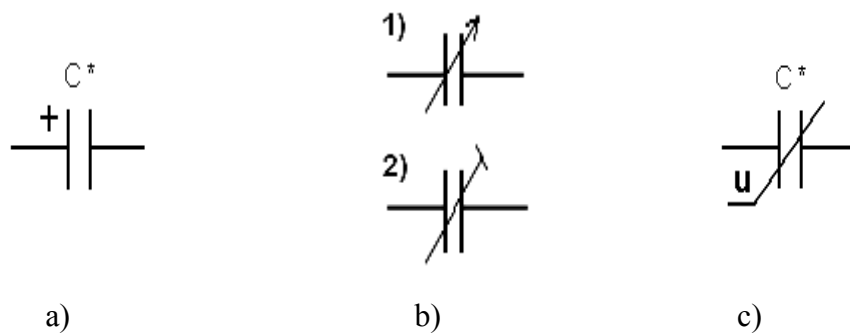
Rezistorların əsas parametri müqavimətdir, ölçü vahidi Om-dur. Digər ölçü vahidləri $1kOm = 1000 Om = 10^3Om$; $1 MOm = 1000000 Om = 10^6 Om$ - dur.

1.3.4. Kondensatorlar. Kondensator “kondensasiya” etmək (yığmaq) sözündən yaranmışdır. Onlar tutumu – müxtəlif yükləri öz lövhələrində yığırlar.

Kondensatorların qrafiki şərti işarələnməsi şəkil 1.10 - da verilmişdir. Kondensatorlar sxemlərdə latın hərfi “C” ilə qeyd olunurlar. Ulduz işarəsinin yerində elementin sxemdəki sıra sayı göstərilir. Tutumlar qütblü və qütpsüz olurlar. Plyus işarəsinin olması kondensatorun qütblü, olmaması isə qütpsüz olduğunu göstərir. Kondensator aralarında izolyator yerləşdirilən iki lövhədən ibarətdir. Qütblü kondensatorların ən geniş yayılmış növü elektrolit kondensatorlardır.

Kondensatorlar müxtəlif ölçülü olurlar. Ölçüləri tutumundan, işçi gərginliyindən, hazırlandığı materiallardan asılıdır. Bu elementlər reaktiv olduğundan dövrlərin reaktiv müqavimətinə təsir edirlər.

Dəyişən və köklənən kondensatorlar mövcuddur. Dəyişən kondensatorlar işarəsinə diaqonalı üzrə əlavə edilmiş oxla (şək.1.10, b, 1), köklənən kondensatorlar isə T-şəkilli işarə ilə (şək.1.10,b,2)) fərqləndirirlər. Dəyişən kondensatorlar qəbuledicilərin, ötürücülərin və s. tezliklərinin köklənməsi üçün, köklənən kondensatorlar isə sxemlərin daxili köklənməsi üçün tətbiq olunurlar. Şəkil 1.11-də geniş istifadə olunan kondensatorların görünüşü verilmişdir.



Şək. 1.10. Kondensatorların işarəsi

Kondensatorların tutumu Faradlarla ölçülür. 1 Farad çox böyük tutumdur, ona görə də kiçik ölçü vahidlərini tətbiq edirlər. İstifadə olunan ölçü vahidləri:

$$1 \text{ mkF} = 10^{-6} \text{ F}, \quad 1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}, \quad 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F-dır.}$$



Şek. 1.11. Kondensatorların görünüşü

1.3.5. Sarğacalar. Sarğacalar, yaxud dolaq adətən, qurğularda plastik kütlə korpusdan və onun üstünə sarınmış adi mis məftildən ibarət elementdir. Adi sarğacalar şəkil 1.12, a-da göstərildiyi qaydada işarə olunurlar. Elementin yanında latın hərfi “L” göstərilir və “*” işarəsinin yerinə elementin sxemdəki sıra sayı yazılır.

Adi dildə bu elementləri sarğac adlandırırlar, texniki dildə isə induktivlik adlandırılır, bəzən isə induktivlik sarğacı adlandırırlar. İnduktivlik də kondensator kimi reaktiv elementdir, və reaktiv müqavimətə malikdir. Sarğacalar və kondensatorlar öz quruluşuna görə sadə elementlər olmasına baxmayaraq, biri-biri ilə qarşılıqlı təsirdə olduqları zaman, istər ardıcıl, istərsə də paralel birləşdikləri zaman süzgəc və ya rəqs konturları əmələ gətirirlər.

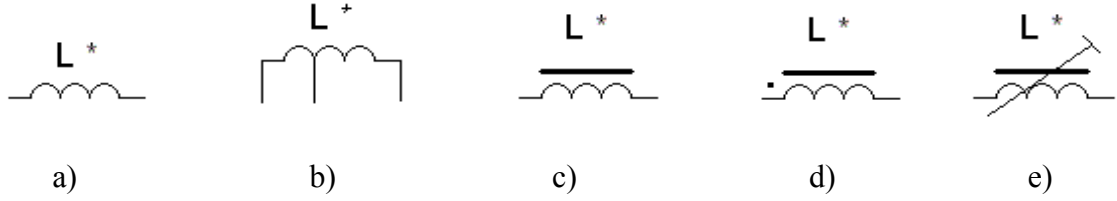
Şəkil 1.12,b-də bir neçə uclara malik olan induktivliyin işarəsi göstərilmişdir. Bəzən dolağın çıxışlarının sayı bir neçə onluqlara çatır. Sxemlərdə həm də çıxışların sıra sayını göstərirlər. Elektron qurğuların konstruksiya edilməsi zamanı bunu nəzərə alırlar, çünki induktivliyin dolağının sarınma istiqaməti çox vaxt qurğuların düzgün işləməsinə təsir edir.

Şəkil 1.12, c - də içlikli (dolaq boyunca göstərilmiş xətt) dolaq göstərilmişdir. İçliyi adətən elektrotexniki materialdan, müxtəlif növ ferromaqnit ərintilərdən, dəmir birləşmələrinin tozundan hazırlanmış ferritdən və digər tipli induktivliyə güclü təsir edən maqnit materialdan hazırlayırlar. İçlik çubuq və ya halqa (toroidal) şəklində ola bilər. Belə induktivlikləri drossel adlandırırlar.

Şəkil 1.12, d - də solda nöqtə ilə işarələnmiş eyni drossel göstərilmişdir. Bu nöqtə drosselin məftilinin dolanmasının başlanğıcını işarələmək üçün qoyulur.

Şəkil 1.12, e - də köklənən induktivliyin işarələnməsi göstərilmişdir. Əvvəlcədən köklənmiş sxemlərdəki köklənən elementlərə toxunmamaq məsləhət görülür, çünki bunun üçün xüsusi alətlər olmalıdır.

İnduktivliyin ölçü vahidi Hn (henridir), hansı ki, çox böyük vahiddir, ona görə də adətən mHn (millihenri) və çox vaxt mkHn (mikrohenri) istifadə olunur.



Şəkil 1.12. İnduktivlik sarğalarının qrafiki işarələnməsi.

Radioaparaturada geniş tətbiq olunan induktivlik sarğalarının (adi sarğaclər, drossellər və induktivliklər) görünüşü şəkil 1.13-də verilmişdir.



Şəkil 1.13. İnduktivlik sarğalarının görünüşü

1.3.6. Transformatorlar. Transformatorlar elektrik enerjisini transformasiya edən (ötürən) qurğulardır. Transformatorlar bir qiymətə malik olan dəyişən gərginliyi digər gərginliyə çevirirlər, ona görə də ya azaldıcı, ya da yüksəldici transformatorlar olur. Əsasən qida mənbələrində istifadə olunan azaldıcı transformatorlar daha geniş yayılmışdır.

Şəkil 1.14,a -da iki dolağa - birinci və ikinci dolaqlara malik olan transformatorun qrafiki işarələnməsi göstərilmişdir. Dolaqlar arasında göstərilmiş xətt maqnit içliyin olmasını göstərir. İçliyi hazırlamaq üçün adətən, T-şəkilli, III – şəkilli lövhələr, ya da ki, toroidal transformatorlarda lent və ferrit tətbiq olunur. Müxtəlif dolaqların məftilləri biri-birindən elektrik cəhətdən izole olunurlar, lakin bitişik ümumi dolaqlar da olur.

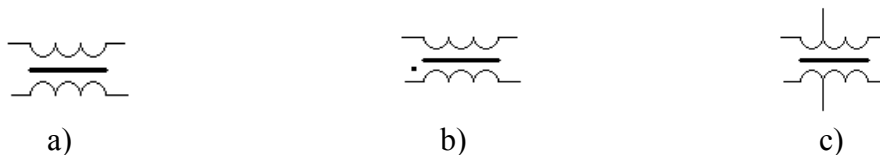
Şəkil 1.14, b - də dolağının başlanğıcı qeyd olunan transformator göstərilmişdir. Belə işarələmə əsasən impuls transformatorlarına xasdır. Şəkil 1.14, c - də birinci və ikinci dolaqlarında əlavə çıxışları olan transformator verilmişdir. Azaldan transformatorunda, bu birinci dolağa azalmış gərginliyin (məsələn, 220V əvəzinə 110V) qoşulması üçün nəzərdə tutulmuş, çıxış ikinci dolaqda isə müxtəlif gərginliklərin, yaxud ikiqütblü qida gərginliyinin alınması üçün nəzərdə tutulmuş ola bilər.

Geniş tətbiq olunan azgüclü transformatorların görünüşü şəkil 1.15 - də verilmişdir.

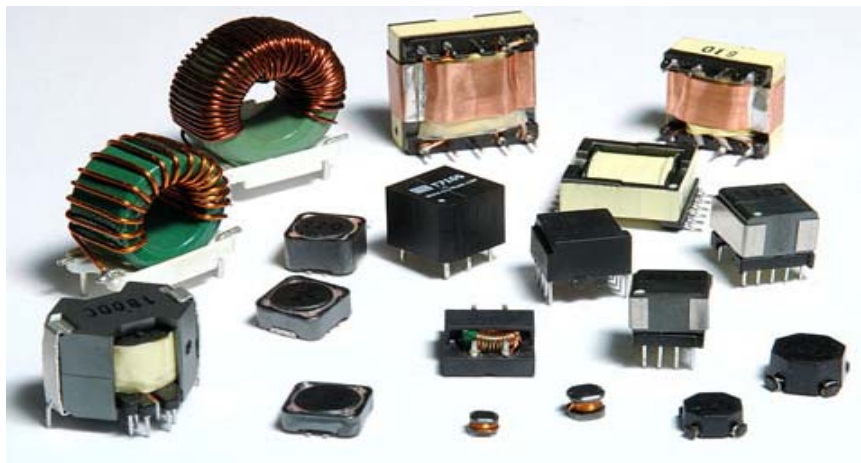
Transformatorların əsas parametri gərginliyin transformasiyasıdır (bir gərginliyin digərinə çevrilməsidir, məsələn, 220V dəyişən gərginliyin 12V dəyişən gərginliyə çevrilməsidir). Digər əsas parametrləri hesablandığı nominal güc, birinci dolaqdakı gərginliyin ikinci dolaqdakı gərginliyə nisbəti ilə təyin olunan transformasiya əmsalı, işçi tezliyi və dolaqlardakı cərəyan şiddətləridir.

Bütün elektron qurğuları elektron cihazları əsasında qurulur. Bu qurğuların işini yaxşı başa düşmək onların düzgün təhlilini və hesabətini aparmağı, həmin qurğulardakı cihazların iş prinsipini dərinləndirən başa düşməyi tələb edir. Ona görə də elektron cihazlarının nisbətən ətraflı təsviri ayrıca olaraq 2-ci fəsildə verilmişdir.

Elektron sxemlərin əsas elementlərinin və komponentlərinin şərti qrafiki işarələri əlavə 1-də verilmişdir.



Şək. 1.14. Transformatorların qrafiki işarələnməsi



Şək. 1.15. Transformatorlar.

FƏSİL 2. ELEKTROVAKUUM CİHAZLARI

2.1. Ümumi məlumatlar

Daxilində vakuumda, və ya, qazda hərəkət edən elektronların, yaxud, ionların hərəkəti hesabına elektrik keçiriciliyi yaranan cihazları elektrovakuum cihazları adlandırırlar. Elektrovakuum cihazları *elektron-idarə olunan lampalara, elektron-şüa və qaz boşalmalı cihazlara* bölünürlər.

İstənilən elektrovakuum cihazının əsas konstruktiv elementləri balonun (qaz keçməyən örtüyün) daxilində yerləşdirilmiş elektrodlardır. Elektrodlar, elektronları (ionları) emissiya edən (buraxan), yaxud yığan, ya da onların bir elektroddan o biri elektroda hərəkətini idarə edən naqillərdir. Təyinatından asılı olaraq elektrovakuum cihazlarının elektrodları katod, anod və idarəedici elektrodla bölünürlər. Katod bu cihazlarda elektronlar mənbəyidir. Anod sürətləndirici elektrod olub çıxış elektrodu və əsas kollektor (yığıcı) rolunu oynayır. İdarəedici elektrod, əsas elektron selini idarə etmək üçün nəzərdə tutulmuş elektroddur. Əgər idarəedici elektrod tor şəklində hazırlanıbsa, onu idarəedici tor adlandırırlar. Elektrodları sap, müstəvi lövhə, boş silindr və spiral şəklində hazırlayırlar, onları balonun daxilində xüsusi tutqacların üstündə: transverslərdə və slyudada, yaxud keramik izolyatorlarda bərkidirlər.

Elektrovakuum cihazlarının balonları şüşədən, metaldan və ya keramikadan hazırlanmış qaz keçməyən örtükdür (korpustur). Elektron-idarə olunan lampaların balonlarında $10^{-8} \dots 10^{-4}$ Pa vakuum, qazboşalmalı cihazlarının balonlarında isə $10^{-1} \dots 10^4$ Pa seyrəklik yaradılır.

2.2. Elektron - idarə olunan lampaların işinin fiziki əsasları

Elektron-idarə olunan lampalar dedikdə, işi elektrodlarının potensialları ilə fəza yükü ilə məhdudlanmış cərəyanın idarə olunmasına əsaslanan elektrovakuum cihazları başa düşülür. Funksional təyinatına və tətbiq sahələrinə görə elektron-idarə olunan lampalar generator, modulyator, tənzimləyici, gücləndirici, düzləndirici lampalara bölünürlər. Bundan əlavə adi lampalardan bir çox xüsusiyyətləri ilə fərqlənən böyük güclü gücləndirici və ifrat yüksək tezlik diapazonlu lampalar da mövcuddur. Elektrodlarının sayına görə elektron-idarə olunan lampaları diodlara, triodlara, tetrodlara, pentodlara, heksodlara, heptodlara, oktodlara, ennodlara və dekodlara bölürlər.

2.2.1. Elektron emissiyasının fiziki təbiəti. Elektron emissiyası, vakuumda maddənin səthindən ətraf fəzaya elektronların buraxılmasına deyilir. Katodların hazırlandığı metallarda sərbəst elektronlar fasiləsiz xaotik istilik

hərəkətdə olurlar və katodun temperaturundan asılı olan kinetik enerjiyə malikdirlər. Adi temperaturlarda elektronun öz enerjisi onun metaldan çıxmasına kifayət etmir.

Elektronun metaldan vakuuma çıxması üçün yerinə yetirilən işə çıxış işi deyilir. Bu iş metalların və onlardan hazırlanan katodların emissiya qabiliyyətini xarakterizə edir. Elektronların məcburi emissiyasının yerinə yetirilməsi üçün verilən əlavə enerjinin növündən asılı olaraq termoelektron, avtoelektron, fotoelektron və ikinci elektron emissiyası mövcuddur.

Yalnız metalın (elektrodun) qızdırılması hesabına baş verən emissiya *termoelektron emissiyası* adlanır. Metalın qızdırılması hesabına elektronların kinetik enerjisi və sürəti artır. Müəyyən temperaturda elektronun enerjisi metaldan çıxmağa kifayət edir və elektron metalın səthini tərk edir. Elektronidarə olunan lampalarda geniş istifadə olunan termokatodların işi termoelektron emissiyası hadisəsinə əsaslanmışdır.

Elektronların, optik diapazonlu elektromaqnit şüalanmaların (fotonların) təsiri ilə baş verən emissiyası *fotoelektron emissiyası* adlanır. Elektrovakuum fotoelementlərinin iş prinsipi fotoelektron emissiyası hadisəsinə əsaslanmışdır.

Avtoelektron emissiya, güclü elektrik sahəsinin təsiri altında metaldan elektronların emissiyasına deyilir. Bu növ emissiya civəli ventillərdə və bəzi qazboşalma cihazlarında tətbiq tapır.

İkinci elektron emissiyası, metalın səthinin bombardman edilməsi zamanı onun səthindən elektronların emissiya edilməsini adlandırırlar. İlkin adlanan elektronlar metalın səthində dəydikdə öz enerjisini səthdəki elektronlara verir. Bu halda səthdəki elektronlar əlavə enerjinin hesabına bombalanan səthi tərk edirlər. Bu hadisə hesabına emissiya olunan elektronlar ikinci elektronlar adlanırlar.

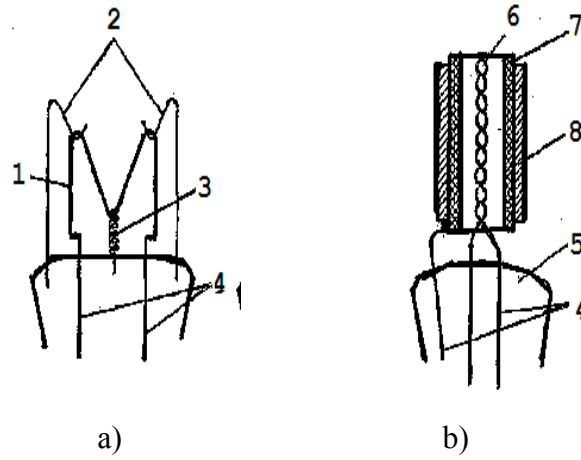
2.2.2. Termoelektron katodlar. Termoelektron emissiyası almaq üçün elektrovakuum cihazının katodunu müəyyən temperatura qədər qızdırırlar. Qızdırılma üsuluna görə termokatodlar birbaşa və dolayısı yolla közərdilən katodlara bölünürlər (şək. 2.1). Birbaşa közərmə katodu bilavasitə ondan keçən cərəyanın hesabına qızdırılır. Dolayısı qızdırılma katodunu qızdırmaq üçün ondan izolə edilmiş, metal sap şəkilli xüsusi qızdırıcı katoddan (hansından ki, cərəyan buraxılır) istifadə olunur.

Termokatodlar hazırlandığı materialın növünə görə təmiz metallardan hazırlanan, aktivləşdirilmiş (örtüklü) və yarımkəçirici katodlara bölünürlər.

Təmiz metallardan hazırlanan katodlar birbaşa közərdilmə katodlarıdır, onları əsasən, ərimə temperaturu 3410°C olan volframdan hazırlayırlar.

Aktivləşdirilmiş katodları, üstünə çıxış işi volframın işindən az olan materialdan örtük çəkilmiş volfram əsası şəklində hazırlayırlar.

Yarımkəçirici katodlar, üstünə nazik oksid təbəqəsi çəkilmiş volfram və ya nikel əsası şəklində hazırlayırlar. Belə katodları oksidli də adlandırırlar. Oksidli katodlar ən yüksək emissiya qabiliyyətinə malikdirlər.



Şək.2.1. Katodların konstruksiyası:

a – birbaşa közərdilən, b –dolay yolla közərdilən:
 1- katod, 2 – sapın tutqacı, 3 –dartma yayı, 4 – çıxışlar,
 5 – şüşə əsas, 6 – közərmə teli, 7 – nikel silindr, 8 – oksid təbəqəsi

2.2.3. Elektron lampalarının iş prinsipi. Elektron-idarə olunan lampada katoddan emissiya edilmiş elektronların istiqamətlənmiş selini (lampanın işçi cərəyanını) yaratmaq üçün elektrik sahəsinin olması vacibdir.

İki elektrodlu lampanın – diodun misalında lampanın daxilində cərəyan yaranma mexanizminə baxaq (şək.2.2,a). Anodu gərginliyi U olan elektrik qida mənbəyinin “+” qütbünə, katodu isə “-” qütbünə qoşsaq emissiyadan sonra katod ətrafında yaranmış elektronların katoddan anod istiqamətinə hərəkət etməsi hesabına cərəyan yaranır. Anoda mənfi potensial, katoda isə müsbət potensial versək lampanın daxilində cərəyan yaranmır. Əgər elektrodlar arasındakı d məsafəsi onların xətti ölçüləri ilə müqayisədə azdırsa onda lövhələr (elektrodlar) arasında yaranan elektrik sahəsinə bircins hesab etmək olar. Bu sahənin gərginliyi $E = U/d$, qüvvə xətləri isə anoddan katoda yönəlmişdir. $F = eE$ qüvvəsinin təsiri altında katoddan emissiya olunmuş elektronlar bərabər təcillə anoda doğru hərəkət edirlər. Bir elektronun hərəkətinə sərf olunan iş (enerji) $A_{a-k} = Fd = eEd = eU$ (burada e elektronun yüküdür) ilə təyin olunur. Elektrovakuum diodlarının yarımkəçiricilərdən fərqi ondan ibarətdir ki, bu diodlarda əks cərəyan yoxdur. Elektrovakuum diodunun anod cərəyanının anod gərginliyindən asılılığını göstərən volt-amper xarakteristikası (VAX) şəkil 2.2.b - də verilmişdir.

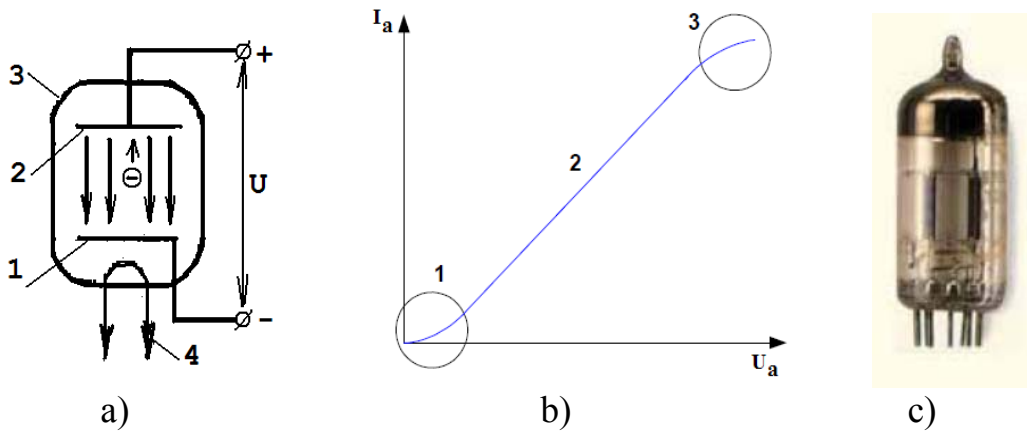
VAX üzrə (şək.2.2,b) cərəyanın dəyişmə mexanizminin nəzərdən keçirək:

Qeyri-xətti sahə (sahə 1) cərəyan yavaş dəyişir, bu da emissiya hesabına katoddan uçub çıxmış elektronların hesabına yaranmış mənfi həcmi elektrik yükünün anod sahəsinə əks təsir etməsi ilə izah olunur.

Xətti sahə (sahə 2) kifayət qədər böyük anod elektrik sahəsinin hesabına həcmi elektrik sahəsinin təsiri azalır və cərəyan anod gərginliyindən xətti asılı olaraq dəyişir.

Doyma sahəsində (sahə 3) gərginlik artdıqca cərəyan artımı yavaşdır və sonra tamam dayanır, katoddan çıxan elektronların hamısı anoda çatdıqda cərəyanın qiyməti artıq dəyişmir.

Məsafə məlum olduqda elektronun katoddan anoda uçub getmə müddətini tapmaq olar. Bu parametr lampaların vacib parametri olub, onun tezlik xassələrini xarakterizə edir. Başlanğıc sürət sıfır olduğundan bərabər təcilli hərəkətdə orta sürət son sürətin yarısına bərabər olur $V_{or} = V_a/2$, onda elektronun katoddan anoda uçub keçmə müddəti $t = 2d/V_a = 2d/(600\sqrt{U})$ olur. Əgər d məsafəsini mm-lərlə, sürəti km/s-lə, zamanı isə saniyə ilə ifadə etsək, elektronun uçub keçmə müddəti $t = 0,33 \cdot 10^{-8} d\sqrt{U}$ kimi olacaq.



Şək.2.2. Elektrovakuum diodu.

- a) Elementləri və qoşulma sxemi: 1- katod, 2 – anod, 3 – şüşə balon, 4 – katodun qızdırıcısının ucları; b) Volt-amper xarakteristikası: 1 – qeyri-xətti sahə, 2 – xətti sahə, 3 – doyma sahəsi; c) elektrovakuum lampasının xarici görünüşü.

Anod gərginliyini onlarla meqahers tezliklərə qədər dəyişdikdə, gərginliyin dəyişmə periodu (yüzlərlə nanosaniyə) elektronun uçub keçmə vaxtından (nanosaniyə hissələri qədər) çox böyük olduğundan elektron lampasını bu tezliklər üçün ətalətsiz hesab etmək olar.

İfrat yüksək tezliklər (İYT) diapazonunda (yüzlərlə və minlərlə meqahers) anod gərginliyinin dəyişmə periodu elektronların uçub keçmə müddəti ilə eyni həddə olur. Ona görə də lampanın işində bu tezliklərdə elektronların ətalətliliyi öz təsirini göstərməyə başlayır. Bu səbəbdən adi elektron idarə olunan lampaları İYT diapazonda istifadə etmək olmur. Ona görə də İYT diapazonda lampaların xüsusi növü olan nuvistorlar, disk lampaları, klistronlar, qaçan dalğa lampaları, maqnetronlar və s. istifadə olunur.

2.2.4. Triod və onun xarakteristikaları. Üç elektrodlu elektron lampası *triode* adlanır. Triodun quruluşu, onun qrafiki işarələnməsi və triod əsasında gücləndirici sxemi şəkil 2.3-də verilmişdir. Dioddan fərqli olaraq triodda, lampadan keçən cərəyanı idarə etmək məqsədilə katod və anod aralığına idarəedici elektrod adlanan torşəkilli üçüncü bir elektrod daxil edilir. Tor, katodu əhatə edən spiral, yaxud da metal tor şəklində olur və katoda yaxın məsafədə yerləşdirilir (şək. 2.3,a). Anod və tor dövrlərindən uyğun olaraq \dot{I}_a anod və \dot{I}_t tor cərəyanları axır. Bir çox hallarda triod torun mənfi gərginliyində işlədiyindən $\dot{I}_t=0$ olur və lampadan ancaq anod cərəyanı keçir. Tor potensialının müsbət qiymətlərində anodun və torun elektrik sahə intensivlikləri eyni istiqamətli olduğundan, yekun elektrik sahəsi güclənir və vahid zamanda anoda çatan elektronların sayı artır, bu isə anod cərəyanının artması deməkdir. Tor potensialının böyük müsbət qiymətlərində tor cərəyanı da mövcud olur ki, bundan radiotexnikada bir sıra məqsədlər üçün istifadə edilir. Tor potensialının mənfi qiymətlərində isə bu sahələr bir – birinin əksinə yönəldiyindən yekun elektrik sahəsi zəifləyir və buna uyğun olaraq anod cərəyanı azalır. Tor potensialının kifayət qədər böyük mənfi qiymətində lampadan keçən cərəyan sıfıra bərabər olur, yəni lampa tamamilə «bağlanır». Potensialın bu qiyməti lampanın *bağlayıcı potensialı* adlanır. Tor potensialı sıfıra bərabər olduqda isə triod lampası elə diod kimi işləyir. Beləliklə, triodun anod cərəyanı katodun sabit temperaturunda iki gərginliyin: U_t – tor və U_a – anod gərginliklərinin funksiyasıdır:

$$I_a = f(U_t, U_a)$$

Torun triodun işinə təsirini nəzərdən keçirək:

1) $U_t = 0$; $\dot{I}_t = 0$; $\dot{I}_{a1} > 0$. Torda gərginlik sıfır olduqda tor anod sahəsinə təsir göstərmir və anod dövrəsində bu hala uyğun olan \dot{I}_{a1} cərəyanı axır.

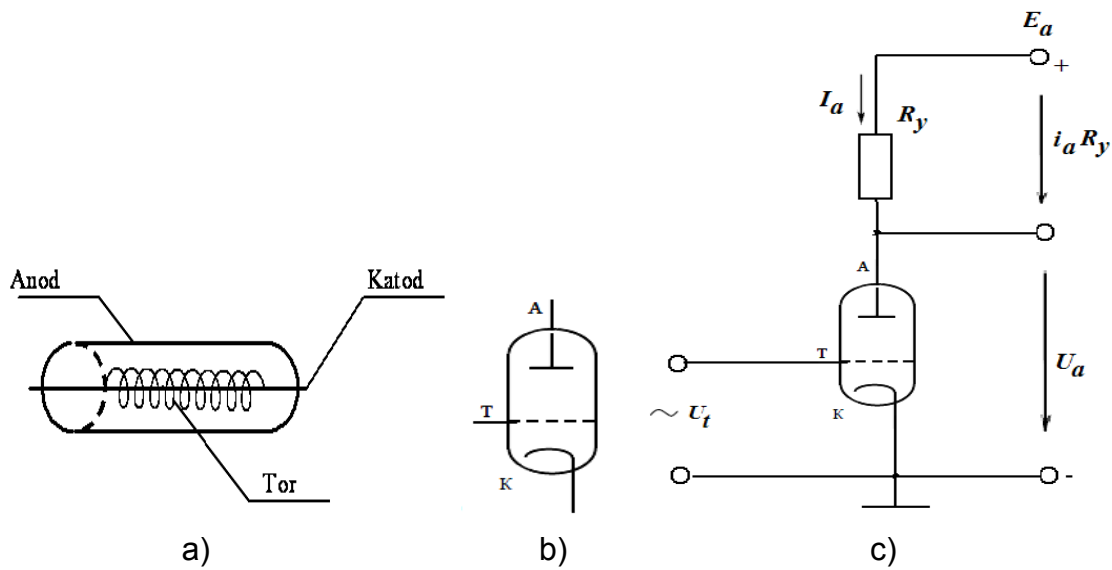
2) $U_t > 0$; $\dot{I}_t > 0$; $\dot{I}_{a2} > \dot{I}_{a1} > 0$;. Bu halda tordakı gərginlik müsbət olduğundan, tor və katod arasında sahə gərginliyi xətləri anodda olduğu kimi katoda yönəlmiş tor sahəsi yaranır. Sahənin elektronlara yekun təsiri güclənir, və

anod cərəyanı artır. Müsbət yüklənmiş tor elektronların bir hissəsini tutur, və nəticədə tor cərəyanı yaranır \dot{I}_t .

3) $U_t < 0$; $\dot{I}_{a3} < \dot{I}_{a1}$. Tora mənfi gərginlik verdikdə, bu sahə anod sahəsinə əks təsir edəcək və bu hesaba anod cərəyanı azalacaq.

4) $U_t \ll 0$; $\dot{I}_{a4} = 0$. Tora böyük mənfi gərginliklər tətbiq edildikdə katod və tor arasında o qədər güclü tormozlayıcı elektrik sahəsi yaranır ki, nəticədə katoddan ayrılmış elektronlar yenidən katoda sıxılmış olacaqlar, və nəticədə anod cərəyanı sıfır olacaq.

Anod cərəyanını sıfıra çevirən tor gərginliyi bağlama və ya kəsmə gərginliyi adlanır.



Şək. 2.3. Triod: a) konstruksiyası, b) sxemlərdə işarələnməsi və c) onun əsasında gücləndirici

Göründüyü kimi torda gərginliyi dəyişməklə anod cərəyanını idarə etmək olar, və ona görə də tor idarəedici elektrod adlanır.

Qeyd edək ki, $U_t = \text{const}$ olan halda $I_a = f(U_a)$ asılılığı triodun *statik anod xarakteristikası*, $U_a = \text{const}$ olduqda $I_a = F(U_t)$ asılılığı isə *statik anod – tor xarakteristikası* adlanır. I_t tor cərəyanının U_t tor gərginliyindən asılılığına, yəni $I_t = f(U_t)$ *tor xarakteristikası* deyilir.

Triod lampasının aşağıda sadalanan çatışmayan cəhətləri vardır:

1) Triodun daxili müqaviməti çox da böyük olmadığından bir tərəfdən onun statik gücləndirmə əmsalı böyük deyil, digər tərəfdən isə anod dövrəsində yük müqaviməti olaraq paralel rəqs konturundan istifadə edildikdə (məsələn, yüksək tezlik gücləndiricilərində) onu şuntlayaraq konturun rezonans xassələrini pozur;

2) Triodun keçid tutumunun nisbətən böyük qiymətə malik olması ondan radiosiqnalları gücləndirmək məqsədilə istifadə etməyi məhdudlaşdırır; bu tutum lampadan keçən cərəyan və idarəedici gərginlik arasında faza sürüşməsi yaradır ki, bu da lampanın yüksək tezliklərdə işləməsini çətinləşdirir. Bu çətinliyi keçid tutumunu azaltmaqla aradan qaldırmaq olar. Buna isə elektrodlar arasındakı məsafəni artırmaqla və tor-anod aralığına əlavə elektrod daxil etməklə nail olmaq olar;

3) Triodda ancaq bir tor olduğundan, elektron selini ancaq bir dəyişən gərginlik vasitəsilə idarə etmək olur. Lakin çoxelektrodlu lampalara keçməklə onların girişlərinə eyni zamanda bir neçə dəyişən gərginliklər verib onlardan keçən cərəyanları idarə etmək və beləliklə, lampanın müxtəlif funksiyalar yerinə yetirməsinə nail olmaq olur (məsələn, cəmləyicilərdə, EHM-da, tezlik vurucularında, tezlik çeviricilərində və s. belə lampalardan istifadə oluna bilər). Göstərilən çatışmazlıqları aradan qaldırmaq üçün idarəedici torla anod aralığına əlavə bir tor da daxil edilir. Bu torun vəzifəsi anodun katoda elektrostatik təsirini ekranlamaq olduğundan, *ekranlayıcı tor* adlanır. Ekranlayıcı torun sıxlığını dəyişməklə onun ekranlayıcı təsirini idarə etmək mümkün olur.

Bu yolla alınan lampa dördelektrodlu elektron lampası, yaxud *tetrod* adlanır. Bu lampalarda anod gərginliyinin müəyyən bir qiymətində anoda düşən elektronların enerjiləri anodun səthindən ikinci elektron emissiyası hadisəsi hesabına elektronların çıxaraq ekranlayıcı torun səthinə düşməsi, bunun nəticəsində isə anod cərəyanının azalması və tor cərəyanının artması ilə müşayiət olunan və *dinatron effekti* adlanan hadisə baş verir. Arzuolunmaz bu effekti iki yolla: 1) anodla ekranlayıcı tor aralığında mənfi həcmli yüklər yaratmaqla; 2) ekranlayıcı torla anod aralığına üçün əlavə bir elektrod – üçüncü tor daxil etməklə aradan qaldırmaq mümkün olur.

Üçüncü tora malik olan lampa beş elektrodlu lampa, yaxud, *pentod* adlanır.

Yuxarıda göstərilən elektron lampaları ilə yanaşı, radioelektron sxemlərini daha yığcam hazırlamaq məqsədilə bir balonun içərisində bir neçə lampa yığılır. Bunlar mürəkkəb lampalar adlanır. Belə lampalara misal olaraq ikiqat diod, ikiqat triod, diod – pentod, triod – pentod və s. lampaları göstərmək olar.

Elektron lampalarını tətbiq sahələrinə görə aşağıdakı qruplara ayırmaq olar:

1) **D ü z l ə n d i r i c i l a m p a l a r** – bu məqsədlə əsasən diod lampalarından istifadə edilir.

2) **Q ə b u l e d i c i – g ü c l ə n d i r i c i l a m p a l a r** – alçaq və yüksək tezliklərdə gücləndirmədə, detektətmədə və tezlik çeviricilərində istifadə

olunur. Detektətmədə əsasən dioddan, gücləndirmədə triod və pentoddan, tezlik çeviricilərindən isə pentod və heptodlardan istifadə edilir.

3) **G e n e r a t o r l a m p a l a r ı** – güclü elektromaqnit rəqsləri generasiya etmək məqsədilə işlədilir. Bunlar xüsusi konstruksiyalı triod, tetrod və pentod lampalarıdır.

4) **B ö y ü k g ü c l ü g ü c l ə n d i r i c i l a m p a l a r** – radioverici qurğularda alçaq tezlikli modullaşdırıcı siqnalları gücləndirmək üçün istifadə edilir. Bu məqsədlə triod və tetrod lampaları işlədilir.

5) **İ f r a t y ü k s ə k t e z l i k l i** (İYT) siqnalların generasiyasında və gücləndirilməsində istifadə olunan xüsusi konstruksiyalı elektrovakuum cihazları – buraya klistronlar, maqnetronlar, qaçan dalğa lampaları və s. daxildir.

2.2.5. Güclü elektron lampalarının xüsusiyyətləri. Hal-hazırda elektron lampalarını əsasən, yüzlərlə kilovat gücünə çatan böyük güclü elektrik rəqslərinin generasiyası və gücləndirilməsi üçün tətbiq edirlər. Lakin bununla yanaşı bir çox çatışmayan cəhətlərinə (böyük kütləsi, ölçüləri və sərf etdiyi güc) baxmayaraq miniatur elektron lampalar məxsusi küylərinin az olması və statik xarakteristikalarının geniş diapazonda yüksək xəttiliyə malik olması, xarakteristikalarının dikliyinin böyük olması nəzərə alınaraq bəzi xüsusi təyinatlı aparaturada yenə də tətbiq olunmaqdadırlar. Güclü elektron lampaları böyük anod gərginliklərində (10 kV - lara qədər) və böyük anod cərəyanlarında (100 - lərlə amperlərə qədər) işləyirlər.

Təyinatına görə güclü lampaları generator və modulyator lampalarına bölürlər. Generator lampaları yüksək tezlikli rəqslərin gücləndirilməsi və generasiya edilməsi üçün nəzərdə tutulub. Rəqs generatorlarının yükü, sinusoidal gərginliyi anod cərəyanının impulsunun birinci harmonikasını və rəqs konturunun rezonans müqaviməti ilə təyin olunan rəqs konturudur. Bir qayda olaraq belə lampalar idarəedici elektrodunda gərginlikləri müsbət oblasta sürüşmüş anod-tor xarakteristikalarına malik olurlar. Modulyator lampaları yüksək tezlikli rəqsləri modulyasiya edən aşağı tezlikli rəqslərin gücləndirilməsi üçün nəzərdə tutulub. Bu lampalar siqnalların təhrifsiz gücləndirilməsini təmin etməlidirlər, ona görə də torları mənfi gərginlik qiymətləri oblastında işləyirlər.

Güclü lampaların işi onların elektrodlarının qızdırılması və onların məcburi soyudulması zərurəti ilə əlaqəlidir. İstiliyin ötürülməsi üsulundan asılı olaraq hava ilə, su ilə və buxarla soyudulma üsulları tətbiq edilir.

Hava ilə soyudulmanı gücü 100 kVt - a qədər lampalarda tətbiq edirlər. Belə lampalarda anod misdən hazırlanır və konstruktiv olaraq şüşə balonda, yaxud, keramik balonda yerləşir. İstilik ötürməni artırmaq üçün anodun xarici səthini tilli düzəldirlər. Hava ilə soyutma anodun temperaturunu 250°C-yə qədər azaltmağa imkan verir.

Su və buxarla soyudulmanı gücü 100 kVt - dan çox olan lampalarda tətbiq edirlər. Su ilə soyudulma anodun temperaturunu 120°C-yə qədər azaltmağa imkan verir.

Metrlik və desimetrlik radio dalğalar diapazonunda işləmək üçün minimal məxsusi induktivliyə malik olan diskli koaksial çıxışları olan güclü lampalar işlənilib hazırlanıbdır. Güclü radiovericilərdə ayrı-ayrı detallarının dəyişdirilməsinə və eyni zamanda bahalı güclü lampaların xidmət müddətini artırmağa imkan verən sökülüb quraşdırılan lampalar daha geniş tətbiq tapırlar.

2.3. Elektron-şüa boruları

Elektron – şüa boruları (EŞB), daxilində elektron şüası hesabına elektrik siqnallarını görünən işıq siqnallarına çevirmək üçün nəzərdə tutulan cihazlardır.

EŞB - də katoddan emissiya olunan elektron seli elektrik və ya maqnit sahəsinin təsiri ilə nazik elektron şüası şəklinə salınaraq ekrana yönəldilir.

EŞB - də elektron şüasının böyük sürətlə hərəkət edən elektronları ekranın daxili səthinə çəkilməmiş lüminofor təbəqəsinin səthinə bombalayaraq ondan elektronları ayırır və bunun nəticəsində həyəcanlanmış atomlar öz normal halına qayıtdıqda işıq kvantları şüalandırır. Bombalanma nəticəsində elektronların səthdən qopub ayrılması prosesi ikinci elektron emissiyası adlanır. Elektron şüası ekran boyunca hərəkət etdirildikdə, onun hərəkət trayektoriyası boyunca işıq izi alınır.

Elektron şüasının fokuslanma və meyl etdirmə üsulundan asılı olaraq EŞB -ləri aşağıdakı növlərə bölürlər:

- elektron şüası elektrik sahəsi ilə fokuslanan və meyl etdirilən *elektrostatik idarəli (elektrostatik)*;

- elektron şüası maqnit sahəsi ilə fokuslanan və meyl etdirilən *maqnit idarəli*;

- elektron şüasının fokuslanması və meyl etdirilməsi sistemi kombinə edilmiş olan.

Təyinatına görə EŞB-ləri aşağıdakı əsas qruplara bölürlər:

- Elektrik siqnallarının ossilloqramları müşahidə etməyə xidmət edən *ossilloqrafik EŞB-lər*. Bu EŞB-lər ölçmə texnikasında tətbiq olunurlar;

- RLS-lərdə və radionaviqasiya qurğularında elektrik siqnallarının qeydə alınması üçün nəzərdə tutulan *indikator EŞB-lər*;

- Televiziya siqnallarını işıq təsvirinə çevirmək üçün tətbiq olunan *kineskoplər*;

- Yazma və informasiyanın yadda saxlanması üçün istifadə olunan *yaddaş EŞB-ləri*; Radiolokasiyada və hesablama texnikasında tətbiq olunur.

- Optik təsvirləri elektrik televiziya siqnallarına çevirmək üçün nəzərdə tutulmuş *ikonoskoplar – ötürücü televiziya boruları*.

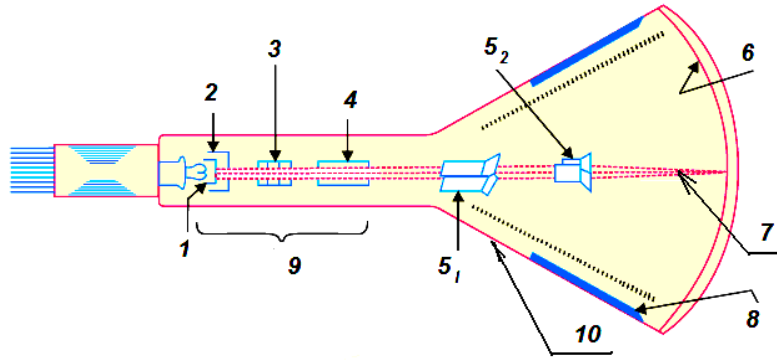
2.3.1. Elektrostatik idarəli EŞB. Tərkibinə borunun oxu boyunca yönəlmiş nazik elektron şüası yaradan elektron puşkası (lülə); elektron şüasının istiqamətini dəyişmək üçün nəzərdə tutulan meyletdirici sistem; elektron şüa ilə bombalama zamanı işıqlanma qabiliyyətinə malik olan ekran daxildir. EŞB -lərdə boru, daxilində vakuum səviyyəsi 10^{-6} Pa - dan çox olan şüşə balondur (şək. 2.3.) .

Elektron puşka (yaxud elektron proyektor), nazik elektron seli (elektron şüa) almağa imkan verən elektrodlar sisteminə deyilir. Elektron puşka kolbanın dar (boğaz) hissəsində yerləşdirilir və 1 - qızdırılan katoddan, 2 - idarəedici elektrodan (modulyatordan) 3 - birinci və 4 – ikinci anoddan ibarətdir. Katod böyük olmayan, qızdırılma zamanı elektronlar buraxan, içərisi aktivləşdirilmiş təbəqə ilə örtülmüş nikelli silindr şəklində hazırlanmışdır. Adətən EŞB-lərdə oksidli katodlar tətbiq olunur. İdarəedici elektrod (modulyator) katodun ətrafında yerləşmişdir, dibində balaca deşik (diafraqma) olan nikel silindr şəklində hazırlanıb. Modulyator elektron-idarə olunan lampalardakı tora analoji olaraq işləyir və şüanın cərəyan şiddətini tənzimləmək üçün nəzərdə tutulub. Modulyatora katoda nəzərən 0 ... 30V həddində mənfi gərginlik verilir. Bu gərginlik hesabına yaranan elektrik sahəsinin təsiri ilə katoddan emissiya olunmuş elektronlar borunun oxuna tərəf sıxılırlar (yönəldilirlər) və bu elektronlar modulyatordan hər hansı bir məsafədə bir nöqtədə cəmlənilirlər. Bunun nəticəsində elektron şüasının ilkin fokuslanması yerinə yetirilir. Bundan əlavə katod və idarəedici elektrod arasındakı elektrik sahəsi elektronlar üçün tormozlayıcı olub, onların bəzilərini geriye katoda itələyirlər. Deməli modulyatordakı gərginliyi tənzimləməklə elektron şüanın sıxlığını dəyişmək olar. Bu cür tənzimləmə borunun ekranındakı işıqlanan ləkənin parlaqlığının dəyişməsinə səbəb olur.

İki anod sistemi elektronların katoddan anoda tərəf hərəkətini və onların sonradan nazik şüaya fokuslanmasını təmin edir. Anodlar içi boş metal silindrlər şəklində hazırlanmışdır. Birinci anodun diametri ikinci anodun diametrindən kiçikdir və çoxlu sayda diafraqmalarla təchiz olunur. Elektronların kifayət qədər sürətini almaq üçün anodlara böyük müsbət gərginlik verilir: birinci anoda yüzlərlə volt, ikinci anoda isə bir neçə kilovoltlarla gərginlik verilir.

Katodun, modulyatorun və anodların fərqli potensialları öz təsirinə görə iki elektron linzaya oxşar qeyri bircins elektrik sahəsi yaradır, Bu elektron linzalardan biri modulyator və birinci anod, ikinci isə anodlar arasında yerləşir. Ona görə də EŞB-nin, elektronların fokuslanmasını yerinə yetirən anodlar sistemi elektrostatik linza adlanır. Linzanın toplayıcı təsiri səpələyici təsirindən

çoxdur. Birinci anoddakı gərginliyi dəyişməklə anodlar arasındakı elektrik sahəsini dəyişərək fokus nöqtəsinin borunun boyunca yerini dəyişmək olar.



Şək. 2.3. Elektrostatik idarə olunan elektron-şüa borusu:

- 1- katod; 2 - idarəedici elektrod (modulyator) ; 3 – birinci (fokuslayıcı) anod ; 4 - ikinci (sürətləndirici) anod; 5₁ – şaquli meylətdirici lövhələr ; 5₂ – üfüqi meylətdirici lövhələr 6 - ekran (lüminofor) ; 7 – elektron şüa ; 8 - akvadaq (qrafit təbəqə); 9-elektron proyektor (puşka) ; 10 – şüşə balon.

Meylətdirici lövhələr (5₁ və 5₂) elektron şüanın fəza vəziyyətini idarə edir. Onlar qarşılıqlı perpendikulyar yerləşmişlər və şüanın meyl etdirilməsi üçün biri-birinə paralel olan lövhələr cütü arasında elektrik sahəsi yaratmaq məqsədilə lövhələrə gərginlik verilir. Ləkənin ekranda sürüşməsi $h = k \cdot U$ təşkil edir, burada U – tətbiq olunan gərginlik, k – lövhənin həssaslığıdır.

EŞB-nin ekranı elektron dəstəsi ilə bombalanan zaman işıqlana bilən maddədən (6-lüminofordan) ayrılan elektronlar boruya yapışaraq (oturaraq) onda mənfi yük yaradır. Bu yük böyük qiymətlərə qədər arta bilər və borunun normal iş rejimini poza bilər. Bunun qarşısını almaq üçün borunun daxili səthi 8 - akvadaq adlanan elektrik keçirici təbəqə ilə örtülmüşdür və bu təbəqə ikinci anodla birləşmişdir. Bu təbəqəyə birinci elektronların bombalaması hesabına ekrandan buraxılan ikinci elektronlar cəzb olunur, bununla da yüklərin ekrandan aralanması əldə olunur.

Akvadaq elektrostatik ekran rolunu oynayır. O elektron selini xarici elektrik sahələrinin təsirindən qoruyur, borunun ikinci anodu ilə birləşir və onunla birlikdə torpaqlanır.

2.3.2. Elektromaqnit idarəli EŞB. Elektrostatik idarəli EŞB-lər indikatorlar (ossilloqraf, radiolokator və hidrolokatorların indikatorları, havadakı və suüstü informasiyanın emalı qurğularının displeyləri) kimi tətbiq olunurlar.

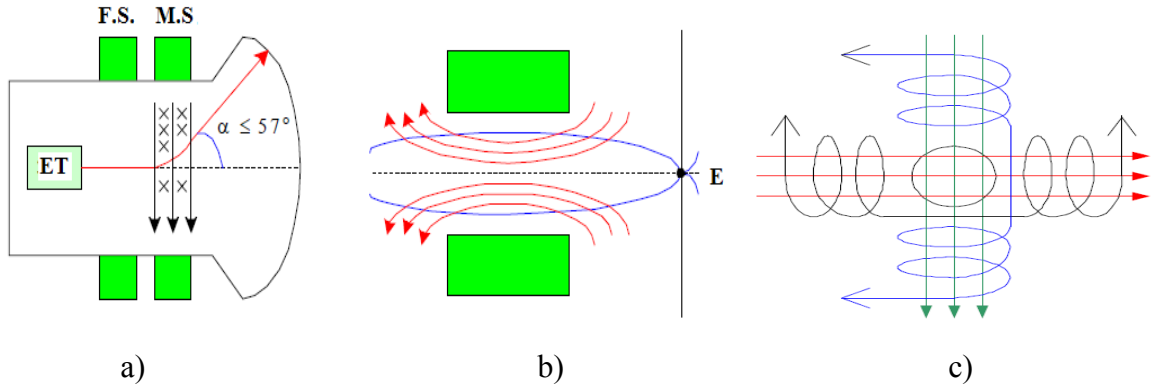
Elektromağnit borular elektrostatikdə olduğu kimi elektron topa malikdirlər. Fərq ondan ibarətdir ki, birinci anodun gərginliyi dəyişmir, və anodlar yalnız elektron selinin sürətləndirilməsi üçün nəzərdə tutulmayıb. Bundan əlavə elektron selinin fokuslanması üçün fokuslayıcı (FS), elektron şüasının meyl etdirilməsi üçün isə meyletdirici sarğaclardan (MS) (şək. 2.4,a) ibarət olan maqnit meyletdirici sistem istifadə olunur.

Maqnit meyletdirici sistem EŞB - nin xaricində, boğazında yerləşdirilmiş iki sarğacla cütündən ibarətdir. Hər bir sarğac cütündən cərəyan buraxıldıqda hər bir sarğacdakı cərəyanın istiqamətindən asılı olaraq şüa bu və ya digər istiqamətdə meyl edəcək. Hər bir sarğac cütü borunun oxuna və digər sarğac cütünün sahəsinə perpendikulyar olan praktiki olaraq bircins maqnit sahəsi yaradır.

Elektron şüasının fokuslanması FS – fokuslayıcı sarğac vasitəsilə yerinə yetirilir. FS sıralanmış sarğılardan ibarət olub bir başa borunun boğazına keçirilir. Fokuslayıcı sarğac şəkil 2.4,b - də göstərilmiş maqnit qüvvə xətlərinə malik olan maqnit sahəsi yaradır. Əgər elektronlar EŞB-nin oxu boyunca hərəkət edirlərsə sürət vektoru ilə maqnit qüvvə xətləri arasındakı bucaq sıfır olacaq ($\alpha = 0^\circ$), deməli Lorens qüvvəsi sıfıra bərabərdir. Əgər elektron maqnit sahəsinə bucaq altında daxil olursa, onda Lorens qüvvəsinin hesabına elektronun trayektoriyası sarğacın mərkəzinə meyl edəcək. Nəticədə elektronların bütün trayektoriyaları eyni bir nöqtədə kəsişəcəklər. Fokuslayıcı sarğacın cərəyanını dəyişərək bu nöqtənin yerini dəyişmək olar. Fokuslama zamanı çalışırlar ki, bu nöqtə ekran müstəvisində yerləşsin.

Şüanın meyl etdirilməsi iki meyletdirici sarğacla cütünün yaratdığı maqnit sahələrinin köməyi ilə yerinə yetirilir. Bir sarğac cütü şaquli meyletmə, o biri isə üfüqi meyletmə sarğaclarıdır. Sarğacla mürəkkəb formaya malikdirlər, və elə yerləşdirilirlər ki, onların maqnit qüvvə xətləri EŞB oxu üzərində qarşılıqlı perpendikulyar olsunlar (şək. 2.4,c).

Elektronlar sarğacla arasında uçub keçdikdə onların maqnit sahələrinin təsiri altına düşür, belə ki elektronların trayektoriyası və maqnit qüvvə xətləri arasındakı bucaq 90° ($\sin \alpha = 1$) olduğundan elektrona təsir edən Lorens qüvvəsi maksimal olacaq. Bu Lorens qüvvəsinin təsiri ilə elektronlar çevrənin qövsü boyunca hərəkət edəcək, nəticədə meyletmə bucağı və elektromağnit EŞB-lərin həssaslığı elektrostatikə nisbətən olduqca çox olacaq. Elektromağnit EŞB-lərin bütün qalan elementləri: lüminofor, ekran, akvadaq eynilə elektrostatik EŞB-lərdə olduğu kimidir.



Şək. 2.4. Elektromağnit idarəli EŞB:

a) Quruluşu: ET – elektron puşkası, FS – fokuslayıcı sarğac, MS – meyletdirici sarğac; b) Fokuslayıcı sarğacın maqnit qüvvə xətləri; c) Meyletdirici sarğaclaın maqnit qüvvə xətləri

2.3.3. Kineskoplar. Kineskoplar kombinə edilmiş EŞB olub elektrostatik fokuslama sisteminə və həssaslığının artırılması üçün isə elektromağnit meyl etdirmə sisteminə malikdirlər. Adi EŞB-lərdən kineskopların birinci fərqi ondan ibarətdir ki, elektron puşkası sürətləndirici adlanan əlavə bir elektroda malikdir. O, modulyator və birinci anodun arasında yerləşdirilir, ona katoda nəzərən bir neçə yüz volt gərginlik verilir, və o elektron selinin əlavə gücləndirilməsinə xidmət edir. İkinci fərq ondan ibarətdir ki, ekran üç təbəqəlidir: 1-ci təbəqə - xarici təbəqə, şüşədir. Kineskopun ekranının şüşəsinə divarlarının paralelliyi və kənar qoşulmaların olmaması ilə bağlı yüksək tələblər qoyulur. 2-ci təbəqə - lüminofordur. 3-cü təbəqə - nazik alüminium örtükdür. Bu örtük iki funksiyayı yerinə yetirir: O, güzgü kimi təsir edərək ekranın işıqlılığını artırır; əsas funksiyası katoddan elektronlarla birlikdə uçub çıxan ağır ionlardan lüminoforun qorunmasıdır.

Rəngli kineskoplar. İş prinsipi ona əsaslanmışdır ki, istənilən rəngi və çaları üç rəngin: qırmızı, göy və yaşıl rənglərin qarışdırılması ilə almaq olar. Ona görə də rəngli kineskoplar üç elektron topuna və bir ümumi meyl etdirmə sisteminə malikdirlər. Ekran hər biri qırmızı, göy və yaşıl rənglərlə işıqlanan üç lüminofor özəyindən ibarət olan ayrı-ayrı sahələrə malikdir. Bu özəklərin ölçüləri o qədər kiçikdir və onlar biri-birinə o qədər yaxın yerləşmişdir ki, onların işıqlanması gözlə ümumi qəbul olunur.

Rəngli kineskopların qurulmasının ümumi prinsipi. Ümumiyyətcə kineskoplarda istifadə olunan meyletdirici sarğaclaın *sətir* və *kadr açılışı sarğacları* adlanırlar. Sətir açılışı sarğacından mişarvari cərəyan impulsu keçdikdə şüa (rəngli kineskopda şüalar) ekranda sətir adlanan üfüqi xətt çəkir. Sonra kadr açılışı sarğacından axan cərəyanın impulsunun təsiri ilə şüa təqribən sətirin eni qədər sürüşür və sətir sarğacının cərəyanının təsiri ilə növbəti sətiri

çəkir və bu qayda ilə növbəti sətirlər çəkilir, nəticədə isə rastr adlanan kineskopun ekranının tam işıqlanması əmələ gəlir. Sətirlərin ümumi sayı 625 təşkil edir. Televizorun qəbuledicisi tərəfindən emal edilmiş faydalı siqnal katoda, yaxud, modulyatora daxil olur, şüanın işıqlığını dəyişdirir, və bu hesaba ekranda təsvir formalaşır.

2.4. Qaz boşalmalı cihazlar

2.4.1. Qaz boşalmalı cihazların işinin fiziki əsasları. Qazlarda (və ya buxarlarda) elektrik boşalması, onlardan elektrik cərəyanı keçərkən baş verən hadisələrin toplusuna deyilir. Elektrik xarakteristikaları əsasən, xüsusi olaraq əvvəlcədən daxil edilmiş qaz və ya buxarların ionlaşması ilə təyin edilən elektrovakuum cihazları *qaz boşalmalı cihazlar* adlanır. Bu cihazları başqa cür *ion cihazları* da adlandırırlar. Qaz boşalmalı cihazlara ion və civəli ventillər, tiratronlar, ion boşaldıcıları, közərmə boşalmalı indikatorları aiddirlər.

Elektron-idarə olunan lampalardan fərqli olaraq bu cihazlarda cərəyan yaradılmasında yalnız elektronlar deyil, həm də qazın və ya buxarın yüklənmiş hissəcikləri (atomlar, molekullar) – ionlar da iştirak edirlər.

Qaz boşalmalı cihazlar ətalətli qazla, hidrogenlə və ya civə buxarları ilə doldurulmuş qaz keçirməyən (əsasən şüşə) balondan ibarətdir. Balonda qazın təzyiqi $10^{-1} - 10^3$ Pa həddində olur və bəzən 10^4 Pa qiymətinə çatır.

İonlaşdırma təsirləri olmadıqda qazlar neytral atomlardan və molekullardan ibarətdir, ona görə də onlar praktiki cərəyan keçirmirlər. Qazdan cərəyan o vaxt axır ki, onda sərbəst elektrik yüklənmiş zərrəciklər – yükdaşıyıcılar (yaxud başqa sözlə cərəyan daşıyıcıları) olurlar. Qazda bu yüklər o vaxt əmələ gəlir ki, hər hansı enerji mənbəyinin hesabına elektronlar neytral atomlardan, yaxud molekullardan “qopardılsın”. Bu halda müxtəlif işarəli yük - daşıyıcılar elektronlar – mənfi yüklər və müsbət ionlar – elektronlarını itirmiş qaz atomları – müsbət yüklər əmələ gəlir.

Real şəraitdə istənilən qaza ətraf mühitin temperaturu, kosmik və radiasiya şüaları, sənaye qurğularının elektromaqnit şüalanmaları və b. təsir edir. Bu təsirlər nə qədər zəif olsalar da müəyyən qədər yüklü zərrəciklərin yaranmasına səbəb olur. Ona görə də istənilən qazda həmişə elektrik boşalması yaratmağa qabil olan elektron və ionlar vardır.

Elektrik boşalmasında üç proses: atomların həyəcanlandırılması, onların ionlaşdırılması və müxtəlif işarəli yüklərin rekombinasiyası baş verə bilər.

Atomların həyəcanlandırılması, sərbəst elektronlarla toqquşmalar hesabına qazanılmış enerji hesabına atomlarda onların xarici elektronlarından birinin nüvədən daha uzaq orbitlərə keçməsi prosesinə deyilir.

Atomların ionlaşdırılması, elektrik neytral olan atomlardan ionların və sərbəst elektronların əmələ gəlməsi prosesinə deyilir.

Qazlarda *yük daşıyıcıların rekombinasiyası* ionlaşmaya əks olan prosesdir. Müsbət ionların və elektronların rekombinasiyasından neytral atom əmələ gəlir. Atomun ionlaşdırılmasına enerji sərf olunur, rekombinasiya zamanı isə qazın işıqlanması əmələ gəlir. Rekombinasiya prosesi əsasən, cihazın elektrodlarının səthində baş verir. Rekombinasiyaya sərf olunan vaxt ionlaşma müddətindən çox böyük olduğundan, qazboşalma cihazlarının ətalətliliyi elektron-idarəli lampaların ətalətliliyindən çox olur.

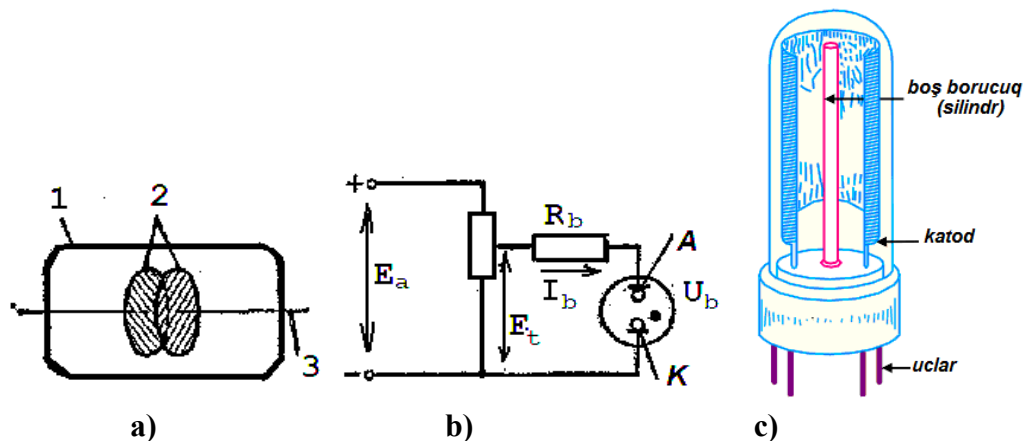
Qazla doldurulmuş balondan, disk və ya silindr şəklində iki eyni formalı elektrodan ibarət olan sadə qazboşalma cihazının iş prinsipini nəzərdən keçirək (şək. 2.4, a). Müsbət potensial altında olan elektrod anod, mənfi potensial altında olan isə katod adlanır. Şək. 2.4.b - də qazboşalma cihazının qoşulma sxemi göstərilmişdir.

Tətbiq olunan U_b gərginliyin təsiri altında qazda olan ilkin elektronlar və ionlar təbii ionlaşmanın nəticəsində hərəkət edirlər: elektronlar – anoda tərəf, ionlar – katoda. U_b -nin kiçik qiymətlərində yüklü zərrəciklərin sürəti çox deyil. Onların enerjisi qazların zərbəli ionlaşdırılması üçün kifayət deyildir. Cihazda axan cərəyan çox azdır, daxili müqaviməti isə çoxdur. Bu hal sakit boşalma adlanır.

İonlaşma gərginliyinin müəyyən bir qiymətində boşalma cərəyanı sıçrayışla artır, elektrodlar arasındakı müqavimət və gərginliyin qiyməti isə azalır. Bu zaman, adını yaranan qazın işıqlanmasından götürən, sərbəst közərmə boşalması yaranır.

Közərmə boşalmasında katodun ətrafında ion buludu yaranır.

Gərginliyin qiymətinin sonrakı artırılması zamanı, onun müəyyən bir diapazonda boşalmanın saxlanması gərginliyi alınır ki, o da onlarla və yüzlərlə volt ola bilər.



Şək. 2.4. Qaz boşalmalı cihazın quruluşu (a), onun qoşulma sxemi (b) və konstruktiv görünüşü.

2.4.2. Qaz boşalmalı cihazların tipləri və onların fərqli xüsusiyyətləri.

Ən sadə qaz boşalmalı cihaz iki elektrodlu cihaz olub anomal zəif közərməli rejimdə işləyən *neon lampasıdır*. Neon lampaları elektrik və maqnit sahələrinin olmasının indikasiyası üçün nəzərdə tutulub. Aşağı tezlikli dəyişən gərginlikdə anod və katod növbə ilə öz funksiyalarını dəyişirlər. Yüksək tezlikli gərginlikdə neon lampasında baş verən boşalmanın fərqli xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, xarici ionlaşdırma hesabına yaranmış elektronlar potensialın işarəsinin tez-tez dəyişməsində rəqsi hərəkətlər yerinə yetirərək qazı ionlaşdırır və bunun nəticəsində lampa işıqlanmağa başlayır. Az hərəkətli ionlar öz hərəkət istiqamətini dəyişə bilmirlər və həcmi müsbət yük əmələ gətirirlər. Bu halda elektrodların səthindən emissiya baş vermir.

Digər sadə qaz boşalma cihazı közərdilən katoda malik və içərisi arqon qazı və ya civə buxarı ilə doldurulmuş ikielektrodlu lampa – *qazotron*dur. Cihazda qazın təzyiqi $10^{-1} \div 10^{-2}$ Pa intervalında olur. Qazotronun iş prinsipi aşağıdakı kimidir: termoelektron emissiyası nəticəsində katoddan çıxan elektronlar anodun müsbət potensialında anoda doğru hərəkət edərək katod – anod aralığında qaz atomlarını ionlaşdırır və plazma əmələ gətirir.

Közərdilmiş katod olan halda yaranan bu boşalma qövs boşalmasıdır. Plazmada sərbəst elektronların və müsbət ionların konsentrasiyaları bərabər olduğundan (plazma bütövlükdə elektrik cəhətdən kvazineytral mühitdir) fəza yükləri yaranmır, anod gərginliyinin kiçik qiymətlərində belə lampadan kifayət qədər böyük cərəyan keçə bilir. Qazotronların vakuum diodlarından üstünlüyü də elə bundan ibarətdir. Vakuum diodu kimi qazotron da birtərəfli keçiriciliyə malikdir və nisbətən böyük amplitudlu dəyişən cərəyanları düzləndirmək üçün tətbiq olunur.

Qazla doldurulmuş uc elektrodlu lampa *tiratron* adlanır və triod lampasına oxşar olaraq, o, közərdilən katoda, tora və anoda malikdir. Tiratronunda torun anod cərəyanını idarə etmək xassəsi qeyri-sərbəst boşalma oblastındadır. Tor potensialı vasitəsilə boşalmanın alışma gərginliyini idarə etmək mümkün olur. Katoda nəzərən torun mənfi potensialı artdıqca qazın ionlaşmasının başlanması üçün də böyük anod potensialı tələb olunur. Müstəqil boşalmanın başladığı andan tor öz idarəedici xassəsini itirir, yəni tor potensialının dəyişməsi praktiki olaraq anod cərəyanına təsir etmir. Bu onunla əlaqədardır ki, yaranmış plazmanın müsbət yüklü ionları mənfi potensiala malik torun təsirini ekranlayır. Belə olduqda anod cərəyanı yalnız anod gərginliyi ilə təyin olunur. Tiratronunda boşalma baş verdikdə anod gərginliyinin qiymətini torun potensialını dəyişməklə idarə etmək olur.

Təcrübədə soyuq katodlu, közərmə teli olmayan qaz boşalmalı tiratronlarından da istifadə edilir ki, bu ion cihazlarında bir və ya bir necə

idarəedicilə tor vasitəsilə boşalmanın başlanma anı idarə edilir. Cihazın balonu 10^2 Pa və çox təzyiqlə malik neon və arqon qazlarının qarışığı ilə doldurulur.

Tiratronlar alovşuz boşalmanın başlanma anının idarə olunması üsuluna görə iki qrupa ayrılır: cərəyanla idarə olunan tiratronlar və elektrostatik sahə ilə idarə olunan tiratronlar.

Soyuq katodlu ion cihazlarının bir qrupunu da *signal lampaları* təşkil edir. Bu cihazlar iki elektrodla ibarət olub, elektrik siqnallarının görünən işıqla müşahidə olunmasına imkan verir. Cihazlarda əsasən qırmızı işıqlanma verən neon qazından, bəzən də narıncı – qırmızı işıq verən az miqdarda arqon daxil edilmiş neon – helium qarışığından istifadə edilir. Ona görə də bu cihazları çox vaxt neon lampaları adlandırırlar. Siqnal lampaları kiçik tezlikli relaksasiya rəqslərinin generasiya edilməsində, vaxt rəlelərində, elektrik siqnallarının işıqla müşahidə olunmasında və s. sahələrdə istifadə edilir.

Siqnal lampalarının xüsusi bir qrupu rəqəm indikatorlarıdır. Elektrik siqnallarının vizual rəqəmli indikasiyası üçün közərməli boşalmalı nişan (işarə) indikatorları tətbiq olunur. Bu indikatorlar rəqəmlər, yaxud başqa növ işarələr şəklində əyilmiş məftildən hazırlanmış və biri-birinin arxasında yerləşmiş katodlara malikdir. Cihazın anodu məftilli tordan hazırlanmışdır. Anod və katodlardan biri arasında gərginlik verildikdə, həmin katodun yaxınlığında qazın işıqlanması baş verir və işıqlanan işarə görünür. Xarici çevirici qurğu vasitəsilə boşalmanı başqa elektrodlar arasında yaratmaqla, müxtəlif rəqəmlər və ya işarələr almaq olur. Belə cihazlar elektrik və digər fiziki kəmiyyətlərin rəqəm şəklində vizual müşahidə olunmasına imkan yaradır.

Onluq say sistemində göstərişin eyni vaxtda indikasiyası ilə impulsların sayılması üçün nəzərdə tutulmuş indikasiya cihazları dekatronlar adlanır. Bu cihazlar silindrik anod və onun ətrafında halqa şəklində yerləşdirilmiş çubuqlardan – katodlardan ibarətdir. Katodlara növbə ilə mənfi gərginlik impulsları verildikdə közərməli boşalma bir katoddan o birinə keçir. Bu halda balonun qübbəsindən (kübəzindən) işıqlanan nöqtənin çevrə boyunca yerdəyişməsi müşahidə olunur. Hər onuncu impulsdan sonra idarəetmə sxemi növbəti dekatronun idarəetmə sxeminə impuls verir ki, o da öz növbəsində on impulsdan sonra növbəti dekatrona işə salma impulsu verir. Belə ki, birinci dekatron vahidləri, ikincisi onluqları və s. sayır.

Mürəkkəb təsvirlərin alınması üçün qaz boşalma panelləri (QBP) işlənilib hazırlanmışdır. Bu cihazlar müxtəlif konstruktiv növlərə malikdir. Lakin onların əksəriyyəti üçün ümumi konstruktiv əlamət iki ortoqonal şəffaf tilli elektrodlar (katod və anod) sisteminin olmasıdır. Bu elektrodlar biri-birindən addımı tilli elektrodların addımına bərabər olan deşiklər sistemi ilə olan dielektrik maska ilə ayrılmış şüşə lövhələrdə yerləşdirilmişdir. Öz quruluşuna görə QBP biri-

birindən asılı olmadan işləyən çoxlu sayda iki elektrodlu qazboşalma cihazlarının toplusudur. Hər hansı tilli katod və tilli anod cütünə gərginlik verdikdə dielektrik maskada deşikdən işıqlanan nöqtə şəklində közərməli boşalma yaranır. Bir neçə katod və anodlara müəyyən qanun üzrə gərginlik verməklə nöqtəli açılış yolu ilə istənilən fiquru canlandırmaq olar. QBP həm də çoxrəngli təsvirlər də verə bilər. Yaxınlığında əsas rəngləri (göy, yaşıl, qırmızı) verən lüminofor örtüklü özəklər yerləşdirməklə rəngli təsviri almaq olar (rəngli kineskoplarda olduğu kimi).

Rabitə xətlərinin, çıxış transformatorlarının dolaqlarının və elektrik dövrələrinin digər elementlərini həddindən artıq gərginliklərdən qorumaq üçün boşaldıcılar tətbiq olunur. Boşaldıcıların işi elektrodlar arasında közərmə və qövs boşalması yaranması hesabına cihazın keçiriciliyinin kəskin artmasına əsaslanmışdır. Yüklənmələri götürdükdən sonra boşaldıcılar ilkin yüksək müqavimətini bərpa edirlər.

Ötürücünün güclü impuls şüalandırdığı zaman radiolokasiya stansiyalarının qəbuledicilərinin girişini yüklənmələrdən qorumaq üçün İYT (ifrat yüksək tezlikli) rezonans boşaldıcıları tətbiq olunur.

Qövs boşalmalı cihazlar arasında uzun müddət yüksək gərginliklərin və cərəyanların düzləndirilməsi üçün istifadə olunmuş qazboşalma cihazları qazatron və tiratronlardır. Qazatron təsirsiz qazla və ya civə ilə doldurulmuş termoelektrodlu güclü dioddur. Vakuüm diodlarından fərqli olaraq qazatronunda katod yaxınlığında mənfi həcmi yük yoxdur. Ona görə də qazatronlarda böyük olmayan anod gərginliklərində böyük cərəyanlar almaq olar. Tiratronlar qazatronlardan onunla fərqlənir ki, bu cihazlarda alışma gərginliyini idarə etməyə imkan verən tor var. Bütün bunlarla yanaşı qeyd etmək lazımdır ki, qazatronlar və tiratronlar, onların analoqları olan elektrovakuüm diodları praktiki olaraq tamamilə daha etibarlı, xidmət müddəti çox olan və istismarda əlverişli olan yarımkeçirici diodlar tərəfindən sıxışdırılıb çıxarılıb.

2.5. Elektrovakuüm cihazlarının markalanması

Keçmiş SSRİ-də istehsal olunan elektrovakuüm cihazları üçün dörd elementdən ibarət markalanma (nişanlanma) sistemi qəbul edilmişdir.

2.5.1. Qəbuledici-gücləndirici elektron lampalarının markalanması.

Bu lampalarda: *Birinci element* – katodu qızdırmaq üçün lazım gələn voltlarla ifadə olunmuş gərginliyin yuvarlaqlaşdırılmış qiymətini göstərən ədəddir. Elektron – şüa borularında isə birinci element ekranın diametrini və ya diaqonalını (sm-lə) göstərir.

İkinci element – cihazın növünü göstərən hərfdir: \mathcal{D} - diod, X - ikiqat diod, \mathcal{U} - kenotron, C - triod, H - ikiqat triod, Γ - tetrod, Π - çıxış kaskadlarında işlədilən güclü pentod və şüalı tetrod, \mathcal{K} , K – uyğun olaraq qısa və uzadılmış tor xarakteristikalı yüksək tezliklərdə işlədilən pentodlar, B – diod - pentod, Φ – triod -pentod, – ikiqat tetrod və pentod, B – ikinci elektron emissiyalı lampa, A – heptod və ya pentoqrid.

Avropada aparıcı istehsalçılar tərəfindən qəbul olunmuş Vahid Avropa Sisteminə əsasən aşağıda verilmiş qaydada hərf-rəqəm markalanması istifadə olunur:

- *Birinci hərf közərmə gərginliyini, yaxud onun cərəyanını xarakterizə edir:*

A – közərmə gərginliyi 4V	B – közərmə cərəyanı 180mA
C – közərmə cərəyanı 200mA	D – közərmə gərginliyi 1,4V
E – közərmə gərginliyi 6,3V;	F – közərmə gərginliyi 12,6V;
G – közərmə gərginliyi 5V;	H – közərmə cərəyanı 150mA;
K – közərmə gərginliyi 2V;	P – közərmə cərəyanı 300mA;
U – közərmə cərəyanı 100mA;	V – közərmə cərəyanı 50mA;
X – közərmə cərəyanı 600mA.	

- *İkinci və sonrakı hərflər lampanın tipini göstərir:*

A – diodlar;	B – ikili diod (ümumi katodlu);
C – triodlar;	D – çıxış diodları;
E – tetrodlar;	F – pentodlar;
L – çıxış pentodları və tetrodları;	H – qeksodlar, yaxud qeptodlar;
K – oktodlar, yaxud qeptodlar;	M – elektron -ışığı kökləmə indikatorları;
P – ikincili emissiyalı gücləndirici lampalar;	Y – bilyarımperiodlu kenotronlar;
Z – ikiyarımperiodlu kenatronlar.	

- *İkirəqəmli, yaxud üçrəqəmli ədəd verilmiş tipli lampanın xarici tərtibatını və sıra sayını bildirir, belə ki, birinci rəqəm adətən lampanın sokolunu xarakterizə edir.*

2.5.2. Elektron – şüa borularının markalanması. Birinci element eynilə lampalarda olduğu kimidir. İkinci element iki hərfdən ibarətdir. LO– elektron dəstəsi elektrostatik sahə vasitəsilə idarə olunan elektron – şüa boruları, LM – elektron dəstəsi elektromaqnit sahə ilə idarə olunan elektron - şüa boruları.

Üçüncü element – verilmiş növ cihazın istehsalına uyğun sıra nömrəsini göstərən ədəddir.

Dördüncü element – cihazın konstruktiv hazırlanma xarakterini göstərən hərfdir: S - şüşə örtüklü, diametri 22,5 mm - dən böyük, P - şüşə örtüklü, miniatür (barmaq şəkilli), diametri 19 - 22,5 mm, A, B, Q - şüşə örtüklü, ifrat miniatür (diametrləri uyğun olaraq 5 – 8, 8 – 10,2 və 10,2 mm-dən böyük olan), N – metal – keramik örtüklü miniatür və ifrat miniatür, K – keramik örtüklü. Qeyd edək ki, metal örtüklü lampalarda dördüncü element yazılmır. Elektron – şüa borularında dördüncü element lüminoforun növünü göstərən hərfdir. Bu elementlərdən başqa, lampanın xüsusi xassələrini göstərən əlavə element – hərf daxil edilir: V – yüksək etibarlı və mexaniki dözümlü, KV – yüksək etibarlı və uzunömürlü, İ – impuls rejimində işləyən və s.

Misal üçün, bir neçə elektrovakuum cihazının markalanmasını oxuyaq: 6Д14Б - katodu qızdırmaq üçün lazım gələn gərginlik 6,3 V olan, ifrat miniatür diod lampası, 6H23П – katoduna 6,3 V gərginlik verilən, 18 – ci istehsal nömrəli, balonu şüşədən hazırlanmış, miniatür ikiqat triod, 6K11 – katoduna 6,3 V gərginlik verilən, metal örtüyə malik, uzadılmış xarakteristikalı yüksək tezlikli pentod, 5LO55B – ekranının diametri 5 sm olan, elektron dəstəsi elektrostatik sahə ilə idarə olunan və impuls rejimində işləyən elektron – şüa borusu.

2.5.3. Qaz boşalmalı cihazların markalanması. Markalanmada üç element istifadə olunur.

Birinci element - ion cihazının növünü göstərən iki hərf, CH - neon qazı ilə doldurulmuş siqnal lampaları, IH - içərisində neon qazı olan indikator lampaları, CF - qazboşalmalı stabiltron, BF - düzləndirici qazatron, TX – soyuq katodlu tiratron, TF - közərdilən katodlu tiratron.

İkinci element – verilmiş növ cihazın istehsalına uyğun sıra nömrəsidir.

Üçüncü element – ion cihazının konstruktiv hazırlanmasını göstərən hərf olub, elektron cihazlarının markalanmasında dördüncü elementlə eynidir.

Misal üçün bir neçə ion cihazının markalanmasını oxuyaq: CF4П – örtüyü şüşədən hazırlanmış, miniatür, qazboşalmalı stabiltron, TX4B – örtüyü şüşədən hazırlanmış, ifrat miniatür, soyuq katodlu tiratron və s.

2.6. İfrat yüksək tezlik diapazonlu elektrovakuum cihazları

Adi elektron lampalardan fərqli olaraq, İYT diapazonlu lampalar ehtiva konstruksiya olunurlar ki, elektrodlar arasındakı tutumlar, çıxışların induktivliyi və elektrodlar arasındakı məsafə az olsun. Bundan əlavə xüsusi tədbirlər də tətbiq olunur, o cümlədən, balon – korpus üçün kiçik dielektrik itkilərinə malik olan xüsusi şüşə, yaxud radiokeramika istifadə olunur. Generator lampalarında anodun və bütövlükdə lampanın soyudulması böyük əhəmiyyət kəsb edir.

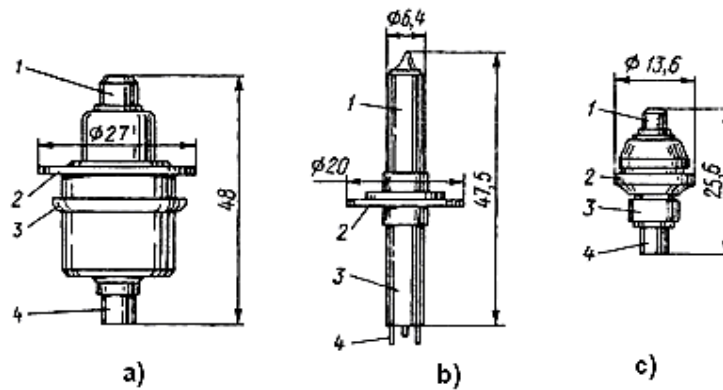
Desimetrlik diapazonlu lampalar, daha uzun dalğalar üçün işləyə bilirlər, ancaq santimetrlik dalğalar üçün bu lampaların əksəriyyəti yaramır. Bir sıra barmaqciq və sokolsuz miniatur lampalar desimetrlik dalğalar diapazonunda (yüzlərlə meqahers tezliklərdə) generasiya və gücləndirmə üçün tətbiq olunurlar.

Desimetrlik və “uzun” santimetrlik dalğalar üçün disk və silindrik şəkilli çıxışları olan lampalar konstruksiya olunub. Bu elektrodlar lampaların koaksial rezonans xətləri ilə, yaxud həcmi rezonatorlar ilə birləşdirilməsinə xidmət edir və eyni zamanda rəqs sisteminin bir hissəsi rolunu oynayır. Belə lampalara misal metal-şüşə korpuslu triodları göstərmək olar. Belə triodlar 3600MHs tezliklərə qədər generatorlarda işləyir və 0,1Vt faydalı güc verirlər.

5Vt-a qədər gücə malik 3000MHs tezliki rəqsləri generasiya etmək üçün nəzərdə tutulmuş “karandaş” tipli triodlar daha orijinal konstruksiyaya malikdirlər. Bu, silindrik çıxışlı anoda və katoda, eləcə də diskli çıxışlı tora malik olan metalşüşə triodlardır.

Silindrik çıxışlara malik olan nuvistor adlanan çox miniatur triodlar daha böyük maraq kəsb edir. Bu lampalar İYT qəbuledicilərində gücləndirici kaskadlarda tətbiq üçün nəzərdə tutulub, 3000MHs sərhəd tezliyin-də 12 dəfə güclənmə, 1200MHs tezlikdə isə 40 dəfə güclənmə verir.

Miniatur İYT diapazonlu triodların xarici görünüşü və konstruktiv elementləri şəkil 2.5 - də göstərilmişdir.



Şəkil 2.5. İYT diapazon üçün triodlar:

a-metalşüşə; b - “karandaş” tipli; c-çoxminiatur metalkeramik , 1- anodun çıxışı; 2 – torun çıxışı; 3-katod çıxışı və qızdırıcı; 4- qızdırıcının çıxışı.

Lampaların istənilən iki elektrodu arasında tutum var və eyni zamanda lampaların elektrodları induktivliyə malikdirlər. Şəkil 2.6 - da misal üçün məxsusi tutumlara və induktivliklərə malik triod (a) və onun ekvivalent sxemi

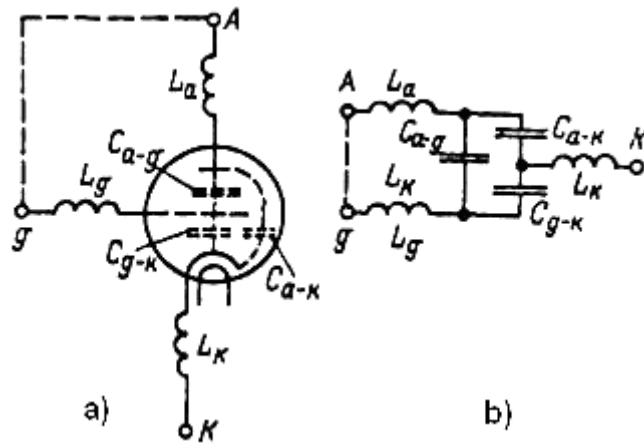
(b) göstərilmişdir. Bu tutum və induktivlik lampaya qoşulan rəqs sistemlərinin parametrlərini dəyişir. Nəticədə rəqs sistemlərinin məxsusi tezliyi azalır və onların hər hansı bir həddən yüksək tezliyə köklənməsi qeyri-mümkün olur.

Hər bir lampa üçün sərhəd $f_{sərh}$ tezliyi var. Bu, lampanın elektrodlarının qısa qapandığı halda alınan rəqs konturunun tezliyidir. Məsələn, triodun anod və torunu şəkildə qırıq-qırıq xətlərlə göstərildiyi kimi qapasaq onda

$$C = C_{a-g} + C_{a-k}C_{g-k} / (C_{a-k} + C_{g-k});$$

$$L = L_a + L_g + L_{np},$$

parametrlərə malik olan kontur əmələ gəlir.



Şəkil 2.6. İYT diapazonlu triodun sxemi a) və onun əvəzetmə sxemi b).

Lampanın xarici rəqs konturu ilə işi yalnız tezlik $f_{sərh}$ -dən az olduğu hallarda mümkündür. Məsələn, parametrləri $C = 10$ pF və $L = 0,016$ mkHn olan lampa üçün sərhəd tezliyi

$$f_{s r} = 1/(2\pi\sqrt{LC}) = 1/(2\pi\sqrt{0,016 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-12}}) \approx 400 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 400 \text{ MHz}$$

olur ki, bu da 75sm dalğa uzunluğuna uyğundur.

Lampanın induktivliyi və tutumu, onun hər hansı bir qurğularda, dövrlərdə qoşulduğu zaman çox hallarda sxemin işini pisləşdirən arzuolunmaz müsbət və mənfi əks rabitələr və faza sürüşmələri yaradır. Xüsusən katod çıxışının induktivliyi L_k güclü təsir edir. O, anod və tor dövrəsinə daxildir, əks rabitə yaradır, nəticədə iş rejimi dəyişir və lampanın giriş müqaviməti, yəni gücləndirilən gərginlik mənbəyinin qoşulduğu tor və katod arasındakı

müqavimət azalır. Elektrodlararası tutum həm də lampanın giriş müqavimətinin azalmasına zəmin yaradır. Bundan əlavə bu tutumlar İYT-də olduqca kiçik müqavimətlərə malik olaraq çox böyük güclü lampalarda elektrodların çıxışlarını qızdıran və əlavə enerji itkilərinə səbəb olan böyük tutum cərəyanları yarada bilər. Məsələn, tor – katod tutumu 4pF olan lampa $f = 1000\text{ MHz}$ tezliyində, yəni $\lambda = 30\text{sm}$ dalğa uzunluğunda 40 Om müqavimətə malik olacaq. Əgər lampaya 100V gərginlik tətbiq olunsaydı, $2,5\text{A}$ tutum cərəyanı yaranardı.

İfrat yüksək tezliklərdə (İYT), elektron idarəli lampalarda elektrodların arasında elektronların uçuş müddəti və yaxud tranzistorlarda yükdaşıyıcıların elektrodlar arasındakı sürəti, faydalı rəqslərin periodu ilə eyni tərtibdə olur. Bundan başqa, yuxarıda qeyd olunduğu kimi cihazların elektrodlararası tutumları və elektrodların çıxışlarının induktivlikləri də hiss olunacaq dərəcədə təsir göstərməyə başlayır. Bu faktorlar, lampa və yaxud tranzistorların işləyə biləcəkləri maksimal sərhəd tezliyini müəyyənləşdirirlər. Hər bir elektron cihazını, onun üçün göstərilən maksimal sərhəd tezliyindən yuxarı tezliklərdə istifadə edərkən, generatorlarda, rəqsi gücün azalması sayəsində rəqslərin kəsilməsi prosesi baş verə bilər.

2.7. İYT diapazonlu xüsusi növ elektron cihazları

İdarəolunan lampalara və yarımkeçirici cihazlara xas olan çatışmazlıqlar nəzərə alınaraq böyük güclərə malik olan İYT rəqsləri gücləndirmək və generasiya etmək üçün bir sıra xüsusi növ İYT cihazlar işlənilib hazırlanmışdır.

İş prinsipi qida mənbəyinin yaratdığı sabit cərəyan sahəsindən elektronların kinetik enerjini alması və bu enerjinin bir hissəsini İYT elektromaqnit sahəsinə, bu sahədə baş verən tormozlanma hesabına ötürməsinə əsaslanan müxtəlif cür çoxlu xüsusi İYT cihazlar mövcuddur.

İYT - də elektron cihazlarının elektrodlar arası tutumları, faydalı rəqslərin yüksək tezlikli toplananları üçün şuntlayıcı təsir göstərir. Ona görə də İYT diapazonunda işçi tezliyin qiyməti 3QHs - dən böyük olan hallarda xüsusi elektron cihazları - klistronlar, maqnetronlar, qaçan dalğa lampaları (QDL) və əks dalğa lampaları (ƏDL) istifadə olunurlar, radiovericilərin çıxış kaskadlarında alınan elektromaqnit dalğaları isə antenaya dalğaötürən vasitəsilə ötürülür.

Enerji daşıyıcılarının xarakterinə görə İYT - diapazonlu aktiv element və qurğular, elektron və kvant növlərinə, aktiv mühitin (yük daşıyıcıların elektromaqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsirdə olduğu mühit) növünə görə isə - vakuumlu, qazdoldurulmuş, mayeli və bərk cisimli növlərinə bölünürlər.

Xüsusi İYT elektron cihazları iki qrupa bölünür: O – tipli və M – tipli. O tipli cihazlarda sabit maqnit sahəsi olmur və elektron selinin fokuslanması üçün tətbiq olunur. M tipli cihazlar üçün əsas xüsusiyyət qarşılıqlı perpendikulyar olan sabit elektrik və maqnit sahələrinin olmasıdır. Məhz, bu sahələrin birgə təsiri elektronun trayektoriyasını yüksək dərəcədə təyin edir.

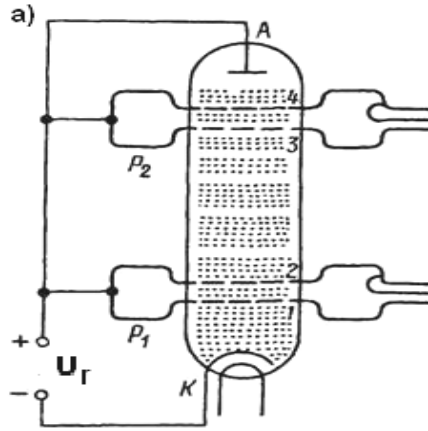
Tarixi olaraq O tipli cihazların ilk nümunələri hal-hazırda da geniş tətbiq olunan klistronlardır. Klistronlarda elektronların uçub keçmə müddətinin çox olması onun işi üçün ziyan deyil, həm də onun normal işi üçün vacibdir. Klistronların əsas tipləri - rəqslərin generasiyası və gücləndirilməsi üçün yararlı olan uçuş (iki- və çoxrezonatorlu-), və yalnız generator kimi işləyən əksetdirici (birrezonatorlu) klistronlardır. O-tip cihazlara həm də qaçan dalğa lampaları (QDL) və əks dalğa lampaları (ƏDL) aiddirlər. Lakin həmçinin, M-tip cihazlara aid olan QDL və ƏDL də vardır. Tarixdə ilk M-tipli cihaz maqnetron olmuşdur. Son illər yeni növ M-tipli cihazlar (amplitronlar, stabilatronlar) işlənilib hazırlanmışdır.

2.7.1. Uçuş klistronları. Elektron seli həcmi və P_2 rezonatorlarının divarlarının hissəsi olan iki torlar cütündən keçir (şək.2.7.). Bəzən torların yerinə rezonatorların divarlarında sadəcə deşiklər olur. P_1 rezonatoru giriş konturu rolunu oynayır. Bu rezonatora koaksial xətt və rabitə dolağı vasitəsilə f tezlikli gücləndirilən rəqslər verilir. Onun 1 və 2 torları elektronların sürətinin modulyasiyası baş verən modulyatoru (qruplaşdırıcı) əmələ gətirir. P_2 rezonatoru çıxış konturudur. Onda gücləndirilmiş rəqslər alınır. Onların enerjisi rabitə dolağı və koaksial xətt vasitəsilə götürülür. 3 və 4 torları tutucu rolunu oynayır. Hər iki rezonatora və anoda 1-ci tor və katod arasında sürətləndirici sahə yaradan U_r müsbət gərginliyi verilir ki, onun təsiri ilə elektronlar böyük v_0 sürəti ilə uçub modulyatora daxil olurlar.

Əgər P_1 rezonatorunda 1 və 2 torları arasında dəyişən elektrik sahəsi yaranırsa, o elektron selinə təsir edir və onun sürətini dəyişir (modulyasiya edir). 2-ci torda müsbət, 1-ci torda mənfi dəyişən potensial olduğu yarımperiodda torlar arasındakı sahə sürətləndirici olacaq və modulyatordan uçub keçən elektronlar əlavə Δv sürətini alır. Növbəti yarımperiod ərzində 2-ci torda potensial mənfi, 1-ci torda isə müsbət olur, yəni sahə öz sürətini Δv qədər azaldan elektronlar üçün tormozlayıcı olur. Yalnız gərginliyin sıfır olduğu anda modulyatordan uçub keçən elektronlar v_0 sürəti ilə hərəkətini davam etdirirlər.

Beləliklə 3 və 2 torları arasındakı dreyf fəzası (yaxud qruplaşma fəzası) adlanan fəzaya müxtəlif sürətlərə malik olan elektronlar düşür. Bu fəzada elektrik sahəsi yoxdur, çünki 3 və 2 torları arasında potenciallar fərqi yoxdur və elektronlar ətalətlə, dəyişməz sürətlə uçurlar. Böyük sürətlə hərəkət edən elektronlar aşağı sürətlə hərəkət edən elektronlara çatırlar. Nəticədə elektron seli

ayrı-ayrı daha sıx elektron qruplarına - sıxlaşmış elektron yığımına (squstki) bölünürlər. Demək olar ki, elektron selinin dreyf fəzasında modulyasiya olunması hesabına bu selin sıxlığına görə modulyasiyası baş verir.



Şək. 2.7. Uçuş klistronunun quruluşu və qoşulma sxemi.

İkirezonatorlu klistronlar gücü on dəfələrlə gücləndirə bilər. Klistronun əsas çatışmaz cəhəti onun F.İ.Ə. az olmasıdır. Belə ki, F.İ.Ə.-nin bu cihazlar üçün nəzəri sərhəd qiymətinin 58% olmasına baxmayaraq praktiki qiyməti 20% təşkil edir. İkirezonatorlu klistronları İYT ötürücülərdə rəqsləri gücləndirmək üçün tətbiq edirlər. Onların faydalı gücü fasiləsiz iş rejimində onlarla kilovata, impuls rejimində isə onlarla meqavata çatır. Dalğa uzunluğu azaldıqda güc azalır.

Elektron selinin tutucuda yaratdığı konveksiya cərəyanının qeyri-sinusoidal olması klistronları həm də tezliyin vurulması üçün tətbiq etməyə imkan verir. Elektronların sıx qruplaşması zamanı bu cərəyan düzbucaqlı formalı impuls şəkilli hesab oluna bilər. Belə cərəyan isə kəskin seçilən yüksək harmonikalara malik olur və P_2 rezonatoru bu və ya digər harmonikaya kökləməklə vurulmuş tezlikli rəqslər alınır.

Qəbuledicilərdə zəif siqnalların gücləndirilməsi üçün klistronlar yaramır, çünki o, böyük məxsusi küylər yaradır.

Hal-hazırda əsasən çox rezonatorlu klistronlar hazırlanır ki, onlar da nisbətən yüksək F.İ.Ə. və güclənmə əmsalına malikdirlər.

İmpuls iş rejimində impulsların tezliyi adətən ondan minlərə qədər hers olur, impulsların uzunluğu isə milli saniyənin hissələrindən milli-saniyəyə qədər olur. Uçuş klistronları az güclü, orta güclü, güclü və ifratgüclü klistronlara bölünürlər. Onların impuls gücü uyğun olaraq 10 kVt-dan az, 10kVt-dan 1 MVt-

a qədər, 1MVt-dan 100MVt-a qədər və 100MVt-dan yuxarı olur. Fasiləsiz rejimdə isə güc 1000 dəfə az olur.

Gücün qeyd olunan qiymətləri desimetrlik diapazonlu klistronlara aiddir. Santimetrlik diapazonda güc az olur.

Çıxış və giriş arasında əks rəbitə qurmaqla uçuş klistronunda öz-özünə həyəcanlanan generator qurmaq olar.

Ancaq uçuş klistronları çox nadir hallarda generator qismində istifadə olunurlar. Azgüclü generatorlar (geterodinlər) üçün bir rezonatora malik olan əksetdirici klistronlar daha əlverişlidir.

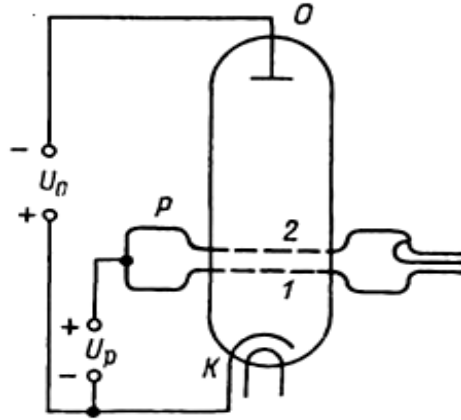
2.7.2. Əksetdirici klistronlar. Əksetdirici (birrezonatorlu) klistronun quruluşu və qoşulma sxemi şəkil 2.8-də verilmişdir. Bu klistronlarda bir rezonator eyni zamanda həm modulyator, həm də tutucu kimi xidmət edir. Elektronların sürətləndirilməsi üçün rezonatora yüksək U_r gərginliyi verilmişdir. Rezonatorun arxasında, katoda nəzərən mənfi U_0 gərginliyə malik olan əksetdirici – elektrod yerləşir. Elektron selinin yaxşı fokuslanması üçün katod, fokuslayıcı elektrod adlanan və adətən katoda birləşən silindrlə əhatə olunub. Rezonatorun enerjisi rəbitə dolağı və koaksial xətt vasitəsilə götürülür.

Elektron seli uçub rezonatora daxil olur və onda cərəyan impulsu həyəcanlandırır. Rezonatorda onun torları arasında dəyişən elektrik sahəsi yaradan rəqslər əmələ gəlir. Bu sahə elektron selini sürətinə görə modulyasiya edir. Beləliklə, müxtəlif sürətlə rezonatordan sabit tormozlayıcı sahənin təsir etdiyi dreyf fəzasına (rezonator və əksetdirici arasında) elektronlar uçub çıxırlar. Elektronlar bu sahədə tormozlanırlar, dayanırlar və sürətlə rezonatora qayıdırlar. Elektronun sürəti nə qədər çox olsa, o bir o qədər çox tormozlayıcı sahənin dərinliyinə keçir və bu sahədə bir o qədər çox müddət qalır. Nəticədə müsbət yarımperiodda rezonatordan uçub keçmiş və dəyişən elektrik sahəsindən əlavə sürət almış elektronlar geriye, sonradan mənfi yarımperiod ərzində rezonatordan uçub keçən və dəyişən sahədən tormozlanan elektronlar isə geriye qayıtdıqda dönürlər.

Əksetdirici klistronların F.İ.Ə. 5% keçmir, bəzən isə 1%-dən az olur. Ona görə də belə klistronları 1Vt-dan böyük güclərə hazırlamırlar. Ən çox qəbuledicilərin heterodinləri və ölçmə aparatı üçün hazırlanan azgüclü əksetdirici klistronlar daha geniş yayılmışdır. Onların faydalı gücü 10 – 100mVt həddində olur.

Əksetdirici klistronlarda qida mənbəyindən verilən sürətləndirici gərginliyin qiyməti 250 – 450V təşkil edir və yalnız bəzi hallarda 2500V-a qədər artırılır. Elektron dəstinin cərəyanı 10mA qədər çata bilər.

Digər əsas çatışmazlığı qidalandırıcı gərginliklərin tezliyə güclü təsir etməsidir. Bu problemin həlli üçün çox vaxt stabilləşdirilmiş qida gərginliyi tətbiq olunur.



Şək. 2.8. Əksetdirici klistronun quruluşu və qoşulma sxemi.

2.7.3. Maqnetronlar. Maqnetronlar böyük gücə malik olan İYT rəqslər generasiya edən ən vacib elektron cihazlarıdır. Bu cihazlar radiolokasiya stansiyalarının ötürücülərində, yüklənmiş zərrəciklər sürətləndiricilərində, yüksək tezlikli qızdırma və başqa hallarda tətbiq olunurlar. Elektron və maqnit sahələrinin birgə təsiri nəticəsində İYT rəqslərin generasiyası yaranır. Hal-hazırda çoxrezonatorlu maqnetronlar daha geniş yayılmışlar.

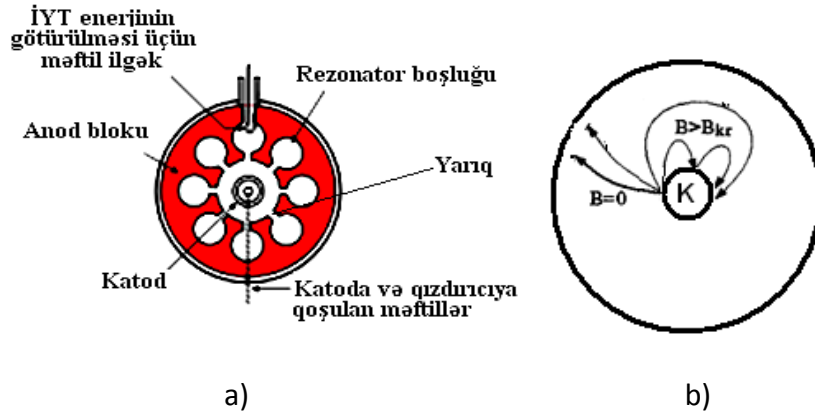
Maqnetron öz quruluşuna görə xüsusi konstruksiyaya malik olan dioddur. Katod adətən səthinin böyük təbəqəsi olan qızdırılan oksidli elektroddur. Katodun uclarında elektronların onun boyunca hərəkət etməsinə mane olan disklər yerləşdirilmişdir.

Maqnetronlar güclü İYT sinusoidal rəqslər avtogeneratorlarıdır, bunlarda elektron selinin idarə olunması, elektrik və maqnit sahələrinin köməyi ilə yerinə yetirilir.

Maqnetronun quruluşu və onun daxilində elektronların hərəkət trayektoriyası uyğun olaraq şəkil 2.9, a və şəkil 2.9, b - də göstərilmişdir. Maqnetronun əsas konstruktiv elementi (şək. 2.9,a) qızdırılan K - silindrik katodudur. Katod, R - rezonatorlara malik AB - massiv anod blokunun oxu boyunca yerləşdirilir. R – rezonatorları, anod və katod arasındakı silindrik boşluqla Y - yarıqları ilə birləşdirilir. Anod bloku güclü maqnit sahəsinə yerləşdirilir ki, bu sahə katodun oxu boyunca yönəlir (sahə, maqnitlərin köməyi ilə yaradılır). Rəqs konturu R - rezonatorunun divarı (induktivlik) və Y - yarığı (tutum) ilə əmələ gəlir.

Katoddan çıxan elektronların trayektoriyası, B - maqnit sahə induksiyasından asılıdır (şək. 2. 9, b).

$B=0$ olanda, elektronlar $F_e = -eE$ - elektrik qüvvəsinin təsiri ilə (E - elektrik sahəsinin intensivliyidir) radial trayektoriya üzrə hərəkət edirlər. B - artdıqca, hər bir elektronun hərəkət trayektoriyası əyilir, çünki ona $F = evB$ - Lorens qüvvəsi təsir edir. (burada: e - elektronun yükü, v - elektronun sürətidir). F - qüvvəsi iş görmür, yalnız elektronun uçuş trayektoriyasını əyir, çünki o, həmişə v - sürət vektoruna və B - maqnit induksiya vektoruna perpendikulyardır.



Şəkil 2.9. Maqnetronun quruluşu a) və maqnit induksiyasından asılı olaraq elektronların hərəkət trayektoriyası b);

Maqnit induksiyasının hər hansı $B - B_{kr}$ - böhran qiymətində elektronun hərəkət trayektoriyası o qədər əyilir ki, o, anodun yanından keçərkən, katoda qayıdır. Bu halda anod cərəyanı, demək olar ki, sıfıra qədər azalır. Orta sürəti $\frac{E}{B}$ - olan fırlanan həcmi yük əmələ gəlir. Həmin bu - fırlanan həcmi yükün təsirindən rəqs sistemlərində (rezonator və yarıqlardan təşkil olunan) rəqslər oyadır.

Fırlanan elektron buludu və hər yarığın elektrik sahələrinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində, keçid prosesləri qurtarandan sonra, fırlanan yüklər mil şəklini alır ki, onların sayı həmişə, rezonatorların cüt sayından 2 dəfə az olur. Rəqslərin enerjisi, tormozlayıcı elektrik sahələrində yarıqların oblastlarından keçərkən elektron topalarının (sıxlaşmalarının) enerjisindən alınır.

Beləliklə, maqnetron anod qida mənbəyinin enerjisini, yüksək tezlikli elektromaqnit rəqslərinin enerjisinə çevirir.

Maqnetronların bir xüsusi növü olan və gərginliklə tənzimlənən *mitronların* işi tezliyi, geniş diapazonda anod gərginliyinə düz mütənasib olaraq dəyişir. Bu cihazın adi maqnetronlardan fərqi ondan ibarətdir ki, anod

bloku və isti katoddan başqa, cihazda soyuq katod və sürətləndirici elektrod da istifadə olunur. Belə ki, soyuq katod anod bloku-rezonator strukturunun daxilində yerləşdirilir, isti katod isə qarşılıqlı təsir zonasından kənarında yerləşdirilir və sürətləndirici elektrod boruşəkilli elektron selini formalaşdıraraq qarşılıqlı təsir zonasına (fəzasına) injeksiya edir.

Mitronların nümunəvi parametrləri:

- tezlik diapazonu: (1... 10) QHz;
- çıxış gücü: (1... 100) Vt;
- faydalı iş əmsalı: (50...70) %.

Mitronlardan radioəktəsir sistemlərində maneə generatoru və uçuş aparatlarında radiohündürlükölçənlərin verici İYT generatoru kimi istifadə edilir. Onlardan çox zaman panoram (mənzərə) ölçü qurğularında, həmçinin İYT - li məişət sobalarında məhsulun müntəzəm qızdırılmasını yaxşılaşdırmaq məqsədilə (generasiya olunan tezliyin dəyişdirilməsi yolu ilə) istifadə olunur.

Bundan əlavə maqnetronların *niqatron* adlanan daha yeni növü də mövcuddur. Niqotron, oxu boyunca sabit maqnit sahəsi təsir edən həcmi silindrik rezonatorudur. Rezonatorun daxilində koaksial katod və anod yerləşdirilmişdir, belə ki, bu elektrodların hər biri seqmentlər sistemi şəklində düzəldilmişdir. Əsas rezonatorun yüksək keyfiyyətliliyi tələb olunan tezlik stabilliyini təmin edir.

Desimetrlik dalğalarda fasiləsiz iş rejimində 50% F.İ.Ə. –də 100kVt və daha çox çıxış gücü verə bilər.

2.7.4. Qaçan dalğa lampaları. Bu növ elektrovakuum cihazlarda yüksək tezlikli rəqslərin gücləndirilməsi onlarla və yüzlərlə period ərzində rəqslərin qaçan dalğa sahəsinin müxtəlif sıxlıqlı elektron seli ilə qarşılıqlı təsiri sayəsində həyata keçirilir.

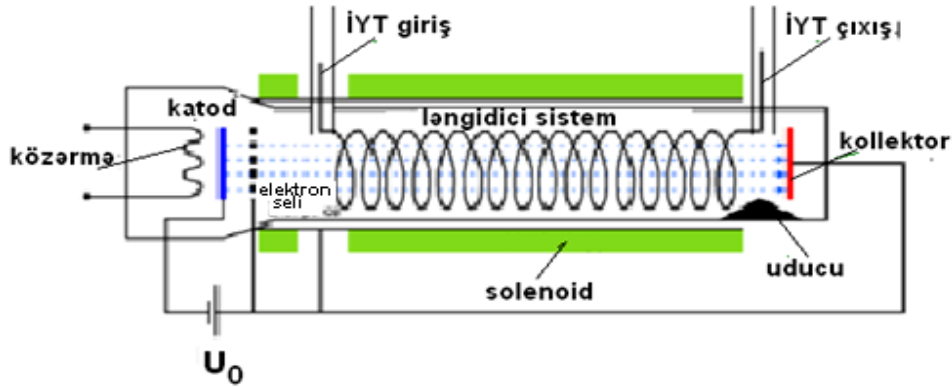
Qaçan dalğa lampasının (QDL) quruluşu və konstruktiv görünüşü şəkil 2.10 - da göstərilmişdir. Elektronlar, vakuumlu balona yerləşdirilmiş puşka (lülə) ilə buraxılır. Elektron puşkası (lüləsi) dolay yolla qızdırılan katoddan, fokuslayıcı anoddan ibarətdir.

Fokuslanmış elektron şüası ləngidici sistemin (spiralın) daxilindən kollektora (anoda) keçir. Xarici tərəfdən balonun uzunsov hissəsi metallik ekrana yerləşdirilir ki, burada onun dalğaötürənli İYT girişi və İYT çıxışı vardır.

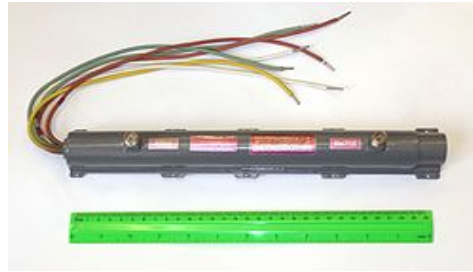
Elektron şüasının lampanın oxu boyunca əlavə olaraq fokuslanması üçün, solenoidli maqnit fokuslama sistemi istifadə edilir.

Giriş signalı, spiralın (yayın) başlanğıcına verilir və burada qaçan elektromaqnit dalğası yaranır. Bu dalğa spiral boyunca işıq sürətinə yaxın sürətlə yayılır. Elektronların sürəti, işıq sürətinin 0,1 - ni aşmır. Elektron şüasının, dalğanın sahəsi ilə qarşılıqlı təsirinə effektivliyini artırmaq üçün,

onların sürətini ləngidici spiralla (yayla) bərabərləşdirirlər, çünki spiralın oxu boyunca dalğanın irəliləmə-yayılma sürəti, spiralın diametri addımından neçə dəfə çoxdursa, bir o qədər işıq sürətindən az olur.



a)



b)

Şək. 2.10. Qaçan dalğa lampasının quruluşu a) və konstruktiv görünüşü b).

Dalğa sahəsinin təsiri ilə spiralda elektronların topalaşma (sıxlaşma) konsentrasiyası artır. Elektron topalarının enerjisinin, qaçan dalğaya ötürülməsinin vacib şərti - elektronların sürətlərinin, dalğanın ox boyu sürətindən çox olmasıdır. Bu halda elektronlar, əsasən, dalğanın tormozlayıcı sahəsində olurlar və ora öz enerjilərini verə bilirlər. Nəticədə dalğanın enerjisi, spiralın sonu istiqamətində artır (elektronların kinetik enerjisi hesabına). Yüksək tezlikli rəqslərin gücü isə, dalğaötürənin çıxışında, qaçan dalğa lampasının girişindəki rəqslərin gücündən çox olur. QDL - nin işçi tezlik zolağı, orta tezliyin 20...30%-ni təşkil edir, yəni maqnetronlardan fərqli olaraq, QDL az küy səviyyəsinə malik olan genişzolaqlı gücləndiricidir.

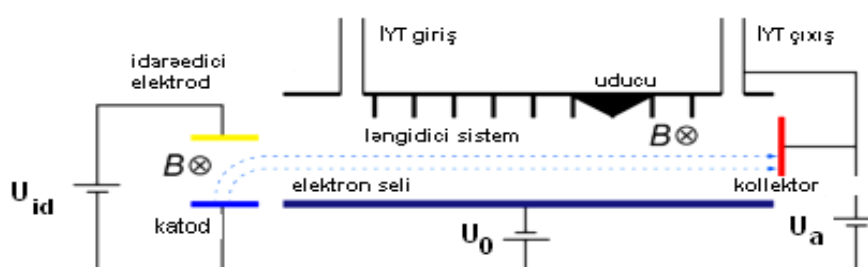
QDL - i avtogenerator kimi istifadə edərkən o, əks rabitə ilə elə əhatə olunur ki, öz-özünə həyəcanlanma şərti ödənilsin (fazalar balansı və amplitud balansı). QDL - in gücləndirmə əmsalı 60 dB - ə çatır (f.i.ə. 15...50% olduqda).

Çıxış gücü vahidlərlə vattdan 1 kVt - a qədər olur. Əsas tətbiq sahələri - çoxkanallı rabitə xətləri və teleidarətmədə desimetrlik və santimetrlik dalğalarda genişzolaqlı gücləndiricilər kimi istifadə olunurlar.

«O» - tip QDL - ın klistron elektron seli qruplaşdırıcısı istifadə edildiyi varianta çox zaman tvistron (ingiliscə «Traveling Wave» - qaçan dalğa və klistron) adlandırırlar. Bunların f.i.ə. yüksəkdir (50 % - ə qədər), impuls rejimindəki çıxış gücləri onlarla meqavata çata bilər.

«M» - tipli QDL (bimatron - ingiliscə «Beam Injection Magnetron Amplifier» - elektron dəstəsinin injeksiyalı maqnetron gücləndiricisi) - maqnetron tipli gücləndiricidir (şək.2.11).

«M» - tipli xətti QDL - lər «O» - tip və «M» - tip QDL - nin hibrididir. Bunlarda şaquli olaraq injeksiya edilən elektron seli, əksətdirici elektrodun xarici statik sahəsinin və perpendikulyar statiki maqnit sahəsinin köməyi ilə xətti ləngidici sistemə istiqamətləndirilir.



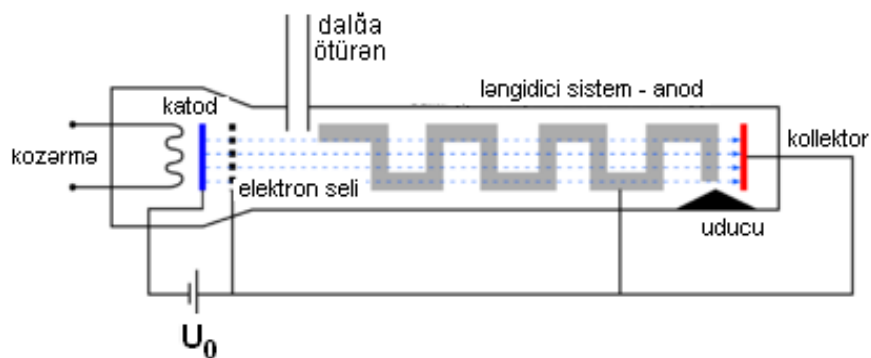
Şək. 2.11. «M» tipli qaçan dalğa lampasının quruluşu.

2.7.5. Əks dalğa lampaları (ƏDL). Bu cihazlar, QDL - dən onunla fərqlənirlər ki, onlarda elektron seli, QDL - lə müqayisədə əks istiqamətdə yayılan dalğanın sahəsi ilə qarşılıqlı təsirdə olur. ƏDL - ın gücləndirici kimi tətbiqində, dalğaötürənin girişi kollektor oblastında, çıxış dalğaötürəni isə - elektron lüləsi (puşka) oblastında yerləşirlər. ƏDL - ın iş prinsipi də QDL kimidir. ƏDL - lər əsasən azgüclü avtoqenerator (<1 Vt) yaradılmasında istifadə edilir, çünki onlarda güclü daxili müsbət əks rabitə vardır. ƏDL - lərin f.i.ə. çox aşağıdır (bir neçə faiz). Onların əsas üstünlüyü sürətləndirici gərginliyi dəyişməklə, tezliyin elektron köklənməsini təmin etməyin mümkün olmasıdır.

ƏDL - injeksiya olunmuş elektron selinin, əks dalğa sahəsi uzunmüddətli qarşılıqlı təsire malik İYT elektrovakuum cihazıdır, və onun quruluşu və konstruktiv görünüşü şəkil 2. 12 - də göstərilmişdir.

ƏDL - lər əsasən generator cihazlarıdır, çünki kollektordan katoda dalğaların əks hərəkəti sayəsində, generasiya üçün lazım olan müsbət əks rabitə yaranır. Düzünə dalğaların təsirini aradan qaldırmaq üçün ƏDL - in konstruksiyasında, uducu yük nəzərdə tutulur. Bu yük, ləngidici sistemin katoddan uzaqda olan ucunda yerləşdirilir. Çıxış signalını isə ləngidici sistemin

katoda yaxın olan ucundan götürürlər, çünki, məhz burada generasiya olunan sahənin intensivliyi maksimaldır. «O» - tip ƏDL- ləri xətti konstruksiyaya malikdir (şəkil 2. 12). «M» - tip ƏDL – ləri «M» - tip QDL – lərə analojidir və həlqə kimi burulmuşdur. Onlarda xarici maqnit sahəsinin köməyi ilə halqəşəkilli elektron selinin yaradılması da mümkündür. Xətti ƏDL - rı «O» - tip və «M» - tip ƏDL - nın hibrididir.



a)



b)

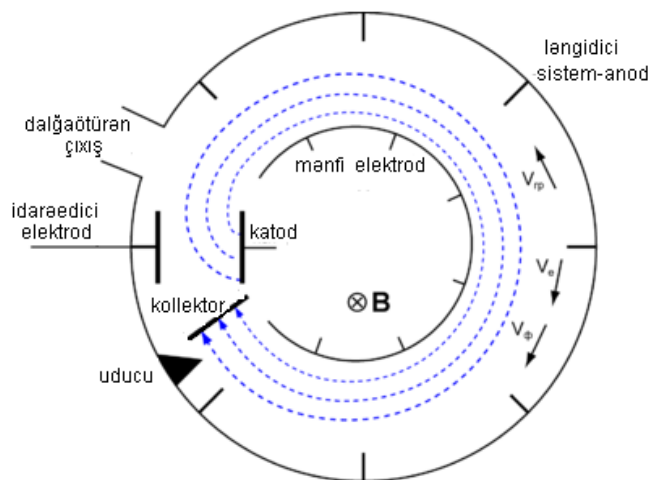
Şək. 2.12. Qaçan dalğa lampasının quruluşu a) və konstruktiv görünüşü b).

«O» - tip və «M» - tip ƏDL - nın əsas fərqi, uyğun olaraq elektronların kinetik və ya potensial enerjilərindən hansının üstün istifadə edilməsindədir.

ƏDL - in xarakterik xüsusiyyəti - geniş diapazonda generasiya tezliyini elektriki tənzimləmənin mümkünlüyüdür. Bunun səbəbi - elektron seli və dalğaların, lengidici sistemdə gərginliyi dəyişməklə, müxtəlif tezliklərdə sinxronluq tələbinin ödənilməsidir.

“O” tipli ƏDL-lərdə elektronlar özünün və dalğanın sürətlərinin fərqinə uyğun olan artıq kinetik enerjisini sahəyə ötürürlər. Ona görə də bu cihazlarda F.İ.Ə. göstərilən sürətlərin yol verilən fərqləri ilə məhdudlaşır. Əksinə “M” tipli ƏDL-lərdə elektronların kinetik enerjisi dəyişmir, ancaq İYT sahəsinə çevrilən potensial enerji dəyişir. Bundan əlavə “M” tipli ƏDL-də elektronların və İYT sahəsinin daha əlverişli qarşılıqlı təsiri elektronların orta sürətinin və dalğanın faza sürətinin dəqiq bərabər olduğu zaman ($V_e = V_f$) baş verir, hansı ki, “O” tipli

ƏDL-lərdə elektronların dalğadan bir az sürətli hərəkət etməsi tələb olunur. “M” tipli ƏDL –in quruluşu şəkil 2.13 –də verilmişdir.



Şək. 2.13. Qaçan dalğa lampasının quruluşu.

ƏDL - nın əsas tətbiq sahələri - ölçmə texnikası, İYT diapazonlu tezlik modulyasiyalı rabitə sistemləri və *radio əks təsir sistemləri*dir.

2.8. Fotoelektron emissiyalı cihazlar

2.8.1. Fotoelektron emissiya hadisəsi. Fotoelektron emissiyası dedikdə elektromaqnit şüalanmasının təsiri ilə baş verən elektron emissiyası başa düşülür. Bu hadisəni başqa cür *xarici fotoeffekt* adlandırırlar. Bu halda emissiya edən elektrod fotoelektron katod (fotokatod), onun buraxdığı elektronlar fotoelektronlar adlanır.

Fotoelektron emissiyası hadisəsinin öyrənilməsinin başlanğıcı 1886-cı ilə təsadüf edir. İlk dəfə alman alimi H.Hers qeydə almışdır ki, elektrodlardan biri işıqlandırıldıqda elektrik boşalmasının yaranma gərginliyi azalır. Bu hadisəni 1888-ci ildə Moskva Universitetinin professoru A.Q. Stoletov tədqiq etməyə başlayıb. O, xarici fotoeffektin vacib xassələrini qeydə almış, lakin mahiyyətini izah edə bilməmişdir, ona görə ki, o vaxt hələ elektronlar məlum deyildi.

Fotoelektron emissiyanın qanunlarını və xarakterik xüsusiyyətlərini nəzərdən keçirək:

1. Stoletov qanunu. Fotoelektron emissiyası hesabına yaranan I_f cərəyanı Φ işıq seli ilə düz mütənasibdir:

$$I_{\phi} = S\Phi, \quad (22.1)$$

burada S – mikroamper /lümenlərlə ifadə olunan həssaslıqdır.

Əgər Φ seli monoxromatikdirsə, yəni bir dalğa uzunluqlu şüalara malikdirsə, onda həssaslığı monoxromatik adlandırırırlar və S_{Σ} - lə işarə edirlər.

2. Eynşteyn qanunu. Eynşteyn 1905-ci ildə müəyyən etmişdir ki, xarici fotoeffekt zamanı fotonun $h\nu$ enerjisi W_0 çıxış enerjisinə və uçub çıxan elektronun kinetik enerjisinə çevrilir:

$$h\nu = W_0 + 0,5mv^2, \quad (22.2)$$

burada m və v – fotoelektronun kütləsi və sürəti; ν - şüalanma tezliyi, h – $6,63 \times 10^{-34}$ C·s - ə bərabər olan Plank sabitidir.

Məlumdur ki, elektromaqnit şüalanması ikili təbiətə malikdir. Bir tərəfdən, elektromaqnit dalğaları dalğa uzunluğu λ və tezliyi ν ilə xarakterizə olunur. Digər tərəfdən şüalanmaya $h\nu$ enerjisinə malik olan kvant hissəciklərinin – fotonların seli kimi baxmaq olar.

Eynşteyn qanunu onu bildirir ki, fotonun enerjisi $h\nu$, fotokatoddan çıxmağa W_0 enerji sərf edən elektrona ötürülür, $h\nu - W_0$ fərqi isə uçub ayrılan elektronun enerjisidir.

3. Xarici fotoeffekt üçün qırmızı, yaxud uzun dalğa adlanan sərhəd mövcuddur. Əgər ν tezliyini azaltsaq hər hansı bir ν_0 tezliyində fotoelektron emissiya kəsiləcək, çünki bu tezlikdə $h\nu = W_0$ və fotoelektronların enerjisi sıfıra bərabər olur. ν_0 tezliyi $\lambda_0 = c/\nu_0$ ($c = 3 \cdot 10^8$ m/c) dalğa uzunluğuna uyğundur. $\nu_0 < \nu$, yaxud $\lambda > \lambda_0$ olduqda fotoelektron emissiyası ola bilməz, çünki $h\nu < h\nu_0$, yəni fotonun enerjisi çıxış işini yerinə yetirmək üçün kifayət deyil.

Fotoeffekt üçün az ətalətlilik xarakterikdir. Fotocərəyan şüalanmaya nisbətən yalnız bir neçə nanosaniyə gecikir.

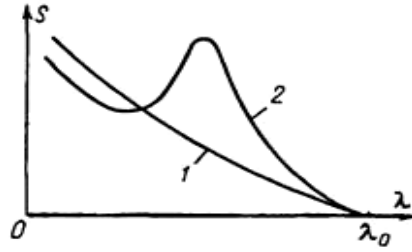
Fotokatodlar bəzən fotoelektronların sayının emissiyanı yaradan fotonlara olan nisbəti ilə xarakterizə olunur.

Bu parametr elektronların kvant çıxışı adlanır. Əgər hər bir foton bir elektronun çıxmasını yaratsaydı onda kvant çıxışı birə bərabər olardı. Lakin fotonların çox hissəsi fotocərəyanın yaradılmasında iştirak etmirlər: elektronların bir hissəsi λ_0 - dan böyük dalğa uzunluğuna malik olur, bir hissəsi katodun dərinliyinə keçərək orada enerjisini səpələyir, nəhayət bir hissəsi isə katodun səthindən əks olunur. Adətən kvant çıxışı 2%-i keçmir.

Görünən şüalanma spektrinə $0,38 - 0,78$ mkm dalğa uzunluqları uyğundur və müəyyən olunmuşdur ki, şüaların bir hissəsi yalnız seziumda və kaliumda fotoelektron emissiyanın baş verməsinə səbəb ola bilər. Ona görə də fotokatodları təmiz metaldan yox, qarışıqlardan hazırlayırlar. Məsələn geniş tətbiq olunan gümüşdən, sezium oksidindən və təmiz seziumdan təşkil olunmuş

oksidli seziüm fotokatodu azaldılmış çıxış gərginliyinə malikdir, və onun üçün $\lambda_0 = 1,1\text{mkm}$ təşkil edir.

Şəkil 2.14-də fotokatodun spektral asılılığı göstərilmişdir.



Şək. 2.14. Fotokatodun spektral xarakteristikası.

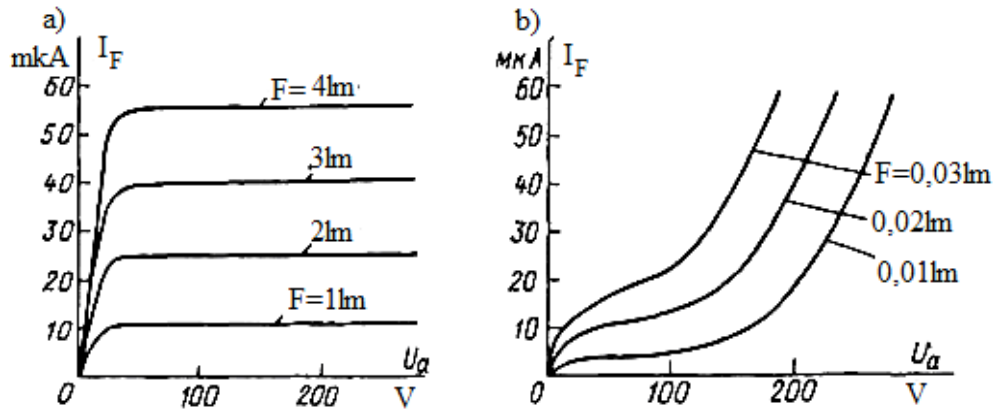
Fotokatodun həssaslığı şüalanmanın dalğa uzunluğundan asılıdır. Bu $S=f(\lambda)$ asılılığı *spektral xarakteristika* adlanır və o iki növ ola bilər. 1 əyrisi təmiz metallardan hazırlanmış qalın katodlarda müşahidə olunan normal fotoeffektə uyğundur, 2 əyrisi isə xüsusi emal olunmuş qələvi metallardan hazırlanmış nazik katodlar üçün xarakterik olan selektiv (seçici) fotoeffektə alınır. Qeyd etmək lazımdır ki, vaxt keçdikcə həssaslıq azalır, yəni fotokatodun “yorğunluğu”, yaxud “gücdən düşməsi” deyilən hadisə baş verir.

2.8.2. Elektrovakuüm fotoelementləri. Elektrovakuüm (elektron, yaxud ion) fotoelementləri, şüşə balonunun daxili səthinə fotoelektronları emissiya edən nazik maddə təbəqəsi şəklində fotokatod çəkilən dioddur. Anod adətən fotokatoda işığın düşməsinə mane olmayan metal halqa şəklində olur. Elektron fotoelementlərdə yüksək vakuüm yaradılır, ion fotoelementlərdə isə bir neçə yüz paskal (bir neçə millimetr civə sütunu qədər) təzyiq altında olan təsirsiz qaz, məsələn arqon olur. Katodlar adətən surmaseziüm, yaxud gümüş-oksigen-seziüm materialından hazırlanır.

Fotoelementlərin xassələri və fərqli xüsusiyyətləri onların xarakteristikaları ilə əks etdirilir. Elektron fotoelementin şəkil 2.15 - də verilmiş $F = \text{const}$ olduqda alınan $I_f = f(u_a)$ anod (*volt-ampere*) xarakteristikaları kəskin ifadə olunan doyma rejiminə malikdirlər. İon fotoelementlərdə bu xarakteristikalar əvvəlcə elektron fotoelementlərdə olduğu kimi dəyişirlər, amma anod gərginliyinin sonrakı artırılması zamanı, qazın ionlaşması nəticəsində cərəyan kəskin artır. İon fotoelementlərində 5-dən 12-yə qədər artır.

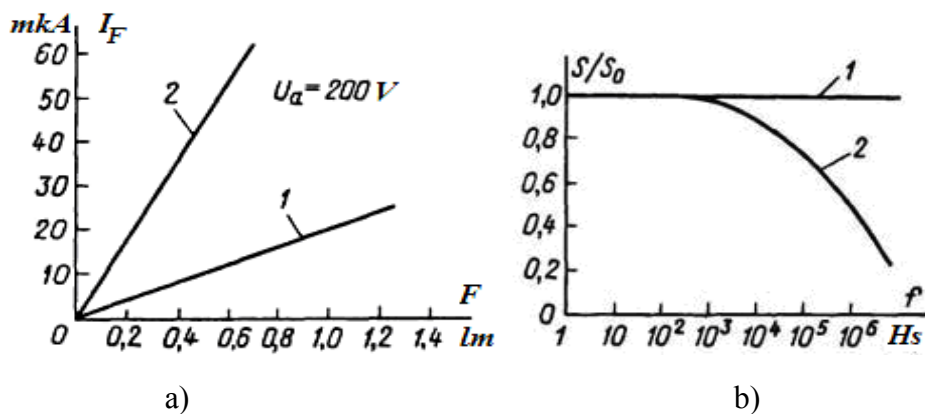
Elektron və ion fotoelementlərinin $U_a = \text{const}$ olduqda $I_\phi = f(\Phi)$ asılılığını xarakterizə edən energetik xarakteristikaları şəkil 2.16,a – da göstərilmişdir. *Həssaslığın tezlik xarakteristikaları* həssaslığın işıq selinin modulyasiya tezliyindən asılılığını verir. Şəkil 2.16,b – dən görüldüyü kimi elektron elektrovakuüm fotoelementləri az ətalətlidirlər (1-ci xətt). Bu fotoelementlər yüz

meqaherslərə qədər tezliklərdə işləyə bilirlər, ion fotoelementlərində güclü ətalət baş verir, onların həssaslığı isə bir neçə kiloherslərdə azalmağa başlayır (2-ci əyri).



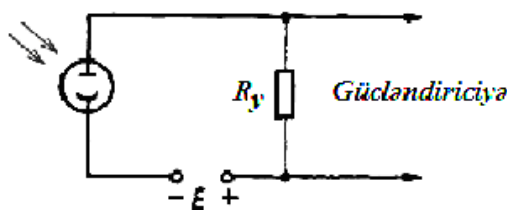
Şək. 2.15. Elektron (a) və ion (b) fotoelementlərin anod xarakteristikaları.

Fotoelement adətən yük müqaviməti R_y ilə ardıcıl qoşulur (şək. 2.17). Fotocərəyan çox kiçik olduğundan fotoelementin sabit cərəyana görə müqaviməti çox böyükdür və bir neçə, yaxud onlarla meqom olur. Yük rezistorunun müqaviməti də çox olmalıdır. Bu müqavimətdən işıq siqnalından alınan gərginlik götürülür. Bu gərginlik, giriş tutumu R_y müqavimətini şuntlayan gücləndiricinin girişinə verilir. R_y müqaviməti nə qədər böyük olsa və tezlik nə qədər çox olsa, bu şuntlayıcı təsir bir o qədər çoxdur və R_y rezistorundakı siqnalın gərginliyi bir o qədər az olur.



Şək. 2.16. Elektron (1) və ion (2) fotoelementlərin: a) energetik xarakteristikaları; b) tezlik xarakteristikaları

Fotoelementlərin əsas elektrik parametrləri həssaslıq, maksimal yol verilə bilən gərginlik və qaranlıq cərəyanıdır. Elektron fotoelementlərdə həssaslıq onlarla, ion fotoelementlərdə isə yüzlərlə mkA/lm - ə çatır. Qaranlıq cərəyanı şüalanma olmadıqda yaranan cərəyanıdır. Bu cərəyan katodun termoelektron emissiyası və elektrodlar arasındakı sızma cərəyanları ilə izah olunur. Otaq temperaturunda termoemissiya cərəyanı 10^{-10}A , sızma cərəyanları 10^{-7}A ola bilər. Xüsusi konstruksiyalı fotoelementlərdə sızma cərəyanlarını olduqca azaltmaq olur, termoemissiya cərəyanını isə katodun aşağı temperaturlara qədər soyudulması ilə azaltmaq olar. Qaranlıq cərəyanının olması fotoelementlərin çox zəif işıq siqnalları üçün tətbiq olunmasını məhdudlaşdırır.

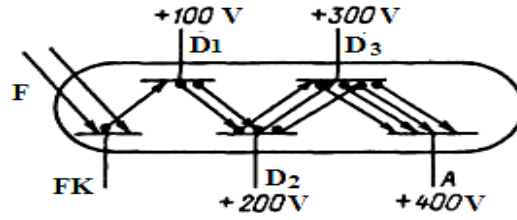


Şək. 2.17. Fotoelementin qoşulma sxemi.

Elektrovakuum fotoelementləri müxtəlif avtomatika qurğularında, səsli kinoda, fiziki tədqiqatlar cihazlarında geniş tətbiq tapmışdır. Lakin bu cihazların çatışmayan cəhətləri - miniatürləşdirilməsinin qeyri mümkünlüyü və anod gərginliklərinin kifayət qədər çox olması (onlarla və yüzlərlə volt) bir çox müasir aparaturada bu fotoelementlərin yarımkeçirici şüalanma qəbulediciləri ilə əvəz olunmasına gətirib çıxarmışdır.

2.8.3. Fotoelektron vurucular. *Fotoelektron vurucular* (FEV) elektron elektrovakuum fotoelementi olub, ikinci elektron emissiyası hesabına fotocərəyanın gücləndirilməsini təmin edən qurğu ilə tamamlanmış elektrovakuum cihazıdır. Dünyada ilk dəfə FEV 1930-cu ildə sovet mühəndisi L.A. Kubetskiy tərəfindən ixtira edilmişdir. Sonralar P.V. Timofeyev və S.A. Vekşinskiy tərəfindən daha əlverişli konstruksiya variantları yaradılmışdır. FEV-in quruluşu və iş prinsipi şəkil 2.18-də göstərilmişdir.

F işıq seli FK fotokatodundan elektron emissiyasını yaradır. Fotoelektronlar sürətləndirici elektrik sahəsinin təsiri ilə *dinod* adlanan D_1 elektroduna yönəldirlər. Bu fotokatoda nəzərən anoddur və eyni zamanda o, ikinci elektron emitteri rolunu oynayır. Dinod güclü və dayanıqlı ikinci elektron emissiyasına malik olan metaldan hazırlanır. Ona görə də fotokatoddan çıxan ilkin elektronlar (I_F cərəyanı) D_2 dinodundan ikinci elektronları vurub qoparırlar ki, o da σ dəfə ilkin elektronların sayından çoxdur (σ - D_1 dinodunun ikinci emissiya əmsalıdır və adətən bir neçə vahid həddində olur).



Şək. 2.18. FEV-in quruluşu və iş prinsipi.

Beləliklə, birinci dinoddan ayrılan ikinci elektronların cərəyanı $I_1 = \sigma I_f$ olur. I_1 cərəyanı daha yüksək müsbət potensiala malik olan D_2 dinoduna yönəlir. Onda D_2 dinodundan ikinci elektron emissiyası hesabına qiyməti I_1 cərəyanından σ dəfə çox olan I_2 cərəyanı yaranır (sadəlik üçün bütün dinodların ikinci elektron emissiya əmsalının eyni olduğunu qəbul edək), yəni, $I_2 = \sigma I_1 = \sigma^2 I_f$. Öz növbəsində I_2 cərəyanı müsbət potensialı daha yüksək olan üçüncü D_3 dinoduna yönəlir və bu dinoddan $I_3 = \sigma I_2 = \sigma^3 I_f$ cərəyanı axır.

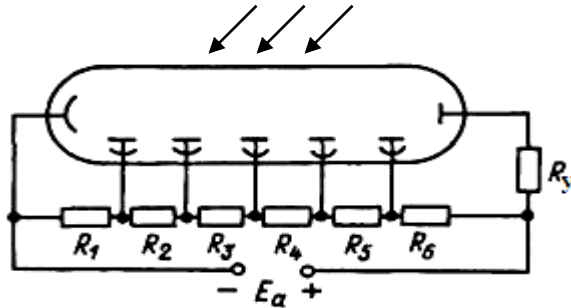
Sonuncu n -ci D_n dinodundan I_n cərəyanı A anoduna yönəlir, və onda anodun cərəyanı $I_a = I_n = \sigma^n I_f$ olur. Beləliklə cərəyanın güclənmə əmsalı $k_1 = \sigma^n$ olur. Məsələn, əgər $\sigma = 10$ və $n = 8$ olarsa, onda $k_1 = 10^8$ olar. Praktiki olaraq güclənmə kiçik olur, çünki dinoddan vurulub çıxarılmış bütün ikinci elektronları növbəti dinoda yönəltmək mümkün olmur. İkinci elektronların çox hissəsinin istifadə oluna bilməsi üçün müxtəlif forma və elektrodlarının müxtəlif qarşılıqlı yerləşməsinə malik olan FEV-lər işlənilib hazırlanmışdır. İkinci elektronlar selinin fokuslanması üçün adətən, elektrik sahəsi istifadə olunur, çünki maqnit sahəsi ilə fokuslama çox yer tutan iri bir maqnit sistemi tələb edir.

Sadə birkaskadlı FEV fotokatod, dinod və anoddan ibarətdir. Çoxkaskadlı FEV-lər bir neçə milyonlara çatan güclənmə əmsalına malik ola bilər, inteqral həssaslığı isə onlarla amper/lümen təşkil edə bilər. Adətən FEV-lər kiçik anod cərəyanlarında və az işıq sellərində işləyirlər. Anod cərəyanı adətən onlarla milliampərlərdən çox olmur, girişdəki işıq selləri isə 10^{-3} lm və daha kiçik ola bilər.

Hər dinoddakı gərginlik, əvvəlkindəkindən yüksək olduğundan, anod gərginliyi yüksək olmalıdır ki (1-2kV), bu da FEV-lərin çatışmazlığıdır. Adətən FEV-in qidalanması tam anod gərginliyinin verildiyi gərginlik bölücüsü vasitəsilə həyata keçirilir (şəkil 2.19). Anod dövrəsində çıxış gərginliyinin götürüldüyü R_y yük müqaviməti qoşulur.

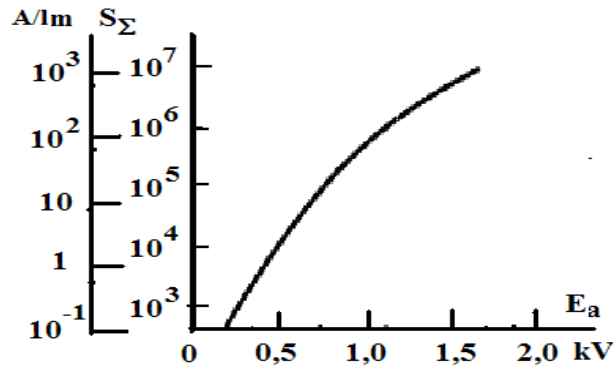
FEV-lər üçün eynilə adi fotoelementlərdə olduğu kimi fotokatodun və dinodların termoelektron emissiyası ilə şərtləndirilmiş qaranlıq cərəyanının olması xarakterikdir. Onun qiyməti mikroamperin az hissələri qədər olur. Bu cərəyan cihazın soyudulması hesabına azaldıla bilər. Qaranlıq cərəyanın qiyməti

ilə FEV vasitəsilə qeydə alınma bilən minimal işıq selinin qiyməti məhdudlanır. Işıq selinin minimal dəyişmələri fotokatodun emissiyasının və qaranlıq cərəyanının fluktuasiyaları ilə məhdudlanırlar. Qeyd etmək lazımdır ki, bu fluktuasiyalar çox olmur, yəni FEV-lər azküylü cihazlardır. Bu cihazların küy əmsalı adətən $F_k = 1,5-2,0$ olur, belə ki ideal, küysüz gücləndiricidə $F_k = 1$ olur.



Şək.2.19. FEV-in qoşulma sxemi.

FEV-in əsas parametrləri: verilmiş FEV-in tətbiq oluna biləcəyi spektral həssaslıq oblastı (dalğa uzunluqları diapazonu); vurma pillələrinin sayı; cərəyanın ümumi gücləndirilmə əmsalı; qida gərginliyi; inteqral həssaslığı; qaranlıq cərəyanıdır. Adətən FEV-in xarakteristikaları kimi işıq xarakteristikası $I_a = f(F)$, həmçinin, k_i gücləndirmə əmsalının və S_Σ inteqral həssaslığın E_a gərginliyindən asılılığıdır (şək.2.20).



Şək.2.20. FEV-in güclənmə əmsalının və inteqral həssaslığının qida gərginliyindən asılılığı.

Fotoelektron vurucular az ətalətə malikdirlər və çox yüksək tezliklərdə işləyə bilirlər. Onları nanosaniyə zaman intervalları ilə davam edən işıq impulslarını qeydə almaq üçün tətbiq edirlər. Bundan əlavə, FEV-ləri elm və texnikanın çox sahələrində - astronomiyada, fototeleqrafiyada və televiziyada az işıq sellərinin qeydə alınması, spektral analiz və c. üçün tətbiq edirlər. Elektron texnikasında FEV-ləri əvəz edən, geniş tətbiqini tapmış cihazlar yoxdur.

Fəsil 3. YARIMKEÇİRİCİ CİHAZLAR

3.1. Yarımkəçirici materiallar haqqında ümumi məlumat

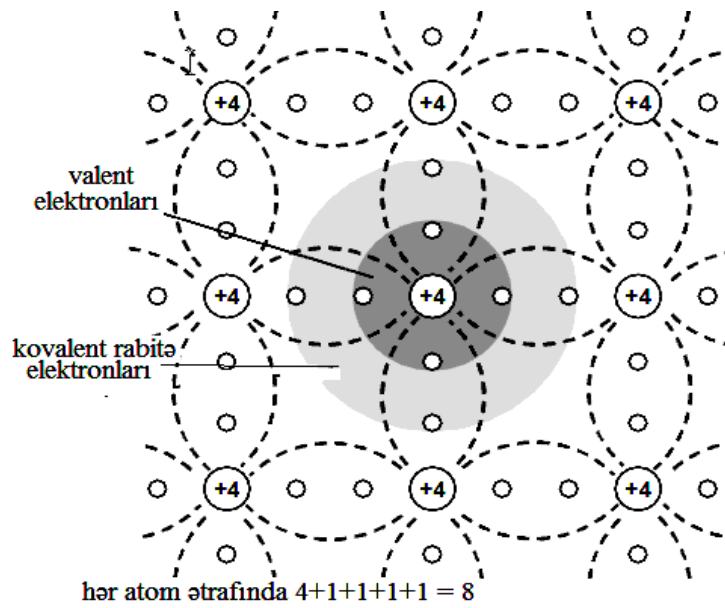
Yarımkəçirici materiallar əsasən, kristallik quruluşa malik olan maddələr olub öz keçiricilik xassələrinə görə keçiricilər və dielektriklər arasında aralıq yer tuturlar. Yarımkəçiricilərin xüsusi müqaviməti adətən, $10^{-3} \dots 10^8$ Om·m intervalında olur. Metalların, yarımkəçiricilərin və dielektriklərin keçiriciliyin müxtəlif olması kristallik qəfəsin düyünlərində yerləşmiş atomların rabitəsindən valent elektronlarının ayrılmasına sərf etmək üçün lazım olan enerjinin qiymətinin müxtəlif olması ilə bağlıdır. Belə ki, yarımkəçiricilərdə keçiricilik aşqarların (qarışıqların) olmasından və temperaturdan kəskin olaraq asılıdır.

B, Si, P, S, Ge, As, Sn, Sb, Te, İn elementləri, həmçinin, $A^x B^{8-x}$ (burada A –X qrupunun elementi, B isə (8-X) qrupunun elementləridir) binar birləşmələri yarımkəçiricilərə aiddirlər. Binar (ikiqat) birləşmələrə misal olaraq AgCl, KBr, CdS, CdSe, PbTe və s. göstərmək olar.

Kristallik quruluşa malik yarımkəçiricilərdə, o cümlədən, silisiumda və germaniumda hər atom qonşu atomla kovalent (cüt elektron) rabitə ilə birləşir (şəkil 3.1.). İdeal kristallik qəfəsə malik olan (aşqarı olmayan) yarımkəçiricilər məxsusi yarımkəçiricilər adlanırlar. $T = 0^\circ\text{K}$ temperaturunda məxsusi yarımkəçiricidə bütün valent elektronları rabitədədir (əlaqəlidir). Sərbəst elektronlar olmadığından belə kristal elektrik sahəsində yerləşdirdikdə onda cərəyan yaranmır. Ona görə də bu temperaturda yarımkəçirici ideal yarımkəçirici xassələrinə malik olur. Məxsusi yarımkəçiricidə yükdaşıyıcı sərbəst elektron, yalnız valent elektronun hər hansı bir rabitədən ayrıldığı halda ola bilər. Yalnız elektrona əlavə enerji verildikdə, o rabitədən ayrılaraq keçiricilik elektronuna (sərbəst elektrona) çevrilir. Çünki azadolma zamanı elektron əlavə enerji alır və onun tam enerjisi rabitəni qırmaq üçün zəruri olan enerjiden böyük olur. Tam enerji az olduqda elektron valent rabitədə qalmaqda davam edir.

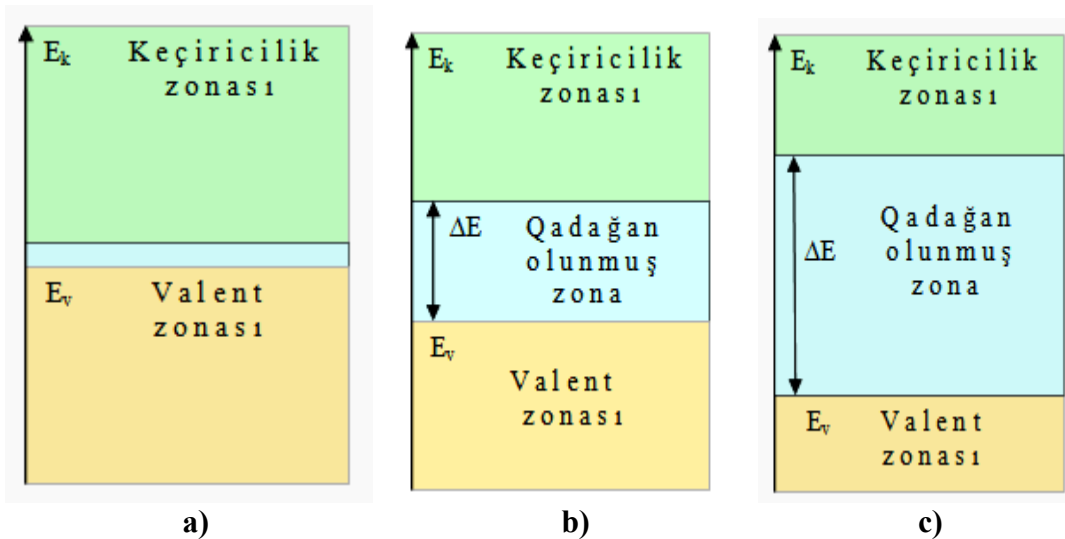
Keçiricilərin, yarımkəçiricilərin və dielektriklərin sərbəst və rabitədə olan elektronlarının energetik diaqramlarını şəkil 3.2 - də göstərilən qrafiklərlə müqayisəli şəkildə vermək olar.

E_k enerjisinə yalnız sərbəst elektron, E_v enerjisinə isə valent, yəni rabitədə olan elektronlar malik ola bilər. İdeal məxsusi yarımkəçiricilərdə elektronlar E_k və E_v aralığında yerləşən energetik zonada olan enerjiyə malik ola bilməzlər. Bu zonanı qadağan olunmuş enerjilər zonası, yaxud, sadəcə qadağan olunmuş zona adlandırırlar.



Şək. 3.1. Dörd valentli məxsusi yarımkəçiricidə - Ge və Si-da kovalent rabitənin modeli.

Qadağan olunmuş zonanın eni nə qədər böyük olsa, elektronun sərbəst olması bir o qədər çətin olar, və deməli, sərbəst elektrona çevrilməsi üçün bir o qədər çox əlavə enerji tələb olunur. Məsələn, germaniumda qadağan olunmuş zonanın eni $\Delta E = 0,72 \text{ eV}$, silisiumda isə $\Delta E = 1,21 \text{ eV}$ ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).



3.2. Materialların energetik zona diaqramları.

a) keçiricilər (metallar); b) yarımkəçiricilər; c) dielektriklər üçün energetik diaqramlar.

Elektronların valent rabitəsindən ayrılması istilik, işıq, elektrik sahəsi və müxtəlif növ şüalanmaların hesabına baş verə bilər. Atomlar kristal qəfəsdə

temperatura mütənasib amplitudla rəqsi hərəkətdə olur. Atomların rəqslərinin amplitudu eyni olmadığından, 0°K-dən böyük temperaturalarda həmişə istilik rəqslərinin hesabına qadağan olunmuş zonanın enindən çox enerji alan hər hansı elektronların, yəni sərbəst elektronların olması ehtimalı var, və temperatur nə qədər çox olsa belə elektronlar bir o qədər çox olur.

Sərbəst elektronların sayı temperatur artması ilə eksponensial qanun üzrə dəyişir

$$n = N_s \cdot e^{-\Delta E/2kT}, \quad (3.1)$$

burada, n – sərbəst elektronların 1 sm^3 konsentrasiyası;

ΔE – qadağan olunmuş zonanın eni;

T – mütləq temperatur, °K;

k – Bolsman sabiti ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ C/dər.}$)

N_s – sərbəst elektronların mümkün effektiv sıxlığı.

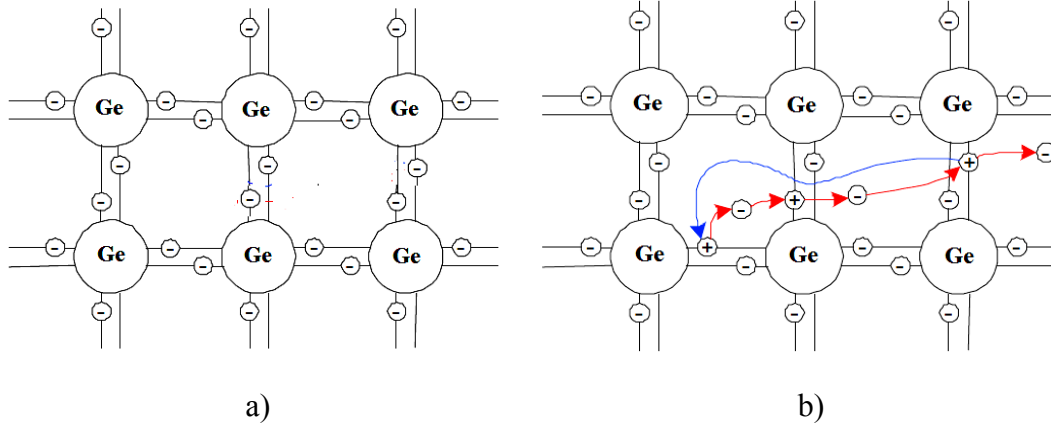
Əgər valent elektronu kovalent rabitəni qırıbsa və keçiricilik elektronuna çevrilibsə, onda onun əvvəlki yerində boşluq yaranır və elektrik neytrallığı pozulur. Beləliklə, elektrondan azad olmuş yer müsbət yükə malik olur. Valent rabitələrində yaranan bu vakant (boş) yerlər *deşiklər* adlanır. Deşik qonşu rabitənin valent elektronu tərəfindən doldurula bilər. Bu halda bir rabitə tutular (dolar), o biri isə defektli olar. Deməli, deşik kristal daxilində hərəkət edə bilər, onunla birlikdə isə müsbət yük də hərəkət edir. Sərbəst elektronun və deşiyin yaranması prosesi yükdaşıyıcıların *generasiyası* adlanır (bu proses enerjinin udulması ilə müşayiət edilir). Əks proses - sərbəst elektronların və deşiklərin yox olmasına gətirib çıxaran sərbəst elektronun rabitəyə qayıtması (deşiklərdə tutulması) prosesi yükdaşıyıcıların *rekombinasiyası* adlanır (bu proses enerji ayrılması ilə gedir).

Germaniumun müstəvi modeli və onda yük daşıyıcıların yaranması mexanizmi şəkil 3.3 – də verilmişdir.

Əgər yarımkəçirici kristalı elektrik sahəsinə yerləşdirsək, onda elektron və deşiklər biri-birinə əks istiqamətlərdə hərəkət edəcəklər və cərəyan yaradacaqlar. Uyğun olaraq elektronlar hesabına yaranan cərəyan *elektron cərəyanı*, deşiklər hesabına yaranan cərəyan isə *deşik cərəyanı* adlandırılır. Onlar əks işarələrə malik olduqlarından, ümumi cərəyan deşik və elektron cərəyanlarının cəminə bərabər olur

$$j = j_n + j_d \quad (3.2)$$

burada j – cərəyanın sıxlığı; j_n - elektron cərəyanının sıxlığı; j_d – deşik cərəyanının sıxlığıdır.



Şəkil 3.3. Kimyəvi təmiz germaniumun (Ge) müstəvi modeli:

a) – mütləq sıfır temperaturda: b) T > 0°K olduqda, sərbəst elektronların və deşiklərin yaranması.

Elektron və deşiklər sahənin təsiri altında, sahənin gərginliyinə mütənasib olaraq sabit sürətlə hərəkət edirlər. Mütənasiblik əmsalları μ_n və μ_d uyğun olaraq elektron və deşiklərin yürüklüyü (hərəkətliliyi) adlanır.

Om qanununa uyğun olaraq

$$J = \sigma E \quad (3.3)$$

burada σ - xüsusi elektrik keçiriciliyidir.

Yarımkəçiricilərin elektrik keçiriciliyi elektronların və deşiklərin konsentrasiyasından və onların yürüklüyündən asılıdır

$$\sigma = q(\mu_n n + \mu_d p) \quad (3.4)$$

Yarımkəçiricilərdə, temperatur artması ilə elektrik keçiriciliyin güclü artması sərbəst elektronların və deşiklərin sayının artması ilə izah olunur.

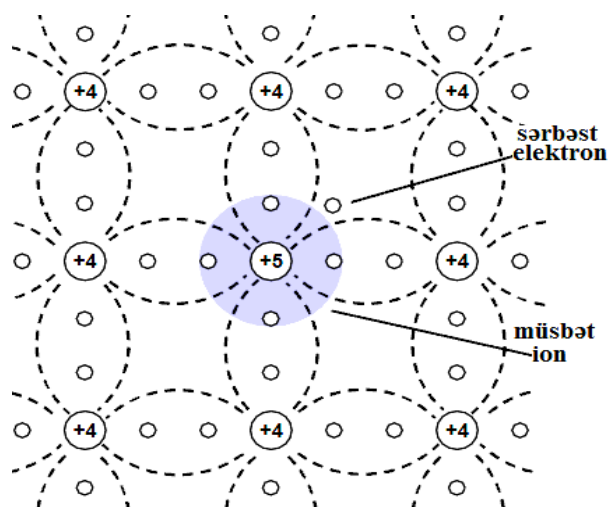
(3.4) düsturu məxsusi yarımkəçirici üçün elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığını göstərir.

Qeyd olunduğu kimi yarımkəçiricilərdə iki tip hərəkətli yük daşıyıcıları var: mənfi yüklü elektronlar və müsbət yüklü deşiklər. Yarımkəçiriciyə müxtəlif növ aşqarlar daxil etdikdə, deşiklərin konsentrasiyasını artırmadan elektronların konsentrasiyasını artırmaq, və əksinə, elektronların konsentrasiyasını artırmadan deşiklərin konsentrasiyasını artırmaq olar.

Məxsusi (təmiz) yarımkəçiricilər demək olar ki, yarımkəçirici cihazlarda tətbiq olunurlar, çünki az keçiriciliyə malik olurlar və birtərəfli keçiriciliyi təmin etmirlər. Məxsusi yarımkəçiricilərdə, mütəhərrik yükdaşıyıcıları adətən,

termogenerasiya hesabına yaranırlar. Aşqarlı yarımqeçiricilər daha çox texniki tətbiq tapmışlar. Bu tip yarımqeçiricilərdə, daxil edilmiş aşqarın növündən asılı olaraq, ya elektronlar, ya da, deşiklər çoxluq təşkil edir.

Ən geniş yayılmış məxsusi yarımqeçiricilər 4 - valentli Ge – germanium və Si -silisium elementləridir. GaAs yarımqeçiriciləri də geniş tətbiq tapmışlar. Cihazların hazırlanmasında əsasən, aşqarlı Ge, və yaxud Si istifadə olunur. Əgər Si kristal qəfəsinə 5 valentli element, məsələn, fosfor P, arsenium As və b. daxil edilsə, onda aşqar atomunun 4 valent elektronu 4 qonşu Si atomlarının elektronları ilə kovalent rabitəyə girəcək, beşinci valent elektronu isə artıq qalacaq. Bu elektron atomla zəif əlaqədə olduğundan çox asanlıqla sərbəst elektrona çevrilir. Bu halda aşqar atomu müsbət yüklü hərəkətsiz iona çevrilir. Sərbəst elektronların sayı artdıqca rekombinasiya ehtimalı artdığından deşiklərin sayı xeyli artır. Normal temperaturda demək olar ki, bütün aşqar atomları hərəkətsiz müsbət ionlara çevrilir, sərbəst elektronların sayı deşiklərin sayından xeyli çox olur (şək. 3.4.). Elektronlar bu yarımqeçiricilərdə əsas yükdaşıyıcılar, deşiklər isə qeyri-əsas yükdaşıyıcılar olduğundan yarımqeçirici *n-tip* adlanır. Atomları elektronları verən aşqarlar *donor* adlanır.

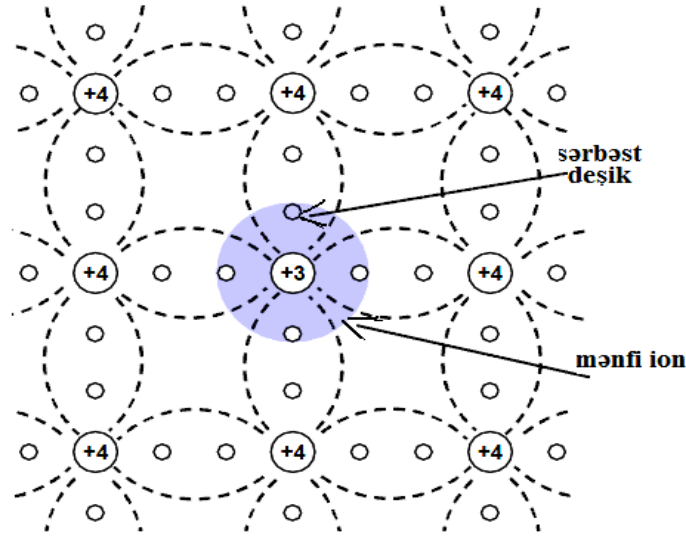


Şəkil 3.4. Aşqarlı *n*-tip yarımqeçiricinin quruluşu.

Silisiuma 3-valentli element, məsələn, bor B, indium İn və b. daxil etdikdə aşqarın hər atomunun valent elektronu kristal qəfəsdə 3 qonşu Si atomlarının valent elektronları ilə kovalent rabitəyə girir, 4-cü rabitə üçün isə aşqar atomu silisiumun digər rabitəsindən elektron götürür və bu halda deşik əmələ gətirir (şək. 3.5.) . Nəticədə aşqar atomu hərəkətsiz mənfi iona çevrilir. Beləliklə, 3-valentli aşqar deşiklərin konsentrasiyasını artırır ki, o da öz növbəsində elektronların konsentrasiyasını azaldır. Bu yarımqeçiricilərdə deşiklər əsas

yükdaşıyıcılar, elektronlar isə qeyri-əsas yükdaşıyıcılar olduğundan, p-tip (deşik tipli) adlanırlar. Elektronları alan aşqar maddələr akseptorlar adlanırlar.

Aşqar keçiriciliyin məxsusidən çox olması üçün aşqar atomlarının konsentrasiyası N , məxsusi keçiricidəki elektronların konsentrasiyası n_i və deşiklərin konsentrasiyası p_i –dən çox olmalıdır. Qeyd etmək lazımdır ki, məxsusi yarımkeçiricidə $n_i = p_i$ olur. Praktiki olaraq N , n_i və p_i –dən xeyli çox olur. Belə ki, aşqarın miqdarından asılı olaraq N , n_i -dən 1000 -lərlə və hətta 10000 -lərlə dəfələrlə çox ola bilər.



Səkil 3.5. Aşqarlı p-tip yarımkeçiricinin quruluşu.

Yarımkeçiricilər xarici təsirlərə çox həssas olduğundan onların əsasında çoxlu vericilər, və bu vericiləri istifadə etməklə bir sıra texniki sistemlər yaradılır.

Yarımkeçiricilər qızdırıldıqda və soyudulduqda, işıqla, yüklənmiş hissəciklərlə işıqlandırıldıqda, təzyiqin, elektrik və maqnit sahələrinin təsiri ilə öz elektrik müqavimətlərini kəskin dəyişirlər. Yarımkeçiricilərdə elektrofiziki xassələri dəyişməklə onlar əsasında hazırlanmış cihazlarda elektrik cərəyanını çox asanlıqla idarə etmək olar. Hal-hazırda yarımkeçiricilərdən çoxtəbəqəli, çoxelementli kompozisiyalar tərtib edərək daha geniş tərkibli idarə olunan xassələrə və xarakteristikalara malik olan materiallar alırlar. Mürəkkəb birləşmələrə misal GaAsP, InGaSb, ZnCdSeTe birləşmələrini göstərmək olar.

Yarımkeçiricilərin keçiriciliyi keyfiyyətcə metalların keçiriciliyindən xeyli fərqlənir, və daha çox dielektriklərlə ümumi xassələrə malikdirlər. Aşağıdakı xassələri ilə yarımkeçiricilər keçiricilərdən kəskin fərqlənirlər:

- keçiriciliyin temperaturdan asılılığının xarakteri və dərəcəsi ilə;
- cüzi miqdarda aşqarın yarımkeçiricinin keçiriciliyinə güclü təsiri ilə;

- keçiriciliyin müxtəlif növ şüalanmalara həssas olması ilə.

Malik olduqları üstünlükləri ilə yanaşı yarımkeçiricilərin bir sıra çatışmazlıqları vardır. Belə ki, yarımkeçirici cihazın parametrlərinin temperaturdan asılı olması, giriş müqavimətinin kiçik olması, hazırlanma texnologiyasının mürəkkəbliyi onların əsas çatışmazlıqları hesab olunur.

3.2. Yarımkeçirici cihazlar və onların işarələnməsi sistemləri

Texnikada geniş tətbiq tapan elektron qurğularının əsasını təşkil edən yarımkeçirici cihazlar diodlar, tranzistorlar, integral mikrosxemlər, yarımkeçirici vericilər, optoelektron cihazlar, optocütlər və s.-dir.

Cihazların, o cümlədən, yarımkeçirici cihazların işarələnmə sisteminin əsasını bir qayda olaraq hərf-rəqəm kodu təşkil edir.

Yarımkeçirici cihazların işarələnmə sistemi uyğun sahə standartı ilə, yarımkeçirici güc cihazlarının isə işarələnməsi dövlət sahə standartı ilə müəyyənləşdirilir. Dünya üzrə element bazasının kütləvi istehsalçıları olan ölkələrin standartlarını nəzərdən keçirək.

3.2.1. Rusiya Federasiyasının standartı.

Keçmiş sovet məkanında və hal-hazırda Rusiyada istehsal olunan elektron yarımkeçirici cihazların işarələnməsi (markalanması) istifadədə olan OCT (sahə standartı) və ГOCT (dövlət sahə standartı) tipli standartlar əsasında aparılır. Bu sistemdə cihazlar aşağıdakı kimi işarələnilirlər:

I element (rəqəm, yaxud hərf) - ilkin yarımkeçirici materialı,

II element (hərf) - alt sinfini,

III element (rəqəm) – cihazın əsas funksional imkanlarını,

IV element (ədəd) – işlənmə ardıcılığını,

V element (hərf) – eyni texnologiya üzrə hazırlanan eyni markadan olan cihazın təsnifatını (parametrlərinə görə növlənməsini) işarə edir.

3.2.2. ABŞ standartı EIA–JEDEC - Electronic Industries Association.

Bu standartda görə p-n – keçidli yarımkeçirici cihazlar birinci rəqəmi p-n-keçidlərin sayına uyğun olan kod (marka) ilə işarə olunurlar:

1 diodlar

2 tranzistorlar

3 tiristorlar

Markada rəqəmdən sonra N hərfi və cihazın seriya nömrəsi (sayı) göstərilir.

3.2.3. Avropa sistemi (standartı) PRO ELECTRON – International Pro Electron.

Bu sistemə görə elektron yarımkeçirici cihazı aşağıdakı kimi işarələnilirlər:

Birinci hərf – cihazın hazırlandığı material:

- A germanium
- B silisium
- D antimonid indium
- R kimyəvi birləşmə (məsələn, CdS)

İkinci hərf cihazın alt sinfinə uyğun olur və funksional xüsusiyyətlərini göstərir:

- A detektor, yüksəksürətli, qarışdırıcı diodlar
- B dəyişən tutumlu diodlar
- C aşağı tezlikli (AT), azgüclü tranzistorlar
- D aşağı tezlikli (AT), güclü tranzistorlar
- F tunel diodları
- L yüksək tezlikli (YT), güclü tranzistorlar
- S dəyişdirici açar, azgüclü tranzistorlar
- U dəyişdirici açar, güclü tranzistorlar

Hərflərdən sonra ikirəqəmli, üçrəqəmli, yaxud, dörd rəqəmli sıra sayı (nömrəsi) verilir. Sıra sayından sonra olan hərf eyni markadan olan cihazın fərqli parametrlərinə işarə verir.

3.2.4. Yaponiya standartı JİS.

Yapon sənaye standartı JEDEC və Pro-Electron standartlarının əsasında yaradılıb. Bu standartta uyğun olaraq elektron yarımkeçirici cihazın şərti işarəsi, yəni markası dörd elementdən ibarətdir.

I element :

- 0 fotodiod, fototranzistor
- 1 diod
- 2 tranzistor
- 3 dörd təbəqəli cihaz

II element, cihazın yarımkeçirici cihazlar sinfinə aid olduğunu göstərir və S hərfi ilə işarələnir.

III element:

- A YT p-n-p tranzistor
- B AT p-n-p tranzistor
- C YT n-p-n tranzistor
- D AT n-p-n tranzistor
- E diod Esaki
- F tiristor
- G Qann diodu
- H birkeçidli tranzistor
- J p-kanallı sahə tranzistoru

K n-kanallı sahə tranzistoru
M simmetrik tiristor
R düzləndirici diod
S az siqnallı diod
T selvari diod
V pin – diod
Z stabilitron
IV element seriya nömrəsini (sayını) göstərir.

3.3. Yarımkeçirici diodlar

Yarımkeçirici cihazlar onlarda baş verən proseslərə görə iki böyük qrupa bölünür: yarımkeçiricinin həcmi və səthində baş verən hadisələrə əsaslanan cihazlar və kontakt hadisələrinə əsaslanan cihazlar. Əksər yarımkeçirici cihazların: diodların, bipolyar və sahə tranzistorlarının, tiristorların, inteqral mikrosxemlərin (İMS) iş prinsipi kontakt hadisələrinə əsaslanmışdır.

Yarımkeçirici diod, bir düzləndirici elektrik keçidinə və iki elektroda malik olan elektroçevirici cihazdır. Düzləndirici elektrik keçidi kimi p-n - keçid, heterokeçid, yaxud, düzləndirici metal-yarımkeçirici kontaktı istifadə edilir. Elektron qurğularında tətbiq edilən diodların əksəriyyəti p-n keçidi əsasında hazırlanmış yarımkeçirici cihazlardır və onların iş prinsipi, xassələri p-n keçidin xüsusiyyətlərinə əsaslanmışdır. İki bircinsli müxtəlif cür keçiriciliyə malik olan p- və n- tipli yarımkeçiricilər arasında atom səviyyəsində kontakt yaratdıqda onların sərhədində p -n adlanan elektrik keçidi əmələ gəlir və bu keçiddən təşkil olunmuş qeyri-bircins sistem yaranır. Yarımkeçirici monokristalda, ona elektronlar vermə və ya onları alma (geri qaytarma) qabiliyyətinə malik aşqarların diffuziya edilməsi ilə də p-n keçid yaratmaq olur. Əvvəl qeyd olunduğu kimi bu aşqarlar uyğun olaraq donorlar və akseptorlar adlanır. Bununla yanaşı p-tip yarımkeçiricinin səthinə donor aşqar hopdurduqda, onun səthində keçiricilik n-tipə çevrilir. Diffuziya prosesindən sonra p- və n-tip keçiriciliyə malik olan oblastların sərhədində nazik təbəqə - p-n - keçidi yaranır. P-n keçid sxematik olaraq şəkil 3.6, a - da göstərilmişdir. P-tip yarımkeçiricidə sərbəst müsbət yüklər – deşiklər artıqlığı olur və özlərini müsbət yüklənmiş hissəciklər kimi aparırlar. N-tip yarımkeçiricidə mənfi yük daşıyan sərbəst elektronlar artıqlığı yaranır. Qatların sərhədində istilik hərəkəti hesabına diffuziya nəticəsində deşiklərin bir hissəsi p- oblastından n- oblastına, elektronların bir hissəsi isə n- oblastından p- oblastına keçirlər. Bu halda p - oblastı keçid ətrafında artır və mənfi yüklənirlər, n-qatı isə müsbət yüklər alırlar. Bu zaman prosesin inkişafına mane olan kontakt potensialları fərqi

yanır. Deşiklərin bir hissəsi elektrik sahəsinin təsiri altında p-oblada qayıdırlar, elektronların bir hissəsi isə n-oblada qayıdırlar. Yüklə daşıyıcıların keçid boyunca daimi hərəkəti hesabına dinamik müvazinət yanır.

Əsas yükdaşıyıcıların bir obladan o birinə diffuziyası kontakt yaxınlığında p- obladada deşiklərin, n- obladada isə elektronların kəskin azalmasına səbəb olur. Kontakt yaxınlığında p - obladada mənfi akseptor ionlarının, n - obladada isə müsbət donör ionlarının kompensasiya olunmamış həcmi yükləri meydana çıxır. Bu nazik həcmi yüklər təbəqəsi elektron-deşik keçidi adlanır. P-n keçid təbəqəsində mütəhərrik yüklər olmadığından, onun müqaviməti p- və n- oblastlarına nisbətən xeyli böyükdür. P-n keçidində həcmi yüklərlə yanaşı n-obladdan p- oblada yönəlmiş daxili elektrik sahəsi və potensiallar fərqi mövcuddur. Bu daxili elektrik sahəsi əsas yükdaşıyıcıların sonrakı diffuziya hərəkətinə mane olur, qeyri-əsas daşıyıcıların dreyf hərəkətini isə sürətləndirir. Tarazlıq halında əsas yükdaşıyıcıların diffuziya cərəyanı qeyri-əsas yükdaşıyıcıların dreyf seli ilə tarazlaşır və tam cərəyan sıfır olur. Beləliklə, p-n keçid p- və n-tip yarımkəçiricilərin sərhədində yaranan nazik və əsas yük daşıyıcılardan tükənmiş keçid təbəqəsidir. Bu təbəqədə ikiqat həcmi yüklər, daxili elektrik sahəsi və kontakt potensiallar fərqi mövcuddur. İstənilən p-n keçidinin xassələri onun eni və potensial çəpərinin hündürlüyü ilə müəyyən olunur.

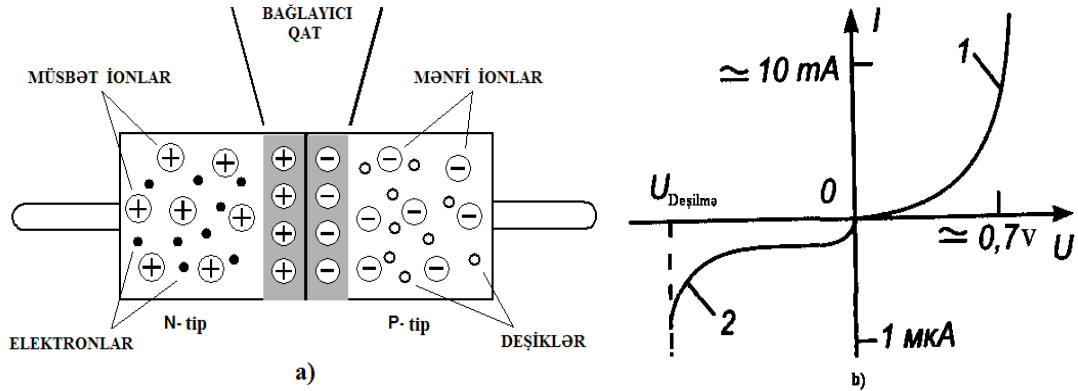
Yuxarıda qeyd olunduğu kimi p-n keçidlər müxtəlif texnoloji üsullarla alınır və real keçid adətən qeyri-simmetrik olur, çünki p-və n- oblastlarında aşqarların konsentrasiyaları fərqlənir ($N_A \neq N_D$). P-n keçidin daha çox konsentrasiyaya malik olan oblastı emitter, konsentrasiyası az olan oblast isə baza adlanır.

Əgər p-n keçidə düz istiqamətdə (p-qatına müsbət, n-qatına mənfi qütblü) xarici gərginlik verilsə, bu gərginlik kontakt potensialları fərqi kompensasiya edərək keçiddən düzünə cərəyan yaradır. Xarici gərginlik əksinə qoşulduqda potensial çəpərin hündürlüyü artır və keçidin keçiriciliyi daha da azalır. P-n - keçiddən axan cərəyanın ona tətbiq olunan gərginliyin qiymətindən asılılığını göstərən qrafik volt-ampər xarakteristikası adlanır (şək. 3.6, b).

p-n keçidindən axan düzünə cərəyanı müəyyən edən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasından, qatların materialından (müqavimətindən), keçidin deşilmə gərginliyindən asılı olaraq müxtəlif funksiyalara malik diodlar yaradılır.

p-n – keçidinin konstruktiv tərtibatına görə yarımkəçirici cihazlar müstəvi və nöqtəvi olurlar. Birinci halda kontakt müstəvi, ikinci halda isə nöqtəli olur ki, bu zaman kontaktın sahəsi 10^{-3} - 10^{-4} mm² təşkil edir. Struktur quruluşuna görə bu cihazları diodlara, triodlara (tranzistorlara) və çoxtəbəqəli strukturlara bölürlər. Aşqarın daxil edilməsi üsuluna görə müstəvili cihazları ərintili və diffuziyalı

tiplərə bölürlər. Ərintili keçid aşqarın əridilməsilə, diffuziyalı isə qaz halından aşqarın diffuziya nəticəsində daxil edilməsi metodu ilə yaradılır.



Şəkil 3.6. p-n - keçidin strukturunun sxematik təsviri (a), p-n keçidin volt-ampere xarakteristikasının düz (1) və əks (2) budaqları (b).

Yarımkəçirici cihazların elektron sənayesi tərəfindən buraxılan geniş çeşidi müəssisələrdə qidalanmasına görə qənaətcil, kiçik ölçülü və etibarlı borta və yerüstü radioelektron aparatlarının yaradılmasına imkan vermişdir.

3.4. Yarımkəçirici diodların təsnifatı və işarələnmə sistemi

Bir qayda olaraq yarımkəçirici diod dedikdə bir p-n- keçidə və iki elektroda malik olan yarımkəçirici cihaz başa düşülür. Lakin başqa struktura malik olan diodlar da mövcuddur. P-n- keçidli diodlarda elektrik dövrəsi ilə birləşdirmək üçün nəzərdə tutulmuş kənar p- və n- oblastlarına birləşdirilmiş elektrodlar uyğun olaraq A-anod və K-katod adlanır. Yarımkəçirici diodların işi p-n- keçidin birtərəfli keçiriciliyinə əsaslanmışdır. Diodlar, onları işıqdan, rütubətdən, tozdan, həmçinin, mexaniki təsirlərdən qorumaq üçün nəzərdə tutulmuş hermetik korpusda (gövdədə) yerləşdirilir.

Müasir yarımkəçirici diodların təsnifatı onların təyinatı, fiziki xassələri, əsas elektrik parametrləri, konstruktiv - texnoloji əlamətlərinə, hazırlandığı materialın növünə görə aparılır. Texnikada geniş tətbiq olunan diodlar: düzləndirici diodlar, stabiltronlar, tunel diodları, varikaplar, Şottki diodları, Qann diodları, injeksiyalı-uçuş diodları və s.

3.4.1. Düzləndirici yarımkəçirici diodlar. Düzləndirici diodlar dəyişən cərəyanı sabit cərəyanə çevirmək üçün istifadə edilir. Sxemlərdə şərti işarəsi və elektrodlarının işarəsi şəkl. 3.7,a- da verildiyi kimidir. Düzləndirici diodların əsas parametrləri aşağıdakılardır: 1) Düzləndirilmiş cərəyanın buraxıla bilən

maksimal qiyməti ($I_{düz\ maks}$) və bu cərəyana uyğun gələn gərginlik düşküsi ($U_{düz\ maks}$); 2) Əks gərginliyin maksimal qiyməti - $U_{əks\ maks}$ və bu zaman dioddan axan əks cərəyan - $I_{əks\ maks}$; maksimal əks gərginliklə deşilmə gərginliyi arasında $U_{əksm} = (0,5-0,8) U_{deş}$ kimi asılılıq var; 3) Diodda ayrılan gücün maksimal qiyməti: $P_{mak} = I_{düz m} U_{düz m}$; 4) Δf - tezlik diapazonu və ya hədd tezliyi - f_h bu tezlik diapazonunda diodun düzləndirilmiş cərəyanı verilmiş qiymətdən ($0,7 I_{düz}$) aşağı düşür. Müstəvi düzləndirici diodlar aşağı tezlikli ($\leq 10kHs$) diodlardır. Düzləndirici diodlar az güclü ($I_{düz} < 0,3A$), orta güclü ($0,3 < I_{düz} < 10A$) və güclü ($I_{düz} > 10 A$) olmaqla üç qrupa bölünür.

Hazırda düzləndirici diodlar Ge və Si-dan hazırlanır. Ge diodları - $60+80^{\circ}C$, Si diodları isə - $60 \div +125^{\circ}C$ intervalında işləyir.

Düzləndirici yarımkeçirici diodlar konstruksiyasına görə müstəvi və nöqtəvi olur (şək. 3.7, b,c). Bu diodlar kontaktlarının ölçüləri (sahəsi) ilə fərqlənirlər. Bu və ya digər tip diodlarda baş verən fiziki proseslər eynidir. Diodun əsas elementi p-n- keçidi əritmə və ya diffuziya metodları ilə əmələ gətirilən n- tip germanium, yaxud, silisium lövhədir (şək. 3.7, b,c). Əritmə metodu ilə əmələ gətirilən diodda aşqarı, məsələn, indium parçasını vakuumda $550^{\circ}C$ -yə qədər temperaturda (indiumun ərimə temperaturu $375^{\circ}C$, germaniumun isə $965^{\circ}C$ -dir) əritməklə daxil edirlər. İndium əriyərək n- tip germanium lövhənin səthi təbəqəsinə daxil olur, indium akseptor xassəsinə malik olduğundan soyuduqdan sonra əridilmiş oblast deşik keçiriciliyinə malik olacaq (şək. 3.7, b).

Beləliklə, yarımkeçirici lövhənin n – keçiriciliyinə malik olan əsas hissəsi ilə əridilmiş hissəsi arasında p-n – keçidi əmələ gəlir. Bu keçidə uyğun olaraq üst və alt səthlərinə lehim vasitəsilə (üstdə - indium, altda isə qalay, yaxud, qurğuşun) elektrodlar lehimlənir. P - oblasta lehimlənmiş elektrod anod, n – oblasta lehimlənmiş elektrod isə katod adlanır. Bu elektrodlara dəyişən gərginlik verərək onu düzləndirmək olar.

Diffuziya metodu ilə p-n – keçidin alınması prinsipi əritmə metodu ilə alınmasından onunla fərqlənir ki, bütün proses yüksək temperaturda - $900^{\circ}C$ baş verir. İndium qaz halına keçir və germanium lövhənin dərinliklərinə daxil olur.

Nöqtəli diodlarda da (şək. 3.7,c) müstəvi diodlarda olduğu kimi əsas mənbə n- tip yarımkeçirici lövhədir. P-n- keçidi almaq üçün hazırlanma prosesində diod impuls rejimində düz istiqamətdə elektrik formalaşmaya məruz qalır. Formalaşmanın effektivliyini artırmaq üçün bəzən, iynənin ucunu indium təbəqəsi ilə örtürlər (şək. 3.7, c - də üst çıxış).

İmpulsların qiyməti düzləndirilmiş cərəyanın qiymətindən 5...10 dəfə çoxdur. Bu halda indium germaniumun kontakta yaxın zonasına keçir və orada

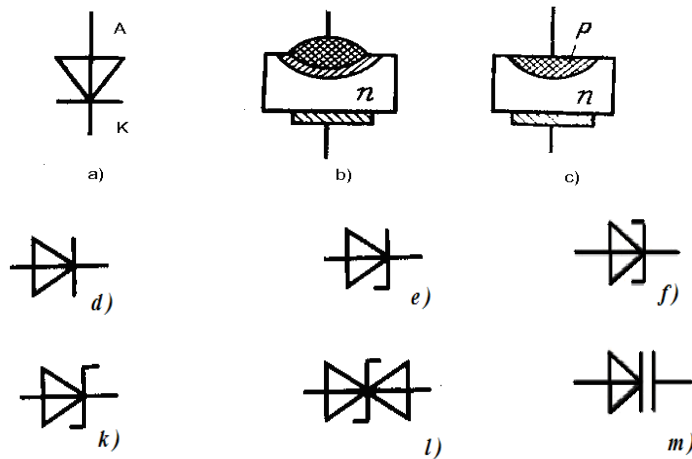
deşik keçiriciliyi yaradır. Bu zona və lövhənin əsas hissəsi arasında p-n – keçid yaranır. Üst və alt çıxışların köməyi ilə bu keçid diod kimi istifadə olunur.

Gücünə görə nöqtəvi diodlar müstəvi diodlardan geri qalır, ona görə də onlar böyük gərginliklərə və cərəyanlara hesablanmış düzləndiricilərdə istifadə oluna bilməzlər. Onları yüksək və ifrat yüksək tezliklər diapazonunda işləyən radioelektron aparaturlarda, həmçinin, gərginliyi bir neçə on volt və cərəyanı bir neçə on milliamper olan azgüclü düzləndiricilərdə tətbiq edirlər.

Müstəvi diodların korpusları konstruksiyasına görə müxtəlifdirlər. Bu və ya digər p-n – keçidli lövhənin yerləşdirildiyi metal, keramik, metalkeramik korpuslar olur. Korpus (gövdə) yarımkeçirici kontaktı mexaniki zədələnmələrdən qoruyur və istismar etibarlılığını artırır.

Adi (düzləndirici, impuls və universal) və xüsusi növ diodların sxemlərdə şərti qrafiki işarələri şəkl. 3.7, d, e, f, k, l, m – də verildiyi kimidir.

p-n- keçiddən ibarət olan diodların əsas xarakteristikası volt – amper xarakteristikasıdır (VAX). Xarakteristika iki budağa malikdir: düz və əks budaq (şəkl. 3.8). Diodun keçiricilik halına uyğun olan düz budaq birinci kvadrantda, keçirməyən halına uyğun olan əks budaq üçüncü kvadrantda yerləşir. Ətraf mühitin temperaturundan asılı olaraq düz və əks budaqların gedişi dəyişir (şəkl. 3.8,c).

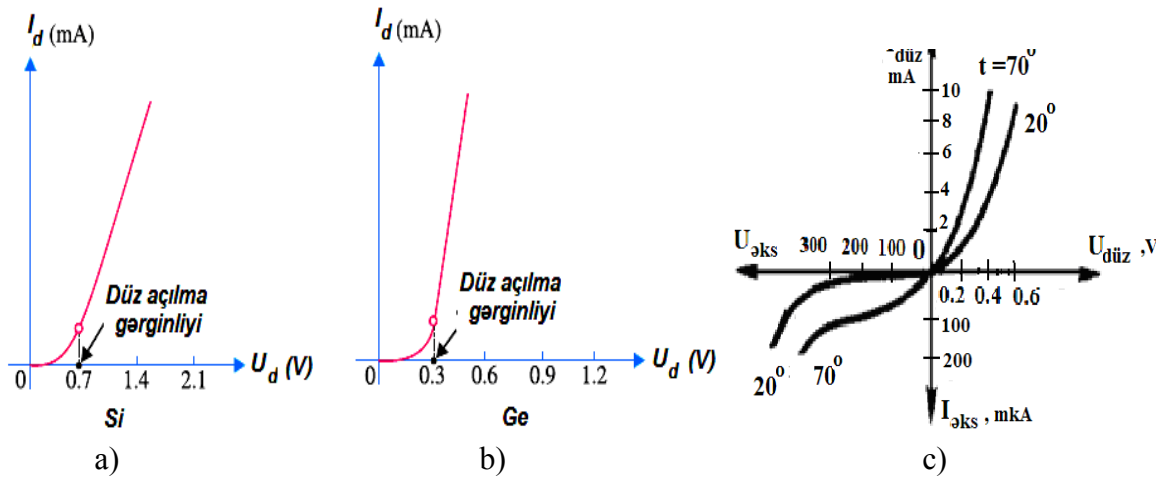


Şəkl. 3.7. Yarımkeçirici diodlar:

a - şərti qrafiki işarəsi; b - müstəvi diod; c - nöqtəli diod; d - adi (düzləndirici) diod; e- stabiltron; f- tunel diodu; k - Şottki diodu; l - ikianodlu stabiltron; m - varikap.

Diodun düzünə qoşulması zamanı, hətta cərəyanın böyük qiymətlərində də diodda gərginlik düşküsi az olur, yəni, müqaviməti kiçik olur. Belə ki, işçi cərəyanlar diapazonunda silisium diodlarda düzünə gərginlik düşküsi 0,5V - dan 2V- a- a qədər, germanium diodlarda isə 0,3V - dan 1V-a qədər olur. Hər

iki diod üçün temperaturun artması ilə düzünə gərginlik düşküsi temperaturun hər on dərəcə artmasında orta hesabla 15...20 mV azalır.



Şək. 3.8. Yarımkəçirici diodun volt-amper xarakteristikası (VAX).
a) Si əsaslı; b) Ge əsaslı; c) müxtəlif temperaturlarda diodun VAX-ı

Əksinə qoşulma zamanı cərəyan praktiki olmur, yəni əks müqavimət çox böyük olur.

Volt – amper xarakteristikasının analizindən görünür ki, diod düz istiqamətdə qoşulduqda gərginliyin müəyyən qiymətindən sonra (20°C - də Ge üçün 0,4V - dan, Si üçün isə 0,6V - dan başlayaraq) ondan axan cərəyan kəskin artır və 10mA - dan çox ola bilər. Əks istiqamətdə qoşulduqda isə diodun növündən asılı olaraq 50 - 100V- dan, bəzilərinə 200 - 300V - dan sonra bir neçə mka təşkil edən cərəyan yaranır. Ona görə də hesab olunur ki, diod birtərəfli keçiriciliyə malikdir. Lakin bu gərginliklər yol verilən hədləri keçdikdə diodda elektrik deşilməsi baş verir.

Düz istiqamətdə diodun müqaviməti $R_d = 0,1 \dots 100 \text{ Om}$, əks istiqamətdə isə $R_d = 10 \dots 100 \text{ kOm}$ olur. Sorğu kitablarında diodların istismar imkanlarını qiymətləndirmək üçün onların ətraf mühitin $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ temperaturundakı parametrləri verilir.

Düzləndirici diodların universal və impuls diodları kimi növləri də var. Universal diodlar əsasən, azgüclü diodlar olub müxtəlif cür radioelektron qurğularda onlarla meqaherslərə qədər tezlik diapazonunda işləmək üçün nəzərdə tutulub.

İmpuls yarımkəçirici diodları əsasən impuls qurğularında və hesablama maşınlarının qovşaqlarında işləmək üçün nəzərdə tutulub. Bu diodların əsas xassəsi tətbiq olunan gərginliyin qütbü dəyişdikdə cərəyan keçirməyən halından

keçirən hala və əksinə tez keçməsidir. İmpuls diodlarını mikro əritmə, yaxud, diffuziya texnologiyası üzrə hazırlayırlar.

Yarımkeçirici diodlar elektrovakuum diodları ilə müqayisədə çoxlu üstünlüklərə malikdirlər. Belə ki, katod qızmasına enerji sərfi tələb etmir, kiçik düzünə gərginliyə malikdirlər ki, nəticədə düzləndiricinin f.i.ə. - si artır; kiçik ölçülərə və çəkiyə, vibrasiya davamlılığına malikdirlər; böyük cərəyanlarla işləyə bilirlər. Çatışmazlıqlarına parametrlərinin temperaturdan asılı olması və az yüklənməyə dözmək qabiliyyətinin olmasıdır.

Aviasiya radioelektron aparaturasında adi yarımkeçirici diodlar daha çox düzləndirici kimi istifadə olunurlar. Düzləndirici sxemlərinin iki növü: bir və iki yarımperiodlu düzləndiricilər mövcuddur. Bu düzləndiricilər aşağıdakı elementlərdən ibarətdir:

- düzləndiriciyə tələb olunan səviyyəli dəyişən gərginliyi vermək üçün nəzərdə tutulmuş transformatorndan;

- düzlənmiş cərəyanı almaq üçün nəzərdə tutulmuş diodlardan və döyünən düzlənmiş cərəyanı hamarlamaq üçün nəzərdə tutulmuş süzgülərdən.

Yarımkeçirici diodların əsas elektrik xassələri, qiymətləri normal temperaturda təyin olunmuş bir sıra parametrlərlə xarakterizə olunur.

Diodun əsas elektrik xassələri aşağıdakılardır:

- S xarakteristikanın dikliyi;
- Düz gərginlik düşküsü U_d ;
- Düz cərəyan I_d ;
- əks cərəyan I_o ;
- düz və əks müqavimətlər;
- diodun dəyişən cərəyana görə müqaviməti;
- sərhəd tezliyi f_s .

Xarakteristikanın dikliyini diodun düz qoşulması üçün $s=\Delta I/\Delta U$ ifadəsi ilə təyin edirlər. VAX-dan görüldüyü kimi gərginlik artdıqca diklik artır.

U_d – düz gərginlik düşküsünü düz cərəyanın verilmiş qiymətində təyin edirlər.

Yarımkeçirici diodların $I_{\text{əks}}$ əks cərəyanını əks gərginliyin $U_{\text{deş}}$ – deşilmə gərginliyinə yaxın olan verilmiş qiymətində təyin edirlər. Əks gərginliyin qiyməti diodun tipindən (silisium, yaxud germanium), onun gücündən və konstruksiyasından asılıdır. Azgüclü germanium diodlarının əks cərəyanı $I_{\text{əks}}$ normal temperaturda bir neçə və onlarla mikroamper təşkil edir və hər on dərəcə temperatur dəyişməsinə görə təxminən iki dəfə artır. Eyni gücə malik olan silisium diodlarında $I_{\text{əks}}$ qiyməti germanium diodlarından olduqca kiçikdir (mikroamperin hissələri qədər), və hər on dərəcə temperatur dəyişməsində təxminən 2,5 dəfə artır.

Diodun düz və əks diferensial müqaviməti, yaxud dəyişən cərəyana görə müqavimətləri uyğun olaraq $R_{i\ d.} = \Delta U_{d.} / \Delta I_{d.}$; $R_{i\ əks} = \Delta U_{əks} / \Delta I_{əks}$ kimi təyin olunur. Bu kəmiyyətlər diodun kiçik cərəyan dəyişmələrinə, yaxud böyük I_0 sabit cərəyanına əlavə olunan dəyişən cərəyana göstərdiyi müqavimətini xarakterizə edir. Dəyişən cərəyana görə müqavimət diodun iş rejimindən çox asılıdır. Yarımkeçirici diodun sabit və dəyişən cərəyana görə müqavimətləri düz qoşulmada biri birindən çox fərqlənirlər və $R_{o\ d} > R_{i\ d}$.

Sərhəd tezliyi yarımkeçirici diodun tezlik xassələrini xarakterizə edir. Sərhəd tezliyində diodun düzləndirdiyi cərəyan olduqca aşağı tezliklərdə düzləndirilmiş cərəyanla müqayisədə $\sqrt{2}$ dəfə (təxminən 30%) azalır. Cərəyanın qiymətinin azalması p-n- keçidinin tezlik artdıqca azalan diffuziya tutumunun şuntlayıcı təsiri ilə izah olunur.

Yol verilə bilən hədd istismar parametrlərinə görə yarımkeçirici diodların bu və ya digər qurğularda istifadə olunma imkanını qiymətləndirirlər, belə ki, istismar parametrlərinin həmin qiymətləri aşması cihazın sıradan çıxmasına gətirib çıxarar. Bu parametrlər aşağıdakılardır:

- Diodun $U_{deş.}$ deşilmə gərginliyindən 10...15% az götürülən zədələnmə-dən tab gətirə bildiyi əks gərginliyinin $U_{əks\ maks.}$ maksimal buraxıla bilən amplitud qiymətidir;
- Maksimal yol verilə bilən düzlənmiş, yaxud dioddan axan cərəyanın $I_{or.d.maks.}$ orta qiyməti;
- Diodun zədələnmədən tab gətirə bildiyi düz cərəyanın (impulsda) $I_{i.maks.}$ maksimal yol verilən amplitudu.

3.4.2. Stabiltronlar. Sabit gərginliyi stabil saxlamaq üçün istifadə olunan yarımkeçirici diodlar stabiltron adlanır. Bu cihazlar, yarımkeçirici silisium müstəvi diodların xüsusi qrupu olub, dövrdə cərəyan dəyişdikdə gərginliyi stabilləşdirmək (müəyyən səviyyədə saxlamaq) üçün nəzərdə tutulub. Silisiumun stabiltronlarda istifadə olunması ilk növbədə onunla izah olunur ki, silisium daha yüksək işçi temperaturlara davam gətirir, həm də germanium diodları böyük əks cərəyanlara dözmürlər. Stabiltronların şərti qrafiki işarəsi şəkil 3.9,a-da verilmişdir.

Əks qoşulma bu sinifdən olan cihazların normal iş rejimidir. Volt-amper xarakteristikasından (3.9,b) görüldüyü kimi stabiltronun elektrik deşilməsindən sonra onda U_{st} gərginliyi müəyyən həddlərdə sabit qalır, ona görə ki, həm də dayaq diodları adlanan stabiltronlarda aşqarların yüksək konsentrasiyasından istifadə olunur. Bu, daxili elektrik sahəsinin böyük gərginliyini və p-n- keçidinin kiçik enini yaradır. Hər iki amil müəyyən əks gərginlikdə qeyri-əsas yükdaşıyıcıların hesabına selvarı əks cərəyanın yaranmasına şərait yaradır. Stabiltronun işi üçün elektrik deşilməsinin başlanğıc mərhələsini istifadə edirlər

ki, bu zaman əgər əks gərginlik götürülsə p-n – keçid öz xassələrini bərpa edir. Diodun sıradan çıxmasına yol verməmək üçün onunla ardıcıl olaraq məhdudlaşdırıcı (ballast) $R_{m\ddot{a}hd}$. rezistoru qoşulur (3.9,c).

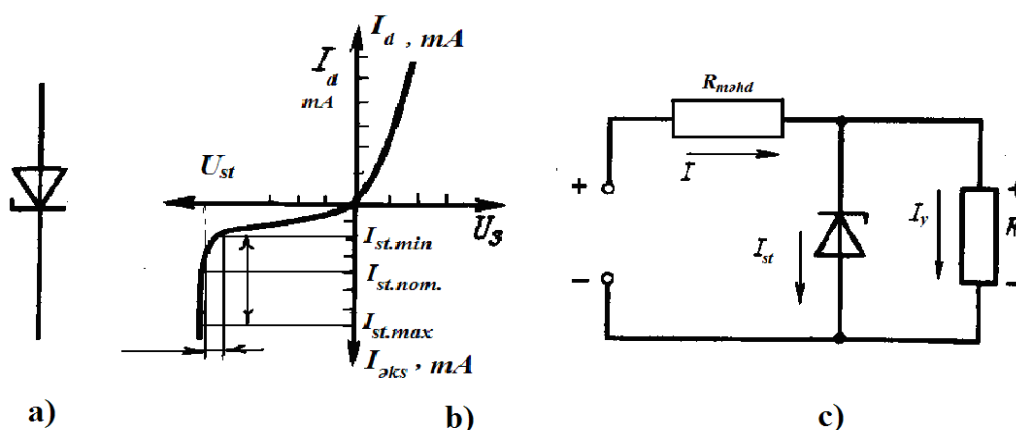
Stabilitronları elektron və elektrik qıda qurğularında dayaq gərginliyi yaratmaq üçün istifadə edilirlər. Stabilitronlar əks qoşulma və elektrik deşilməsi rejimində işləyirlər. Deşilmə rejimində işləyən diodda cərəyanın kəskin artması gərginliyin təxminən sabit qalmasına səbəb olur.

Stabilitronlar ancaq Si materialından hazırlanır. Bu, onların əks cərəyanının kiçik olması və deşilmənin elektrik xarakterli olması ilə izah olunur. Stabilitronlarda bazanın xüsusi müqavimətindən asılı olaraq tunel, selvari və qarışıq deşilmə ola bilər. Kiçik stabilləşdirmə gərginlikli stabilitronlarda ($U_{st} < 6V$) deşilmə tunel, yüksək voltluqlarda isə ($U_{st} > 6V$) selvari xarakterlidir.

Stabilitronların əsas parametrləri aşağıdakılardır:

- Stabilləşdirmə gərginliyi - U_{st} ;
- Stabilləşdirmə rejimində minimal yol verilən cərəyan – $I_{st\ min}$;
- Stabilləşdirmə cərəyanının maksimal qiyməti – $I_{st\ maks}$;
- İşçi nöqtədə (şək.2.5) statik (R) və dinamik (r) müqavimətlər;
- Keyfiyyət əmsalı: $Q = r/R$ kimi təyin olunur;
- Stabilləşdirmə gərginliyinin temperatur əmsalı - α_{st} .

Müxtəlif stabilitronların stabilləşdirmə gərginliyi 3-400V arasında dəyişə bilər. Dinamik müqavimət nə qədər kiçik olsa, stabilitron bir o qədər keyfiyyətli hesab olunur. Müasir stabilitronlar üçün stabilləşdirmə əmsalı $q = 0,01 \div 0,05$ arasında dəyişir. Stabilləşdirmə cərəyanının minimal qiyməti deşilmənin dayanıqlığı ilə, maksimal qiyməti isə icazə verilən güclə müəyyən olunur.



3.9. Dayaq diodu (stabilitron):

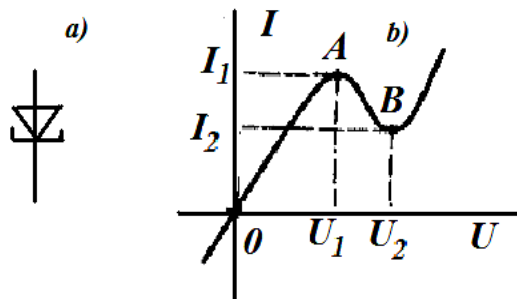
a – qrafiki işarələnməsi; b – volt-ampere xarakteristikası; c – qoşulma sxemi.

Stabilləşdirmə gərginliyinin temperatur əmsalı, temperatur 1°S dəyişdikdə stabilləşdirmə gərginliyinin nisbi dəyişməsini göstərir və $\alpha_{st} = \frac{100}{U_{st}} \cdot \frac{\Delta U_{st}}{\Delta T}, \%$ - dir kimi təyin olunur. Tünel deşilməsi olan stabiltronlarda $\alpha_{st} < 0$, selvari deşilməyə malik stabiltronlarda isə $\alpha_{st} > 0$.

Qida mənbəyinin gərginliyi artdıqca stabiltrondan axan I_{st} cərəyanı da artır, lakin bu zaman dayaq diodunun (stabiltronun) müqaviməti R_d azalır və nəticədə stabiltronda gərginlik düşküsi $U_{st} = I_{st} R_d$ məlum hüdudlarda sabit qalır. Bu o deməkdir ki, qida gərginliyinin artmasına baxmayaraq paralel qoşulmuş yük müqaviməti R_y – də də gərginlik sabit olacaq. Qida gərginliyi azaldıqda əksinə I_{st} cərəyanı da azalır, stabiltronun müqaviməti R_d artır və $U_{CT} = I_{CT} R_d$ sabit qalır.

Stabiltronlarda deşilmə rejimində ətalətli hadisələr olmadığından, onlar cəld işləyən cihaz hesab olunur və impuls sxemlərində yaxşı işləyir.

3.4.3. Tünel diodları. Bunlar xüsusi növ yarımkeçirici diod olub müəyyən rejimdə mənfi diferensial müqavimətə malik olurlar, yəni gərginliyin müəyyən qiymətində cərəyan azalır. Tünel diodlarının iş prinsipi tünel effektinə əsaslanır. Elektronların kinetik enerjisi potensial çəpərin enerjisindən (hündürlüyündən) kiçik olduqda belə, onların p-n keçidini keçməsi hadisəsi tünel effekti adlanır. Tünel diodlarının VAX-1 düz istiqamətdə mənfi diferensial müqavimətli hissəyə malikdir, əks istiqamətdə isə cərəyan adi diodların düz cərəyanından böyükdür, yəni tünel diodu əks istiqamətdə açıqdır (şək. 3.10). Tünel diodu əsas yükdaşıyıcılar əsasında işlədiyindən, onlar çox yüksək tezliklərdə ($f > 10$ QHs) tətbiq olunur. Tünel diodunun VAX-ında mənfi diferensial müqavimətli hissənin olması onlardan gücləndirici element kimi istifadə etməyə imkan verir. Onlardan generatorlarda da istifadə olunur.

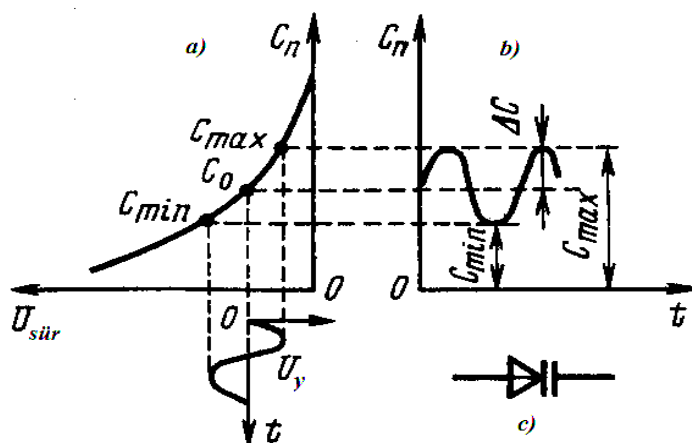


Şək. 3.10. Tünel diodu:
a – şərti işarəsi; b – volt-ampər xarakteristikası.

Hazırda tunel diodları Ge və GaAs -dən hazırlanır. Tunel diodlarının əsas parametrləri VAX-ın maksimum və minimumuna uyğun gələn cərəyan (I_1, I_2) və gərginliklər (U_1, U_2), xarakteristikanın düşən hissəni müəyyən edən diferensial müqavimət: $r_- = \frac{\Delta U}{\Delta I} \approx \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1}$, I_1/I_2 nisbəti və $\Delta U = U_3 - U_1$ kimi təyin olunan gərginlik sıçrayışıdır.

3.4.4. Varikap. Varikaplar diodların xüsusi bir növü olub, başqa diodlardan fərqi, onların keçidinin tutumunun, ona tətbiq olunan gərginliyin qiymətindən güclü asılı olmasıdır. Məhz bu xassəsi varikapları (ingilis dilindən - dəyişən tutum) dəyişən tutumlu kondensator əvəzi istifadə etməyə imkan verir. Varikaplarda tutum gərginliklə tənzim olunur. Ona görə də varikapları sxemlərdə idarə olunan kondensator kimi istifadə edirlər. Varikapda diodun çəpər tutumundan istifadə olunur; belə ki, diodun çəpər tutumunun keyfiyyətliliyi (kondensatorun əsas parametri) kifayət qədər yüksəkdir. Çəpər tutumu çox yüksək tezliklərə qədər tezlikdən asılı deyil və temperaturdan zəif asılıdır. Əks gərginlik artdıqca, varikapın tutumu azalır.

Varikapın iş prinsipi p-n-keçidin tutumunun gərginlikdən asılı olaraq dəyişməsinə əsaslanmışdır. Bağlı p-n - keçidi çəpər tutumu adlanan tutuma malikdir. Bağlayıcı gərginlik artdıqca p-n - keçidin eni böyüyür, keçidin tutumu azalır və gərginlik azaldıqda əksinə. Tezlik vurucularında istifadə olunan varikapları varikatorlar adlandırırlar. Bu cihazların işi elektron-deşik keçidinin tutumunun qeyri-xəttilik xassəsinə əsaslanmışdır. Əgər varikapa U_y dəyişən gərginliyi versək p-n - keçidin tutumu ΔC qədər dəyişəcək (şək. 3.11, a,b). Tutumun dəyişməsinə aşağıdakı kimi izah etmək olar.



Şək. 3.11. Varikap (parametrik diod):

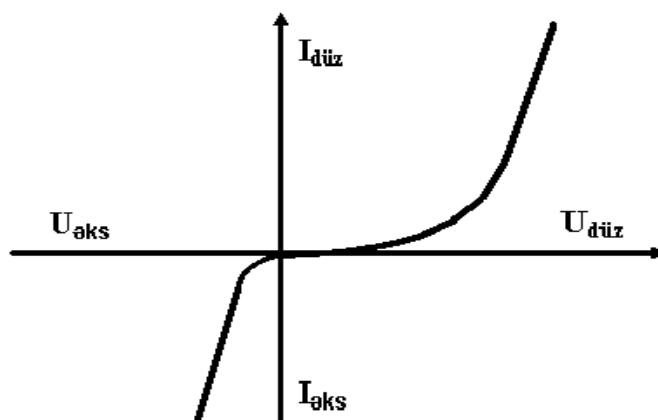
a, b – p-n- keçidin tutumunun sürüşmə gərginliyindən və zamandan asılılığı ; c - qrafiki işarələnməsi.

U_y gərginliyinin müsbət yarımperiodunda p-n- keçidin potensial çəpəri (baryeri) azalır və onun bağlayıcı təbəqəsi azalır (p-n-keçidin eni azalar). Bu kondensatorun lövhələri arasında məsafənin azalmasına ekvivalentdir və bu hesaba tutum artır. Gərginliyin mənfi yarımperiodunda bağlayıcı təbəqə genişlənəcək və p-n – keçidin tutumu azalar (kondensatorun lövhələri arasında məsafənin artmasına ekvivalent olaraq). Beləliklə varikapın əsas xassəsi ondan ibarətdir ki, onun p-n – keçidinin tutumu ona tətbiq olunan gərginlikdən asılı olan kondensatora ekvivalentdir. Ona görə də varikaplar parametrik gücləndiricilərdə, tezliyin elektron köklənməsi, tezlik modulyasiyası və faza modulyasiyası sxemlərində geniş tətbiq tapmışdır.

Varikapları nöqtəvi (p-n- keçidin yarımşfera formasında) və müstəvi şəkildə hazırlayırlar. Aşağı tezlikli varikaplar üçün material silisium, yüksək tezliklilər üçün isə germanium və ya arsenid galium istifadə olunur.

Varikaplar radiotexniki və elektron qurğularında idarə olunan kondensator kimi tezliyi avtomatik köklənən sxemlərdə, amplitud və tezlik modulyasiyalı sxemlərdə, parametrik gücləndiricilərdə istifadə olunur. Varikapın sxemlərdə şərti işarəsi şəx. 3.11, c-də verilmişdir.

3.4.5. Çevrilmiş diodlar. Bu diodlar digər diodlardan VAX-ın enli düz budağı və kəskin əks budağı ilə fərqlənir. Çevrilmiş diodların bu xüsusiyyəti yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının yüksək olmasının (10^{19} 1/sm³) nəticəsidir. Bu halda elektrik sahə gərginliyi o qədər böyükdür ki, əks gərginliyin bir neçə on millivolt qiymətində selvari deşilmə baş verir (şək. 3.12). Adətən əks diodlar VAX-ın əks budağına uyğun rejimində işləyirlər. Əks işçi gərginlik az olduğundan bu diodlar yüksək qənaətcilliyə malikdirlər. Çevrilmiş diodlar əsasən elektron hesablama maşınlarının elementlərində istifadə olunurlar.



Şək. 3.12. Çevrilmiş diodun volt-amper xarakteristikası.

3.4.6. İnjeksiyalı – uçub keçmə diodları. Bu növ diodlar yarımkeçirici lövhədə yerinə yetirilmiş bir p-n- keçidi və üç elektrodu olan yarımkeçirici cihazlardır. Çox vaxt bu diodları *birkeçidli tranzistor* adlandırırlar. Yarımkeçirici lövhənin kənar uclarına birləşmiş elektrodlar bazalar (b_1 və b_2) və p-n- keçidin p- oblastına birləşmiş elektrod isə emitter adlanır. Cihazın emitteri ikinci baza adlanan b_2 elektroduna yaxın yerləşdirilir. Ona görə də yarımkeçirici çubuğun b_1 elektrodu ilə emitterdən keçən kəsik arasındakı hissəsinin müqaviməti nisbətən çox, b_2 ilə həmin kəsik arasında olan hissənin müqaviməti isə nisbətən az olur. $U_{gir.} \leq 0$ olduqda p-n-keçiddən ibarət olan emitter keçidi bağlı olur. Qida gərginliyi verildikdə silisium çubuqdan bazalar arasına cərəyan axır. Cihazın b_2 elektrodu qida gərginliyinin “+” qütbünə, b_1 isə “-” qütbünə qoşulur. Emitter keçidindən keçən kəsiyə tətbiq olunan gərginlik bu hissələrin və b_1 və b_2 aralarındakı müqavimətlə təyin olunur. Bu cihazın düz budağı b_2 elektroduna (ikinci bazaya) gərginlik verilmədikdə, I_e emitter cərəyanının, emitter və b_1 (birinci baza) arasında tətbiq olunmuş gərginliyin qiymətindən asılılığı olub, adi diodda olduğu kimi xarakteristikaya malikdir. Xarakteristikalarının təhlili göstərir ki, müəyyən rejimlərdə injeksiyalı – uçma diodu mənfi rejimlərə malikdir və cihazın bazaları arasındakı gərginlik dəyişdikdə onun parametrləri dəyişir. İki bazaya malik olduğundan bu diodları həm də ikibazalı diodlar adlandırırlar. Bir keçidli tranzistorların əsas parametrləri aşağıdakılardır (KT117 markalı tranzistoru üçün): Giriş qoşulma gərginliyi - $U_{qoş.} = \eta E_q$, burada adətən cihazın tipindən asılı olaraq $\eta = 0,7 \div 0,9$ təşkil edir.; qida gərginliyi - $E_q = 7 \div 30V$; giriş qoşulma cərəyanı - $I_{qoş.} = 10 \div 20mA$; ayrılma cərəyanı $I_{ayr.} = 10 \div 20mA$;

İnjeksiyalı-uçuş diodları (birkeçidli tranzistorlar) əsasən, yüzlərlə kilohers tezliklərdə işləyən relaksasiya generatorlarında və çevirici sxemlərdə aktiv element kimi tətbiq olunurlar.

3.4.7. Şottki diodları. Şottki diodlarının iş prinsipi düzləndirici metal-yarımkeçirici kontaktına əsaslanır. Qeyd edək ki, metal-yarımkeçirici kontaktlarından yarımkeçirici cihazlarda geniş istifadə edilir. Metal-yarımkeçirici (M-Y) kontaktındakı hadisələr elektronların metaldan və yarımkeçiricidən çıxış işlərinin nisbəti ilə müəyyən olunur. n-tip yarımkeçirici üçün M-Y kontaktında elektronların metaldan çıxış işi (A_m) yarımkeçiricinin çıxış işindən (A_y) kiçik olarsa belə M-Y kontaktı qeyri düzləndirici (omik) olur. $A_m > A_y$ olan halda isə M-Y kontaktı düzləndirici olur. p-tip yarımkeçirici üçün deyilənlər əksinə olur.

Şottki diodları adətən Me-n-Si əsasında hazırlanır; metal kimi adətən alüminium götürülür.

Şottki diodlarının əsas üstünlüyü düz istiqamətdə onlarda qeyri-əsas yükdaşıyıcıların injeksiyasının olmamasıdır. Deməli, Şottki diodlarında qeyri-əsas yükdaşıyıcıların yığılması və sorulması, onunla əlaqədar olan hadisələr, o cümlədən diffuziya tutumu yoxdur. Bu baxımdan Şottki diodları çox yüksək tezliklərdə (onlarla Qiqahers) işləyə bilər. Şottki diodlarında düzünə gərginlik düşküsi adi diodlardakına nisbətən kiçikdir. Şotki diodlarında maksimal düz cərəyan onlarla amper, əks gərginlik isə yüzlərlə volt ola bilər.

3.4.8. Selvari - uçuş diodları. Selvari - uçuş diodlarında (SUD) VAX –da kəskin düşən sahə yalnız nisbətən dar ifrat yüksək tezlik (İYT) diapazonunda yaranır. SUD-un iş prinsipi kəsiblaşmış p-n – keçidində yüklərin selvari çoxalmasının ətalətli olmasıdır. SUD-ların çatışmazlığı onda məxsusi küylərin çox olmasıdır. Bu növ diodlar İYT diapazonda harmonik rəqslərin generasiyası sxemlərində istifadə olunurlar. SUD vasitəsilə yüzlərlə qiqaherslərə qədər tezlikli rəqslər generasiya olunur.

3.4.9. Qann diodları. Bu yarımkeçirici cihazlar bircinsli struktura (p-n-keçidsiz) malik olan cihazlardır. Qann diodunun sabit cərəyanda çəkilməmiş VAX-1 adi rezistorun xarakteristikası ilə analojidir. Bu diodların xarakteristikası tezlikdən asılıdır və müəyyən İYT diapazonda düşən sahəyə malikdir. Bu sahədə diodun müqaviməti mənfidir. Diodun volt-amper xarakteristikasının düşən sahəsi İYT diapazonda bəzi yarımkeçirici materiallarda yüksək elektrik sahə gərginliklərində baş verən daxili proseslərlə bağlıdır. Qann diodları İYT – diapazonlu rəqslərin generasiyası və gücləndirilməsi üçün istifadə olunurlar.

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi diodun işarələnməsi zamanı birinci element (rəqəm, yaxud hərf) – onun hazırlandığı ilkin yarımkeçirici materialı, ikinci (hərf) - alt sinfini, üçüncü (rəqəm) – əsas funksional imkanlarını, dördüncü (ədəd) – işlənmə ardıcılığını, beşinci element (hərf) – eyni texnologiya üzrə hazırlanan eyni markadan olan cihazın təsnifatını (parametrlərinə görə növlənməsini) işarə edir.

Diodların hazırlanmasında istifadə edilən yarımkeçirici materialı işarələmək üçün (Rusiya standartında) yəni, birinci element kimi aşağıdakı simvollar istifadə olunur:

Г, yaxud 1, - germanium, yaxud onun birləşmələri;

К, yaxud 2, - silisium, yaxud onun birləşmələri;

А, yaxud 3, - qallium, yaxud onun birləşmələri;

И, yaxud 4, - indium, yaxud onun birləşmələri.

Diodun alt siniflərini işarələmək üçün aşağıdakı hərflərdən biri istifadə edilir:

Д - düzləndirici və impuls diodları;

Ц – düzləndirici stolb (sütun) və bloklar;

- B – varikaplar;
- И – tünel diodları;
- A – ifrat yüksək tezlikli diodlar
- C - stabiltronlar;
- Г – küy generatorları;
- Л – şüalandırıcı optoelektron cihazları;
- O – optocütlər.

Cihazların daha xarakter istismar əlamətlərini (onların funksional imkanlarını) işarələmək üçün aşağıdakı rəqəmlər istifadə olunur:

Д alt sinfindən olan diodlar üçün:

1 – sabit, yaxud düz cərəyanının orta qiyməti 0,3A-dan çox olmayan düzləndirici diodlar;

2 - sabit, yaxud düz cərəyanının orta qiyməti 0,3A-dan çox 10A-dan çox olmayan düzləndirici diodlar;

4 - əks müqavimətinin bərpa müddəti 500 ns-dən çox olan impuls diodları;

5 - bərpa müddəti 150 ns-dən çox və 500 ns-dən çox olmayan impuls diodları;

6 - bərpa müddəti 30 ...150 ns olan impuls diodları;

7 - bərpa müddəti 5 ...30 ns olan impuls diodları;

8 - bərpa müddəti 1 ...5 ns olan impuls diodları;

9 – qeyri əsas yük daşıyıcılarının effektiv yaşama müddəti 1 ns- dən az olan impuls diodları;

Düzləndirici sütun (stolb) və bloklar (И alt sinfi):

1 - sabit, yaxud düz cərəyanının orta qiyməti 0,3A-dan çox olmayan düzləndirici sütunlar (stolblar);

2 - sabit, yaxud düz cərəyanının orta qiyməti 0,3A-dan çox, 10A-dan çox olmayan düzləndirici stolblar;

3 - sabit, yaxud düz cərəyanının orta qiyməti 0,3A-dan çox olmayan düzləndirici bloklar;

4 - sabit, yaxud düz cərəyanının orta qiyməti 0,3A-dan çox, 10A-dan çox olmayan düzləndirici bloklar;

Varikaplar (B alt sinfi):

1 – kökləyici varikaplar;

2 – vurucu varikaplar.

Tünel diodları (И alt sinfi):

1 – gücləndirici tünel diodları;

2 – generator tünel diodları;

3 – çevirici açar tunel diodları;

4 - əksinə çevrilmiş.

İfrat yüksək tezlikli diodlar (A alt sinfi):

1 – qarışdırıcı diodlar;

2 – detektor diodlar;

3 – gücləndirici diodlar;

4 – parametrik diodlar;

5 – çevirici açar və məhdudlayıcı diodlar;

6 – vurucu və kökləyici diodlar;

7 – generator diodlar;

8 – impuls diodları.

Stabilitronlar (C alt sinfi):

1 – gücü $0,3V_t$ -dan çox olmayan, nominal stabilizasiya gərginliyi 10V-dan az olan stabilitronlar;

2 - gücü $0,3V_t$ -dan çox olmayan, nominal stabilizasiya gərginliyi 10V ... 100V olan stabilitronlar;

3 - gücü $0,3V_t$ -dan çox olmayan, nominal stabilizasiya gərginliyi 100V-dan çox olan stabilitronlar;

4 - gücü $0,3 \dots 5 V_t$, nominal stabilizasiya gərginliyi 10V-dan az olan stabilitronlar;

5 - gücü $0,3 \dots 5V_t$, nominal stabilizasiya gərginliyi 10 ... 100V olan stabilitronlar;

6 - gücü $0,3 \dots 5V_t$, nominal stabilizasiya gərginliyi 100V-dan çox olan stabilitronlar;

7 - gücü $5 \dots 10 V_t$, nominal stabilizasiya gərginliyi 10V-dan az olan stabilitronlar;

8 - gücü $5 \dots 10V_t$, nominal stabilizasiya gərginliyi 10 ... 100V olan stabilitronlar;

9 - gücü $5 \dots 10V_t$, nominal stabilizasiya gərginliyi 100V-dan çox olan stabilitronlar;

Küy generatorları (Γ alt sinfi):

1 – aşağı tezlikli küy generatorları;

2 – yüksək tezlikli küy generatorları.

İşlənib hazırlanma sırasını (ardıcılığını) işarələmək üçün 01-dən 99 – a qədər ikirəqəmli ədəd istifadə olunur. Sıra sayı 99-dan çox olduqda sonrakı say üçün 101-dən 999-a qədər ədədlər istifadə olunur.

Eyni alt sinifdən olan diodları parametrlərinə görə təsnifatını aparmaq üçün əlavə olaraq hərflər istifadə olunur.

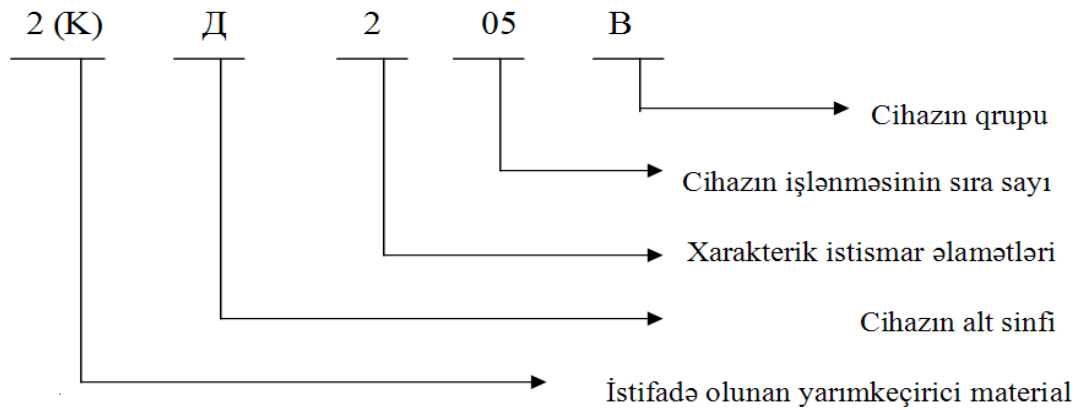
Yarımkəçirici diodların işarələnməsinə misallar:

2Д205В (КД205В) – sabit və orta cərəyanının qiyməti 0,3 ... 10A olan silisium düzləndirici diod, işlənmə sıra sayı 05, В - qrup.

КС620А – gücü 0,5 ... 5 Вт olan, nominal stabilizasiya gərginliyi 100V-dan çox olmayan silisium stabiltron, 20- işlənmənin sıra sayı, А – qrup.

3И309Ж - arsenid qallium çevirici açar tunel diodu, işlənmə sıra sayı 09, qrup – Ж.

АОД 101А –sabit cərəyanının orta qiyməti 0,3А-dan çox olmayan diodlu arsenid qallium optocütü (diod optocütü), 01- işlənmənin sıra sayı, А – qrup.



1980-ci illərə qədər buraxılan diodların işarələnməsində başqa şərti işarələr sistemi istifadə olunurdu. Bu sistemin tərkibinə iki, yaxud üç element daxil olurdu.

Birinci element – bütün yarımqeçirici diodlar sinfini xarakterizə edən Д hərfi.

İkinci element – tətbiq sahəsini təyin edən aşağıdakı ədədlər (say sırası):

1 ... 100 – nöqtəvi germanium diodlar;

101 ... 200 – nöqtəvi silisium diodlar;

201 ... 300 – müstəvi silisium diodlar;

301 ... 400 - müstəvi germanium diodlar;

401 ... 500 – qarışdırıcı İYT – detektor diodlar;

501 ... 600 – vurucu diodlar;

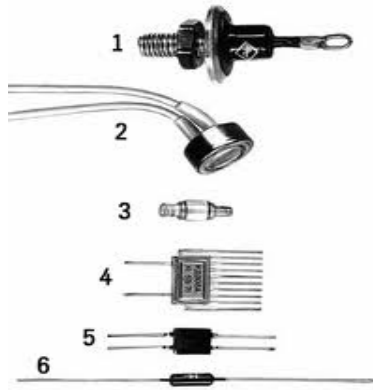
601 ... 700 – videodetektorlar;

701 ... 749 – parametrik germanium diodlar (stabiltronlar);

750 ... 800 – parametrik silisium diodlar (stabiltronlar).

Şəkil 3.13 – də müxtəlif növ yarımqeçirici diodların görünüşü verilmişdir.

Geniş yayılmış yarımqeçirici diodların müxtəlif növlərinin qrafiki işarələnməsi əlavə 1-də və əsas parametrləri əlavə 2-də verilmişdir.



a)



b)

Şək. 3.13. Müxtəlif yarımkeçirici diodların konstruktiv görünüşü:

- a) 1- orta güclü düzləndirici diod; 2- fotodiod; 3 – İYT diod; 4- diod yığımı (İMS); 5 – diod körpü düzləndiricisi (mikroyığım); 6 – azgüclü stabilitron.
 b) müxtəlif güclü düzləndirici diodların konstruktiv görünüşü.

3.5. Yarımkeçirici triodlar (Tranzistorlar)

Tranzistorlar, elektrik siqnallarının generasiyası, çevrilməsi və gücləndirilməsi üçün nəzərdə tutulan yarımkeçirici cihaz olub, iki növə bölünürlər: bipolyar və unipolyar tranzistorlar. Tranzistor (tranzistor) sözü transfer (ötürücü) və rezistor (müqavimət) kimi iki ingilis sözündən əmələ gəlmişdir.

Tranzistor üçelektrodlu lampanın – triodun analoqudur. Bipolyar tranzistorlarda cərəyan keçirilməsində hər iki növ yükdaşıyıcı: elektronlar və deşiklər iştirak edir. Unipolyar tranzistorlarda isə yalnız bir növ yükdaşıyıcı ya elektronlar, ya da deşiklər iştirak edir.

Bipolyar tranzistorlarda çıxış keçiriciliyi onun girişindəki cərəyanla idarə olunur. Unipolyar tranzistorlarda isə idarə edilmə girişdəki siqnalın gərginliyi ilə - sahə ilə yerinə yetirilir. Ona görə də çox vaxt bu tranzistorları sahə tranzistorları adlandırırlar.

Nöqtəvi tranzistorlar XX əsrin 40-cı illərinin sonunda amerikalı fiziklər D. Bardin və B. Brattein tərəfindən işlənilib hazırlanmışdır, bir il sonra B. Şokli müstəvi tranzistor işləyib hazırlamışdır. Tranzistor üçtəbəqəli yarımkeçirici struktur olub iki p-n- keçiddən ibarət cihazdır. Bu cihaz adını müqaviməti çevirmək xassəsindən almışdır (R_{gir} – kiçik, $R_{çix}$ – böyük).

Müstəvi tranzistorlar nöqtəli tranzistorları demək olar ki, sıxışdırıb çıxarıb. Gücləndiricilərin, generatorların və müxtəlif cür elektrik rəqs çeviricilərinin əksəriyyəti bu tranzistorlar əsasında qurulur, çünki çox qənaətcil,

istismarda etibarlı, kiçik qabarit ölçülərə və kütləyə malikdirlər. Tranzistorlu gücləndiricilərdə enerji sərf edilməsi analoji lampalı gücləndiricilərdə olduğundan yüz dəfələrlə azdır.

3.5.1. Bipolyar tranzistorların quruluşu. Müxtəlif təyinatlı bipolyar tranzistorun iş prinsipi elektron-deşik keçidin xassələrinə əsaslanmışdır. Strukturuna görə bipolyar tranzistorlar iki tip olurlar: p-n-p və n-p-n. Əsas fərqləri ondan ibarətdir ki, p-n-p tranzistorlarda keçiricilik deşiklərlə, n-p-n – tip tranzistorlarda isə elektronlarla təyin olunur. İş prinsipi hər iki tip tranzistorlarda eynidir. p-n-p – tip tranzistorlarda iki kənar oblast p keçiriciliyinə, orta oblast isə n keçiriciliyinə malikdir, n-p-n – tip tranzistorda isə əksinə. Kənar oblastları uyğun olaraq E - emitter və K – kollektor, orta oblastı isə B - baza adlandırırlar. Bu oblastlara, tranzistoru sxemə qoşa bilmək üçün uyğun qaydada adlandırılan elektrodlar lehimləyirlər.

Bipolyar tranzistor ən universal cihaz olub, istismarının əlverişliliyinə görə daha geniş tətbiq tapmışdır. Bu tranzistorlar üç yarımkeçirici təbəqədən, iki elektron – deşik (p-n) keçidindən və 3 elektroddan ibarət olan cihazlardır.

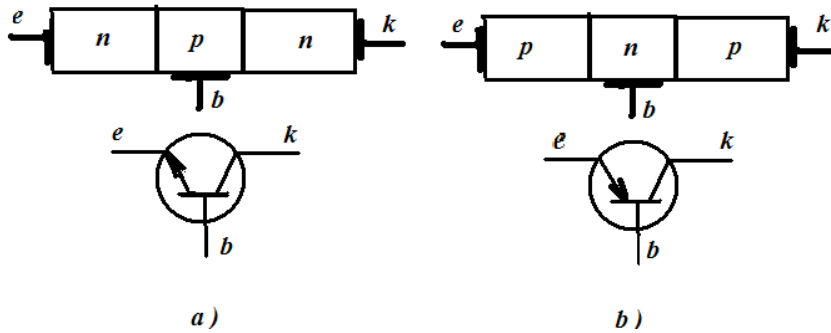
Bipolyar tranzistorlarda hər təbəqə düzləndirməyən metal-yarım-keçirici kontakla xarici elektroda (çıxışa) birləşdirilmişdir.

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi orta təbəqə (oblast) və ona uyğun olan elektrod baza, kənar təbəqələr və onlara uyğun olan elektrodlardan biri kollektor, digəri isə emitter adlanır.

n-p-n – və p-n-p - tipli tranzistorların sxematik, sadələşdirilmiş təsviri və qrafiki işarələri uyğun olaraq şəkl. 3.14, a və 3.14, b – də verilmişdir. Diskret tranzistorların qrafiki işarəsi sxemlərdə dairəli və inteqral tranzistorların qrafiki işarəsi isə dairəsiz verilir. Xarici ədəbiyyatda tranzistoru dairəsiz qrafiki işarəsi ilə verirlər. Tranzistorda oxun istiqaməti onun emitterindən axan cərəyanın istiqamətini göstərir. Bipolyar tranzistorun əsas xüsusiyyəti onun emitter, baza və kollektor oblastlarında əsas yük daşıyıcılarının konsentrasiyasının qeyri bərabər paylanmasıdır. Belə ki, emitterdə yüklərin konsentrasiyası maksimaldır. Kollektorda emitterdə olduğundan bir qədər azdır. Bazada isə emitterdə və kollektorda olduğundan dəfələrlə azdır.

Beləliklə aralıq oblastı deşik keçiriciliyinə, iki kənar oblastları isə elektron keçiriciliyinə malik olan tranzistora n-p-n tip; aralıq oblastı elektron, iki kənar oblastları isə deşik keçiriciliyinə malik olan tranzistora p-n-p tip tranzistor deyilir. Emitterlə baza arasında əmələ gələn birinci p-n keçid emitter keçidi adlanır və xarici e.h.q. mənbəyinə düz istiqamətdə qoşulur. Baza ilə kollektor arasında yaranan ikinci p-n keçid isə kollektor keçidi adlanır və mənbəyə əks istiqamətdə qoşulur. p-n-p tipli tranzistorlarda cərəyanın daşınmasında əsas rol oynayan deşiklər, n-p-n tranzistorunda isə elektronlardır. Bu tranzistorlarda

keçiricilik hər iki növ yükdaşıyıcıların – elektron və deşiklərin hesabına yarandığından belə tranzistorlar bipolyar tranzistorlar adlanır.



Şəkil 3.14. Bipolyar tranzistor:

- a - n-p-n- tip tranzistorun strukturu və qrafiki işarəsi;
- b - p-n-p- tip tranzistorun strukturu və qrafiki işarəsi;

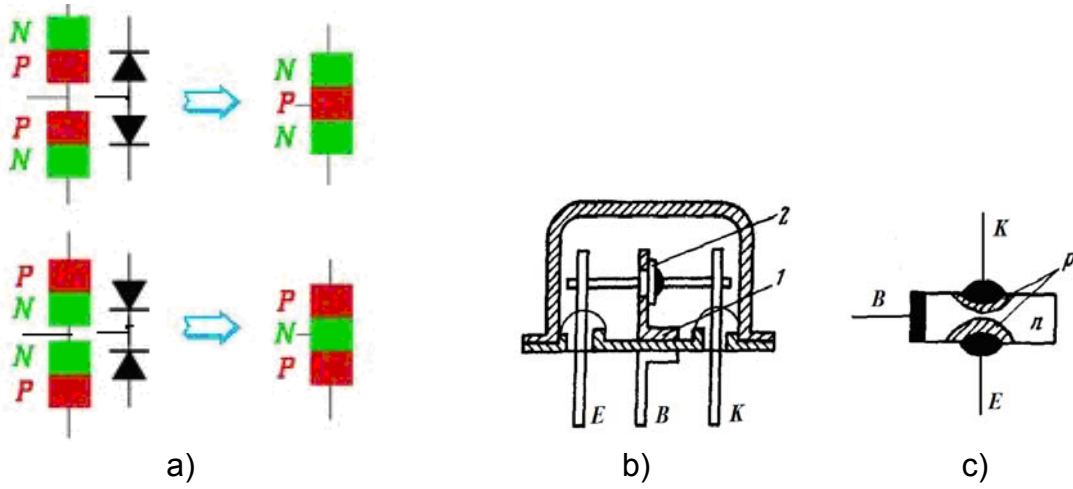
Normal halda tranzistorun keçidlərindən biri düz, o biri isə əks istiqamətdə qoşulur. Düz istiqamətdə qoşulan keçid emitter keçidi, uyğun kənar hissə və ora birləşdirilən çıxış (elektrod) emitter adlanır. Əks istiqamətdə qoşulan keçid kollektor keçidi, uyğun kənar hissə və onun çıxışı kollektor adlanır.

Belə ki, n-p-n- tipli tranzistorda emitter və kollektor cərəyanları (I_e və I_k) elektronlar, baza cərəyanı (I_b) isə deşiklər hesabına yaranır; p-n-p- tipli tranzistorda əksinədir. Belə ki, n-p-n tranzistorunda işçi yükdaşıyıcılar olan elektronların yürüklüyü, p-n-p tranzistorunda olan işçi yükdaşıyıcıların yürüklüyündən 2-3 dəfə çoxdur.

3.5.2. Bipolyar tranzistorların diod modeli və konstruksiyası. n-p-n- və p-n-p- tipli bipolyar tranzistorların diod modeli şəkil 3.15,a – da göstərilmişdir. Tranzistorlarda elektron-deşik keçiriciliyini müxtəlif üsullarla alırlar. Aşağı və orta tezlikli tranzistorları əritmə üsulu ilə alırlar. Məsələn, n – tip keçiriciliyə malik olan nazik germanium lövhənin hər iki tərəfdən səthinə əritməklə indium (akseptor aşqar) hopdururlar. Əritmə sərhədlərində E - emitter və K - kollektor funksiyalarını yerinə yetirən iki deşik keçiriciliyi əmələ gəlir (şək. 3.15). Lövhə özü baza rolunu oynayır və l - kristal tutqacında bərkidilərək korpusda (silindrik, yaxud başqa formada) yerləşdirilir. Tranzistor çıxışları vasitəsilə sxemə qoşulur.

Analoji qayda ilə n-p-n – tipli tranzistor hazırlanır. Bu halda yarım-keçirici lövhə deşik keçiriciliyinə malik olmalıdır. Lövhənin səthinə donor maddə əridilib daxil edilməklə n-tip keçiriciliyə malik olan oblast yaradılır.

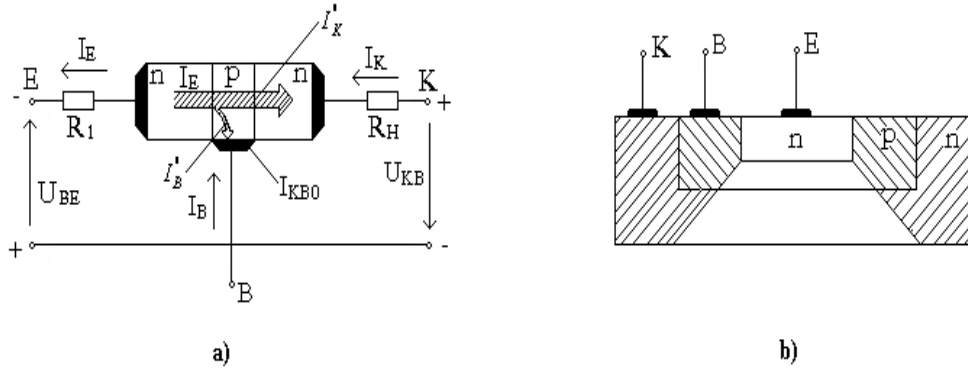
Bazanın qalınlığını kiçik (onlarla mikrometr) edirlər. Nəticədə bazada yüklərin rekombinasiyası praktiki aradan götürülür və baza cərəyanı azaldılır.



Şək. 3.15. Tranzistorların diod modeli (a), əritmə tranzistoru (b) və onun sxematik quruluşu (c): 1 – Kristal tutqacı; 2 – yarımkəçirici lövhə.

Bipolyar tranzistorlarda keçidlərdə axan cərəyanların ötürülmə mexanizmi n-p-n- tipli tranzistorun misalında şəkil 3.16,a-da və onun real strukturu 3.16, b – də verilmişdir. Emitter dövrəsinə U_e gərginlik mənbəyi qoşulduqda p-n emitter keçidində əsas yükdaşıyıcıların qarşılıqlı hərəkəti başlanır. Belə ki, n-oblastından p-oblastına elektronlar, p-oblastından n-oblastına isə deşiklər injeksiya olunurlar. n-oblastında elektronların konsentrasiyası p-oblastındakı deşiklərin konsentrasiyasından xeyli çox olduğundan, elektronların az bir hissəsi keçiddə deşiklərlə rekombinasiya olunur, əksər hissəsi isə bazaya keçir və bazada qeyri-əsas yükdaşıyıcılar rolunu oynayır. Bazanın qalınlığı kiçik (4-5 mkm) olduğundan, elektronların çox hissəsi deşiklərlə rekombinasiya olunmağa imkan tapmır və kollektor keçidinin sürətləndirici sahəsinə düşür. Bu sahə bazanın əsas yükdaşıyıcıları üçün bağlı, ondakı qeyri-əsas yükdaşıyıcılar olan elektronlar üçün isə açıq istiqamətdə yönəlmiş olur. Kollektor keçidində elektronların konsentrasiyası artır, buna uyğun olaraq keçidin müqaviməti azalır və nəticədə, kollektor cərəyanının qiyməti artaraq emitter cərəyanına çox yaxınlaşır. Baza dövrəsinin cərəyanı isə çox kiçik olur. Emitter cərəyanı kollektor və baza cərəyanlarının cəminə bərabər olur:

$$\Delta I_e = \Delta I_k + \Delta I_b \quad (3.5)$$



Şəkil 3.16. a) n – p – n tip tranzistorda cərəyanların paylanması sxemi, b) bipolyar tranzistorun real strukturu

3.5.3. Bipolyar tranzistorun əsas parametrləri və iş rejimləri.

Tranzistoru xarakterizə edən əsas parametrlər baza və emitter cərəyanlarına görə gücləndirmə əmsallarıdır. Baza cərəyanına görə gücləndirmə əmsalı β , $U_{ek} = const$ halında, kollektor cərəyanı artımının baza cərəyanı artımına olan nisbəti kimi, emitter cərəyanına görə gücləndirmə əmsalı α isə, $U_{kb} = const$ halında, kollektor cərəyanı artımının emitter cərəyanı artımına olan nisbəti kimi təyin edilir:

$$\beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b}, \quad \alpha = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_e}. \quad (3.6)$$

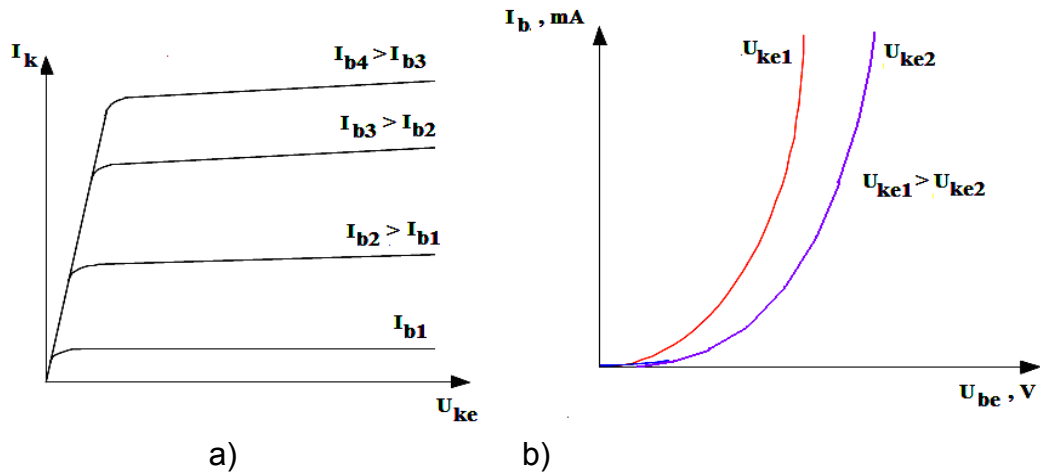
(3.5) ifadəsini nəzərə alsaq, bu iki əmsal arasında aşağıdakı əlaqələri yazmaq olar:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}; \quad \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}. \quad (3.7)$$

Müasir tranzistorlar üçün $\beta = 10 - 500$ və daha çox, $\alpha = 0,95 - 0,99$ qiymətlərini alır.

Tranzistorun dövrələrindən axan cərəyanlar onun elektrodlarına verilən gərginliklərdən asılıdırlar. Sabit gərginliklərdə bu asılılıqlar tranzistorun statik çıxış xarakteristikaları adlanır: $I_k = f(U_{ke}, I_b)$ (şəkil 3.17,a).

Baza cərəyanı isə eyni zamanda baza-emitter və kollektor-emitter potensiallarının funksiyasıdır. Bu asılılıqlar, $U_{ke} = const$ halında, tranzistorun giriş və ya baza xarakteristikaları adlanır: $I_b = f(U_{be}, U_{ke})$ (şəkil 3.17,b).



Şəkil 3.17. Tranzistorların çıxış (a) və giriş (b) statik volt-ampere xarakteristikaları ailəsi.

P-n keçidinə verilən gərginliyin işarəsindən (polyarlığından) asılı olaraq tranzistorun aşağıdakı iş rejimləri mövcuddur:

Aktiv (normal) rejim – emitter keçidinə düzünə, kollektor keçidinə əksinə gərginlik verilir. Tranzistor ancaq bu rejimdə effektiv idarə oluna bilər və emitter cərəyanının böyük güclənmə əmsalını təmin edir.

Doyma rejimi (ikiqat injeksiya) - hər iki keçid açıqdır, yəni hər iki keçid düzünə gərginlik altında olur və tranzistordan böyük kollektor cərəyanı axır.

Kəsmə rejimi (bağlı rejim) - hər iki keçid bağlıdır və tranzistordan ancaq kiçik istilik cərəyanı axır.

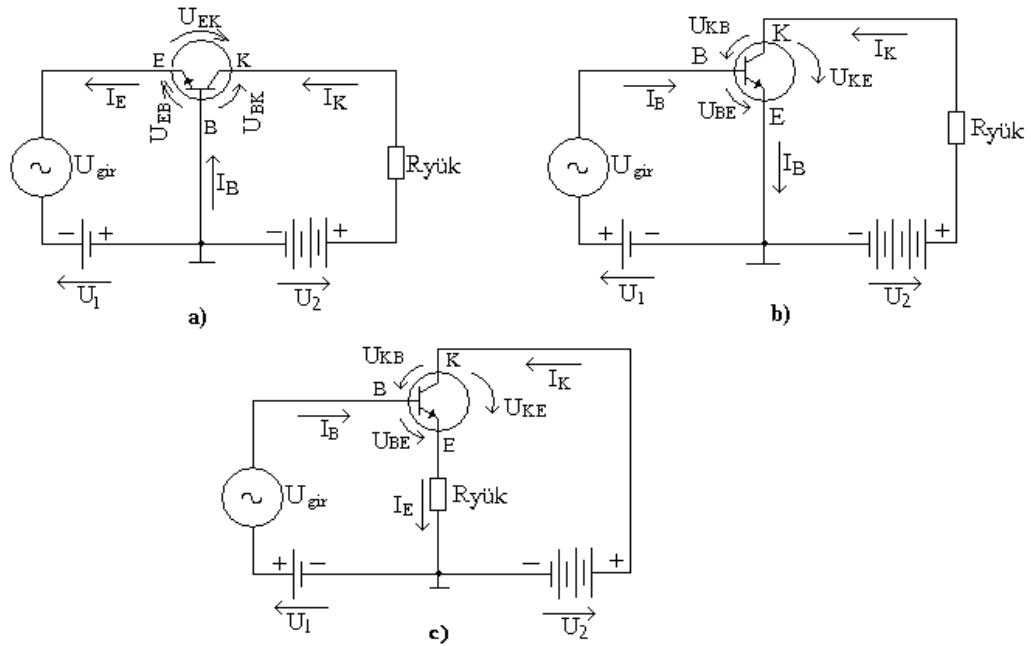
İnvers rejim – kollektor keçidinə düzünə, emitter keçidinə isə əksinə gərginlik verilir. Bu rejim emitter cərəyanının güclənmə əmsalının çox kiçik xarakterizə olunur və bu səbəbdən təcrübədə nadir hallarda istifadə edilir.

Tranzistorun çıxışına yük müqaviməti $R_{yük}$ qoşub, girişinə dəyişən signal verərək onun işinə dinamik rejimdə baxaq.

Tranzistor dəyişən cərəyan dövrəsinə, eyni zamanda sabit cərəyanı görə (girişə nəzərən) əsasən üç üsulla qoşula bilər. Bu qoşulmalar ümumi emitterli (ÜE), ümumi bazalı (ÜB) və ümumi kollektorlu (ÜK) qoşulmalar adlanır. Şəkil 3.18 - də n-p-n tipli tranzistorun qoşulma sxemləri göstərilmişdir. Sxemlərin hər birində elektrodlardan biri giriş və çıxış dövrləri üçün dəyişən cərəyanı görə ümumi olur.

Ümumi bazalı qoşulma halında (şəkil 3.18, a) giriş cərəyanı emitter cərəyanıdır, çıxış cərəyanı isə kollektor cərəyanıdır. Bu qoşulmada giriş signalı emitter-baza dövrəsinə verilir, çıxış signalı isə kollektor –baza dövrəsindən

götürülür. Belə kaskadın giriş müqaviməti kiçik (10 Om), çıxış müqaviməti isə böyük (100 kOm) olur. Belə sxemlərdə cərəyana görə güclənmə olmur, gərginliyə görə güclənmə maksimum alınır. Gərginliyə və gücə görə güclənmə yüzlərlə dəfə olur. Təhriflər nisbətən az olur. Digər sxemlərlə müqayisədə temperatur dəyişmələrində stabilliyi yüksəkdir. Giriş və çıxış siqnalları arasında faza sürüşməsi olmur. Kaskadın giriş müqaviməti kiçik olduğundan, bu sxemdən az istifadə olunur.



Şəkil 3.18. Bipolyar tranzistorun qoşulma sxemləri.

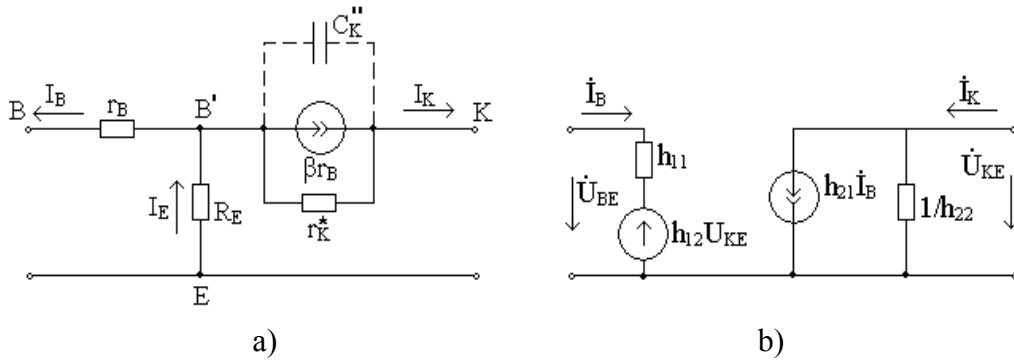
Ümumi emitterli qoşulma halında (şəkil 3.18, b) giriş cərəyanı baza cərəyanıdır, çıxış cərəyanı isə kollektor cərəyanıdır. Bu qoşulmada həm gərginliyə, həm də cərəyana görə güclənmə almaq olur. Bu sxemdə gücə görə güclənmə min dəfələrlə olur. Temperatur dəyişmələrində stabilliyi aşağı olduğundan mənfi əks rəbitə tətbiq olunur, bu isə güclənməni zəiflədir. Giriş və çıxış siqnalları arasında faza sürüşməsi $\varphi = \pi$ olduğundan belə sxem bəzən faza invers kaskad adlanır.

Ümumi kollektorlu qoşulma halında (şəkil 3.18, c) giriş cərəyanı baza cərəyanıdır, çıxış cərəyanı isə emitter cərəyanıdır.

Bu qoşulmada giriş baza-kollektor aralığı, çıxış isə kollektor-emitter aralığı olur. Yük müqaviməti emitter dövrəsinə qoşulur. ÜK üzrə qoşulmuş sxemin cərəyana görə gücləndirmə əmsalı böyük, gərginliyə görə gücləndirmə əmsalı vahidə yaxın olur. Bu sxem böyük giriş və kiçik çıxış müqavimətinə

malik olur. Sxemin giriş və çıxış gərginlikləri arasında faza sürüşməsi olmur. Burada siqnallar təhrif olunmur və emitter dövrəsindən götürülən çıxış siqnalı formaca giriş siqnalını təkrarlayır. Odur ki, bu kaskad, bəzən emitter təkrarlayıcısı adlanır.

Tranzistoru bu cür qoşulmuş kaskadlara xətti dördqütblü kimi baxmaq olar. Odur ki, harmonik dəyişən siqnallar halında bu kaskadlar üçün h – parametrlərlə tənliklər sistemini yazmaq olar. h - parametrlər işçi nöqtə ətrafında təyin olunan gərginlik və cərəyanın xüsusi törəmələri olub, dördqütblünün çıxışı yüksüz, girişi isə qısa qapanma rejimlərində hesablanan əmsallardır. Bu əmsallar tranzistorun dövrəyə daxil edilməsi sxemindən asılıdır. ÜE üzrə qoşulmuş kaskadın ekvivalent sxemi şəkil 3.19, a - da göstərilmişdir. ÜE üzrə qoşulmuş tranzistorun zəif siqnal halında əvəzləmə sxemi şəkil 3.19, b-də göstərilmişdir.



Şəkil 3.19. ÜE üzrə qoşulma halında tranzistorun
a) ekvivalent və b) əvəzləmə sxemləri.

Bu cür əvəzləmə halında ÜE üzrə qoşulmuş kaskad üçün h - parametrlər sistemi

$$\begin{aligned} \Delta U_{be} &= h_{11e} \Delta I_b + h_{12e} \Delta U_{ke} \\ \Delta I_k &= h_{21e} \Delta I_b + h_{22e} \Delta U_{ke} \end{aligned} \quad (3.8)$$

kimi yazıla bilər. Burada h_{11e} - çıxışda qısa qapanma halında tranzistorun giriş müqaviməti, h_{12e} - yüksüz rejimdə gərginliyə görə əks rabitə əmsalı (gərginliyə görə güclənmə əmsalının tərs qiyməti), h_{21e} - tranzistorun çıxışda qısa qapanma halında emitter cərəyanının ötürmə əmsalı, h_{22e} - çıxış müqavimətinin tərs qiymətidir, yəni çıxış keçiriciliyidir. Bu əmsallar

$$h_{11e} = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta I_b} = R_{gir.e} = R_{gir.B} (\beta + 1);$$

$$h_{22e} = \frac{\Delta I_k}{\Delta U_{ke}} = \frac{1}{r_k}; \quad h_{21e} = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} = \beta \quad (3.9)$$

ifadələri ilə təyin edilirlər.

3.6. Sahə tranzistorları

Yarımkəçirici təbəqədən axan cərəyanı ona perpendikulyar istiqamətdə yönəlmiş elektrik sahəsi ilə idarə etməyə imkan verən yarımkəçirici cihazlar sahə tranzistorları adlanır. Belə tranzistorların işində yalnız bir işarəli yükdaşıyıcılar (elektronlar, yaxud deşiklər) iştirak etdiyindən, bəzən sahə tranzistorlarına unipolyar tranzistorlar da deyilir. Aralarından cərəyan axan elektrodlar giriş (mənbə) və çıxış (mənsəb) elektrodları, üçüncü elektrod isə idarəedici elektrod (rəzə - bağlayıcı təbəqə) adlanır. Sahə tranzistorunda girişlə çıxış arasındakı keçirici kanalın müqavimətini dəyişməklə kanaldan axan cərəyan idarə olunur. Strukturundan asılı olaraq sahə tranzistorları iki qrupa bölünürlər: idarəolunan p-n keçidli və izoləedilmiş idarəedici elektrodlu tranzistorlar.

3.6.1. İdarəolunan p-n keçidli sahə tranzistoru. İş prinsipi keçid müqavimətinin tətbiq olunan gərginlikdən olan asılılığına əsaslanır. Tranzistorda əsas yükdaşıyıcılar elektronlar olduqda buna n-kanallı, deşiklər olduqda isə p-kanallı sahə tranzistorları deyilir. Şəkil 3.20, a - da göstərilmiş tranzistorda cərəyan girişdən çıxışa n-kanalla axır. Bu kanal idarəedici elektrodun p-obləstı ilə p-n keçidini təşkil edir. Tranzistorun idarəedici elektrodu ilə n-tip giriş elektrodu arasına gərginlik əks istiqamətdə tətbiq olunduqda, bağlayıcı təbəqənin eni artır, cərəyan axma kanalı daralır və n-kanaldan axan cərəyan azalır. İdarəedici elektrodun müəyyən gərginliyində $U_{kəs}$ tranzistorun girişindən çıxışına axan cərəyan tamamilə kəsilir. Keçidə gərginlik düz istiqamətdə verildikdə kanaldan axan cərəyan artır. Beləliklə, idarəedici elektrodun gərginliyini dəyişməklə kanalın müqavimətini və uyğun olaraq ondan axan cərəyanı idarə etmək olur ki, bu da müəyyən şərtlər daxilində sahə tranzistorundan gücləndirici kimi istifadə etməyə imkan verir.

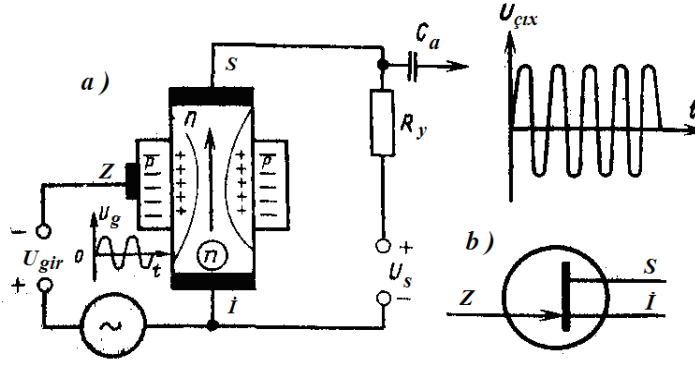
Sahə tranzistorunun gücləndirmə xüsusiyyəti ümumi giriş elektrodlu sxem üçün alınmış statik çıxış xarakteristikalar ailəsi ilə tam təyin olunur. Giriş və çıxış elektrodlarına verilən U_{si} gərginliyinin kiçik qiymətlərində sahə tranzistoru idarəolunan rezistor rejimində, böyük qiymətlərində isə cərəyanın məhdudlanması rejimində işləyir. $U_{si} = \text{const}$ olduqda $I_s = f(U_z)$ asılılığı statik keçid xarakteristikası adlanır.

Sahə tranzistorunun əsas parametrlərinə keçid xarakteristikasının dikliyi (S), diferensial daxili müqaviməti (R_i), diferensial giriş müqaviməti (r_{gir}), statik güclənmə əmsalı (μ_0) aiddir. Bu parametrlər bir-biri ilə $\mu_0 = S \cdot R_i$ münasibəti ilə bağlıdır.

p-n- keçidli sahə tranzistoru p-n- keçidi ilə əmələ gəlmiş kanaldan ibarətdir. Mənfi yüklərlə zəngin olan germanium lövhənin kənarlarına (uc-larına) İ (mənbə) və S (mənsəb) adlanan elektrodlar lehimlənmişdir (şək. 3.20). Onlar arasında U_s gərginliyi tətbiq olunmuşdur. Bu gərginliyin təsiri altında yükdaşıyıcıları - elektronlar mənbədən, bağlayıcı təbəqə vasitəsilə əmələ gəlmiş p-n- keçidin yaratdığı kanaldan keçərək mənsəbə doğru hərəkət edirlər. Bağlayıcı təbəqə (rəzə) n- tip germanium lövhəni iki tərəfdən əhatə etmiş birgə birləşdirilmiş iki p - lövhədən ibarətdir. Bu lövhələrə, p-n – keçidinə idarəedici U_z gərginliyinin verildiyi Z – rəzə elektrodu lehimlənmişdir. Onun köməyi ilə tranzistordan axan cərəyanı idarə etmək olar.

U_z gərginliyinin dəyişməsi kanalın daralmasına və ya genişlənməsinə səbəb olur ki, bu da öz növbəsində elektron selinin azalmasını və ya çoxalmasını əmələ gətirir. Əvvəllər qeyd olunduğu kimi bipolyar tranzistorlar cərəyanla idarə olunur, sahə tranzistorlarında isə idarəetmə giriş gərginliyi – rəzədəki U_r gərginliyi ilə həyata keçirilir. Giriş gərginliyi olmadıqda əsas yük daşıyıcıları – elektronlar S və İ arasında tətbiq olunmuş qida gərginliyinin yaratdığı sürətləndirici elektrik sahəsinin təsiri ilə mənbədən mənsəbə doğru hərəkət edirlər. Kanalın müqaviməti onun en kəsiyindən asılıdır. Bu müqavimət U_z gərginliyinin dəyişdirilməsi ilə qapayıcı p-n- keçidinin genişləndirilməsi və daralması hesabına dəyişdirilə bilər. Rəzəyə siqnalın dəyişən gərginliyinin verilməsi nəticəsində zəifləyən yekun əks gərginlik dəyişəcək, bu da kanalın kəsiyinin sahəsinin dəyişməsinə gətirib çıxarar. Gərginliyin böyük mənfi qiymətində p-n – keçid kanalı bağlaya bilər və tranzistor bağlı olacaq. Əksinə gərginlik müsbət olduqda tranzistor daha çox açılacaq. Sahə tranzistorlarının xarakteristikaları ekranlaşmış lampaların xarakteristikaları ilə analojidir. Bipolyar tranzistorlar kimi onlar da üç qoşulma sxemində işləyə bilərlər: ümumi mənbəli, ümumi mənsəbli və ümumi rəzəli.

Sahə tranzistorlarının üstünlüklərinə kifayət qədər yüksək sürət, aşağı küylər və yüksək giriş müqaviməti aiddir. Bu, sahə tranzistorlarını gücləndiricilərin giriş dövrlərində, ölçmə aparaturasında və digər qurğularda tətbiq etməyə imkan verir.



Şek. 3.20. p-n- keçidli sahə tranzistoru:

a – sahə tranzistorunun qoşulma sxemi; b – şərti-qrafiki işarəsi.

3.6.2. İzolə olunmuş rəzəli sahə tranzistoru (MDY tranzistor). Adi sahə tranzistorlarından başqa rəzəsi yarımkəçiricidən izolə edilmiş sahə tranzistorları da mövcuddur. Belə tranzistorlar xüsusən də, inteqral mikrosxemlərdə geniş tətbiq olunurlar. Bu növ sahə tranzistorlarını başqa cür MDY (metal - dielektrik - yarımkəçirici) tranzistorlar da adlandırırlar, çünki onlar metal - dielektrik - yarımkəçirici struktura malikdirlər. Silisium sahə tranzistorlarında izolyator kimi SiO_2 oksidi istifadə olunur. Belə cihazları MOY (metal – oksid – yarımkəçirici) tranzistorlar adlandırırlar.

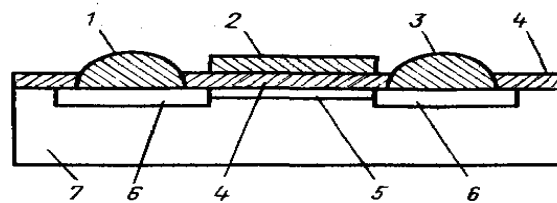
İzolə edilmiş idarəedici elektrodlu sahə tranzistorlarında rəzə keçirici kanaldan, kanal üzərində yetişdirilən izolə qatı (oksid qatı) ilə ayrılır və mənbə - mənsəb cərəyanına ancaq özünün elektrik sahəsi ilə təsir edir. İdarəedici elektrod keçirici kanaldan SiO_2 , $SiO_2-Al_2O_3$, $SiO_2-Si_3N_4$ və s. kimi nazik (0,05 - 0,2 mkm) dielektrik təbəqələri ilə izolə edilir. Dielektrik təbəqə kimi altlıq materialın oksidindən istifadə olunduqda bu cür sahə tranzistorları metal - oksid - yarımkəçirici (MOY) tranzistorlar adlanır. İdarəedici elektrod, dielektrik təbəqəsi və yarımkəçiricidəki cərəyan kanalı kondensator təşkil edir. Kanaldan axan cərəyan bu kondensatora tətbiq olunmuş gərginliklə, başqa sözlə, idarəedici elektrodla tranzistorun giriş elektrodu arasına verilən gərginliklə idarə edilir.

MDY-tranzistorlar iki tip olur: induksiya edilmiş və daxil edilmiş kanallı. MDY- tranzistorun quruluşu şəkil 3. 21 - də göstərilmişdir. Mənbə və mənsəb (6) əsas oblastları 4 oksid təbəqəsindən metallaşdırma yolu ilə dəşiklərdən 1, 3 kontaktları ilə birləşmişdir. 4 təbəqəsinin üstünə rəzə funksiyasını yerinə yetirən alüminium təbəqəsi tozlandırılmışdır. Rəzə - 2 dielektrik - 4 vasitəsilə yarımkəçirici material -7 ilə kondensator əmələ gətirir.

Əgər rəzəyə (zatvora) (kondensatorun üst lövhəsinə) $+U$ müsbət gərginlik versək yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artacaq. Onun vasitəsilə kanaldan keçən

cərəyanı tənzimləmək olar. Rəzədə mənfi gərginlik olduqda kanal kasıblaşmış (yükləri) rolunu oynayacaq (cihazdan axan cərəyanı zəiflədəcək). Lakin qeyd etmək lazımdır ki, bu gərginliyin böyük qiymətlərində yarımqeçiricinin səthindəki təbəqənin inverslənməsi hesabına cərəyan arta bilər.

İzolə edilmiş rəzə tranzistorun giriş müqavimətini 10^{14} Om - a qədər artırmağa imkan verir. Bu cihazların çıxış müqaviməti 10 ... 100 kOm qədər olur.

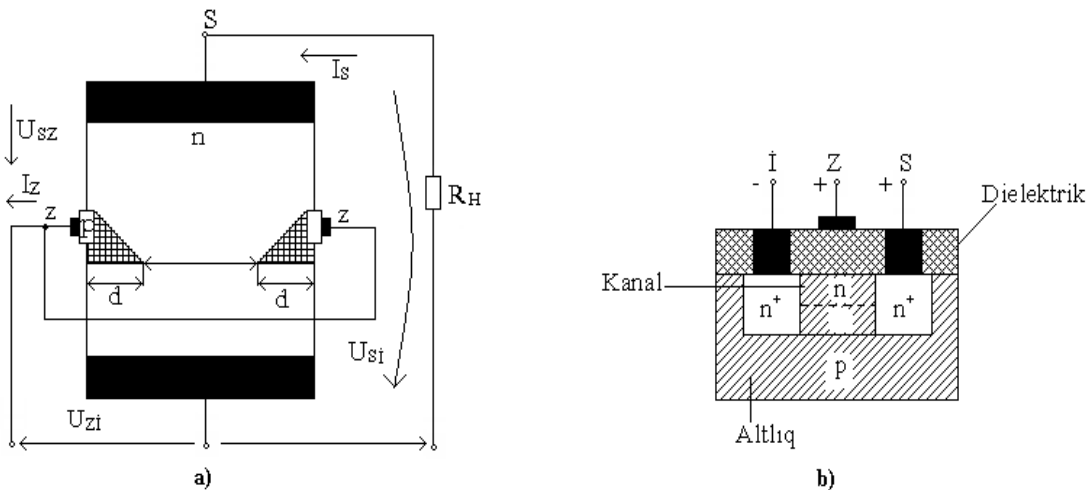


Şek. 3.21. MDY – tranzistor:

1-mənbə(istok); 2 – rəzə(zatvor); 3 – mənsəb(stok); 4 – silisium oksidi təbəqəsi; 5 – induksiya edilmiş n- tip kanal; 6 – istok və stok oblastları; 7 – yarımqeçirici.

Daxil edilmiş kanallı MDY tranzistorlar induksiyaçı tranzistorlarla eyni konstruksiyaya malikdirlər və iş prinsipinə görə də oxşardırlar.

Şəkil 3.22 – də müasir texnoloji üsullarla hazırlanan p-n –keçidli və MDY strukturlu sahə tranzistorlarının təsviri verilmişdir.



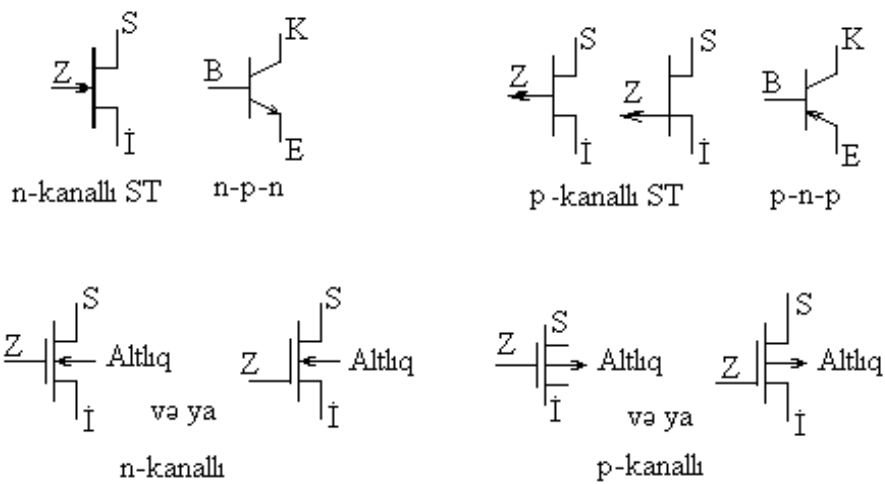
Şəkil 3.22. a) İdarə olunan p – n keçidinə malik sahə tranzistoru;
b) MDY strukturuna malik tranzistor.

Sahə tranzistorlarını müxtəlif gücləndirici və çevirici açar sxemlərində, həmçinin, bipolar tranzistor əsasında qurulmuş çoxkaskadlı sxemlərdə razılaşıdırıcı elementlər kimi tətbiq edirlər. Eyni zamanda, azküylü gücləndiricilərin giriş kaskadlarında (onların məxsusi küylərinin səviyyəsi 0,5 ...

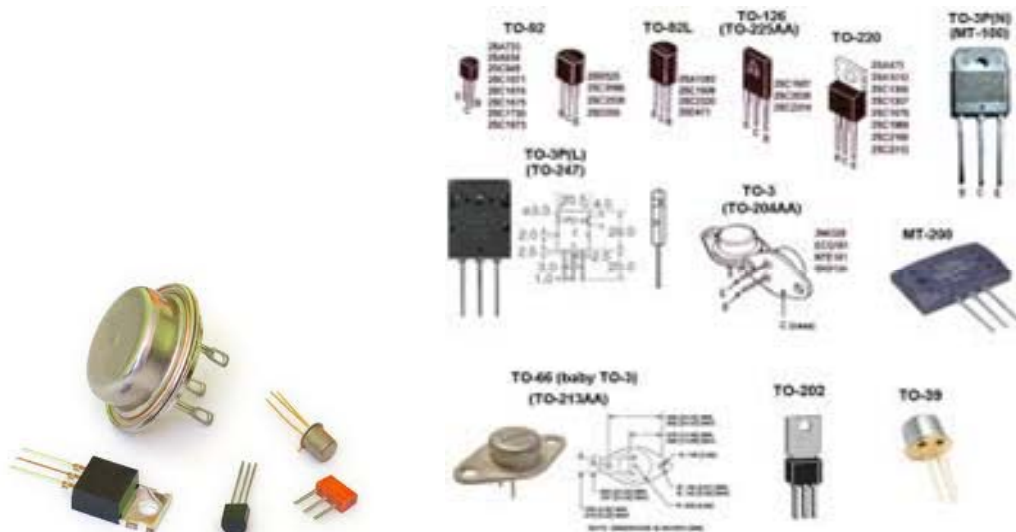
1 dB) da tətbiq olunur. Sahə tranzistorlarındakı açar sxemləri bipolyar tranzistorlardakından sadə və qənaətcildir.

Sahə tranzistorlarının üstün cəhətləri onların böyük temperatur sabilliyinə, sabit cərəyana görə böyük giriş müqavimətinə (idarəolunan p-n keçidli tranzistor üçün $10^6 - 10^9$ Om, izolə edilmiş idarəedici elektrodlu tranzistor üçün $10^9 - 10^{15}$ Om) və yüksək texnoloji imkanlara malik olmasındadır. Sahə tranzistorları 1,5 QHs və daha yüksək tezliklərdə işləyə bilər. Küylərin səviyyəsi digər yarımkəçirici cihazlara nisbətən azdır. Sahə tranzistorlarının şərti-qrafiki işarələri şəkil 3.23 - də göstərilmişdir.

Müxtəlif növ və müxtəlif markalı tranzistorların konstruktiv görünüşü şəkil 3.24 - də verilmişdir.



Şəkil 3.23. Sahə tranzistorlarının qrafiki işarələri



Şək.3.24. Müxtəlif növ və markalı tranzistorların konstruktiv görünüşü.

Tranzistorların qrafiki işarələnməsi əlavə 1-də və ən geniş yayılmış müxtəlif markalı tranzistorların əsas parametrləri əlavə 2-də verilmişdir.

3.7. Çoxtəbəqəli yarımkeçirici cihazlar

Güclü yarımkeçirici cihazlar böyük işçi cərəyan və gərginliklərdə işləyirlər. Belə cihazlar üçün böyük sahəyə malik p-n keçiddən (1 sm-ə qədər və daha çox) istifadə edilir. Belə cihazların tətbiqi zamanı istilik ayrılması müəyyən əngəllər törədir. Güclü yarımkeçirici cihazlardan biri tiristordur. Tiristorlar dörd təbəqəli p-n-p-n struktura malik olub, elektrik intiqalı avadanlığının idarə qurğularında cərəyanların kommutasiyası üçün istifadə edilir. Tiristorlar 2 və 3 elektrodlu buraxılır. İki elektrodular bəzən dinistor adlandırılır. Üçelektrodular isə trinistorlar və yaxud idarə olunan tiristorlar adlandırılır. Tiristorları başqa cür idarə olunan ventillər də adlandırırırlar. Həmçinin, beş-təbəqəli n-p-n-p – tipli simmetrik idarə olunan və simistor adlanan yarımkeçirici ventillər yaradılmışdır.

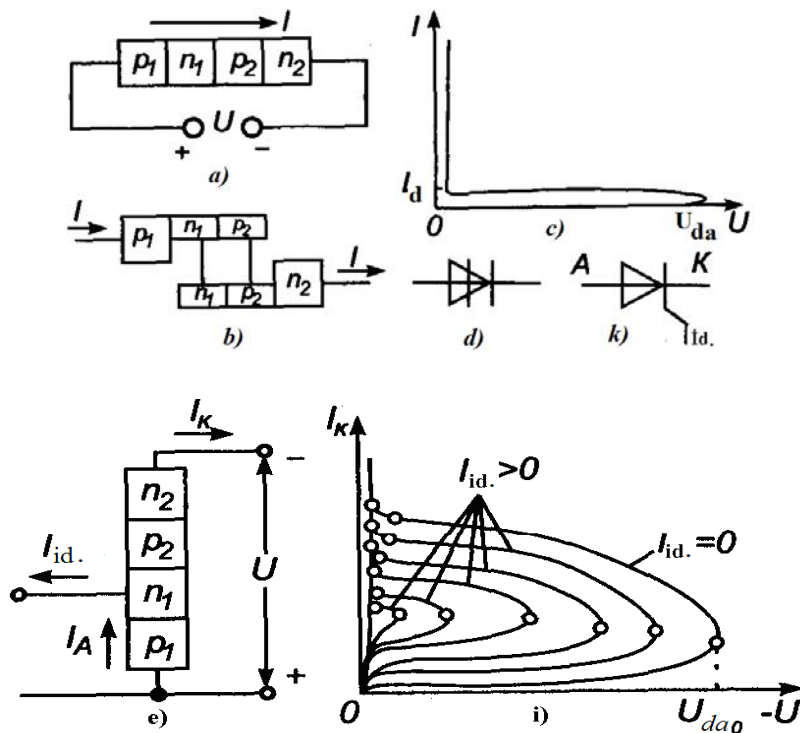
p-n-p-n strukturlu təbəqələrə malik (şəkil 3.25, a) diodun iş prinsipinə baxaq. Dioda çox böyük olmayan U gərginliyi (müsbət qütbü p_1 -qatına, mənfi qütbü n_2 -qatına) verildikdə cərəyan şəkildə göstərilən ox istiqamətində axacaqdır. p_1-n_1 və p_2-n_2 keçidləri düz, n_1-p_2 keçidi isə əks istiqamətdə işləyəcəklər. Beləliklə, bir cihazda iki tranzistorun kombinasiyası alınır (şəkil 3.25, b). Tranzistorun biri $p_1-n_1-p_2$, digəri $n_1-p_2-n_2$ struktura malik olur. p_1 və n_2 təbəqələri emitter, n_1 və p_2 təbəqələri bir tranzistor üçün baza, digəri üçün kollektor rolunu oynayır. Bu təbəqələr baza təbəqələri adlanır. n_1-p_2 keçidi kollektor keçidi adlanır.

Kollektor keçidi əks istiqamətdə işlədiyi müddətdə bütün U gərginliyi bu keçiddə ayrılır və dinistorun cərəyanı bu keçidin əks cərəyanı olur. Şəkil 3.25, b - dəki hər iki “tranzistor” ayrılmış baza üzrə qoşulmuş olurlar. U gərginliyinin artması ilə kollektor keçidində ionlaşma (zərbə ilə) artır. Gərginliyin, açıcı gərginlik adlanan müəyyən $U=U_{ag}$ qiymətində kollektor keçidinin deşilməsi baş verir və VAX mənfi meylik alır, yəni cihazın diferensial müqaviməti mənfi olur. Nəticədə, cihazda gərginlik azalır, cərəyanın artması ancaq xarici yüklə məhdudlaşır. Bu anda dinistordakı gərginlik düşküsi minimuma çatır. Sonra isə qatların omik müqavimətlərində gərginliyin ayrılması hesabına cərəyanın artması ilə gərginlik düşküsi zəif olaraq artmağa başlayır. Bu, şəkil 3.25, b - dəki tranzistorların biri-birilərini doyma vəziyyətinə keçirməsinə ekvivalent olur. Dinistordan axan cərəyan müəyyən $I_{əks\ çev.}$ kritik qiymətindən az olduqda n_1-p_2 keçidi yenidən bağlanır.

Dinistorun VAX və onun şərti işarəsi şəkil 3.25, c, d – də göstərilmişdir. Xarakteristikanın şəkil 3.25, c – dəki kritik nöqtələri uyğun olaraq düzünə və əksinə çevrilmə nöqtələri adlanır.

Düzünə çevrilmə gərginliyi müxtəlif dinistorlarda 20V- dan 2000 V - a qədər olan geniş diapazonda qiymətlər alır. Əks çevrilmə cərəyanı isə keçidlərin materialından və sahəsindən asılı olaraq bir neçə mA-dən bir neçə mA-ə qədər dəyişir.

Mənfi U gərginliyində n_1 - p_2 keçidi düz istiqamətdə sürüşmüş olur. p_1 - n_1 və p_2 - n_2 keçidləri əks istiqamətdə sürüşmüş olurlar və bu halda kollektor keçidləri adlanırlar. Beləliklə, dinistor bu rejimdə bazaları qırılmış ardıcıl qoşulmuş iki tranzistora (p - n - p və n - p - n) ekvivalent olur. Bu cür kombinasiyada deşilmə gərginliyi p_1 - n_1 və p_2 - n_2 keçidlərin növündən və bazanın materialından asılıdır.



Şək. 3.25. Tiristorlar: a – dinistorun dördqatlı strukturu; b- dinistorun p - n - p və n - p - n tranzistorlarının kombinasiyası şəklində təsviri; c- dinistorun volt-ampər xarakteristikası; d- dinistorun şərti işarəsi; e- idarəolunan tiristorun (trinistorun) strukturu; i- trinistorun volt-ampər xarakteristikaları ailəsi; k- trinistorun şərti işarəsi.

Əgər dinistorun bazalarından birini, məsələn, n_1 –i xarici çıxışa qoşsaq və bu çıxışa p_1 - n_1 keçidi vasitəsi ilə əlavə cərəyan versək (şəkil 3.25, e) idarəolunan triod tiristoru (trinistor) alarıq. Trinistorun anodu bazaya yapışan p_1 -qatı, katodu

isə n_2 -qatı olur. Trinistorun xarakteristikalar ailəsi və şərti işarəsi şəkil 3.25, e, i - də göstərilmişdir. Triod tiristorunun xarakteristikaları dinistorun xarakteristikası ilə eyni olur, lakin idarəedici cərəyanın artması düzünə qoşulma gərginliyinin azalmasına səbəb olur. Bundan əlavə, düzünə qoşulma cərəyanı bir qədər artır, əks qoşulma cərəyanı isə azalır.

Trinistorun parametrləri onun açıq vəziyyətində dinistorun parametrlərindən fərqlənmir. İşçi cərəyanı 2000 A, gərginliyi isə 3 kV qiymətlərini ala bilən tiristorlar mövcuddur. Güclü trinistorlar cərəyan kommutatorları və kontaktorları kimi sabit gərginlik çeviricilərində, çıxış gərginlikləri tənzimlənən invertorlarda və düzləndirici sxemlərdə istifadə olunur. Trinistorların qoşulma müddəti 1 mksan, açılma müddəti isə 10-20 mksan ətrafındadır.

Tiristor sxemlərinin əsas çatışmayan cəhətləri, xüsusən, digər tiristorlar tərəfindən yaranan impuls maneələrinə qarşı zəif maneədavamlılığıdır və səpələnmə gücünün böyük olmasıdır.

Bir sıra tiristor və simistorların parametrləri əlavə 1-də verilmişdir.

3.8. İnteqral sxemlər

İnteqral mikrosxemlər (İMS) vahid texnoloji dövrdə (sikldə) müəyyən materialın bir səthində və ya həcmində yerinə yetirilmiş müxtəlif elementlərin toplusudur. Çox vaxt İMS-ləri inteqral sxemlər (İS) də adlandırırlar. Bir çox hallarda İS dedikdə, bütün elementləri və ya bir hissəsi konstruktiv ayrılmaz əlaqəli və elektriki olaraq biri-biri ilə birləşmiş olan miniatürləşdirilmiş elektron qurğudan ibarət olan siqnalların müəyyən çevrilməsini və emalını yerinə yetirən mikroelektron məmulat başa düşülür. Belə sxem diskret elementlər əsasında olan elektron sxemin eyni funksiyalarına malik ola bilər. İS – lərin mürəkkəbliyi bir İS-dəki elementlərin sayı ilə xarakterizə edirlər. Bununla əlaqədar İS-ləri aşağıdakı növlərə bölürlər: 10-a qədər elementi olan 1-ci inteqrasiya dərəcəli İS-lər (İS1), 100-lərlə elementi olan 2-ci inteqrasiya dərəcəli və s. Hal-hazırda inteqrasiya dərəcəsi 10^4 ... 10^6 və daha çox olan İS-lər vardır.

3.8.1. İnteqral sxemlərin növləri və onların hazırlanma texnologiyaları. Hazırlanma texnologiyasından və konstruktiv əlamətlərindən asılı olaraq inteqral mikrosxemləri nazik təbəqəli, yarımkəçirici və hibrid İS-lərə bölürlər.

Nazik təbəqəli inteqral sxemlər, elementləri dielektrik material üzərinə çəkilmiş örtük şəklində yerinə yetirilmiş İS-lərdir. Bu üsulla passiv elementləri (rezistorları, kondensatorları) və aktiv elementləri (diodları, tranzistorları) hazırlayırlar. Qalınlığı 1mkm-ə qədər olan nazik örtüklü İS-lər və qalınlığı 1mkm-dən çox olan qalın örtüklü İS - lər vardır.

Yarımkeçirici inteqral sxemlər yarımkeçirici materialın həcmində və ya səthində yerinə yetirilir. Əsasən, silisium kristalı istifadə olunur.

Yarımkeçirici İS-lərin aktiv elementləri – tranzistorlar, diodlar, tiristorlar p-n- keçidlərdən ibarətdir. Passiv elementlər kimi (kondensatorlar, rezistorlar) həmçinin, p-n- keçidləri və yarımkeçiricinin ayrı-ayrı sahələrini (hissələrini) istifadə edirlər.

Yarımkeçirici İS-lərdə silisium qatı həm də rezistor funksiyasını yerinə yetirə bilər. Rezistorları aktiv elementlərlə eyni vaxtda düzbucaqlı yarımkeçirici təbəqə şəklində hazırlayırlar.

Diodları tranzistor strukturundan, onun elektrodlarını uyğun qaydada birləşdirməklə formalaşdırırlar. Tranzistor əsasında formalaşdırılmış diodların VAX-ın düz budağının dikliyi və əks müqavimətinin bərpa olunması müddəti ilə fərqlənən beş müxtəlif növü var. Məsələn, bir elektrodu emitter, digər elektrodu baza və kollektorun birgə birləşməsi olan diod ən az qoşulma vaxtına malikdir.

İstənilən p-n- keçid əks qoşulmada kondensator funksiyasını yerinə yetirə bilən böyük baryer (çəpər) tutumuna malikdir. Ona görə də yarımkeçirici İS-də kondensatoru p-n- keçidini əks qoşmaqla və ya MOY struktur əsasında alırlar. İkinci halda kondensatorun lövhələri alüminium metal örtüyü və yarımkeçirici, izolyator isə oksid olur.

İnduktivlik sarğaçlarının yerinə yetirilməsi böyük çətinliklər yaradır, ona görə də induktiv elementlər tələb edən sxemlərin İS şəklində hazırlanmasından qaçırırlar, ya da induktivlik sarğaçlarını asma elementlər şəklində tətbiq edirlər.

Hibrid inteqral sxemlər (HİS) iki tip nazik təbəqəli və yarımkeçirici İS-lərin elementlərindən ibarət olurlar ki, bu da onların üstünlüklərini daha effektiv həyata keçirməyə imkan verir.

HİS-in tərkib hissələri: sxemin passiv hissə (örtük naqillər, kontakt sahələri, rezistorlar, kondensatorlar və s.), aktiv hissə (korpussuz yarımkeçirici cihazlar) və HİS-in hermetikləşdirilməsi və çıxışlarının bərkidilməsi üçün korpusdur.

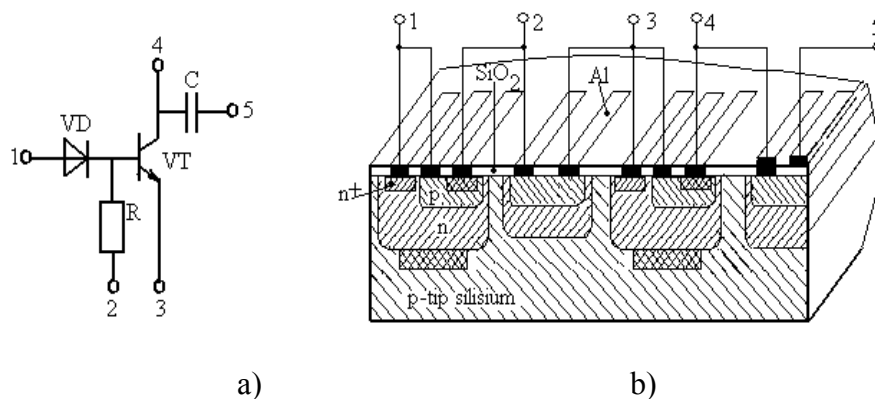
Yarımkeçirici inteqral mikrosxemlər əsasən, silisiumdan olan lövhənin səthində və ya daxilində alınır. Birinci halda İS-in bütün elementləri passiv elementlərin verilmiş funksiyalarını yerinə yetirən polikristal və ya amorf qatlar (təbəqələr) şəklində dielektrik lövhə (əsas) üzərinə köçürülür. Alınmış İS lazım olan hallarda xarici çıxışlara malik gövdədə (korpusda) yerləşdirilir. Aktiv elementlər (diodlar, tranzistorlar) alınmış lövhə üzərində asılır. Nəticədə qarışıq (təbəqə-diskret) İS alınır. Belə İS hibrid İS funksiyasını yerinə yetirir. Hibrid İS adətən, xüsusi məsələləri həlli üçün nəzərdə tutulan, ucuz və qısa müddətdə layihələndirilə bilən sxemlərdir. Hibrid İS-in xüsusiyyətləri rezistor və kondensatorların yarımkeçirici İS kimi yerinə yetirilə bilməyən böyük

nominallarının təmin edilməsində və rezistorların qiymətlərinin lazım olan yüksək dəqiqliyini bilavasitə texnoloji proses zamanı əldə edilməsindədir.

İkinci halda yarımkəçirici materialın daxilində rezistor qatları, tranzistorların, diodların və kondensatorların strukturları yaradılır. Belə inteqral sxemlər yarımkəçirici İS olur. Şəkil 3.26 – da elektrik sxemi və onun yarımkəçirici İS strukturunun profili göstərilmişdir.

Elektron qurğuların yaradılmasında yarımkəçirici İS daha geniş istifadə edilir. Çünki bu sxemlər etibarlı və funksional cəhətdən kifayət qədər mürəkkəb olan kiçik ölçülü və ucuz elektron qurğularının yaradılmasını təmin edirlər.

Rezistor və kondensator kimi isə p-n keçidlərin müqavimətindən və tutumundan istifadə edilməsi, tranzistorların, diodların, rezistorların və kondensatorların strukturlarının vahid texnoloji prosesdə hazırlanmasını təmin edir (şəkil 3.26,b). Bu da yarımkəçirici İS-lərin əsas üstünlüklərindən biridir.



Şəkil 3.26. Elektrik sxemi a) və yarımkəçirici inteqral sxemin strukturunun profili b) (1-diodun, 2-rezistorun, 3, 4-tranzistorun, 5-kondensatorun çıxışlarıdır)

Yarımkəçirici İS üçün əsas çatışmazlıqlardan biri onlarda induktivlik sarğaçlarının və transformatorların alına bilinməməsidir. Bu onunla izah olunur ki, hələlik bərk cisimlərdə elektromaqnit induksiyasına ekvivalent olan fiziki effekti yerinə yetirmək mümkün deyildir. Odur ki, İS yaradılan zaman lazım olan funksiyaları induktivlikdən istifadə etmədən və ya asma induktiv elementlərdən istifadə etməklə yerinə yetirməyə çalışırlar.

Hazırda yarımkəçirici İS iki sinfə ayrılırlar: bipolyar İS və MDY İS. Bipolyar İS-lərin əsasını n-p-n tranzistorlar, MDY İS-lərin əsasını induksiya olunmuş kanala malik MDY tranzistorlar təşkil edir. Sxemin digər elementləri (diodlar, rezistorlar, kondensatorlar), adətən tranzistor əsasında və onunla bir texnoloji prosesdə hazırlanır.

İS-lərin funksional mürəkkəbliyi inteqrasiya dərəcəsi ilə, yəni onun tərkibinə daxil olan elementlərin sayı ilə xarakterizə edilir. İnteqrasiya dərəcəsinə kəmiyyətə qiymətləndirmək üçün $K = \lg N$ əmsalından istifadə edilir (N -İS kristalındakı elementlərin sayıdır). Əgər $K \leq 1$ (yəni $N \leq 10$) olarsa, İS sadə İS; $1 < K \leq 2$ olarsa, orta İS; $2 < K \leq 3$ olarsa, böyük İS; $K > 3$ olarsa, ifrat böyük İS adlanır. Xarici ədəbiyyatlarda inteqrasiya dərəcəsi bir inteqral sxemdə nəzərdə tutulan elementar məntiq funksiyalarının sayı ilə müəyyən edilir.

Elektron qurğularında element bazası kimi diskret elementlər əvəzinə İS-dən istifadə olunması etibarlılıq, ölçü, kütlə, dəyər və s. göstəricilərinə görə böyük üstünlük verir. Bu, İS-dən istifadə olunan zaman etibarlılığı aşağı salan çoxsaylı lehim birləşmələrin aradan qaldırılması; elektron qurğularının ölçü və kütlələrinin kəskin azalması; çoxsaylı yığma və montaj əməliyyatlarının aradan qaldırılması və avtomatlaşdırılmış texnoloji xətlərin tətbiqi ilə əlaqədar ucuzlaşma hesabına əldə edilir.

Qalıntəbəqəli yarımkəçirici və hibrid İS-lər daha yüksək etibarlığa malikdirlər. İS-lərin etibarlılığının artırılması, həm sxemlərin özünün yüksək etibarlılığı, həm də elementlər arasındakı birləşmələrin sayının azaldılması hesabına təmin olunur. Onlarla elementi olan İS etibarlılığı diskret tranzistorun etibarlılığı ilə eynidir.

Funksional qurğular bərk cisimlərin müəyyən xassələrini istifadə etmək əsasında qurulmuşlar.

Funksional təyinatına görə İS-ləri iki böyük sinfə bölürlər: *xətti – impuls (analoq)* və *rəqəm (məntiq)*. **Analoq İS-lər** analoq (kəsilməz) siqnalların işlənməsi, aşağı və yüksək tezlikli siqnalların gücləndirilməsi üçün, generator və detektorlar qismində, siqnalların çevrilməsində tətbiq olunur.

Rəqəm İS-ləri informasiyanın diskret işlənməsi qurğularında, kompüterlərdə, elektron-hesablama komplekslərində, avtomatika sistemlərində, rəqəmli rabitə sistemlərində və s. istifadə olunurlar. Radioelektron sistemlərinin (RES), o cümlədən, aviasiya RES-lərinin mürəkkəbliyinin artması və həll olunan məsələlərin mürəkkəbliyi ilə əlaqədar olaraq onların ümumi kütləsi və ölçüləri artır. Ona görə də radioaparaturanın, xüsusən də, bort radioaparaturasının inteqral mikrosxemlərin bazasına keçirilməsi onların mikrominiatürləşdirilməsində daha böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Rəqəm İS-lərin üstünlüyü ondadır ki, onların əsasında istənilən mürəkkəb radiosiqnalların optimal qəbulu sxemlərini yerinə yetirmək olar. Əsas çatışmazlığı hədd tezliyinin az olmasıdır, ona görə də siqnalların qəbulu, gücləndirilməsi və çevrilməsi üçün xətti - impuls mikrosxemləri tətbiq olunurlar. Funksional elektronikanın, o cümlədən, opto-, pyezo-, teplo- və maqnitoelektronikanın inkişafı ilə analoq radioelektron sistemlərində yeni

perspektivlər yaranmışdır. Funksional elektronika bazasında süzgəclərin, tezlik detektorlarının, modulyatorların və generatorların yaradılması radioelektron aparaturanın mikrominiatürləşdirilməsində yeni imkanlar yaratmışdır.

İS hazırlanma texnologiyasında elektron elementləri yaradılır və sxem vahid ayrılmaz bir sistem kimi eyni bir örtüklə örtülür. Belə texnologiya *inteqral texnologiya* adlanır. Hazırlanma texnologiyasına görə mikrosxemlərin bir neçə növləri vardır: monolit (yarımkeçirici), hibrid, naziktəbəqəli və s.

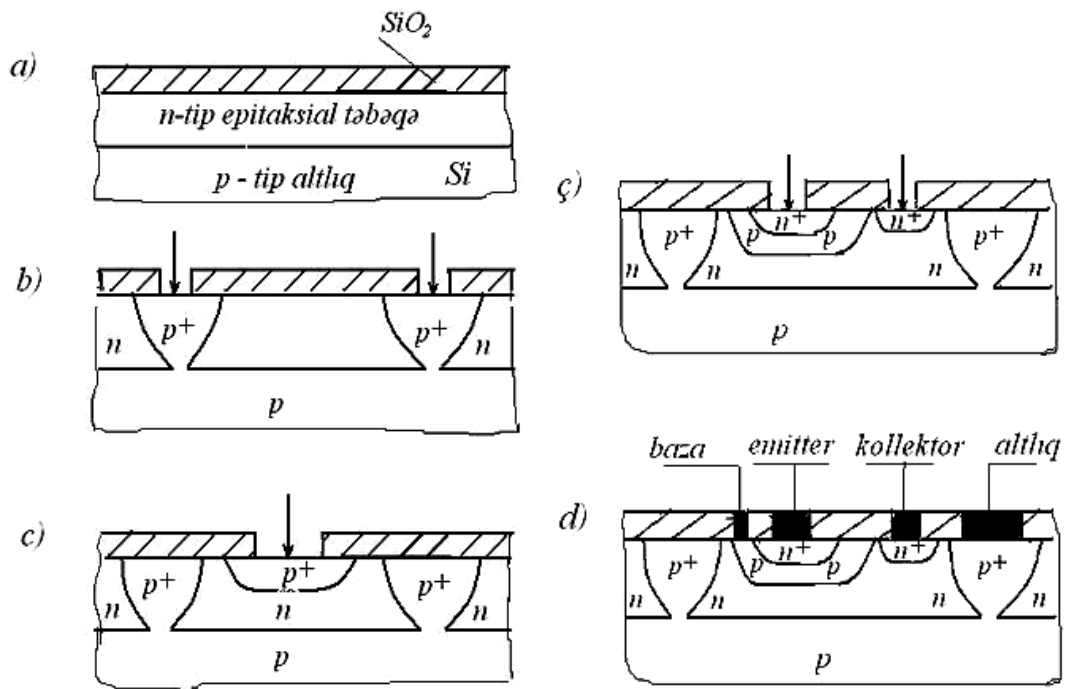
Monolit (yarımkeçirici) inteqral mikrosxemin elementləri yarımkeçirici kristalın həm həcmində, həm də səthində yaradılır, yəni inteqral mikrosxem bir yarımkeçirici monokristalında hazırlanmış passiv (rezistorlar, kondensatorlar, induktiv elementləri) və aktiv (məsələn, müxtəlif növ tranzistorlar) elementlərdən ibarətdir. Hazırda monolit inteqral sxemlərin hazırlanmasında əsasən Si, Ge, GaAs, yaxud GaP monokristallardan istifadə olunur. Buna görə də bəzən monolit sxemə yarımkeçirici mikrosxem də deyilir. Hər bir monolit inteqral mikrosxemin sahəsi təxminən 1 mm^2 , aktiv və passiv elementlərinin sayı isə onlarla və hətta yüzlərlədir. İnteqral mikrosxemin hər bir elementinin ölçüsü 1–10 mkm tərtibindədir. Mikrosxemdəki elementlər arasında elektrik əlaqəsi qismən kristalın daxilində, qismən də xaricində naqillərlə, yaxud bir qayda olaraq, səthə buxarlandırma yolu ilə alınan keçirici təbəqələrlə yaradılır. Monolit inteqral mikrosxemlərin əsas üstünlüyü onlarda çoxlu sayda yüksək keyfiyyətli aktiv elementlərin hazırlanmasını və onların yaxşı mühafizəsini təmin edən müvafiq texnologiyanın sadəliyidir.

Planar texnologiya ilə hazırlanan monolit İS-in hazırlanma texnologiyasını nəzərdən keçirək. Bu texnoloji proses yüzdən artıq əməliyyatdan ibarət olur və bir texnoloji prosesdə bir neçə yüz mikrosxem alınır. Şəkil 3.27 - də monolit (yarımkeçirici) İS-də n-p-n tip tranzistorun planar texnologiya ilə hazırlanmasının ardıcıl mərhələləri göstərilmişdir. p-tip silisium lövhəsi üzərinə n-tip epitaksial təbəqə çəkib, onu SiO₂ oksid təbəqəsi ilə örtürlər. Sonra, bu mühafizəedici oksid təbəqəsindən kimyəvi yollarla lazımi yerlərdə pəncərələr açıb, p⁺ - tip aşqarlar diffuziya etdirilir. Aşqarlar n-tip keçiriciliyə malik təbəqəyə nüfuz edərək onda p⁺ -n keçidi yaradır ki, bunun da nəticəsində epitaksial təbəqədə müəyyən izolə olunmuş adacıq ayrılır (Şəkil 3.27, b). Belə izolə olunmuş adacıqlarda yarımkeçirici mikrosxemin elementləri: tranzistorlar, diodlar, rezistorlar və s. formalaşdırılır. Bu cür adacıqda məsələn, tranzistor almaq üçün p⁺ aşqarı daxil edərək, baza oblastı yaradılır. Adacığın özü isə tranzistorun kollektor oblastını təşkil edir (Şəkil 3.27, c). Sonrakı əməliyyatda n⁺ aşqarları diffuziya etdirərək emitter oblastı və kollektor kontaktı yaradılır. Nəhayət, termik buxarlandırma yolu ilə alüminium təbəqələri çökdürülərək baza, emitter, kollektor və altlıq kontaktları hazırlanır (Şəkil 3.27, d).

Buna oxşar olaraq diod da hazırlamaq olar. Lakin, çox vaxt diod eə tranzistorun özündən alınır. Kollektor və bazanı qısa qapayaraq emitter diodu adlanan diod, emitter və bazanı qısa qapamaqla kollektor diodu adlanan diod yaratmaq olar.

Monolit inteqral mikrosxemlərin üstünlükləri ilə yanaşı çatışmayan cəhətləri də vardır. Məsələn, monolit inteqral mikrosxem hazırlanıqda kristal daxilində yaradılan passiv elementlər çox yüksək keyfiyyətli olmur. Lakin, bu qüsura baxmayaraq, hazırda monolit inteqral mikrosxemlər radioelektron qurğularının ölçülərinin kiçildilməsi hesabına mikroelektronikanın ən perspektiv vasitələrindən sayılır.

3.8.2. İnteqral sxemlərin istehsalı və markalanması. İnteqral mikrosxemlərin yaradılması üzrə ilk təcrübələr 1953-cü ildə həyata keçirilmiş, inteqral sxemlərin sənaye istehsalı 1959-cu ildə başlanmışdır. 1966-cı ildə orta inteqrasiya dərəcəli (bir kristaldakı elementlərinin sayı 1000-ə qədər) inteqral mikrosxemlərin istehsalı başlanmışdır. 1969-cu ildə bir kristalda 10000-ə qədər elementi olan böyük inteqrasiya dərəcəsinə malik olan inteqral sxemlər (böyük inteqral sxemlər – BİS) yaradılmışdır.



Şəkil 3.27. Monolit (yarımkeçirici) inteqral mikrosxemlərdə n-p-n tip tranzistorun hazırlanmasının bəzi mərhələləri:

a) üstünə epitaksial təbəqə çəkilmiş və silisium oksidi ilə mühafizə edilmiş silisium altlığı, b) diod izolyasiyası almaq üçün p+-tip aşqarların diffuziyası, c) bazanı formalaşdırmaq üçün p+-tip aşqarların diffuziyası, d) emitter və kollektor kontaktı almaq üçün n+ - tip aşqarların diffuziyası, d) baza, emitter, kollektor və altlığa metal kontaktlar çəkilmiş tranzistor.

1971-ci ildə mikroprosessorlar, 1975-ci ildə isə kristalda 100 000 və daha çox element olan ifrat böyük integrasiya dərəcəli inteqral sxemlər (İBİS) işlənib hazırlanmışdır. Qeyd etmək lazımdır ki, yarımkeçici İS-lərdə bipolyar tranzistorların sərhəd işçi tezliyi 15QHs-ə qədər çatır.

Hal-hazırda bir kristalda MOY tranzistorlarının sayı 100mln-dan çox olan rəqəm mikrosxemlərinin istehsalı mənimsənilmişdir.

İS-lərin şərti işarələnməsi özünə əsas təsnifat əlamətlərini daxil edir. Bu işarələnmə (markalanma) dörd elementdən təşkil olunmuşdur.

Keçmiş SSRİ məkanında inteqral mikrosxemlər də adi yarımkeçirici cihazlar kimi markalanır:

Birinci element - İS-in konstruktiv-texnoloji hazırlanması variantını göstərən rəqəmdir. 1,5,7–monolit (yarımkeçirici), 2,4,6,8 – hibrid, 3 – digər sxemlər (nazik-təbəqəli və s.).

İkinci element – verilmiş seriyadan olan İS-in istehsalının sıra nömrəsini göstərən iki rəqəmli (0-dan 99-a qədər) ədəddir. Birinci və ikinci elementlər birlikdə İS-in seriyasını göstərir.

Üçüncü element – İS-in funksional vəzifəsinin göstərən iki hərfdən ibarətdir. Bunlardan birinci hərf sxemin sinfini, ikinci hərf isə qrupunu müəyyən edir. Məsələn, ДА – amplitud detektoru, МА – amplitud modulyatoru, ПС – tezlik çeviricisi, УБ – yüksək tezlik gücləndiricisi, УТ – sabit cərəyan gücləndiricisi, ГЛ –xətti dəyişən gərginlikli generator, ГС – harmonik rəqs generatoru, ЛИ – məntiq elementi, ТР – RS triggeri, ФЕ – zolaqlı filtr, ИР – registr və s.

Dördüncü element - sxemin verilmiş seriyadan olan funksional əlamətlərinə görə fərqlənən müxtəlif variantları göstərən rəqəmdir (0-dan 9-a kimi).

Geniş təyinatlı mikrosxemlərin işarəsində başlanğıcda K hərfi göstərilir. Korpusuz yarımkeçirici mikrosxemlərin seriyası 7 rəqəmindən başlayır, korpuslu mikrosxemlərin korpusuz analoqları seriyanın qabağında göstərilən Б hərfi ilə işarələnir.

Dördelementli işarənin başlanğıcında əlavə hərf konstruktiv hazırlanma xüsusiyyətini bildirir:

Р – ДИП tipli plastik kütləli (plastmas) korpus (gövdə);

А – planar plastik kütləli korpus;

Е – ДИП tipli metalpolimer korpus;

С – ДИП tipli şüşəkeramika korpus;

Н – keramik “çıxışsız” korpus.

1974-cü ilə qədər istehsal olunan İS-də seriyanın nömrəsini göstərən üçrəqəmli ədəddən birincisi hərflərdən təşkil olunmuş üçüncü elementdən əvvəl

qoyulub. Məsələn, 1YT153 (153-cü seriyadan olan monolit sabit cərəyan gücləndiricisidir). 1974-cü ildən başlayaraq bu sxem 153 YT1 kimi markalanır. Qeyd etmək lazımdır ki, radioelektron qurğularında geniş tətbiq olunan İS-in qarşısında K hərfi qoyulur. Məsələn, K2YC181 – geniş tətbiq olunan 181-ci seriyalı harmonik siqnal gücləndiricinin hibrid inteqral mikrosxemidir.

Beşinci element - İS-in hər hansı bir parametrinə görə fərqlənməsini göstərən həfdir.

Xarici ölkələrdə, istər beynəlxalq miqyasda, istərsə də hər hansı bir ölkənin, yaxud şirkətin daxilində fəaliyyət göstərən İS -lərin müxtəlif kodlaşdırılma sistemləri (işarələmə, markalama) mövcuddur. Avropa ölkələrində istifadə olunan kodlaşdırma sistemi diskret yarımkeçirici cihazların kodlaşdırılması üçün qəbul olunmuş sistem ilə analojidir.

Pro Electron sistemi üzrə aparılan işarələmə qaydası aşağıdakı kimidir:

Kod üç həfdən və ondan sonra gələn seriya sayından ibarətdir, məsələn

T D A 5630 C T

1 2 3 4 5 6

Vahid sxemlər üçün birinci hərf siqnalın sxemdə çevrilməsi prinsipini əks etdirir:

S – rəqəmli;

T – analoq;

V – qarışıq.

İkinci hərf xüsusi məna daşımır və istehsalçı firma tərəfindən seçilir. Yalnız H hərfi hibrid sxemi işarə edir.

Üçüncü hərf işçi temperatur diapazonunu, yaxud bəzi halda başqa bir vacib xarakteristikasını işarə edir.

Rəqəm mikrosxemləri seriyaları üçün birinci iki hərf (FA, FB, FC, FD, FE, FF, FJ, FI, FL, FQ, FT, FY, FZ, GA, GB, GD, GF, GM, GT, GX, GY, GZ, HB, HC) sxemotexnoloji xüsusiyyətləri göstərir, məsələn:

FY – ERM –sxemləri;

FD, GD – MOY – sxemləri

FQ – DTM – sxemləri

GA – azgüclü TTM – sxemləri

FL, GF – standart TTM – sxemləri

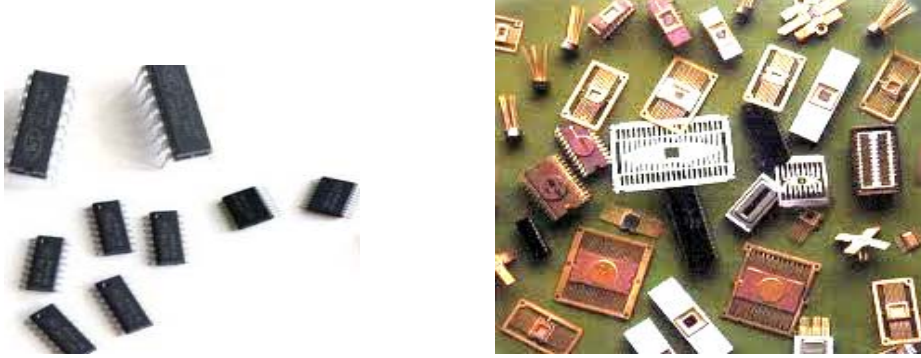
GJ – sürətli TTM – sxemləri

GM – Şotki diodlu azgüclü TTM – sxemlər

HB – komplementar MOY – sxemlər (4000A seriyalı)

HC – komplementar MOY – sxemlər (4500B seriyalı)

Müxtəlif növ və müxtəlif markalı mikrosxemlərin konstruktiv görünüşü şəkil 3.28 - də verilmişdir.



Şək.3.28. Müxtəlif növ və markalı mikrosxemlərin konstruktiv görünüşü.

Müxtəlif növ mikrosxemlərin qrafiki işarələnməsi əlavə 1-də, bir sıra geniş yayılmış mikrosxemlərin parametrləri əlavə 2-də verilmişdir.

3.9. Yarımkəçirici vericilər

Yarımkəçirici materialların müqavimətinin (keçiriciliyinin) və digər parametrlərinin xarici amillərdən asılı olması xüsusiyyətləri onların əsasında böyük həssaslığa malik olan müxtəlif cür vericilərin hazırlanmasına imkan vermişdir. Keçiriciliyinin dəyişməsi xarakterinə görə yarımkəçirici vericiləri 2 qrupa bölmək olar: 1) rezistiv yarımkəçirici vericilər; 2) p-n-keçid əsasında vericilər. Rezistiv yarımkəçirici vericilərin iş prinsipi, onların müqavimətinin xarici amillərdən asılı olaraq dəyişməsinə əsaslanıb. Bunlara misal olaraq termorezistorları, varistorları, bolometrləri, fotorezistorları, maqnitorezistorları, tenzorezistorları və s. göstərmək olar. İkinci qrup vericilərin iş prinsipi p-n-keçidin xassələrinə əsaslanıb.

Daha geniş yayılmış rezistiv yarımkəçirici vericilərin xüsusiyyətlərini nəzərdən keçirək.

- Termorezistorun iş prinsipi yarımkəçiricinin, temperatur dəyişməsi ilə keçiriciliyinin dəyişməsinə əsaslanır.

- Varistorların iş prinsipi yarımkəçirici materialın müqavimətinin elektrik sahəsində azalmasına əsaslanır.

- Fotorezistorların iş prinsipi işıqlanma ilə yarımkəçiricinin müqavimətinin dəyişməsinə əsaslanır.

- Maqnitorezistorlar, müqaviməti maqnit sahəsində dəyişən yarımkeçirici rezistorlardır.

- Tenzorezistorlar, müqaviməti təzyiqin təsirindən asılı olaraq dəyişən yarımkeçirici rezistorlardır.

p-n-keçidli vericilər kimi temperatur ölçən, tənzimləyən, işıqlanmaya, rütubətə nəzarət edən və digər bu növ sistemlərdə verici kimi istifadə olunan diodlar, tranzistorlar, tiristorlar, yük əlaqəli cihazlar və s. yarımkeçirici cihazlar istifadə olunur.

3.9.1. Yarımkeçirici temperatur vericiləri. Temperatur çeviriciləri kimi yarımkeçirici termorezistorlardan, diodlardan və tranzistorlardan geniş istifadə olunur.

Yarımkeçirici termorezistor, iş prinsipi temperaturun dəyişməsi ilə yarımkeçirici materialın müqavimətinin kifayət qədər dəyişməsindən ibarət olan termorezistor effektindən istifadə olunmasına əsaslanan cihaza deyilir. Termorezistorlar temperatur dəyişmələrinə yüksək həssas olan cihazlardır. Yarımkeçirici termorezistorlar böyük müqavimətə və kiçik ölçülərə malik olurlar. Onlar əsasında yüksək dəqiqliyə və cəldliyə malik qurğular yaradılır. Yarımkeçirici termorezistorların çatışmayan cəhəti $R = \varphi(T, ^\circ C)$ xarakteristikasının qeyri-xəttiliyi və parametrlərinin qiymətlərinin texnoloji səpələnməsidir.

Termorezistorun müqavimətinin temperaturdan olan analitik asılılığı

$$R_T = AT^\gamma \exp(B/T) \quad (3.10)$$

kimi verilir. Burada A, γ və B - yarımkeçirici materialın xüsusiyyətləri və termorezistorun konstruksiyası ilə təyin olunan sabitlərdir. Mövcud termorezistorların çoxunda $\gamma \ll 1$ olduğundan hesablamalar zamanı

$$R_T \approx A \exp(B/T) \quad (3.11)$$

ifadəsindən istifadə edilir. İfadədən görünür ki, temperaturun artması ilə termorezistorun müqaviməti azalır. Termorezistorların temperatur həssaslığı müqavimətin temperatur əmsalı (MTƏ) ilə xarakterizə olunur. Bu əmsalın tipik qiymətləri -2 ilə -8,5% / $^\circ C$ arasında olur. Hazırda bu əmsalın müsbət qiyməti olan termorezistorlar da hazırlanır. Əmsalı mənfi olan termorezistor termistor, müsbət olan isə - pozistor adlanır.

Yarımkeçirici diod vasitəsi ilə temperaturun ölçülməsi zamanı p-n keçidin əks cərəyanından ($I_{\text{əks}}$) və ya düzünə gərginlik düşküsündən ($U_{\text{düz}}$) istifadə

edilir. Yüksək temperaturalarda əks cərəyanın temperaturdan asılılığını yüksək dəqiqliklə

$$I_{kk} \approx N \exp\left(-\frac{qE_g U_T}{kT}\right) \quad (3.12)$$

ifadəsi ilə təyin etmək olar. Burada N – temperaturdan az asılı olan əmsaldır, q- elektronun yükü, E_g – yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının enidir, $U_T = 0,5...1$ -ə bərabər olan sabitdir, k - Bolsman sabitidir.

P-n keçiddə düzünə gərginlik düşküsi ideal p-n keçidin volt-ampere xarakteristikası üçün olan

$$U_{düz.} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{düz.}}{I_{kk}} + 1\right) \quad (3.13)$$

ifadəsindən təyin edilə bilər. Bu ifadədən istifadə edərək diodun TCR (müqavimətin temperatur əmsalı) üçün

$$TCR_G = \frac{\partial U_{düz.}}{\partial T} = -2 \frac{mV}{^\circ C} + K \ln I_{düz.} \quad (3.14)$$

ifadəsini yazmaq olar. Burada K –diodun cərəyan təşkilçilərinin növü ilə təyin edilən sabitdir (diffuziyalı cərəyan halında 0,198; rekombinasiyalı cərəyan halında: injeksiyanın aşağı səviyyəsində 0,375, injeksiyanın yuxarı səviyyəsində 0,596 qəbul edilir). TCR_G real qiymətləri -1 ilə -3,5 mV/°C diapazonunda dəyişir.

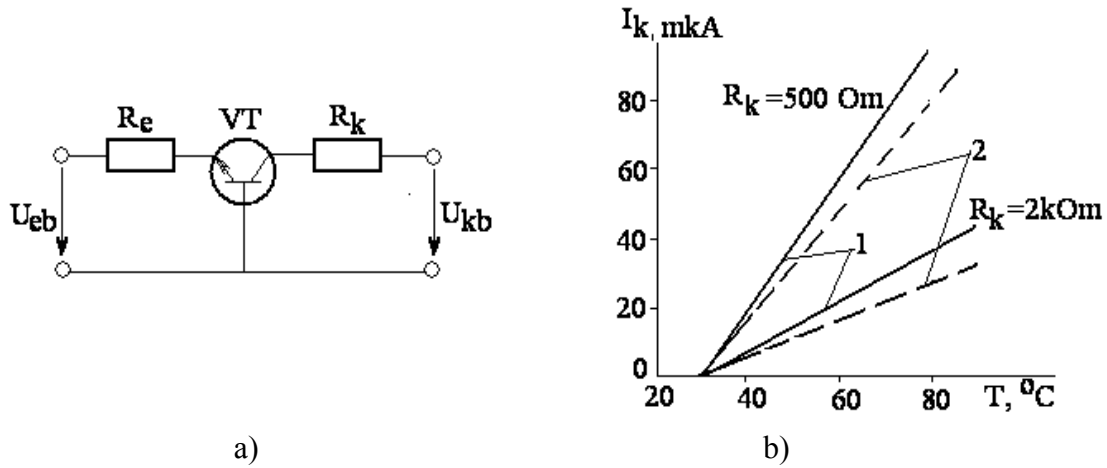
Bipolyar tranzistorlardan istifadə etməklə termoçeviricilərin xarakteristikalarını kifayət qədər yaxşılaşdırmaq olar. Təcrübələr göstərir ki, yaxşı nəticələr ÜB sxem üzrə qoşulmuş tranzistorun emitter və kollektor keçidləri düzünə sürüldüyü halda əldə edilir (şəkil 3.29, a).

ÜB üzrə qoşulmuş sxemlərdə verilmiş emitter cərəyanında n-p-n tranzistorun kollektor cərəyanının temperatur əmsalı germanium tranzistorlar üçün 80...100 °C, silisium tranzistorlar üçün 120...150 °C səviyyəsinə qədər sabit qalır (şəkil 3.29, b). Real ölçmə xətası 2-3% təşkil edir.

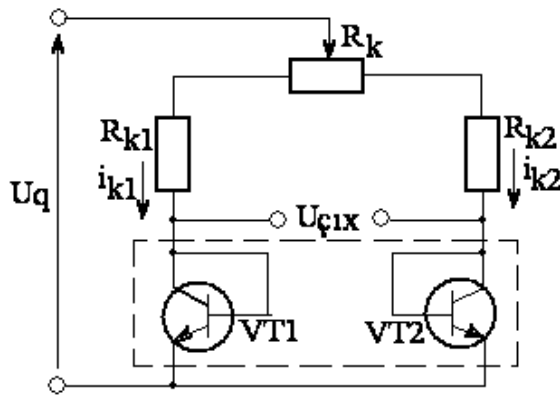
Təcrübədə texnoloji cəhətdən bir kristalda yerinə yetirilən iki tranzistorda yaradılan temperatur çeviricisi daha geniş yayılmışdır (şək. 3.30). İki tranzistorda yaradılan temperatur çeviricisinin xəttliliyi yüksək olur. Çıxış gərginliyinin dəyişmə sərhədinin temperaturun dəyişmə sərhədindən olan asılılığı

$$\Delta U_{cu}(T, ^\circ C) = \Delta T \frac{2k}{q} \ln \frac{I_{k2}}{I_{k1}} \quad (3.15)$$

ifadəsi ilə verilir. Bu ifadədən görünür ki, çıxış gərginliyi temperatur dəyişmələri ilə düz mütənasibdir və yarımkəçirici materialın xüsusiyyətlərindən və hazırlanma texnologiyasından asılı deyil ($k/q = \text{const} = 0,079 \text{ mV}/^\circ\text{C}$).



Şəkil 3.29. a) ÜB sxemi üzrə qoşulmuş tranzistorun qarşılıqlı injeksiya rejimi, b) tranzistorun kollektor cərəyanının temperatur asılılığı



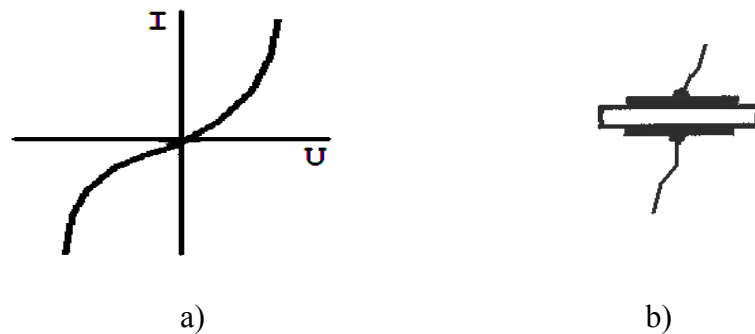
Şəkil 3.30. İki eyni n-p-n tranzistorlar əsasında temperatur vericisi.

3.9.2. Varistorlar. Varistor simmetrik qeyri-xətti yarımkəçirici cihaz olub, az ətalətli qeyri-xətti element kimi tətbiq olunur. Varistorun müqaviməti aşağı tezliklərdə tam aktiv müqavimətdir və ona tətbiq olunmuş gərginlik artdıqca, varistorun müqaviməti azalır. Varistorları gərginliyin stabilləşdirilməsi, gərginlik artmalarından (dəyişmələrindən) müdafiə olunması üçün, cərəyan stabilizatorlarında, funksional çeviricilərdə və digər avtomatika qurğularında, radioelektron aparaturada tətbiq edirlər.

Qeyd olunduğu kimi varistor müqaviməti ona tətbiq olunan gərginliyin qiymətindən asılı olan yarımkeçirici rezistor olduğundan onun dinamik volt-ampere xarakteristikası qeyri-xəttidir (şək.3.31.).

Varistorları keramik texnologiya metodları ilə, tozşəkili silisium karbid üçün gil istifadə etməklə yüksək temperaturu bişirmə yolu ilə alırlar. Təyinatından və tələb olunan parametrlərindən asılı olaraq varistorların konstruktiv tərtibatı müxtəlif cür ola bilər.

VAX-ın qeyri-xəttiliyi karbid və silisiumun kristallarının arasındakı nöqtəli kontaktlardakı hadisələrlə əlaqəlidir. Belə ki, güclü elektrik sahələrində səthi potensial çəpərlərin, yaxud, oksid təbəqələrinin keçiriciliyinin artması və kontaktlarda ayrılan gücün hesabına VAX qeyri-xətti olaraq kəskin dəyişməyə başlayır.



Şək. 3.31. Varistorun volt-ampere xarakteristikası (a) və sxematik strukturu (b).

3.9.3. Maqnit yarımkeçirici cihazlar. Maqnit yarımkeçirici cihazlar maqnit sahəsinin təsiri ilə yarımkeçirici strukturlarda baş verən hadisələrə əsaslanır. Maqnit yarımkeçirici cihazlar giriş və çıxış dövrlərinin tam elektrik ayrılması, kiçik mexaniki yerdəyişmələrin elektrik siqnallarına kontaktsiz çevrilməsi, maqnit sahə induktivliyinin qiymətinin və istiqamətinin yüksək lokallıqla detektə edilməsi, qığılcım verməyən kommutatorların yaradılması, elektrik cərəyanlarının kontaktsiz ölçülməsi zamanı geniş istifadə oluna bilər.

Maqnit yarımkeçirici cihazların çoxlu sayda olan çeşidliliyi qalvanomaqnit hadisələrinin müxtəlifliyi ilə izah olunur. Hazırda maqnit yarımkeçirici cihazlarda aşağıdakı qalvanomaqnit hadisələrdən istifadə olunur:

1) Holl effekti – kristalın eninə yönəlmiş maqnit sahəsinin təsiri ilə, onun uzunluğu boyunca cərəyan keçən zaman kənarlarında eninə potensiallar fərqi yaranması hadisəsi.

2) Maqnit müqavimət effekti – maqnit sahəsində yarımkeçiricinin müqavimətinin artması.

3) Sul effekti – injeksiya olunan yükdaşıyıcıların yaratdığı cərəyan xətlərinin maqnit sahəsinin təsiri ilə yarımkeçiricinin kənarlarından birinə tərəf əyilməsi.

4) Qalvanomaqnit rekombinasiya effekti – kristalın səthi boyunca rekombinasiyanın dəyişməsi zamanı qarışıq keçiriciliyə malik yarımkeçiricidə cərəyanın eninə keçməsi ilə maqnit sahəsinin təsiri ilə yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının dəyişməsi.

5) Maqnitodiod effekti. Maqnit sahəsi hərəkət edən elektron və deşikləri burur. Onların hərəkətliliyi azalır və uyğun olaraq diffuziya yerdəyişməsi də azalır. Eyni zamanda cərəyan xətti, yəni bazanın effektiv qalınlığı artır. Maqnit sahəsi cərəyan xəttinin hərəkət və istiqaməti ilə bərabər, yükdaşıyıcıların yaşama müddətinə də təsir edir. Göstərilən hallar diodun qeyri-müvazinətli keçiriciliyinin güclü dəyişməsinə gətirib çıxarır. Maqnit sahəsində diffuziya sürüşməsinin uzunluğunun kiçik başlanğıc dəyişməsi və bazanın effektiv qalınlığı baza müqavimətinin güclü dəyişməsinə səbəb olur və uyğun olaraq qeyri-müvazinətli yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının kəskin dəyişməsi hesabına düzünə cərəyanın güclü dəyişməsi baş verir. Bu effekt maqnitodiod effekt adlanır. Bu effekt əsasında yeni qalvanomaqnit cihaz – maqnitodiod yaradılmışdır. Maqnitodiod p-n keçidinə və aralarında yüksək omlu yarımkeçirici oblast olan düzləndirməyən kontaktlara malik yarımkeçirici cihazdır.

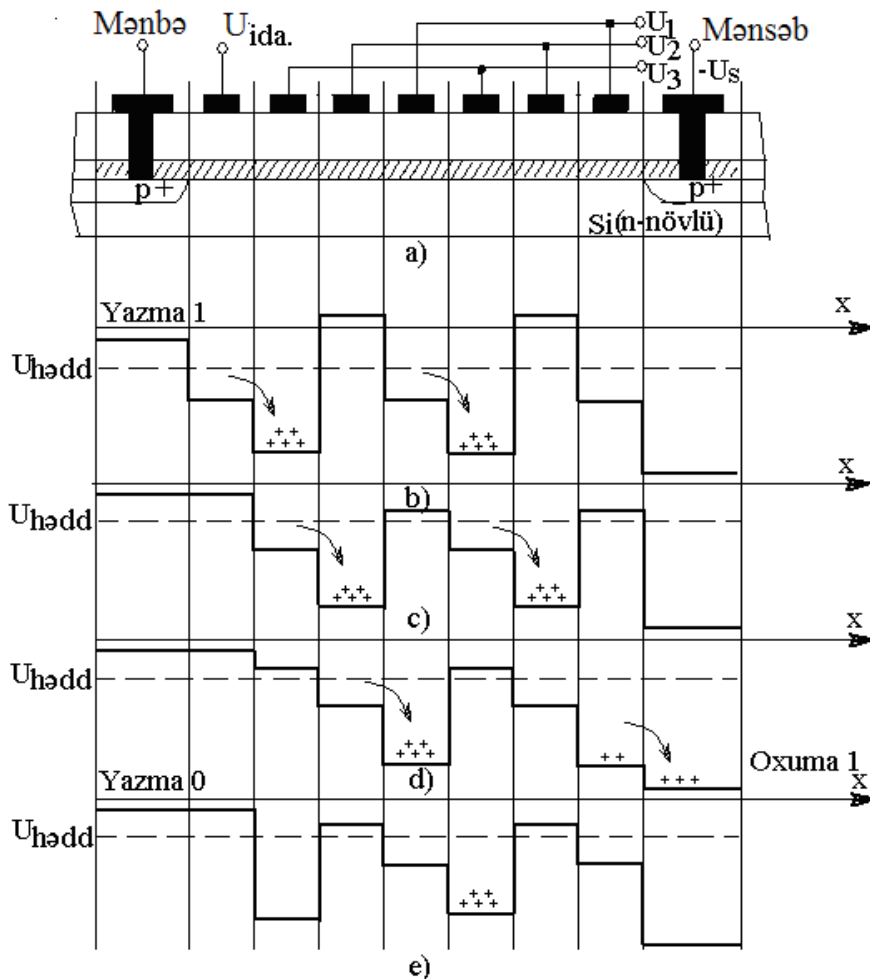
3.9.4. Yük əlaqəli cihazlar. Yük əlaqəli cihaz çox sayda biri-birinə yaxın yerləşmiş və altlıqdan izolə edilmiş rəzələrdən ibarət yarımkeçirici cihazdır. Rəzənin altında mənbədən injeksiya olunan və ya optik şüalanma nəticəsində altlıqda yaranan qeyri-əsas yükdaşıyıcıların hesabına informasiyanın mənsəbə köçürülməsi baş verir.

Yük əlaqəli cihazlar iki xüsusiyyətə malikdir. Birinci, bu cihazlar sahə tranzistorları üzərində yaradılır, lakin onun iş prinsipi bipolyar tranzistorlarda olduğu kimi qeyri-əsas yükdaşıyıcıların hərəkətinə əsaslanır. İkinci, mənbə və mənsəb arasında vahid bütöv keçirici kanal olmadığından yüklərin bir rəzədən digərinə hərəkətini təmin etmək üçün rəzələrə (zatvorlara) uyğun gərginliklər vermək lazım gəlir. Odur ki, bu cihazlar dinamik cihazlar adlanır və onların işləyə bilməsi üçün qiymətə daim dəyişən idarəedici gərginlik vermək lazımdır.

Yük əlaqəli cihazların iş prinsipinə 3 seksiyalı zatvora malik cihaz halında baxaq (şəkil 3.32). Cihaz n-silisiyum əsas üzərində yerinə yetirilir və mənbə və mənsəb kimi istifadə olunan iki yüksək zənginləşdirilmiş p^+ -oblastlara malikdir. Bu oblastlar arasında 7 rəzə (zatvor) yerləşir. Bilavasitə mənbənin yanında yerləşən rəzə idarəedici rəzədir. Digər 6 rəzə isə qeyri-əsas yükdaşıyıcıları mənbədən mənsəbə köçürmək üçündür və onlar iki rəzədən bir öz aralarında

cüt-cüt birləşərək 3 köçürmə seksiyası əmələ gətirirlər. Beləliklə, cihaz adi sahə tranzistorundan fərqli olaraq daha 3 dinamik idarə çıxışlarına malikdir.

Cihazın normal işləməsi üçün köçürmə seksiyalarına pilləvari artan gərginlik verilir. Pillələrdən birinin gərginliyi mütləq qiymətçə MDY-strukturun hədd gərginliyindən $U_{hədd}$ az, digərləri isə böyük olmalıdır. Gərginliyin səviyyələri dövrü olaraq dəyişir və n-tip yarımkəçiricidə pilləvari gərginliyin dəyişməsi ardınca sürüşən potensial çuxur yaradır. Bu potensial çuxur altlıq üçün qeyri-əsas olan yükdaşıyıcıları (baxdığımız halda – deşikləri) öz ardınca aparır.



Şəkil 3.32. Yük əlaqəli cihazın a) strukturu və b-e) onun çıxışlarında gərginliyin dəyişməsinin zaman diaqramları.

Fərz edək ki, müəyyən zaman anında idarəedici zətvora onun altında keçirici kanal yarada bilən $U_{idarə}$ gərginliyi, zətvorların birinci köçürmə bölməsinə $U_{hədd}$ gərginliyindən böyük olan maksimum köçürmə gərginliyi verilir:

$$|U_1| > |U_{idar}| > |U_{hd}|$$

Bu halda, mənbə oblastından qeyri-əsas yükdaşıyıcılar-deşiklər idarəedici rəzənin altında yaranan kanaldan keçərək, birinci köçürmə seksiyasının rəzəsi altında yaranan potensial çuxur vasitəsi ilə hərəkət edirlər. Köçürmə seksiyasının sol zatvoru altında müəyyən müsbət yüklər toplanmış olur. Bu yük birinci bölməyə verilən U_1 gərginliyinə mütənasib olur (şəkil 3.32, b). Köçürmə gərginliyinin dövrü dəyişməsi anında idarəedici rəzədən gərginlik götürülür. Mənbə ilə potensial çuxur arasındakı kanal bağlanır. Birinci köçürmə bölməsinin sol rəzəsi altında mənbədən injeksiya olunan deşiklərdən ibarət müəyyən elektrik sahə yükləri yaranır.

Bölmənin rəzələrində gərginlik dəyişdikdən sonra mütləq qiymətə ən böyük gərginlik ikinci seksiyaya verilir:

$$|U_2| > |U_1| > |U_{h'dd}|$$

Bunun nəticəsində birinci bölmənin altında toplanmış həcmi yüklər ikinci bölmənin zatvoru altında yaranan potensial çuxura axır. Bu zaman bu yükün istok hesabına əlavə artımı mümkün olmur, çünki keçirici kanal $|U_{idar}| < |U_{h'dd}|$ hesabına bağlı olur. Yükün üçüncü bölmənin zatvoru altına axmasına $|U_3| < |U_{h'dd}|$ olan U_3 gərginliyi imkan vermir (şəkil 3.32, c). Beləliklə, köçürmə gərginliyinin dəyişməsinin ikinci taktında birinci takt zamanı birinci bölmənin altında toplanan bütün həcmi yük ikinci bölmənin zatvoru altına yerini dəyişir. Sonrakı taktlarda köçürmə gərginliyinin dəyişməsi ilə həcmi yük stok istiqamətində bir seksiyadan digərinə yerini dəyişir.

Sürüşmə gərginliyinin dəyişməsinin 6-cı taktında həcmi yük üçüncü seksiyanın sağ rəzəsinə çatır və $|U_z| < |U_s|$ olduğundan bu yük rəzə oblastına ötürülür. Bu, rəzənin çıxışında müəyyən gərginliyin yaranması və ya uyğun dövrdə impuls cərəyanının axması ilə özünü göstərir.

Əgər başlanğıc halda idarəedici elektroddakı gərginlik hədd gərginliyindən azdırsa (şəkil 3.32, e), yəni $|U_{idar}| < |U_{h'dd}|$ olduqda, həcmi yükün birinci bölmənin zatvoru (rəzəsi) altında toplanması baş vermir və köçürmə gərginliyinin 7 taktından sonra stokun çıxışından sıfır gərginliyi götürülür.

Beləliklə, cihaz müəyyən elektrik yükünü istokdan stoka ötürməyə imkan verir. Bu yükün qiyməti U_{idar} idarəedici gərginliyin qiyməti ilə, ötürmənin gecikməsi isə köçürmə seksiyasındakı gərginliyin dəyişmə tezliyi ilə idarə edilir.

Göründüyü kimi, cihazın işləməsi xarici dövrü dəyişən gərginliyin təsiri olmadan mümkün deyil. Bu gərginliyin dəyişmə tezliyi aşağıdakı mülahizələri

nəzərə almaqla seçilir. Aydınır ki, yükün potensial çuxurda yadda saxlanması zamanı, p-n keçidindəki əks cərəyana analoji olan istilik generasiya cərəyanları hesabına, onun itkisi mümkündür. Odur ki, köçürmə gərginliyinin dəyişmə tezliyinin azalması ilə stoka çatan yükün qiyməti azalır. Aydınır ki, ötürmə əmsalının artırılması üçün gərginliyin dəyişmə tezliyini artırmaq lazım gəlir. Lakin tezliyin artırılması həcmi yükün bir potensial çuxurdan digərinə axması müddəti ilə əlaqədar məhdud olur. Odur ki, ötürmə gərginliyinin fəal dəyişmə tezliyi həm yuxarıdan, həm də aşağıdan məhdudlanır və 10 kiloherslərlə 10 meqaherslər arasındakı diapazonda olur.

Yük əlaqəli cihazların əsas parametrləri yükün ötürülməsinin effektivliyi

$$\eta = \frac{\Delta Q_{i+1}}{\Delta Q_i},$$

və ya itki əmsalı

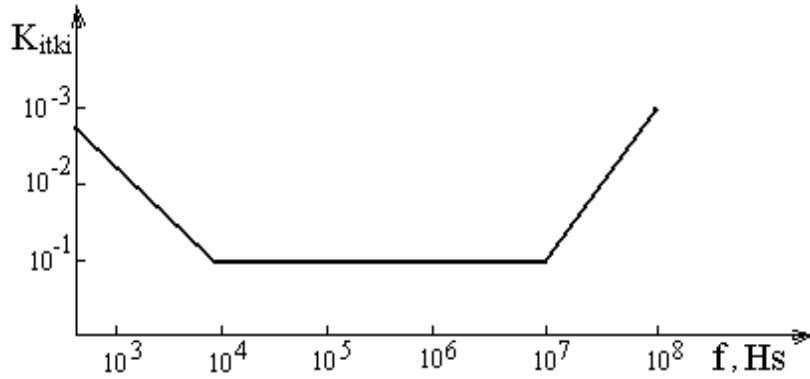
$$K_{itki} = 1 - \eta$$

ilə xarakterizə olunur. Burada ΔQ_i - i-ci, ΔQ_{i+1} - (i+1)-ci zatvor altında yerləşən yüküdür. İtki əmsalının K_{itki} ötürmə gərginliyinin f dəyişmə tezliyindən olan asılılığı şəkil 3.33 – də göstərilmişdir.

Yük əlaqəli cihazlar yüksək inteqrasiya dərəcəsinə malikdirlər. İlk yük əlaqəli cihazlar 7 kondensatordan ibarət idi. Müasir yük əlaqəli cihazlarda elementlərin sayı milyonu keçir. Elementlərin sıxlığının qısa müddətdə bu cür artmasının bir sıra səbəbləri vardır. Birinci, yük əlaqə prinsipi sadəliyi və incəliyi ilə cəlbədidir, belə ki, informasiya yüklər vasitəsilə yükün (cərəyanın) potensiala və əksinə aralıq çevrilmələri olmadan ötürülür. Yük əlaqəli cihazlarda çevrilmələrin sayı minimuma endirildiyindən, burada çevrilmələrin yaratmış olduqları qeyri-müəyyənliklər də minimuma qədər azalır. İkinci, yük əlaqəli cihazlar geniş funksional imkanlara malikdirlər, belə ki, onlar siqnalların generasiyasından başqa informasiyanın toplanması və çevrilməsi ilə əlaqədar istənilən əməliyyatı yerinə yetirir. Yük əlaqəli cihazların üç əsas tətbiq sahələrini göstərmək olar: şüalanmanın elektrik siqnallarına çevrilməsi - fotohəssas cihazlar; informasiyanın analoq emalı - gecikmə xətləri, süzgeçlər; yaddaş qurğuları. Üçüncü, yük əlaqəli cihazların konstruktiv-texnoloji xüsusiyyətləri elədir ki, onlarda, başqa BİS-ə nəzərən yüksək inteqrasiya dərəcəsinə təmin etmək daha asan olur.

Hazırda fotohəssas yük əlaqəli cihazlar daha geniş inkişaf edir və tətbiq olunurlar. Onlar televiziya texnikasında daha geniş tətbiq olunurlar. Televiziya texnikasında ilk dəfə şüanı videosiqnallara çevirən bərk cisim çeviriciləri tətbiq

edilmişdir. Bu çeviricilər elektron şüa borularını əvəz etməklə yanaşı özləri ilə yeni keyfiyyət gətirmişlər. Sərt həndəsi rastr, informasiyanın bilavasitə kristalda emalı mümkünlüyü, maqnit sahəsinə olan qeyri-həssaslığı və s. kimi xüsusiyyətlər bunlara aid edilə bilər.



Şəkil 3.33. İtki əmsalının (K_{itki}) ötürmə gərginliyinin tezliyindən (f) olan asılılığı.

3.10. Güc yarımkeçirici cihazları

Hal-hazırda güc elektronikasısı texnikanın ən intensiv inkişaf edən və perspektivli sahələrindən biri hesab olunur. Son illərə qədər tiristorlar və simistorlar güclü cihazlar kimi praktiki olaraq əvəzolunmaz hesab olunurdu. Bu cihazlar indi də geniş istifadə olunurlar. Lakin digər növ yeni tipli güclü cihazlar daha geniş tətbiq tapmaqdadırlar. Bu cihazlara güclü bipolyar tranzistorlar, sahə tranzistorları, İGBT – izolə edilmiş idarəedicilərlə elektrodlu (rəzəli) bipolyar tranzistorlar və SİT – statik induksiya tranzistorları aiddirlər.

3.10.1. Güc bipolyar tranzistorlar. Güclü tranzistorlar böyük cərəyanları (bir neçə, onlarla və daha çox amperləri) və gərginlikləri (onlarla, yüzlərlə və daha çox volt) idarə etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Quruluşuna, iş prinsipinə, xarakteristikalarına və parametrlərinə görə güclü tranzistorlar azgüclü tranzistorlara oxşadırlar, ancaq müəyyən xüsusiyyətlərə malikdirlər. Bu xüsusiyyətlər, həm cihazların özlərinin, həm də onların idarə olunma sistemlərinin layihələndirilməsi zamanı nəzərə alınmalıdır.

Güc modulları. Güc elektronikasının sxemlərində tez-tez biri-biri ilə müəyyən şəkildə birləşmiş bir neçə sayda güclü cihazlardan təşkil olunmuş tipik düyünlər (fraqmentlər) istifadə olunur.

Misal üçün, adətən, tranzistordan və dioddan ibarət olan düyün tez-tez istifadə olunur. Belə düyünlərin bir korpusda yerləşdirilməsi əlverişli olur.

Uyğun olaraq bu şəkildə hazırlanmış qurğu güc modulu adlanır. Güc modullarının istifadə olunması çox vaxt konstruksiya etməni sadələşdirir və güc elektronikasının müxtəlif qurğularının çox parametrlərini yaxşılaşdırır.

Güc tranzistorunun qoşulma sxemi – ümumi emitterli qoşulma sxemidir. Əvvəllər qeyd olunduğu kimi giriş (idarəedici) cərəyan (baza cərəyanı), və giriş (idarəedici) gərginlik kifayət qədər azdır. Ona görə də idarə edici siqnalın formalaşdırılması nisbətən asandır.

Tərkibli tranzistor (Darlington sxemi). Çox vaxt bir yarımkeçirici lövhədə Darlington sxemi üzrə qoşulmuş iki tranzistor strukturu formalaşdırırlar.

Bu iki tranzistor birlikdə tərkibli tranzistor adlanır. Ümumi cəhətdən tərkibli tranzistor adi tranzistora oxşardır, lakin özünün fərqli cəhətləri də var. Bu sxemdə baza (giriş) cərəyanının ümumi ötürülmə əmsalı hər bir tranzistorun ötürmə əmsallarının hasilinə bərabərdir. Darlington və Sklay sxemləri üzrə qoşulan tərkibli tranzistorların sxemi, parametrləri və onların qarşılıqlı əlaqəsi II cildə verilmişdir.

Hər bir tranzistorun uyğun β_1 və β_2 əmsallarının hətta ən kiçik qiymətlərində yekun güclənmə əmsalı β minlərlə olur. Deməli tərkibli tranzistor üçün idarə edici cərəyan (baza cərəyanı) yük cərəyanından (kollektor cərəyanından) min dəfələrlə kiçik ola bilər. Bu da tərkibli tranzistorun idarə olunmasını xeyli sadələşdirir.

Güc inteqral mikrosxemləri. Tərkibli tranzistorları nəzərdən keçirdikdən sonra güc inteqral mikrosxemini daha yaxşı başa düşmək olar. Bir çox hallarda bir yarımkeçirici lövhədə iki tranzistordan başqa əlavə elementlər də, məsələn, diodlar, rezistorlar və s. formalaşdırmaq olar.

Bir korpusda güclü və zəif cərəyanlı elementləri olan güc elektronikasını qurğusunu inteqral mikrosxem adlandırırlar.

İntellektual güc inteqral sxemlər. Az cərəyanlı elementlərlə öz mürəkkəbliyinə görə inteqral mikrosxemlərdən geri qalmayan elektron sistem yaratmaq olar. Bu sistemlər, güc inteqral sxemlərinin idarə edilməsi, qorunması və diaqnostikası üzrə çoxlu funksiyalar yerinə yetirir. Belə qurğular böyük cərəyanların və gərginliklərin idarə olunması üçün yox, hər hansı informasiyaya malik olan elektrik siqnalının çevrilməsi və ötürülməsi üçün nəzərdə tutulan, mahiyyətə informativ (informasiya) elektronika qurğularıdır.

Informativ elektronikanın elektron sistemləri ilə təmin olunmuş güc inteqral sxemlərini intellektual güc sxemləri (Smart Power Integrated Circuit) adlandırırlar.

İntellektual cihazlar. Güc cihazı (tranzistor) və informativ elektronika sxemi bir korpusda yerləşmiş cihaz intellektual cihaz adlanır.

İntellektual cihaz adı güc ilə müqayisədə çox mühüm üstünlüklərə malikdir. Məsələn, əgər intellektual cihaz onun qızmasını aşkarlayırsa, onda o söndürülmə haqqında qərar qəbul edə bilər və bununla da sıradan çıxmanın qarşısı alınır.

Güc tranzistorlarının iş rejimlərinin xüsusiyyətləri. Güc tranzistorlarını adətən, hədd parametrlərinə kifayət qədər yaxın olan iş rejimlərində istifadə etmək lazım olur. Əks hallarda güc qurğularının qiyməti, çəkisi və qabarit ölçüləri olduqca böyük alınır.

Güc tranzistorunun əsasını təşkil edən silisium kristalının temperaturu 200°C -yə və daha çox çata bilər. Əsas güc kollektor keçidində ayrılır və ona görə də bu keçidin temperaturu ən yüksəkdir. Kollektor keçidinin maksimal yol verilə bilən temperaturu sorğu kitablarında verilir və istiliyə görə hesabatlarda istifadə olunur.

Bir sıra güc elektronika qurğularında, məsələn, güc gücləndiricisində tranzistor aktiv rejimdə işləyirlər. Bu halda tranzistordan axan cərəyan və onda düşən gərginlik çox olduğundan, onda səpələnən güc çox olur və nəticədə qurğunun faydalı iş əmsalı azalır, həm də tranzistorun soyudulmasında problemlər yaranır.

Güc itkilərinin azaldılmasının ən effektiv yolu tranzistorun sxemdə açar rejiminə keçirilməsidir. Bu halda tranzistor uzun müddət ya bağlı, ya da açıq rejimdə olur. Nəticədə uyğun olaraq, ya tranzistordan axan cərəyan, ya da onda düşən gərginlik praktiki sıfıra yaxın olur. Ona görə də hər iki halda kollektorda ayrılan güc çox az olur. Yalnız qısa zaman müddətlərində tranzistor bir rejimdən o birinə keçdikdə ayrılan güc çox olur. Lakin orta güc yenə az olur, və tranzistorun cəldişləmə qabiliyyəti nə qədər çox, və rejimin dəyişmə sürəti nə qədər az olsa, orta güc də bir o qədər az olur.

Güc tranzistorları, əsasən açar rejimində işləmək üçün nəzərdə tutulur. Ona görə də onlar üçün aşağıdakı parametrlər vacibdir:

- $U_{ke.doy}$ – doyma rejimində verilmiş kollektor və baza cərəyanlarında kollektor və emitter arasındakı gərginlik;
- Sürətli işləmə qabiliyyətini, o cümlədən, qoşulma və açılma zamanlarını müəyyən edən parametrlər.

Tranzistorların deşilməsi. Adətən, tranzistorun deşilməsi dedikdə, onun kollektor p-n - keçidinin deşilməsi nəzərdə tutulur. Düzdür prinsipial olaraq emitter p-n – keçidinin deşilməsi də mümkündür. Ancaq çox hallarda emitter keçidinin deşilməsinin qarşısının alınması daha az mürəkkəbliyə malik olduğundan kollektor keçidinin qorunması daha böyük əhəmiyyət kəsb edir. Kollektor və emitter keçidləri güclü qarşılıqlı əlaqədə olduqlarından, kollektor

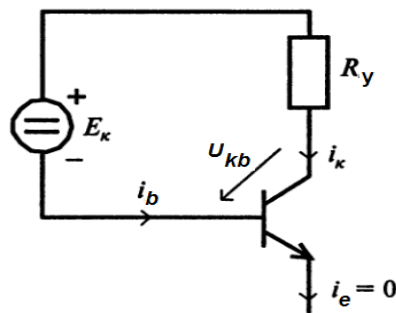
keçidinin deşilməsinin inkişafı prosesinə emitter keçidinin iş rejimi (yəni baza emitter dövrəsinin iş rejimi) güclü təsir edir.

Tranzistorlarda diodun p-n – keçidinin deşilməsinə analogi olan və ilkin deşilmə adlanan adi deşilmə və nisbətən mürəkkəbliyi ilə seçilən ikinci deşilmə baş verə bilər.

Ən geniş istifadə olunan sxem ümumi emitterli qoşulma sxemi olduğundan, ilkin deşilmə zamanı ən geniş yayılmış deşilmə mexanizmləri olan selvari və istilik deşilmələri baş verə bilər. Adətən, əvvəl selvari deşilmə baş verir, hansı ki, sonradan öz növbəsində istilik deşilməsinə keçə bilər. Kəsmə rejimində kifayət qədər aşağı temperaturda işləyən tranzistorda adətən, selvari deşilmə baş verir.

Şəkil 3.34-də verilmiş qırılmış emitterli sxem adlanan ümumi bazalı tranzistorlu elektron açarında əsasən kollektor keçidi istifadə olunur. Bu sxemdə kəsmə rejimi onunla təmin olunur ki, emitter kənar dövrlərdən ayrılıb və emitter cərəyanı sifirə bərabərdir.

Ona görə də emitter keçidi sxemin iş rejiminə təsir etmir və deşilmə rejiminin analizi sadələşir. Bu sxemdə kollektor keçidinin deşilməsi tamamilə diodun p-n – keçidinin deşilməsinə analogidir.



Şək. 3.34.

Baxılan sxemdə emitter keçidi kollektorun iş rejiminə təsir etmədiyindən baxılan sxemdə tranzistor ən çox E_k gərginliyinə tab gətirir.

Kəsmə rejimi bazanın kənar dövrlərdən ayrılması hesabına təmin olunan ümumi emitterli sxemi şəkil 3.35-də verilmişdir. Belə sxem qırılmış bazalı sxem adlanır və bu sxemdə kollektor keçidi ilə emitterin qarşılıqlı əlaqəsi özünü tam şəkildə büruzə verir. Baxılan sxemdə $i_k = I'_{k0}$, belə ki,

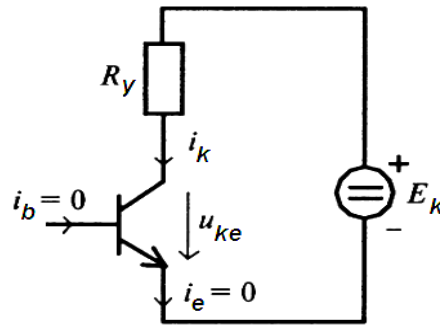
$$I'_{k0} = (\beta_{st} + 1) \cdot I_{k0} \gg I_{k0} .$$

Qeyd etmək lazımdır ki, bu nəticə formal olaraq ümumi bazalı sxemdəki keçidlərin qarşılıqlı təsirini əks etdirən və tranzistorun cərəyanlarını əlaqələndirən $i_k = \alpha_{st} \cdot i_e + I'_{k0}$ ifadəsinin əsasında alınır.

İkinci deşilmə. Tranzistorların elə ilk praktiki istismarı zamanı onlarda izahı verilə bilməyən imtinalar baş verirdi. Güclü tranzistorların yaranmasından sonra bu vəziyyət daha da kəskinləşmişdi. Yalnız 1958-ci ildə ilk dəfə olaraq “ikinci deşilmə” adlandırılan bu effektin təsviri verilmişdir.

İkinci deşilməyə xarakterik olan cəhət kollektor cərəyanı artdıqda kollektor və emitter arasındakı gərginliyin kəskin olaraq azalmasıdır.

İkinci deşilmə çox vaxt tranzistorun bağlanması zamanı doyma rejimindən kəsmə rejiminə keçmə prosesində yaranır. Kollektor cərəyanının xarici dövrələrlə məhdudlaşdırılması da ikinci deşilmə zamanı tranzistorun sıradan çıxmasının qarşısını almır.



Şək.3.35.

İkinci elektrik deşilməsi olduqca mürəkkəb prosesdir. Bu deşilmənin əsas səbəbi kimi elektrik sahə gərginliyinin lokal artmasını yaranan emitterdəki cərəyanın qeyri-bərabər paylanmasını göstərir. Hansı ki, sonradan istilik deşilməsinə çevrilən selvari deşilmə yaradır. Bunun nəticəsində hətta yarımkeçiricinin əriməsi baş verə bilər.

Güç tranzistorlarının **təhlükəsiz iş oblastını** seçərkən ikinci deşilmənin xarakteri mütləq nəzərə alınır. Çox vaxt güc tranzistorunun iş rejiminin təhlükəsiz iş oblastından kənara çıxmasına yol verməmək üçün ona əlavə mühafizə dövrələri qoşulur.

Böyük yük cərəyanı olan sxemlərdə iki, yaxud daha çox güc tranzistorlarının paralel qoşulmasından istifadə edirlər. Tranzistorlardan hər hansı birinin artıq yüklənməsinin qarşısını almaq üçün hər bir tranzistorun emitter dövrəsində rezistor qoşulması məqsədə uyğun hesab edilir.

3.10.2. Güc sahə tranzistorları. Güclü sahə tranzistorlarının ilk sənaye nümunələri yalnız XX əsrin 70-ci illərinin sonlarında meydana gəlmişdir.

Hal-hazırda güc sahə tranzistorları ən vacib və perspektivli güc cihazlarıdır.

Bir qayda olaraq güc sahə tranzistorları silisiumdan hazırlanmış olurlar. Qallium arsenid əsaslı tranzistorlar da geniş tətbiq tapmaqdadır.

Müasir intellektual güc inteqral sxemlərinin, intellektual cihazların və intellektual güc modullarının əsasını sahə tranzistorları təşkil edir.

Sahə tranzistorlarının mövcud növlərindən izolə edilmiş rəzəli və induksiya olunmuş kanallı sahə tranzistorları güc qurğularında daha geniş tətbiq tapmışdır.

İstər n-kanal, istərsə də p-kanal tipli tranzistorlar geniş istifadə olunurlar.

Bipolyar tranzistorlar kimi güc sahə tranzistorları da açar rejimində işləyirlər. Ona görə də bu tranzistorlar üçün açıq vəziyyətdə mənbə və mənsəb arasındakı gərginliyi, qoşulma və açılma müddətləri vacib parametrlərdir. Sahə tranzistorunun işçi nöqtəsi açıq vəziyyətdə xətti ("omik") oblastda yerləşir, belə ki, u_{mm} gərginliyi tranzistorun mənbə - mənsəb dövrəsinin r_{mm} qiyməti ilə təyin olunur. Sorğu kitablarında r_{mm} müqaviməti verilmiş u_{mm} gərginliyi üçün göstərilir. Mənsəb cərəyanını bilərək $u_{mm} - i$ Om qanunu əsasında təyin etmək olar:

$$u_{mm} = i \cdot r_{mm}$$

Mənbə - mənsəb dövrəsinin müqavimətinin əsas hissəsini sahə tranzistorunun kanalının müqaviməti təşkil etdiyindən, bu müqavimətin azaldılması ən aktual məsələlərdəndir və müxtəlif üsullarla həyata keçirilir. Kanalın müqavimətinin azaldılmasının əsas yollarından biri onun uzunluğunun azaldılmasıdır. Ona görə də güc sahə tranzistorları qısa kanallı olurlar.

Digər üsullardan biri kanalları paralel birləşdirilmiş çoxkanallı strukturların (kanalların sayı – yüzlərlə və minlərlə) istifadə olunmasıdır.

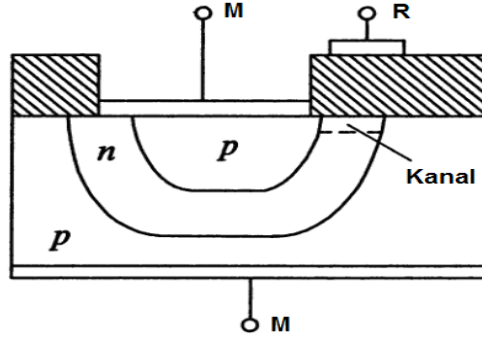
Temperatur artdıqda kanalın müqavimətinin artması sahə tranzistorunun vacib üstünlüklərindən biridir. Bu xassə qızma və ikinci deşilmə ehtimalını azaldır, cərəyan yüklənmələri zamanı mənsəb cərəyanının artmasının qarşısını alır, həmçinin, əlavə elementlər istifadə etmədən güc sahə tranzistorlarının paralel qoşulmasını istifadə etməyə imkan verir.

Azgülü sahə tranzistorunun strukturunu yarımkeçirici lövhənin bir tərəfində formalaşdırırlar. Hər üç elektrod bir tərəfdə yerləşmiş olur. Belə struktur üfüqi adlanır.

Güc sahə tranzistorları, mənbə və rəzəsi bir tərəfdən, mənsəbi isə digər tərəfdən yerləşdirilmiş şaquli struktura malikdirlər. Elektronlar və deşiklər mənbə və mənsəb arasında yarımkeçirici lövhənin en kəsiyi istiqamətində hərəkət edirlər.

Şaquli struktura malik olan güc sahə tranzistorlarında kanal istər üfüqi, istərsə də şaquli yerləşə bilər.

İkiqat diffuziya metodu ilə hazırlanmış MDY-tranzistor (İMDY). Bu tranzistor üfüqi kanala malikdir. p-kanallı belə tranzistorun sxematik quruluşu şəkil 3.36-da verilmişdir. Şəkildə strukturun bir kanala malik olan bir elementi göstərilmişdir.

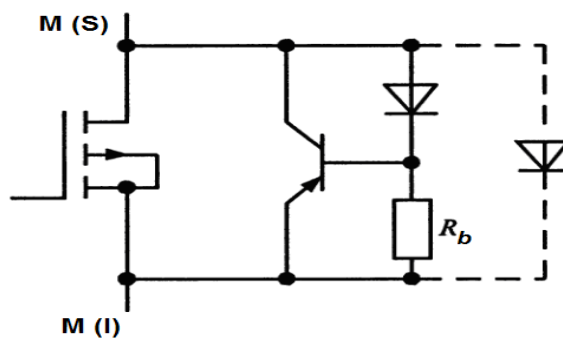


Şək. 3.36. p-kanallı İMDY tranzistorunun sxematik quruluşu

Altıq n-tipli yarımkəçirici təbəqəsidir. Mənbə p-tip yarımkəçiricinin üst təbəqəsidir.

Altıq metal kontaktla mənbə ilə birləşmişdir. Göründüyü kimi strukturda altıq və p-tipli yarımkəçiricinin alt təbəqəsi ilə yaranmış parazit p-n-p- tipli tranzistor və parazit diod mövcuddur.

İMDY tranzistorunun strukturunun ekvivalent sxemini şəkil 3.37-də göstərilmiş kimi təsvir etmək olar.



Şək. 3.37. İMDY tranzistorunun strukturunun ekvivalent sxemi.

M(S) – Mənsəb (Stok); M(I) – Mənbə (İstok)

Ekvivalent sxemə daxil olan R_b rezistoru bipolyar tranzistorun baza oblastının müqaviməti olub, kifayət qədər azdır, ona görə də adi rejimlərdə

bipolyar tranzistor bağlıdır və sahə tranzistorun strukturundakı proseslərə zəif təsir edir.

Lakin mənbə və mənsəb arasındakı gərginlik sürətlə artdığı zaman sxemdə göstərilməmiş parazit tutumlardan baza cərəyanı axmağa başlayır, bu isə güc sahə tranzistorunun sıradan çıxmasına gətirib çıxara bilər.

Güc tranzistorunun strukturunun xüsusiyyətindən asılı olaraq, qoruyucu diodu sxemə göstərildiyi kimi bütöv xətlə, yaxud göstərildiyi kimi qırıq-qırıq xətlə qoşurlar.

Tranzistorun normal qoşulmasında mənbənin potensialı mənsəbin potensialından böyükdür və bu halda diod bağlıdır. Əks halda diod açılır və tranzistorun sıradan çıxmasının qarşısını alır.

MDY güc tranzistorlarının digər növü şaquli kanala malik olan **V şəkilli MDY (VMDY-tranzistor) tranzistorudur**. Şəkil 3.38-də p-tip kanallı VMDY-tranzistorun quruluşunun iki kanaldan ibarət olan bir elementinin sxematik təsviri verilmişdir. Bu tranzistorun strukturu İMDY-tranzistorların strukturuna analojidir və ekvivalent sxemi də oxşardır.

Bipolyar tranzistorlara xas olan *Miller effekti* sahə tranzistorlarının istifadəsi zamanı xüsusi problemlər yaradır. Miller effektinin mahiyyəti keçid tutumunun təsiri nəticəsində giriş ekvivalent tutumun artmasından ibarətdir. Miller effekti bir tərəfdən tranzistorun bir vəziyyətdən o birinə keçməsinə ləngidir, digər tərəfdən isə giriş siqnal mənbəyindən tələb olunan cərəyanı artırır. Bəzən bu cərəyan o qədər artır ki, giriş siqnalı mənbəyinin işi pozulur. Ona görə də sxemlərdə bu təsirləri azaltmaq üçün əlavə dövrələrdən istifadə olunur.

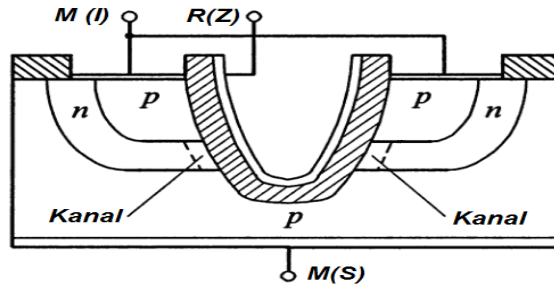
Sahə tranzistorlarının bipolyar tranzistorlarla müqayisədə əsas üstünlüklərindən biri onun təhlükəsiz iş oblastının geniş olmasıdır, çünki bu tranzistorlarda ikinci deşilməyə görə məhdudiyət yox olur.

3.10.3. Rəzəsi təcrid edilmiş bipolyar tranzistor (RTBT). Nəzərdən keçirilən tranzistoru çox vaxt qısaca İGBT (İGBT - ingilis dilində Insulated Gate Bipolar Transistor) tranzistor adlandırırlar.

RTBT tranzistoru hibrid yarımkəçirici cihazdır. Bu tranzistorda elektrik cərəyanının idarə olunmasının iki üsulu eyni zamanda istifadə olunur, birincisi sahə tranzistorlarına xas olan – elektrik sahəsi ilə idarəetmə, ikincisi isə bipolyar tranzistorlara xas olan – elektrik yükdaşıyıcılarının injeksiyasının idarə olunması üsuludur.

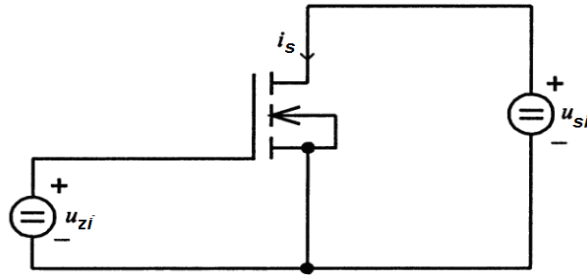
Əvvəllər bir yarımkəçirici lövhədə sahə və bipolyar strukturlu tranzistorların mexaniki olaraq birləşdirilməsi cəhdləri edilmiş və nəticədə kombinə edilmiş cihazlar yaradılmışdır. Lakin bu strukturların orqanik olaraq

birləşməsi hesabına yaradılmış RTBT tranzistorları çox böyük səmərə əldə etməyə imkan vermişdir.



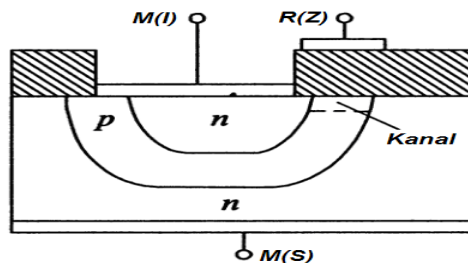
Şək. 3.38. VMDY tranzistorunun strukturunun ekvivalent sxemi.
M(S) – Mənsəb (Stok); M(I) – Mənbə (İstok)

RTBT tranzistorunun quruluşu. RTBT tranzistorunun yaradılmasında MDY tipli güc tranzistoru əsas olmuşdur. Adətən, RTBT tranzistorunda induksiya olunmuş n-tip kanallı MDY-tranzistoru istifadə olunur. Bu tip tranzistorun qoşulma sxemi şəkil 3.39-da verilmişdir.



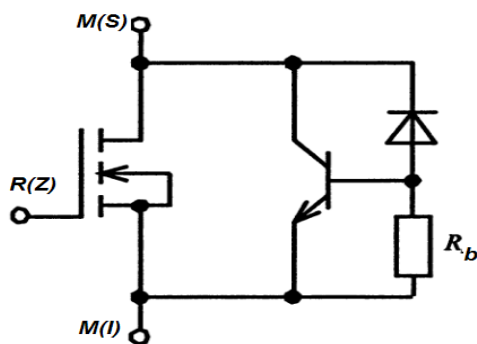
Şək. 3.39.

Bu tipli İMDY güc tranzistorunun strukturunu sxematik olaraq şəkil 3.40-da verildiyi kimi təsvir etmək olar.



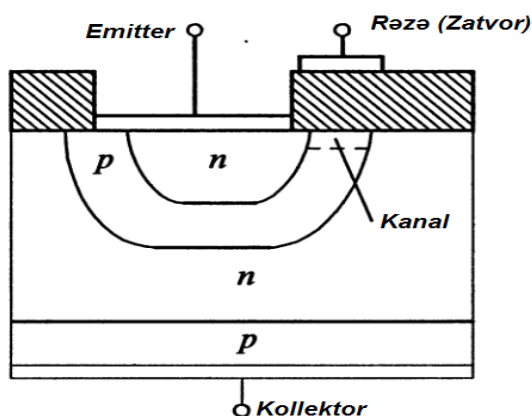
Şək. 3.40.

Güç tranzistorunun ekvivalent sxemini aşağıdakı kimi təsvir etmək olar (şək.3.41).



Şək. 3.41.

RTBT tranzistorun strukturu İMDY – tranzistorunun strukturundan yarımkəçiricinin əlavə p-tip təbəqəsinin olması ilə fərqlənir (şək.3.42)



Şək. 3.42

p-tip təbəqənin əlavə olunması bipolyar tranzistorun ikinci strukturunun (p-n-p tipli) əmələ gəlməsinə gətirib çıxarır. Beləliklə RTBT iki- n-p-n tipli və p-n-p – tipli bipolyar strukturlara malik olur.

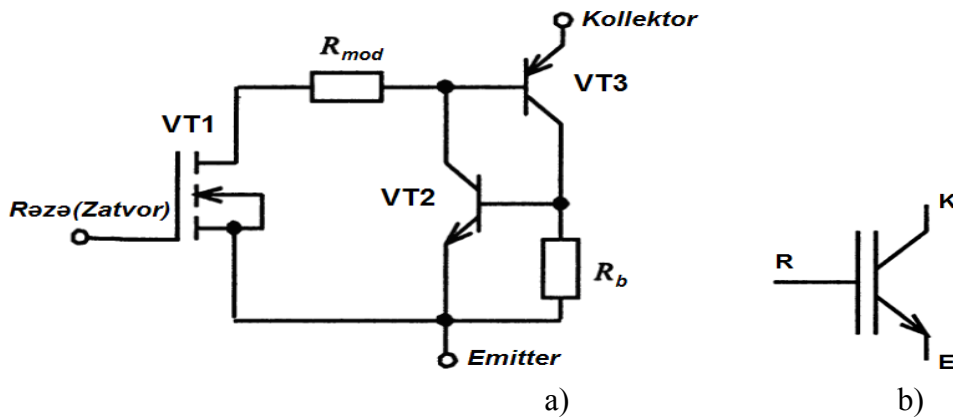
RTBT tranzistorun ekvivalent sxemi şəkil 3.43,a-da, onun şərti qrafiki işarələnməsi 3.43,b-də verilmişdir.

Baxmayaraq ki, RTBT-nin kollektor adlanan çıxışı VT3 tranzistorunun emitterinə qoşulub, elektrodlarının şəkildə verilmiş qaydada adlandırılması ümumi qəbul olunub.

Ekvivalent sxemdə R_{mod} ilə p-n-p tip tranzistorun bazasının təbəqəsi olan aşağı n-tip təbəqənin müqaviməti işarələnmişdir. Bu təbəqədən keçən cərəyan dəyişdikdə R_{mod} müqaviməti dəyişir (modulyasiya olunur).

RTBT ümumi emitterli sxem üzrə qoşulur. Bu tranzistorun işində əsas rolu VT1 və VT3 tranzistorları oynayır. Normal iş şəraitində VT2 bağlıdır və RTBT-nin işinə təsir etmir. Ümumiyyətlə, VT2 tranzistoru güc sahə tranzistorunda olduğu kimi parazit tranzistor rolunu oynayır.

VT3 tranzistorunun emitter keçidi olan əlavə p-n- keçidinin əsas təyinatı dəşiklərin aşağı n - təbəqəsinə injeksiya edilməsidir. İnaksiya nəticəsində bu təbəqənin müqaviməti azalır. Nəticədə RTBT-nin açıq vəziyyətində kollektor və emitteri arasındakı gərginlik uyğun sahə tranzistoru ilə müqayisədə xeyli azalmış olur, və eyni işçi cərəyanda tranzistorda səpələnən güc xeyli azalır. Bu isə RTBT-nin əsas üstünlüyüdür. Qeyd olunan üstünlüyü ilə yanaşı dəşiklərin injeksiyası qeyri-əsas yüklərin hesabına p-n-p- tranzistorun bazasında həmi yükün yaranmasına səbəb olur, bu isə sahə tranzistoru ilə müqayisədə cəld işləmənin azalmasına gətirib çıxarır.



Şək.3.43

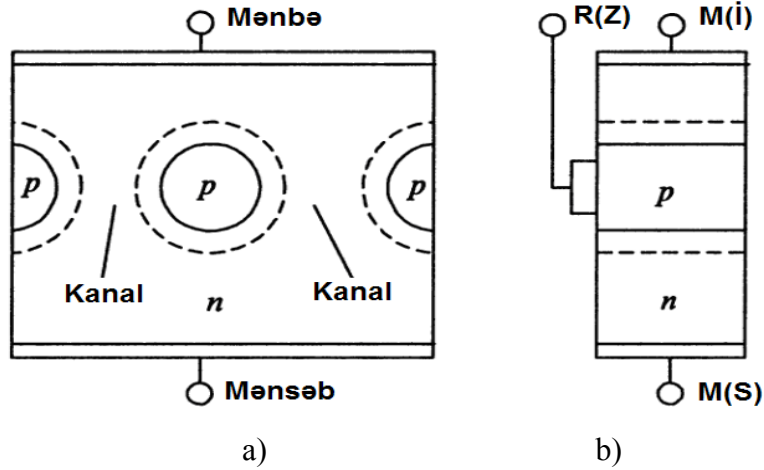
Sxemdən görüldüyü kimi VT2 və VT3 tranzistorları tiristorun ekvivalent sxemini əmələ gətirir, ona görə də çox vaxt tiristor strukturu adlandırırlar. Ona görə də sxem iki dayanıqlı halda: qoşulu və ayrılmış vəziyyətdə ola bilər.

Qəza rejimində VT2 və VT3 tranzistorları əsasında tiristor sxemi qoşula bilər və İGBT idarəolunmaz olaraq sıradan çıxa bilər.

VT2 və VT3 tranzistorlarının qoşulmasını trigger effekti adlandırırlar. Bu effekt adətən İGBT bağlandığı zaman özünü büruzə verir. RTBT-lərin müasir tiplərində bu effekt aradan qaldırılmışdır.

3.10.4. Statik induksiya tranzistor. Mahiyyətə idarəedici p-n – keçidə malik olan sahə tranzistoru olub, özünəməxsus quruluşa və xarakteristikaya malikdir. Bu tranzistorları ingilis dilindən götürülmüş abreviatura əsasında SİT (Static Induction Transistor) adlandırırlar. Çox vaxt bu tranzistoru rəzəsi təcrid olunmuş sahə tranzistoru (RTST) da adlandırırlar.

Həm n-tip kanallı, həm də p-tip kanallı SİT istehsal olunur. Sxemlərdə şərti qrafiki işarələnməsi idarəedici keçidli sahə tranzistorları ilə eynidir. Güc MDY tranzistoru kimi SİT çoxkanallıdır və şaquli struktura malikdir. n-kanallı SİT-in quruluşunun sxematik təsviri şəkil 3.44-də verilmişdir.



Şək.3.44. n-kanallı SİT-in sxematik quruluşu: a) ön tərəfdən görünüş;
 b) yan tərəfdən görünüş: R(Z) – Rəzə(Zatvor); M(I) – mənbə (istok);
 M(S) – mənsəb (stok)

Yarımkəçiricinin p-tip oblastları diametrləri bir neçə və daha çox mikrometrlər olan silindr formasına malikdirlər. Bu silindrlər sistemi rəzə (zatvor) rolunu oynayır. Hər bir silindr rəzə elektroduna birləşmişdir. Qırıq xətlərlə şəkildə p-n- keçidlərin oblastları işarə olunmuşdur. Real kanalların sayı minlərlə olur.

Adətən SİT ümumi mənbəli (istoklu) sxemdə istifadə olunur. SİT-in əsas xarakterik xüsusiyyəti kanallarının uzunluğunun az olmasıdır.

SİT-də baş verən fiziki proseslər bəzi məqamlarda idarəedicici keçidli sahə tranzistorlardakı proseslərə oxşardır. Belə ki, adi sahə tranzistorunda olduğu kimi U_{zi} bağlayıcı gərginliyini artırıqda p-n- keçidlərin oblastları genişlənir.

Lakin U_{zi} -nin i_s -yə təsiri SİT üçün adi sahə tranzistoru ilə müqayisədə başqa xarakterə malikdir.

Mənsəb cərəyanının axması hesabına SİT-in hər bir kanalında yaranan gərginlik düşküsi kanalın uzunluğunun az olması hesabına çox olmur.

Qeyd: Əlavə 1-də elektron cihazlarının şərti-qrafiki işarələnməsi, əlavə 2-də geniş yayılmış elektron cihazlarının sorğu materialları, onların parametrlərinin və iş rejimlərinin təhlillərinə nümunələr, əlavə 3-də elektron cihazlarının tətbiq olunduğu elektron qurğularının sxemlərindən nümunələr və onların praktiki işçi rejimləri verilmiş, onların hesablanması aparılmasına göstərişlər verilmişdir.

4. OPTOELEKTRON CİHAZLAR

4.1. Optik diapazonlu dalğaların informasiya daşıyıcısı kimi istifadə olunma sahələri

4.1.1. Elektromaqnit dalğalar vasitəsilə informasiyanın ötürülməsi prinsipləri. Əksər obyektlərin, o cümlədən uçan aparatların atmosferdəki və kosmik fəzadakı qarşılıqlı vəziyyətini elektromaqnit (EM) dalğalarının köməyi ilə təyin etmək olar. Məlumdur ki, elektromaqnit dalğaları elektrik və maqnit sahələrinin birgə ötürülməsi prosesidir. Vakuumda bu dalğalar E və H elektrik və maqnit sahələrinin gərginliklərinin vektorlarının yerləşdiyi müstəviyə perpendikulyar olan istiqamətdə c – işıq sürəti, başqa mühitlərdə isə v – sürəti ilə yayılırlar. Vakuumda EM dalğalarının sürəti dalğa uzunluğundan asılı deyil və aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$c = (\mu_0 \epsilon_0)^{-1/2} \quad (4.1)$$

Burada μ_0 və ϵ_0 uyğun olaraq vakuumda mütləq maqnit nüfuzluluğu, yaxud maqnit sabiti və mütləq dielektrik nüfuzluluğu, yaxud vakuumun elektrik sabitidir.

Vakuumda $C = 2,997925 \cdot 10^8$ m/s.

Real mühitdə EM dalğalarının yayılma sürəti $v = c/n$ düsturu ilə təyin olunur, burada n -mühitin vakuuma nəzərən sındırma əmsalıdır.

$$n = \sqrt{(\mu_a \epsilon_a) / (\mu_0 \epsilon_0)} \quad (4.2)$$

Elektromaqnit dalğalarının vasitəsi ilə ötürülən şüa enerjisinin gücü, rabitə kanalının vahid sahəsinə düşən elektromaqnit şüalanmasının gücü olan P – Umov-Poyntinq vektoru ilə xarakterizə olunur. Elektromaqnit dalğası ilə daşınan şüa enerjisinin seli bircinsli mühitdə (ideal təmiz quru atmosfer) aşağıdakı bərabərliklə ifadə olunur:

$$S ds = - d\epsilon_a / dt - (\epsilon_a E dE / dt + \mu_a H dH / dt) dv \quad (4.3)$$

Burada ds – rabitə kanalının en kəsiyində elementar sahədir; $d\epsilon_a$ – rabitə kanalının dielektrik mühitində elementar həcmdəki elektromaqnit enerjisidir; H və E – uyğun olaraq maqnit və elektrik sahələrinin gərginlikləri vektorlarıdır; t – zamandır.

Elektromaqnit rabitə kanalının şüa enerjisinin gücünü təyin edərkən E və H vektorlarının ancaq həqiqi hissələri götürülür.

Maksvelin birinci tənliyindən Umov-Poyntinq vektorunu taparaq P üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$S = u_x \cdot \sqrt{\varepsilon_a / \mu} \cdot E^2 \quad (4.4)$$

burada u_x –şüalanma istiqamətində şüa enerjisinin yayılmasının vahid vektorudur.

Sonuncu ifadədən görüldüyü kimi EMD-nin gücü elektrik sahəsinin gərginliyinin kvadratı ilə düz mütənasibdir. Eyni qayda ilə göstərmək olar ki, EMD-nin gücü maqnit sahəsinin gərginliyi H-ın kvadratına mütənasibdir.

Ümumiyyətcə, atmosferdə və kosmosda cisimlər arasında rabitəni istənilən dalğa uzunluğuna malik olan EM şüalanması ilə həyata keçirmək olar. Lakin elektromaqnit dalğa rabitə kanalı yaradarkən aşağıdakı xarakteristikaları nəzər alırlar:

- 1) daha çox ehtimal olunan tətbiq şəraitində təsir məsafəsi;
- 2) bucaq koordinatlarının ölçülmə dəqiqliyi;
- 3) passiv və aktiv maneələrin təsiri zamanı maneədayanıqlığı;
- 4) təsirin gizliliyi;
- 5) daimi sutka və daimi illik təsiri;
- 6) təsirin hər cür hava şəraitində təmin olunması;
- 7) təsirin coğrafi asılı olmaması;
- 8) təsir rayonunun məhdudluğu;
- 9) ölçüsünün və çəkisinin kiçikliyi;
- 10) texnoloji və iqtisadi göstəricilərinin səmərəli olması.

EMD-lərin diapazonları cədvəl 4.1-də verilmişdir.

Müxtəlif növ EM dalğalar şüalandırıcı qurğuların qısaca iş prinsipini nəzərdən keçirək.

Radiodalğalar və aşağı tezlikli dalğalar müxtəlif növ süni şüalandırıcılar vasitəsi ilə yaradılır. Bu şüalandırıcılar vibrator adlanır. İnfra aşağı tezlikli dalğalar, aşağı tezlikli, sənaye tezlikli və səs tezlikli dalğalar dəyişən cərəyan generatorları, kamerton kimi mexaniki, yaxud, elektromexaniki vibratorlardır.

Radiodalğalar, ölçüləri, şüalandırılan dalğaların uzunluğundan böyük olan, böyük şüalanma müqaviməti olan açılmış konturlu antenalar vasitəsi ilə şüalandırılır.

İnfraqırmızı enerji, atomların, atom və molekul qruplarının rəqsi zamanı, həmçinin qazşəkili, maye və bərk cisimlərin molekullarının fırlanması zamanı şüalanır. İnfraqırmızı şüalanma mənbəyi kimi çox hallarda ideal şüalandırıcı (qara cisim), yaxud elektrik közərmə lampası, elektrik qazboşalma lampaları,

nadir torpaq elementlərindən olan ştift şüalandırıcıları, Auer kolpak (qapaq) şəkilli qızdırıcıları, lazerlər istifadə olunur.

Cədvəl 4.1

Şüalanmanın növü	Dalağa uzunluqları diapazonu, m	
	Nəzəri	Praktiki mənimsənilmiş
Aşağı tezlikli dalğalar	$3 \cdot 10^4$ –dən yuxarı	---
Radiodalğalar	$3 \cdot 10^4 \dots 3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^4 \dots (3 \dots 1) \cdot 10^{-2}$
İnfraqırmızı şüalar	$5 \cdot 10^{-4} \dots 7,6 \cdot 10^{-7}$	$(30 \dots 15) \cdot 10^{-6} \dots 7,6 \cdot 10^{-7}$
İşıq dalğaları	$7,6 \cdot 10^{-7} \dots 4 \cdot 10^{-7}$	$7,6 \cdot 10^{-7} \dots 4 \cdot 10^{-7}$
Ultrabənövşəyi şüalar	$4 \cdot 10^{-7} \dots 1,35 \cdot 10^{-8}$	Uzundalğalı hissəsi

İşıq (görünən) elektromaqnit dalğaları atomun xarici təbəqəsindəki elektronların enerji vəziyyətlərinin dəyişməsi zamanı maddələrin molekul və atomları hesabına şüalandırılır. Həmçinin, onlar qazşəkilli və bərk maddələrin molekullarının rəqsi və fırlanma hərəkətlərinin dəyişməsi zamanı şüalanır. Ən geniş yayılmış görünən işıq şüalandırıcıları elektrik közərmə lampalarıdır. Son illər şüa enerji mənbəyi kimi işıqlanma diapazonunda olan lazerlər və plazma işıq mənbələri böyük əhəmiyyət kəsb edirlər.

Ultrabənövşəyi şüalar xarici təbəqədəki elektronların vəziyyətinin dəyişməsi hesabına müxtəlif həyəcanlanmış atomlar və molekulların qeyri həyəcanlı vəziyyətə keçməsi zamanı, həmçinin, yüksək temperaturalara qədər qızmış maddələrin istilik şüalanmasının bir hissəsi hesabına şüalandırılır. Süni şüalanma mənbələri kimi şüalanma maksimumunun dalğa uzunluğu qazın tərkibindən və onun təzyiqinin qiymətindən asılı olan civə, civə kvars, kripton, arqon və ksenon qaz işıq lampaları tətbiq olunur.

0,03m-dən çox olan dalğalar kiçik ayırma qabiliyyətinə malik olduqlarına görə müşahidə olunan obyektlərin lazımı dəqiqliklə bucaq koordinatlarını təyin etməyə imkan vermir. Ona görə də bir çox məqsədlər üçün elektromaqnit dalğalarının qısdalğalı hissəsinin ($\lambda < 0,03$) diapazonları istifadə olunur.

Ən qısa dalğalar $\lambda < 2 \cdot 10^{-7}$ süni ultrabənövşəyi, rentgen, və qamma-şüa şüalandırıcılarının atmosferdə təsir məsafəsinin az olduğuna görə texniki cəhətdən az mənimsənilib.

Müxtəlif diapazonlu radioötürücülər müvafiq güclərə və ölçülərə malikdirlər. Dalğa uzunluğu 15mkm-dən çox olan infraqırmızı şüalar atmosferdə güclü udulmalara məruz qalırlar və bu diapazona hesablanmış mükəmməl qəbuledicilərin olmadığından hələlik öyrənilməyib. Ona görə də aparılan

təhlillərin nəticəsində qeyd etmək olar ki, məsafədən müşahidə aparmaq üçün elektromaqnit dalğalarının aşağıdakı diapazonlarını təhlil etmək məqsədə uyğundur:

- 1) Millimetrlik və santimetrlik radiodalğalar ($\lambda = 3 \dots 0,1 \text{ sm}$);
- 2) İnfraqırmızı dalğalar ($\lambda = 100 \dots 0,76 \text{ mkm}$);
- 3) Görünən şüalar ($\lambda = 0,76 \dots 0,4$).

4.1.2. Optik diapazonlu şüalanmaların xüsusiyyətləri və informasiya ötürülməsində tətbiqi. Rabitə kanalının işçi qabiliyyəti ətraf mühitin təsirindən çox asılıdır. Belə ki, ətraf mühitin təsiri nəticəsində rabitə kanalının şüa enerjisi zəifləyə bilər, həmçinin sistemdə maneələr yaranan fon yaranmasına gətirib çıxara bilər. Şüa enerjisinin zəifləməsi aşağıdakı üç proseslə əmələ gəlir:

- molekulyar udulmalarla;
- molekulyar səpələnmələrlə;
- müxtəlif cinsli hissəciklərlə səpələnmələrlə.

Şüa enerjisinin zəifləməsi dedikdə mühidə şüalanma selinin başqa növ enerjilərə çevrilməsi hesabına zəifləməsi başa düşülür. Səpilmə mühidə yayılan müxtəlif istiqamətli şüalanma selinin müxtəlif istiqamətli sellərə çevrilməsi başa düşülür.

Atmosferdə molekulyar udulma optik aktiv maddələrin molekulları ilə şüa enerjisinin udulmasına deyilir, molekulyar səpələnmə isə şüa enerjisinin müxtəlif molekullarla və molekullar qrupu ilə səpələnməsinə deyilir.

Müxtəlif hissəciklərlə səpələnmələr şüa enerjisinin bərk və ya maye hissəciklərin (bürkünün, dumanın, buludların, yağışın, qarın, dolunun ibarət olduğu hissəciklərin) hesabına baş verdiyi səpələnmələrdir.

Atmosfer mühitinin çoxşaxəli xarakterinə və mürəkkəbliyinə görə atmosferdə şüa enerjisinin zəifləməsini tam əksətdirən nəzəri mülahizələr və düsturlar vermək çox çətinidir. Ona görə də çox vaxt eksperimental nəticələrə istinad etmək lazım gəlir. Lakin bəzən bu nəticələr də kifayət etmir. Buna görə də ciddi və dəqiq nəticələr əldə etmək üçün real atmosfer şəraitində və real mühidə şüa enerjisinin zəifləmə dərəcəsini tədqiq etməyə imkan verən eksperimentlər aparmaq lazımdır.

Atmosferdə şüa enerjisinin molekulyar udulmasının hesablanması. Nəzəri araşdırmalar və laboratoriya eksperimentləri göstərir ki, şüa enerjisi maddələrin molekulları ilə udulmalar maddələrin mikrohissəciklərinin rəqsi və fırlanma hərəkətlərinin rezonans tezliklərinə uyğun dalğa uzunluqlarında baş verir. Rezonans tezlikləri molekulların atom çəkilərinin qiymətlərindən asılıdır. Məsələn, ozon çox aktiv olaraq qısa dalğalı şüalanmaları ($\lambda \leq 0,3 \text{ mkm}$) udur, məhz buna görə də qısadalğalı ultrabənövşəyi şüalar yer səthinə gəlib çatmır.

Şüalanmanın molekullarla udulması həm də molekulun yükünün rəqsindən və ya dipol momentindən asılıdır. Karbon qazı hesabına infraqırmızı şüaların udulması bu xarakterlə bağlıdır.

Görünən optik dalğaların duman şəraitlərində udulma xarakteri və bu diapazonda atmosferin şəffaflıq əmsalı cədvəl 4.2-də göstərilmişdir.

İnfraqırmızı dalğalar diapazonunda udulmalar əsasən molekulların daxilində atomların fırlanma, yaxud rəqsi hərəkəti ilə bağlıdır.

Molekulyar udulmaların miqdarı xarakteristikası şüalanmanın vahid hərəkət trayektoriyasına düşən molekulların miqdarından asılıdır. Məsələn, su həm maye halında həm də buxar halında infraqırmızı dalğaları zəiflədir, lakin müxtəlif aqreqat hallarında zəifləmə müxtəlifdir. Hətta suyun ən kiçik qalınlıqlarında 3...6mkm dalğaların udulması olduqca böyükdür. Su təbəqəsinin qalınlığı 10mm-dən çox olanda 2mkm-dən uzun dalğalar mühitdə tam udulur. Lakin su buxarı molekullarının kifayət qədər çoxluğunda belə infraqırmızı dalğalar sudakından olduqca yaxşı keçir.

Cədvəl 4.2

Koda görə ball	Görünüş məsafəsi, km	Atmosferin vəziyyəti	Şəffaflıq əmsalı
0	0,05	Çox qatı duman	-
1	0,2	Güclü duman	-
2	0,5	Orta duman	0,0004
3	1	Zəif duman	0,02
4	2	Çox güclü bürkü	0,14
5	4	Güclü bürkü	0,38
6	10	Zəif bürkü	0.67
7	20	Kafi görünüş	0,82
8	50	Yaxşı görünüş	0,92
9...10	50-dən çox	Olduqca yaxşı görünüş	0,95
10	150...270	İdeal atmosfer	0,99

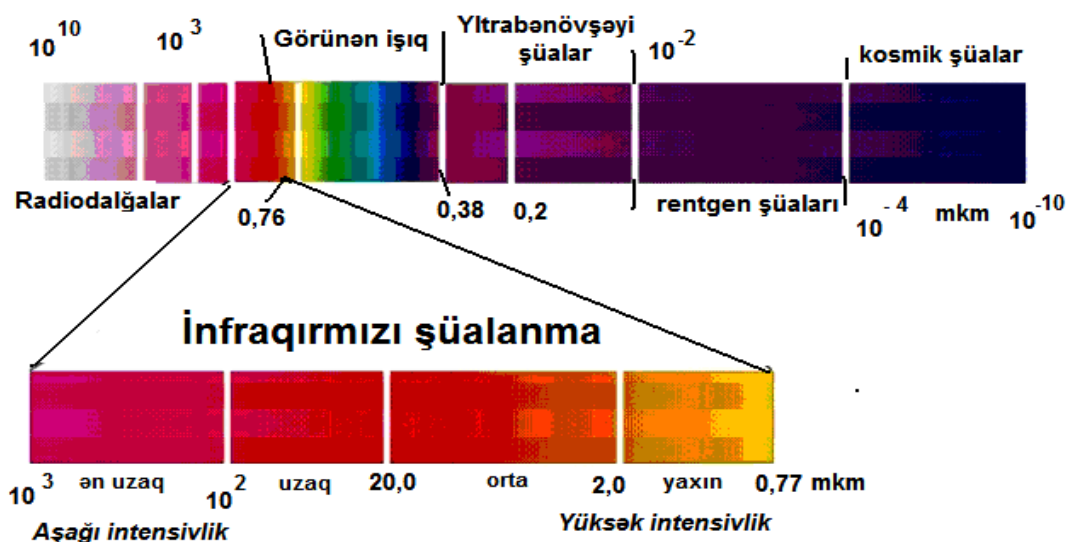
İnfraqırmızı şüalanmalar və onların məsafədən müşahidədə tətbiqi.

İnfraqırmızı (İQ) dalğaların spektri görünən optik dalğalar ilə radio-dalğalar arasında yerləşir. Elektromaqnit dalğalarının spektri və İK-şüalanmaların spektri şəkil 4.1- də göstərilmişdir. Hal-hazırda İQ-dalğalar günün istənilən vaxtı istənilən meteşəraitdə istər aktiv, istərsə də passiv müşahidə aparılması, teplopelenqasiya məsələlərinin yerinə yetirilməsi və s. üçün çox geniş tətbiq olunur.

İnfraqırmızı şüalanmaların təbiəti maddələrin bütün aqreqat hallarında atom və molekulyar proseslərlə bağlıdır. Ancaq müxtəlif maddələr infraqırmızı şüalanmaları, bir qayda olaraq hər hansı bir halında – plazma, qazşəkili, maye,

yaxud bərk halında ayırırlar. Əgər bir aqreqat halından o birinə keçərkən temperatur, dalğa uzunluğu infraqırmızı diapazonun sərhədlərindən daxilinə uzaqlaşmış şüalanma maksimumuna uyğundursa, onda bu cisim iki, yaxud üç aqreqat hallarında da infraqırmızı şüalanmalar yarada bilər.

Maddələrdə İQ şüalanma mənbəyi atomlar və molekullardır. Molekulların şüalandırması, molekulların tərkib hissələri olan atomların, yaxud atomlar qrupunun rəqs vəziyyətinin dəyişməsi, həmçinin, molekulların fırlanma hərəkətinin dəyişməsi ilə yaranır. Atomların şüalanması, elektronların yüksək enerji səviyyələri arasındakı keçidlərin nəticəsidir. Hər tip keçidə dar zolaqlı infraqırmızı dalğalar spektrinin şüalanması uyğundur. Spektrin, ayrı-ayrı atomların şüalanmasına uyğun olan atomar İQ xətlərinin əksəriyyəti nisbətən kiçik enə malikdirlər və görünən işıq spektrinin qırmızı hissəsinin yaxınlığında dalğa uzunluğu 0,76...2,5mkm olan yaxın infraqırmızı oblastda yerləşir. Spektrin bu oblastında nisbətən güclü kvant enerjinin şüalanması ilə müşayiət olunan molekul rəqsi hərəkətlərinin spektri yerləşir. Molekulların fırlanma hərəkətinin kvant şüalanması nisbətən az enerjiyə malik olduğundan, bu halda şüalanma uzaq infraqırmızı oblastda ($\lambda > 25\text{mkm}$) yerləşən spektrə malik olur.



Şək. 4.1. Elektromaqnit dalğalarının spektri

Energetik münasibətdə molekulların hiss olunacaq rəqsi hərəkəti adətən onun bir neçə fırlanma hərəkəti ilə müşayiət olunur.

Bu halda rəqsi hərəkətlərlə molekulların fırlanma hərəkətlərinin kvantlarının yalnız bir olmayan monoxromatik şüalanmadan ibarət olan kombinasiyası şüalanır.

Molekulların hərəkəti nəticəsində şüalanma spektrində zolaqların qarşılıqlı yerləşməsi onun strukturundan asılıdır və birbaşa şüalanan kvant enerjisi ilə

əlaqəlidir. Kvant nəzəriyyəsindən məlum olduğu kimi monoxromatik şüalanma eyni E_{kv} enerjisinə malik olan kvant selindən, dalğa nəzəriyyəsində görə isə eyni v tezliyinə malik olan elektromaqnit rəqslərdən ibarətdir. Bu halda $E_{kv} / \nu = \text{const}$ olur. Bu kəmiyyət h –kvant sabiti (Plank sabiti) adlanır və $h=6,626196 \cdot 10^{-34}$ C·san.

Şüalanma selinin şiddəti Ψ_e , yəni bir saniyə ərzində səthdən keçən enerji miqdarı bu səthdən bir saniyə ərzində keçən kvantların miqdarı ilə təyin olunur:

$$\Psi_e = N h \nu \quad (4.5)$$

Maddənin şüalandırdığı, yaxud udduğu enerjinin miqdarı kvant enerjisinin qiymətinə mütənasibdir. Kvant şüalanması enerjiyə və sürətə malik olduğundan, nisbilik nəzəriyyəsində əsasən kvant m_{kv} kütləyə və p_{kv} hərəkət miqdarına malikdir. M_{kv} və p_{kv} aşağıdakı düsturlarla təyin olunur:

$$M_{kv} = h\nu/c^2; p_{kv} = m_{kv}c = h\nu/c. \quad (4.6)$$

İnfraqırmızı şüalanmanın enerjisi və kütləsi, məsələn $\lambda = 10,0$ mkm olduqda aşağıdakı kimi hesablanır:

$$E_{kv} = 1,87 \cdot 10^{-20} \text{C} = 0,117 \text{eV};$$

$$m_{kv} = 1,32 \cdot 10^{-11} \text{a.k.v.} = 2,19 \cdot 10^{-38} \text{kq}$$

Radiodalğaların kvant enerjisi və kütləsi infraqırmızı şüalanmalardan olduqca az (4...6 dəfələrlə) qiymətə malikdirlər. Əksinə, qısdalğalı rentgen və qamma-şüalarının enerjisi və kütləsi müqayisədə çox böyükdür. Nəzərə alsaq ki, tarazlıq halında olan elektronun kütləsi $m_{el} = 9,12 \cdot 10^{-30} \text{kq}$, onda $\lambda = 10,0$ mkm olan infraqırmızı dalğa üçün $m_{kv} / m_{el} = 2,4 \cdot 10^{-7}$, sərt $\lambda = 10^{-5}$ mkm rentgen şüaları üçün bu nisbət 0,24, $\lambda = 2,4 \cdot 10^{-6}$ mkm olan qamma-şüalar üçün isə 1,0 olacaq. Sonuncu halda göründüyü kimi kvant kütləsi sakit elektronun kütləsinə bərabərdir. Bu halda kvant enerjisi $0,5 \cdot 10^6 \text{eV}$ qədər olur. $\lambda = 7,07 \cdot 10^{-8} \text{m}$ olan qamma-şüasının kvant enerjisi $2,88 \cdot 10^{-12} \text{C}$ və kütləsi, sakit elektronun kütləsindən 35 dəfə artıq olur. Qısa dalğalı şüalanmaların kvantının böyük kütləyə və enerjiyə malik olması ilə rentgen, korpuskulyar və qamma-şüaların daxil olub keçmə qabiliyyəti izah olunur.

Dalğa uzunluğu kiçildikcə elektromaqnit dalğalarının dalğa xassələri zəifləyir və kvant xarakteri güclənir, ona görə də difraksiya əsasən aşağı tezlikli rəqslərdə və radiodalğalarda kəskin xarakterə malik olur. Ona görə də qısa dalğalı elektromaqnit rəqslər kvant generatorlarının və gücləndiricilərinin

yaradılması daha effektiv olur. Məhz buna görə də, son illər elektromaqnit dalğaların optik spektrində işləyən lazerlər geniş tətbiq olunurlar.

Müəyyən olunmuşdur ki, atmosferin şəffaflıq zolağı adlanan optik dalğalar diapazonlarında ən az udulmalar baş verir: 0,7...0,9; 0,95...1,05; 1,2... 1,3; 1,5...1,8; 2,1...2,4; 3,3...4,2; 4,5...5,0; 8...14mkm.

Son illər vizual müşahidə təmin edən yeni növ müşahidə sistemlərinin işlənməsi və tətbiqi böyük aktualıq kəsb edir. Hal-hazırda videoinformasiyanın alınması üçün müxtəlif diapazonlu optik sistemlər istifadə olunur ki, bu da istənilən hava şəraitində və günün istənilən vaxtında müşahidə aparmağa imkan verir. Bu ilk növbədə optik diapazonlu vasitələrə xas olan bir sıra prinsiplial xüsusiyyətlərlə əlaqədardır:

- optik diapazonda elektromaqnit dalğalarının tezliyi radiodiapazonda olduğu ilə müqayisədə olduqca yüksəkdir. Məsələn, daha yaxşı mənimsənilmiş görünən və yaxın İQ spektr oblastında ($\sim 10^{15} \dots 10^{13}$ Hz) dalğaların tezliyi radio- və teleyayım oblastlarında olan radiodalğaların tezliyindən milyon dəfə artıqdır. Bu ilk növbədə optik rabitə və müşahidə kanalının yüksək informasiya tutumunu müəyyən edir. Adi televiziya təsvirinin ötürülməsi üçün 5MHz tezlik zolağı tələb olunur. Ona görə də metrlik dalğalar diapazonunda ($\lambda = 1\text{m}$, $f = 300\text{MHz}$) yalnız onlarla televiziya kanalı seçmək olar. Optik diapazonda isə tezliklərin qeyd olunmuş nisbətində kanalların sayı milyon dəfə artıq ola bilər.

- işıq dalğalarının uzunluğu radiodalğanın uzunluğu ilə müqayisədə olduqca kiçikdir. Bu da fəzada optik şüalanmanın yüksək konsentrasiyasını almağa imkan verir, çünki elektromaqnit şüalanmanın fokuslana bildiyi minimal həcm xarakterik ölçüləri dalğa uzunluğunun həddində olur. Şüalanmanın minimal itkilərlə ötürülə biləcəyi dalğaötürənlərin ölçüləri də dalğa uzunluğu həddində olmalıdır. Ona görə də eyni şərtlər daxilində optik dalğaötürənlər İYT-dalğaötürənlərlə müqayisədə çox kiçik ölçülərə malik olur. Bu isə elektron aparatın mikrominiaturlaşması nöqtəy-nəzərindən çox vacibdir. Bundan başqa xüsusi qeyd etmək lazımdır ki, optik diapazonda $0,1^\circ$ və daha kiçik olan istiqamətlənmə diaqramına malik olan ensiz şüa formalaşdırmaq olar. Radio dalğalar diapazonunda isə $\lambda = 1\text{m}$ dalğa uzunluğu üçün uyğun istiqamətlənmə diaqramı almaq üçün diametri yüzlərlə metr olan antena tələb olunur. Optik diapazonda belə antenanın funksiyasını yerinə yetirmək üçün məsələn, sferik güzgü, yaxud uyğun ölçülərə malik olan linza istifadə etmək olar, çünki antenanın ölçüləri dalğa uzunluğuna mütənasibdir.

- informasiyanın ötürülməsi fotonlarla yerinə yetirilir, bu isə giriş və çıxışın ideal qalvanik ayrılmasını, informasiyanın bir istiqamətliliyini, yüksək maneədayanıqlılığını, qarşılıqlı təsirlərin və müxtəlif elementlər arasında parazit əlaqələrin ardan qaldırılmasını təmin edir.

- informasiyanın optik metodlarla yazılması, saxlanması və emalı, informasiyanın paralel emalının yeni prinsiplərinin realizə edilməsi, yüksək sıxlığa malik informasiya yazılışının ($\sim 10^8 \text{bit/sm}^2$) əldə olunması imkanı hesabına yaddaş qurğularında və EHM-lərin yaradılmasında yeni imkanlar açır.

- radiolokasiya sistemləri ilə müqayisədə optik müşahidə sistemləri real videotəsvirin yazılması və yadda saxlanılmasını yerinə yetirməyə imkan verir.

- son illər 1,53...1,61mkm diapazonunda işləyən və spektral sıxlaşdırma və bir neçə mənbə, həmçinin optik-lifli (volokon-optik) gücləndiricilərdən istifadə etməklə optik-lifli ötürmə sistemləri yaradılmışdır. Bu sistemlər əsasında 1Tbit/san məhsuldarlığı təmin edən genişzolaqlı ötürmə sistemi yaradılmışdır. Bu 10Qbit/san sürətli rəqəmli verilənlərin işlənməsi kanallarının birləşdirilməsi hesabına təmin olunur.

Hal-hazırda bütün rəngləri təmin edən bir neçə qırmızı, yaşıl və göy rəngli işıqlanma verən işıqdiodlarından təşkil olunmuş bütün rəngləri təmin edən lampalar işlənilib hazırlanmışdır.

Həmçinin, yüksək effektivliyə malik olan UB- və İQ- diapazon dalğalı fotoqəbuledicilərin işlənməsi sahəsində də intensiv işlər aparılır.

Fotoqəbuledicilərin və onlar əsəsindəki məhsulların istifadə olunmasının ən perspektivli istiqamətləri:

- təsvirlərin rəqəmli qeydə alınması, işlənməsi və ötürülməsi sistemləri;
- yeni nəsil, o cümlədən, təsvirin yüksək dəqiqliyini təmin edən televiziya sistemləri;

- yerüstü İQ-rabitə və monitoring sistemləri.

Çoxrəngli böyük gücə malik olan HF (DF) – lazerlərin tətbiqi daha çox müşahidə və hədəfin spektral xarakteristikasına (aldebosuna) cavab verən şüalanma dalğa uzunluğunun və hədəfin energetik işıqlanmasını seçməyə imkan verir. Hal-hazırda texnikanın müxtəlif sahələrində bu növ lazerləri istifadə etməklə müşahidə etmək və lokasiya aparmaq imkanları öyrənilir. Aparılan ilkin araşdırmalar və hesablamalar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, atmosferin yerə yaxın qatlarında və yerin səthində məhdud görmə şəraitində lazerlərdən istifadə etməklə: gecə vaxtı, dumanda, tüstü və s. şəraitdə lokasiya aparmaq və hədəflərin müşahidəsini aparmaq mümkündür. Bütün bunları həyata keçirmək üçün kompleks ötürücüqəbuledici apparaturanın yaradılması tələb olunur.

Bildiyimiz kimi indiyə qədər videoinformasiyanın alınması üçün daha aktiv olaraq iki spektral diapazon: görünən diapazon və İQ-diapazonun teplopelenqasiya adlanan (8-14mkm) diapazonu istifadə olunur. Hər iki diapazonda həm aktiv, həm də passiv müşahidə metodları istifadə olunur. Ancaq qeyd etmək lazımdır ki, bu diapazonda işləyən qəbul aparaturasının işi bir çox hallarda bir çox çətinliklərlə üzləşir. Belə ki, görünən diapazon şüaları

atmosferdə aerozollarda kəskin səpələnir, teplopelenqasiya diapazonu isə küylərin səviyyəsinin yüksək olması və ayırdetməsinin aşağı olması ilə xarakterizə olunur. Nisbətən aralıq olan optik diapazonda maneə yaradan faktorların təsiri olduqca aşağıdır, həm də bu diapazonda işləmək üçün aktiv müşahidə metodları və yüksək həssaslığa malik olan və o qədər geniş inkişaf etməmiş fotoqəbuledici qurğuların olması tələb olunur. Bu baxımdan İQ-diapazonun 2-5 mkm spektral diapazonun öyrənilməsi və bu diapazonda işləyən apparaturanın işlənməsi aktual problemlərdən biridir. Bu diapazonda işləyən mövcud aparatura və komplekslər hələlik yalnız bir çox spesifik hədəfləri, məsələn start raketlərini, yaxud reaktiv təyyarələrin müşahidəsini aparmaq üçün istifadə olunur.

Aktiv optik-elektron sistemlərinin işlənməsi optimal spektral xarakteristikalara malik olan kompakt, güclü və eyni zamanda qənaətcil işıqlandırma mənbələrinin yaradılması ilə bağlı olan çətinliklərlə üzləşir. Ola bilər ki, optoelektronikanın bir çox sahələrinin belə sürətlə inkişaf etməsinə baxmayaraq lazer lokasiyasının inkişafında aşkar şəkildə gözə çarpan elə bir tərəqqi görünür.

Lakin bütün bunlarla yanaşı informasiya texnologiyalarının inkişafı optik lokasiyanın, məsələn yerətrafi fəzanın monitorinqində, atmosferin zondlanmasında və lazer spektrzona çəkilişlərinin aparılmasında geniş tətbiq olunmasında imkan yaradır. Eyni zamanda mövcud optoelektron cihazlarının və onların əsasında qurulan sistemlərin mülki aviasiyada tətbiqini tapması bu gün reallaşmaqda olan və çox böyük praktiki əhəmiyyət kəsb edən bir məsələdir. Perspektivdə lazer texnikasının inkişafı belə məsələlərin həllində matrisli PZS-tipli fotoqəbuledicilərin tətbiqi ilə təsvirlərin qurulmasına şərait yaradır. Heç şübhəsiz ki, belə sistemlərin perspektivdə işlənilib tətbiq olunması televiziya müşahidə sistemlərinin və başqa növ müşahidə sistemlərinin həll edə bilmədiyi məsələlərin (məsələn, qeyd etdiyimiz kimi gecə vaxtı, duman və üstüdə və s. obyektlərin, müşahidəsinin aparılması və s.) həllinə nail olmağa imkan verəcəkdir.

Baxmayaraq ki, hal-hazırda geniş tətbiq olunan bir çox radiolokasiya qurğuları qeyd olunan məsələlərin bir çoxunu həll etməyə imkan verir, lakin məlum olduğu kimi bu sistemlərdə yalnız aktiv lokasiya prinsipləri istifadə olunur.

Araşdırmalar və energetik hesablamalar bunu deməyə əsas verir ki, İQ-qəbuledicilər əsasında qurulmuş müşahidə sistemləri 10-30km məsafə radiusunda passiv müşahidə aparmağa imkan verir, bu da öz növbəsində belə sistemlərin xalq təsərrüfatının bir çox sahələrində, xüsusən də mülki aviasiyada tətbiqinə imkan yaradır. Xüsusən də aerodrom zonasında aeronaviqasiya

məsələlərinin və havada hərəkətin idarə edilməsi (HHİE) məsələlərinin həllində İQ-lərin tətbiq edilməsi yeni perspektivlər açır.

4.2. Optoelektron cihazların ümumi xarakteristikası və element bazasının müasir vəziyyəti

Optoelektron cihazlar dedikdə optik diapazonlu elektromaqnit dalğalarını (görünən, infraqırmızı (İQ) və ultrabənövşəyi) hasil edən və onları istifadə edən, həmçinin, bu dalğalara həssas olan cihazlar başa düşülür. Optik diapazona dalğa uzunluğu 1 nm-dən 1 mm-ə qədər (tezliyi uyğun olaraq $3 \cdot 10^{11}$ -dən $3 \cdot 10^{17}$ -yə qədər) olan elektromaqnit dalğaları aid edilir. Praktikada əsasən daha dar diapazon 10nm – 0,1mm (tezliyi $3 \cdot 10^{12}$ - $3 \cdot 10^{16}$) istifadə olunur. Görünən işıq diapazonunun dalğa uzunluğu 0,38 – 0,78 mkm – dir. Dalğa uzunluğu $< 0,38$ mkm olan optik dalğalar ultrabənövşəyi, $> 0,78$ mkm olanları isə infraqırmızı (İQ) dalğalar adlanır. İQ dalğaların praktiki mənimsənilmiş diapazonu $(30 \dots 15) \cdot 10^{-6} \dots 7,6 \cdot 10^{-7}$ m, nəzəri isə $5 \cdot 10^{-4} \dots 7,6 \cdot 10^{-7}$ m təşkil edir. Öz növbəsində İQ diapazon yaxın (0,78mkm – 2,5 mkm), orta (2,5 – 50mkm) və uzaq (50 -2000mkm) İQ diapazonlarına bölünür (şək.4.1).

Texnikada şüalanma mənbələrindən (şüalandırıcılardan), şüalanma qəbuledicilərindən və optronlardan (optocütlərdən) və onları istifadə etməklə qurulan elektron qurğulardan geniş istifadə olunur.

Şüalanma mənbələrindən ən geniş istifadə olunanları işıq diodları və lazerlər, şüalanma qəbulediciləri kimi isə fotorezistorlar, fotodiodlar, fototranzistorlar və fototiristorlardır.

Optronlar, konstruktiv baxımdan birləşmiş və bir korpusda yerləşdirilmiş şüalandırıcıdan və şüalanma qəbuledicisindən təşkil olunmuş cihazlar olub, işıq diodu və fotodioddan, işıq diodu və fototranzistordan, işıq diodu və fototiristor cütlərindən ibarət olanları daha geniş tətbiq tapmışdır.

Oproelektron cihazlar aşağıda verilmiş əsas üstünlüklərə malikdir:

- optik diapazonda istifadə olunan işi tezliklər yüksək olduğundan optik informasiya ötürmə kanallarında yüksək informasiya tutumunun təmin edilməsi;
- şüalanma mənbəyi ilə şüalanma qəbuledicisinin tam qalvanik ayrılması;
- şüalanma qəbuledicisinin şüalanma mənbəyinin işinə heç bir təsirinin olmaması (informasiyanın biristiqamətliliyi);
- optik kanalların elektromaqnit sahələrinə həssas olmaması (yüksək maneə dayanıqlığı).

Öz satış həcminə görə optoelektron cihazlar yarımkəçirici cihazların siyahısında birinci yer tutur və ildə 18-20 mill. doll. qədər təşkil edir. Heteroepitaksial strukturlar əsasında yerinə yetirilən işıq şüalandırıcı diodlar

(İŞD) işıq ayrılmasını 25 lm/Vt səviyyəsində təmin edir ki, közərmə lampalarında bu 15lm/Vt həddidədir. Super işıqlı diodlar əsasında geniş formatlı rəngli küçə ekranları yaradılır. Dünyada ən böyük 36x27 m ölçülü displey Nyu-Yorkda quraşdırılmışdır. O, 1mld-dan çox rəng və çalarları canlandıran 19 mln. qırmızı, yaşıl və göy rəngli işıq diodlarına malikdir. Ekran mətn, qrafik və videoinformasiyanı canlandırır, yüksək keyfiyyətli dəqiq rəngli təsvir formalaşdırır və video və kompüter mənbələrinin siqnallarının standartları ilə işləyir. Orqanik və polimer materiallar əsasında hazırlanan ucuz İŞD-lərin istifadə olunması bu sahədə perspektivli hesab olunur.

Maye kristal ekranlarla müqayisədə polimer materiallar əsasında tam rəngli informasiya ekranları bir sıra üstünlüklərə malikdir:

- nisbətən ucuz olması;
- hazırlanma texnologiyasının sadəliyi;
- qida gərginliyinin az olması;
- çox yüksək dəyişmə sürəti;
- rənglərin geniş seçimi və təsvirin yüksək dəqiqliyi.

Optoelektron cihazlar mobil telefonların, məhz portativ displeylərin perspektiv elementləridir.

Yüksək ayırdetmə qabiliyyətinə (800x600 - ə qədər) və 100kBit/s - dən çox sürətə malik olan rəngli displeylərə keçid orqanik İŞD - lər əsasında displeylərin istehsalı zamanı mümkündür.

Qiymətinin baha olmasına görə böyük küçə ekranlarının geniş tətbiqi məhduddur. Maya dəyərinin bir tərtib azaldılması bu məhsulun rentabelliğini xeyli artırır.

4.3. Optoelektron şüalanma mənbələri

4.3.1. İstilik təbiətli şüalanma mənbələri. Optik şüalanma yaranma mexanizminə görə istilik, lüminessensiya və injeksiya təbiətli olur. Müəyyən temperatura qədər közərdilmiş cismin şüalanması istilik təbiətlidir. İstilik şüalanma qanunu 1900 – cü ildə alman fiziki Faks Plank tərəfindən kəşf olunub. Plankın əsas ideyası enerjinin porsiyalarla şüalandırılması olmuşdur. Hər porsiya şüalanma kvantı adlanır.

Kvant enerjisi $E = h \cdot \nu = \frac{hc}{\lambda} = \hbar \omega$ kimidir. Burada $h = 6.625 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}$ -

Plank sabiti, $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/san}$ işığın vakuumda yayılma sürəti, ν - xətti tezlik, ω –dairəvi tezlik, λ - dalğa uzunluğudur.

Planka görə vahid tezlik intervalında şüalanma enerjisinin həcmi sıxlığı

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}, (C \cdot san / m^3) \quad (4.7)$$

kimi, vahid dalğa uzunluğu intervalında isə

$$\rho(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}, (C / m^4) \quad (4.8)$$

kimidir. Bu ifadələr Plank funksiyaları adlanırlar. Bu funksiyalar əsasında şüalanma enerjisinin həcmi sıxlığı

$$\rho = \int_0^{\infty} \rho(\nu, T) d\nu = a \cdot T^4 \quad \text{və ya} \quad \rho = \int_0^{\infty} \rho(\lambda, T) d\lambda = a \cdot T^4 \quad (4.9)$$

kimi, mütləq qara cismin şüalanma qabiliyyəti isə

$$u(\lambda, T) = \frac{c}{4} \cdot \rho(\lambda, T), \quad u = \frac{c}{4} \cdot \rho = \sigma \cdot T^4 \quad (4.10)$$

kimi hesablanır. Bu ifadələrdə $k = 1.38 \cdot 10^{-23} C / K$, - Bolsman sabiti,

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Vt} \cdot m^{-2} \cdot K^{-4} \quad - \text{ Stefan-Bolsman sabiti,}$$

T - mütləq temperaturdur.

Şüalanmanın bütün spektri üzrə şüalanma selinə əsasən təyin olunan temperatur effektiv temperatur adlanır. Qeyd edək ki, Günəş üçün bütün şüalanma spektrində şüalanma seli $6.33 \cdot 10^7 \frac{\text{Vt}}{m^2}$, effektiv temperatur isə 5785K-dır.

$\rho(\lambda, T)$ – asılılığının qrafikində (şəkil 4.2) $T = 300K^0$ – insan bədəninin temperaturuna, $T = 6000K^0$ – isə Günəşin temperaturuna uyğundur.

Şəkil 4.2 - də temperaturun müxtəlif qiymətlərində $\rho(\lambda, T)$ - əyriləri təsvir olunmuşdur. Göründüyü kimi temperatur artdıqca maksimum şüalanmaya uyğun dalğa uzunluğu qısa dalğa oblastına sürüşür.

Praktikada Plank düsturlarının limit qiymətlərindən istifadə olunur. Məsələn, yüksək tezlik oblastı üçün $h\nu > kT$, Plank düsturunda vahidi nəzərə almamaq olar və

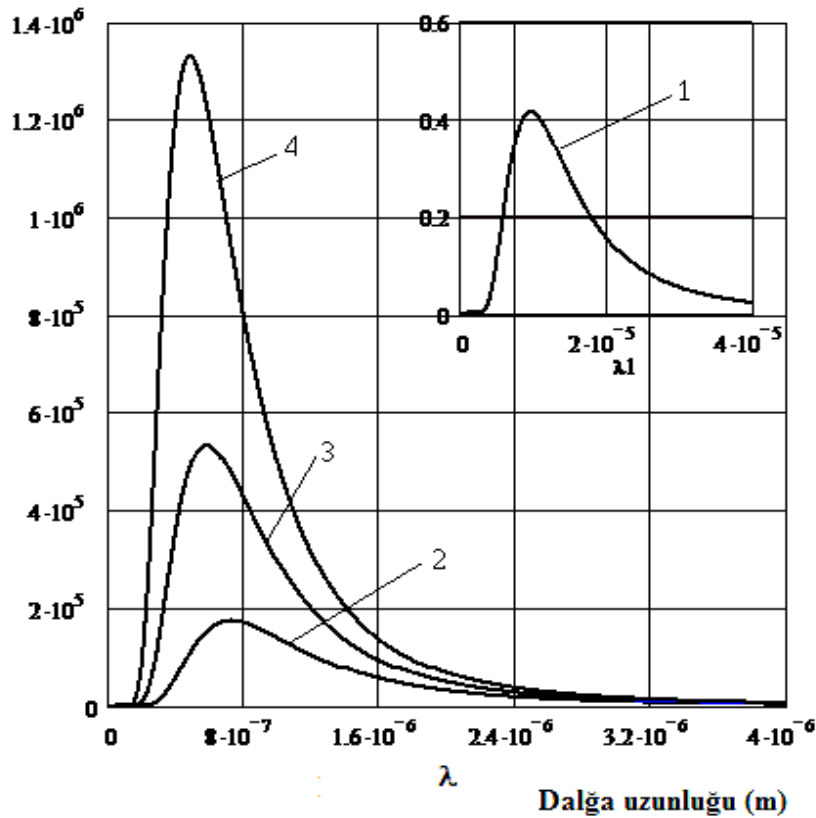
$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)}, (C \cdot san / m^3) \quad (4.11)$$

alırıq. Bu ifadə Vinin şüalanma qanunu adlanır.

Aşağı tezlik oblastında isə $h\nu < kT$, Plank düsturunda $\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) \approx \frac{h\nu}{kT} + 1$ - olduğunu nəzərə alsaq

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi \nu^2 kT}{c^3}, (C \cdot san / m^3) \quad (4.12)$$

alırıq. Bu ifadə Reley-Cins qanunu adlanır. Astrofizikada infraqırmızı və radio diapazonda bu qanundan istifadə olunur.



Şəkil 4.2. Şüalanma enerjisinin həcmi sıxlığının $\rho(\lambda, T)$ – qrafiki asılılığı.
1 - $\rho(\lambda, 300)$; 2 - $\rho(\lambda, 4000)$; 3 - $\rho(\lambda, 5000)$; 4 - $\rho(\lambda, 6000)$

Plank düsturları atomlarda kvant keçidləri əsasında nəzəri olaraq 1916-cı ildə Albert Eynşteyn tərəfindən çıxarılmışdır. İfadə fotonlar üçün Boze-Eynşteyn paylanması xüsusi halıdır.

Real cisimlər üçün şüalanmanın gücü

$$W = \varepsilon(\lambda, T) \cdot \sigma \cdot T^4 = (1 - \exp(-\beta \cdot T)) \cdot \sigma \cdot T^4$$

ifadəsi ilə hesablanır. Burada $\varepsilon(\lambda, T)$ - cismin şüalanma əmsalı, β - cisim üçün sabit kəmiyyətdir və şüalanmanın temperatur əmsalı adlanır. Temperatur artdıqca şüalanma əmsalı vahidə yaxınlaşır.

Volfram maddəsi üçün $\beta = 1.47 \cdot 10^{-4}, K^{-1}$ qiymətə malikdir. Elektron közərmə lampasında volfram közərmə telindən istifadə olunur və onun temperaturu 2100-2200 K olur. Temperatur artıqda közərmə lampasının f.i.ə. artır. Lakin bu zaman mənbədən sərf olunan güc də artır və lampanın istismar müddəti azalır. Gərginliyin və gücün optimal qiymətləri lampanın texniki göstəriciləri kimi onun pasportunda qeyd olunur. İstismarı zamanı közərmə lampası qoşulduqdan sonra iş rejiminin qərarlaşması üçün müəyyən müddət (5-10% işlədilmə müddətində) gözlənilməlidir və bundan sonra ölçmələr aparıla bilər.

Közərmə lampalarının istismar müddətini və şüalandırma qabiliyyətini yüksəltmək üçün onun balonu hallogen birləşməli qazlarla doldurulur. Doldurucu qaz kimi yod buxarı, dibrometan, hidrogen bromid və s. işlədilir. Yüksək təzyiqli hallogen qazı volfram telinin buxarlanmasını zəiflədir və şüşə örtüyü qaralmadan qoruyur. Köhnə nomenklaturada KQM kimi göstərilir. Məsələn KQM12-100 (12V, 100Vt).

Közərmə lampalarının işlədilməsini məhdudlaşdıran əsas cəhətlər aşağıdakılardır:

- Geniş spektral diapazona malikdir və monoxromatik deyil;
- Ətalətlidir, modulyasiya üçün yararlı deyillər;
- Ölçüləri böyükdür, integral texnologiya üçün yararlı deyillər və mexaniki zərbəyə davamlı deyillər.

4.3.2. Lüminessensiyalı şüalanma mənbələri. Belə mənbələrdə şüalanma üçün cismin qızdırılması tələb olunmur. Bunlar soyuq işıq mənbələridir. Əsas cəhətlərindən biri odur ki, enerji mənbəyi ayrıldıqdan sonra da, şüalanma davam edir.

Lüminessensiyanın yaranma səbəblərinə görə onu foto, elektrik, kimyəvi və s. lüminessensiyalara bölürlər. Məsələn lüminessent şüalanma müddəti $t > 10^{-8}$ san olarsa buna fosforolüminessensiya, $t < 10^{-8}$ san olarsa buna flüoressensiya deyilir.

Lüminessensiya edən maddələr bərk, maye və qaz hallarında olurlar. Məsələn, qaz boşalma lampaları lüminessent mənbələridir. Onların iş prinsipini ionlaşma və rekombinasiya hadisələri təşkil edir. İşçi mühit kimi müxtəlif növ qazlar və metal buxarları götürülür. Şüalanmanın spektri işçi mühitin növündən asılıdır. Mühiti təşkil edən maddəni seçməklə uyğun dalğa uzunluğuna malik

güclü mənbə yaratmaq mümkündür. Bəzi hallarda lüminessent lampalar modulyasiya üçün də yararlı olurlar.

Lüminessent qaz boşalma lampaları həm impuls, həm də kəsilməz rejimdə işlədilir. Həm sabit, həm də dəyişən gərginlik mənbələrindən qidalandırılırlar. Kəsilməz rejimli lampalara nümunə kimi civə-kvars, ksenon, neon və digər lampaları göstərmək olar. Az enerji tələb edən neon lampalarından siqnal indikatorları kimi istifadə olunur.

Lüminessensiya hadisəsi iki mərhələdən ibarətdir. Birinci mərhələdə mənbəyin enerjisi hesabına mühit həyəcanlandırılır və generasiya – ionlaşma prosesi baş verir. Lüminessensiyanın növünü bu mərhələ təyin edir.

İkinci mərhələdə generasiya olunmuş zərrəciklər rekombinasiya olunur və şüalanma yaranır. İkinci mərhələ bütün növ lüminessensiyalar üçün eynidir.

Son zamanlar geniş qadağan zolaqlı yarımkeçiricilərdən daha çox istifadə olunur. Lüminessensiyanın baş verməsi üçün maddədə lüminessensiya mərkəzləri olmalıdır. Belə mərkəzlər rolunu kristalda düzgün quruluşun pozulduğu yerlər (kristal defektləri) oynayır (məsələn aşqar atomlar).

Rekombinasiya prosesləri həmişə şüalanma ilə nəticələnir. Bəzi mərkəzlərdə ayrılan enerji istilik rəqslərinə (fononlara) çevrilir. Bunlar rekombinasiyanı söndürmə mərkəzləri adlanırlar.

4.3.3. Optik kvant generatorları. Mazerlər və lazerlər. Optik kvant generatorlarının (OKG) iş prinsipi məcburi şüalanma yolu ilə şüalanmanın güclənməsinə əsaslanır. *Lazer* sözü ingiliscə *Light amplification by stimulated emission of radiation* sözlərinin baş hərflərindən düzəldilib və hərfi tərcüməsi məcburi şüalanma yolu ilə işığın gücləndirilməsi deməkdir.

OKG - lər müxtəlif əlamətlərə görə təsnif olunurlar. Aktiv mühitin aqreqat halına uyğun olaraq fərqləndirilən OKG - lər aşağıdakılardır:

- aktiv mühiti qaz olan OKG;
- aktiv mühiti bərk cisim olan OKG;
- aktiv mühiti yarımkeçirici olan OKG;
- aktiv mühiti maye olan OKG.

Qazlarda məcburedici şüalanma yaratmaq üçün qaz atomunun, molekulunun və ionun enerji səviyyələrindən istifadə olunur. Uyğun kvant generatorları atomar, molekulyar və ion generatorları adlanır.

Atomun enerji səviyyəsinə əsaslanan OKG-lər çox güclü olmur və əsasən infraqırmızı və orta qırmızı spektral diapazonda məcburi şüalanma yaradırlar. Əsas şüalanma xətləri 1-25 mkm oblastı əhatə edir.

Aktiv mühiti ionlar olan OKG görünən və ultrabənövşəyi oblastda şüalanma yaradır.

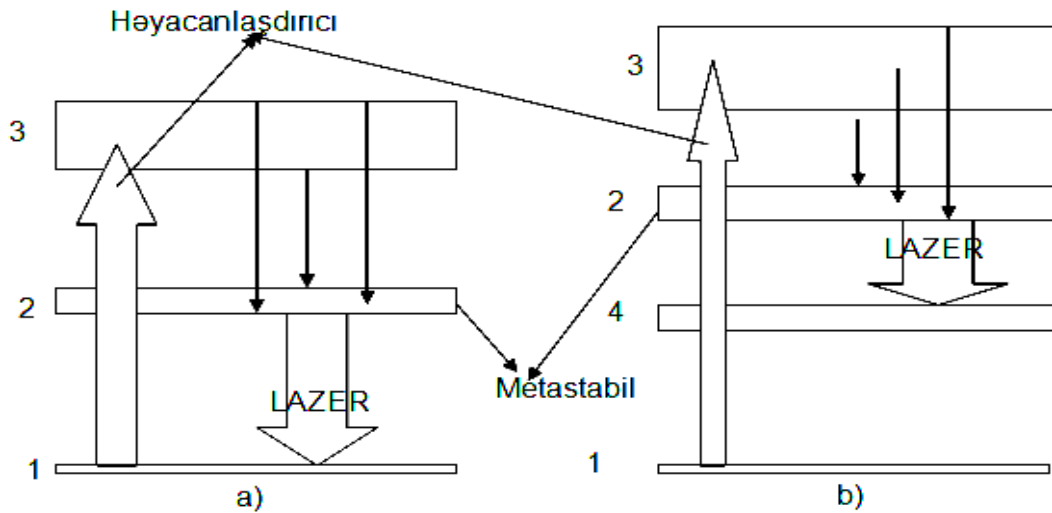
Molekulyar generatorlar isə $\lambda > 5$ mkm oblastında çox güclü mənbələrdir.

İstifadə olunan rezonans sistemlərə görə OKG -lər xətti və dairəvi rezonatorlu olurlar. Dairəvi rezonatorlu OKG iş prinsipinə görə bəzən qaçan dalğalı da adlandırılır. Dairəvi OKG-lərdə şüa dəsti qapalı kontur üzrə hərəkət edir.

İşçi rejiminə görə OKG-lər impuls və müntəzəm şüalandıran olurlar. Şüalanma tezliyinə görə onlar infraqırmızı, görünən və ultrabənövşəyi olurlar.

Aktiv mühitdə istifadə olunan enerji səviyyələrinin sayına görə OKG-lər üç səviyyəli və dörd səviyyəli olurlar (şəkil 4.3).

1→3 keçidində xarici mənbəyin enerjisi həyəcanlanmaya sərf olunur. 3→2 keçidi şüalanmasız keçiddir. 2 - metastabil səviyyədir. Həyəcanlandırıcı təsir (mənbə) güclü olduqda 2 səviyyəsi 1-ə nisbətən invers (2 səviyyəsinə daha çox atom yığılır) olur. 4 səviyyəli sistem daha effektivdir. 4-cü səviyyə 1-dən uzaqda yerləşəndə 2 və 4 arasında invers hal yaradılır və şüalanma daha güclü olur. 4-cü səviyyənin dolmasını azaltmaq olar. Bunun üçün aktiv mühit maye azot temperaturuna qədər soyudulur.



Şəkil 4.3. Üç səviyyəli (a) və dörd səviyyəli (b) lazer qurğular üçün enerji səviyyələrinin quruluşu

Aktiv mühit üçün əsas tələblər aşağıdakılardır:

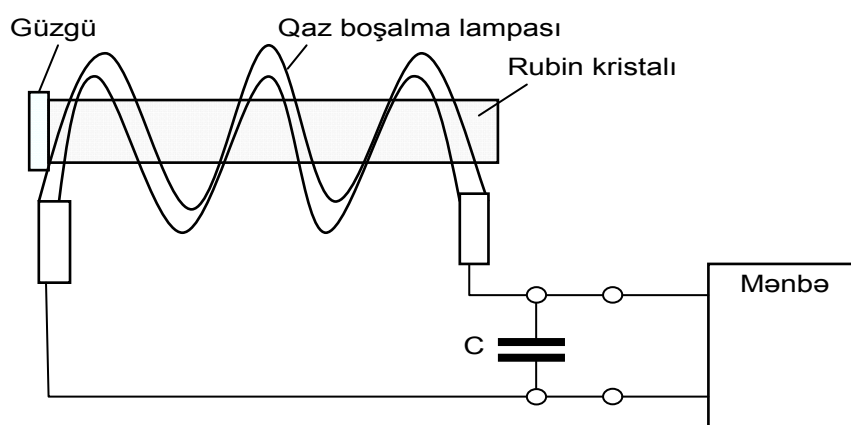
1. Spektral şüalanma xətti ensiz olmalıdır;
2. Həyəcanlanmada spektral səviyyə çox enli olmalıdır;
3. Şüalanmasız keçiddə enerjinin udulması minimum olmalıdır;
4. Metastabil səviyyənin yaşama müddəti çox olmalıdır;
5. İşçi keçid üçün kvant çıxışı yüksək olmalıdır;

6. Dörd səviyyəli sxem üçün son səviyyə əsas səviyyədən uzaq olmalıdır;

7. Aktiv mühitin optik xassələri yüksək olmalıdır.

Məsələn rubin-korund (Al_2O_3 və az miqdarda 0,03-0,05% xrom aşqarı) əsasında lazerlər üçün kristalın eni $d=(0,4\div 2)$ sm , uzunluğu $l=(3\div 20)$ sm olur. Həyəcanlandırıcı mənbə kimi impuls rejimdə işləyən qaz boşalma lampasından istifadə olunur. Boşalma lampasını qidalandıran yüksək gərginlik mənbəyinin çıxışları 1000 mF tutuma malik kondensatorla şuntlanır. Lazer şüalanması 0,6943 mkm dalğada yaranır.

Rubin (yaqut) lazerinin prinsipial sxemi və onda gedən proses şəkil 4.4-də göstərilmişdir.



Sək. 4.4. Rubin lazerinin prinsipial sxemi.

4.3.4. Molekulyar generatorlar. Mazerlər. Belə generatorlar ultraqısa dalğada şüalanma yaradırlar. NH_3 – aktiv mühitli generator üçün $\lambda \approx 1,27$ sm-dir. Bu ilk yaradılan OKQ qurğusudur. Onun yaradıcıları Basov, Proxorov və Taunsom öz kəşfləri üçün Nobel mükafatı almışlar. Bu generatorlar mikrodalğa oblastında işlədiyi üçün Mazer adlandırılıb.

Bu generatorlarda məcburi şüalanma yolu ilə güclənmə yaratmaq üçün iki enerji səviyyəsindən istifadə olunur. Belə enerji səviyyəsinə malik çoxlu mühitlər var. Məsələn NH_3 – ammoniyak və H_2 – hidrogen belə mühitlərdəndir. Mazerlərin iş prinsipi kvant mexanikasının qanunları əsasında izah olunur .

NH_3 – əsasında mazerin iş prinsipini izah etmək üçün bu molekulun xassələri, fəza simmetriyası, dipol momenti, hal funksiyası, molekulun müəyyən səviyyədə olma ehtimalı nəzəri cəhətdən araşdırılmışdır. Nəzəriyyənin verdiyi nəticələr təcrübədə özünü doğruldur.

NH_3 – aktiv mühit əsasında molekulyar generatorunun quruluşunu şəkil 4.5 - dəki kimi təsvir etmək olar.

NH_3 - molekulu xüsusi mənbədən alınır və bu molekullar dəstəsi tarazlıq halındadır. Səviyyəyə görə paylanma Bolsman qanununa tabedir:

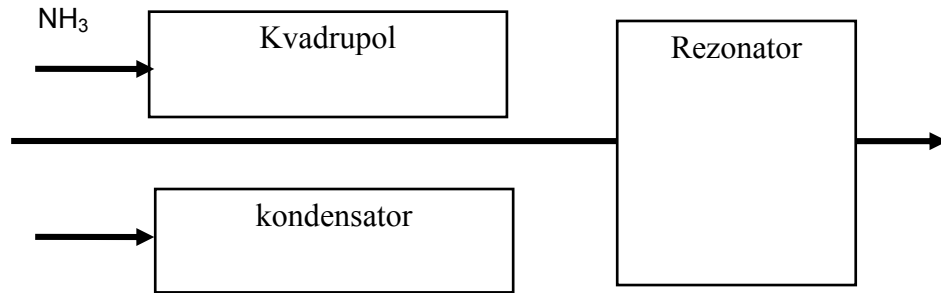
$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-\hbar\omega / kT} \quad (4.13)$$

Uyğun enerji səviyyələrini E_2 və E_1 ilə işarə edək. İlkin molekullar E_1 - səviyyədədir. Molekulyar dəst kvadrupol kondensatorun elektrik sahəsindən buraxılır, bu sahə aşağı səviyyədə olan molekulları meyyl etdirərək dəstdən çıxarır, nəticədə mənfə temperaturada malik molekulyar dəst alınır.

Sonra bu dəst rezonatora daxil edilir. Bu rezonatorun məxsusi tezliklərindən biri

$$\omega_0 = \omega = (E_2 - E_1) / \hbar \quad (4.14)$$

uyğun gəlir. Rezonatorun bu tezliyi məcburi keçid yaradır və nəticədə rezonatorun çıxışında əksər molekullar aşağı səviyyədə olurlar. Beləliklə, həyəcanlanmış molekulların enerjisi rezonatorun rəqslərini gücləndirir. Güclənmə o vaxta qədər artır ki, elektromaqnit şüalanması zamanı rezonatoru tərk edən enerji ona daxil edilən enerji ilə tarazlaşır.



Şəkil 4.5. Ammonyak mazerinin quruluşu

Beləliklə, molekulyar generatorlarda molekulların həyəcanlanma enerjisi rəqsi hərəkətin enerjisinə çevrilir. Bu səbəbdən molekulyar generator avtorəqs sistemidir. Məcburi şüalanmada yaranan tezlik, məcburedici şüaların tezliyi ilə eyni olduğu üçün burada əks əlaqə yaranır. Yəni yaranan şüalanma özü məcburedici şüa rolunu oynayır.

Molekulyar generatorun ən mühüm xassəsi, çox stabil tezliyə malik olmasıdır. Belə stabil tezlik molekulyar saatlarda istifadə olunur. Məsələn, dalğa

uzunluğu $\lambda = 21 \text{ sm}$ uyğun hidrogen molekulu əsasında yaradılan molekulyar saatın köməyi ilə Yerın gündəlik fırlanmasında qeyri sabitlik aşkar edilmişdir.

4.3.5. Lazer qurğuları. Optik diapazon üçün çeşidləyici və həm də ayırıcı qurğu mövcud deyil. İnvərs və ya mənfi temperaturlu səviyyə elektromaqnit şüalanmasının təsiri ilə yaradılır. Bu zaman yalnız iki enerji səviyyəsindən istifadə etmək kifayət etmir. Fərz edək ki, silindrik L uzunluqlu A qabı aktiv mühitlə doldurulur (şəkil 4.6). Mühitdə intensivliyin azalması Buqer qanunu ilə ifadə olunur:

$$J = J_0 e^{-\alpha L} \quad (4.15)$$

Burada $\alpha = 2\pi\chi\nu$ - udma əmsalı, χ - mütləq udma əmsalı, ν (sm^{-1}) –dalğa ədədidir. $\alpha < 0$ olduqda şüalanmada güclənmə yaranır. C1 və C2 güzgüləri paraleldir. Paralel olmayan şüalar qurğunu tərk edir. Şüalar güzgüdən çoxlu sayda əks olunur və məcburi şüalanmada güclənmə yaradırlar. Əgər əks olunmada itki azdırsa və n xarici mənbə invərs dolmanı təmin edirsə, şüanın parlaqlığı L getdikcə artır. Güzgünün biri yarım şəffaf düzəldilir və çıxan şüa ciddi paralel olur.

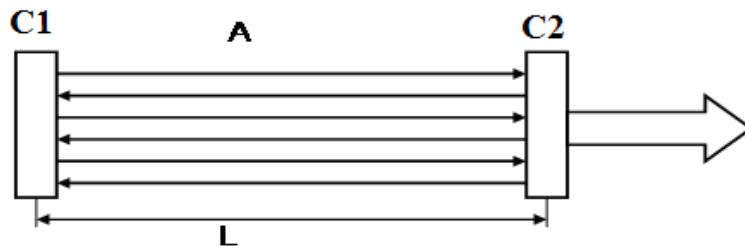
Udma əmsalı α rezonans xarakterlidir və belə ifadə olunur:

$$\alpha = \frac{\omega}{cn} \cdot \frac{4\pi |d_{lm}|^2 \gamma_{lm}}{\hbar} \cdot \frac{N_m - N_i}{(\omega_{lm} - \omega)^2 + \gamma_{lm}^2} \quad (4.16)$$

Burada keçid yol verilən $|d_{lm}|^2 \neq 0$ olmalıdır və $N_m > N_i$ - şərti ödənməlidir. Rezonans üçün isə $\omega_{lm} \approx \omega$ olmalıdır.

Lazer qurğuları üç əsas element əsasında təşkil olunur:

1) Kvant mikrosistemi – bu aktiv mühitdir; 2) Şüalanma mənbəyi – bu həyəcanlandırıcı mənbə və ya invərs doldurma mənbəyidir; 3) Rezonator – müsbət əks əlaqə yaratmaq üçündür.



Şəkil 4.6.

4.3.6. Optik işıqlanmanın modulyasiyası və optik modulyatorlar.

Optik şüalanma – amplitudu, tezliyi, fazası və polyarizasiyası ilə xarakterizə olunur. Seçilmiş istiqamətdə intensivlik vektoru həm zamana, həm də istiqamətə görə harmonik qanunla dəyişir:

$$E(x, t) = E_m \cos\left(2\pi\nu t - \frac{2\pi\nu n}{c} \cdot x + \varphi_0\right) \quad (4.17)$$

Şüalanmanın modulyasiyası dedikdə bu parametrlərdən hər hansı birinin tələb olunan qanunla zamana (t) və ya koordinata (x) görə dəyişdirilməsi başa düşülür. Adətən modulyasiya olunan parametrin dəyişdirilmə qanunu optik şüalanma ilə ötürülən informasiyaya uyğun olur. Başqa sözlə, informasiya ötürücüsü kimi lazer şüası istifadə olunursa, informasiya lazer şüalanmasının hər hansı parametrinin birinə daxil edilir.

Məsələn: İnformasiya şüalanma intensivliyinə daxil edilsə, bu intensivliyin modulyasiyasıdır. Digər növ modulyasiyalara tezlik, faza və polyarizasiya modulyasiyası aiddir.

Modulyasiya funksiyasını yerinə yetirən qurğu modulyasiya qurğusu adlanır. Modulyasiya qurğularına aşağıdakılar aiddirlər:

1. Modulyatorlar - lazer şüasının bir və ya bir neçə parametrini eyni zamanda verilən qanunla dəyişdirən qurğu;
2. Deflektorlar – lazer şüasının vəziyyətini zamandan asılı olaraq verilən qanunla dəyişdirən qurğu;
3. Fəza–zaman modulyatoru (FZM) – lazer şüasının intensivliyinin, tezliyinin, fazasının və polyarizasiyasının fəzada paylanmasını zamandan asılı olaraq verilən qanunla dəyişdirən qurğu.

FZM - bir qurğuda modulyator və deflektor funksiyalarını birləşdirir. Modulyasiya qurğularında elektrooptika, maqnitooptik və fotoeffekt hadisələrindən daha geniş istifadə olunur.

Elektrooptika effektinin mahiyyətini elektrik sahəsinin təsiri ilə izotop kristalda optik anizotropluğu yaranması təşkil edir. Optik anizotropluq adı və qeyri-adi şüaların yaranmasına səbəb olur. Adi şüalar üçün mühitin sındırma əmsali

$$n_a(E) = n_0 + r_p E \quad (4.18)$$

kimidir. r_p - Pokkelsin elektrooptika sabitidir. Müəyyən l - məsafəsində adi və qeyri-adi şüalar arasında yaranan fazalar fərqi

$$\Delta\varphi = 2\pi n_0^2 \cdot r_p E \cdot l / \lambda \quad (4.19)$$

kimidir.

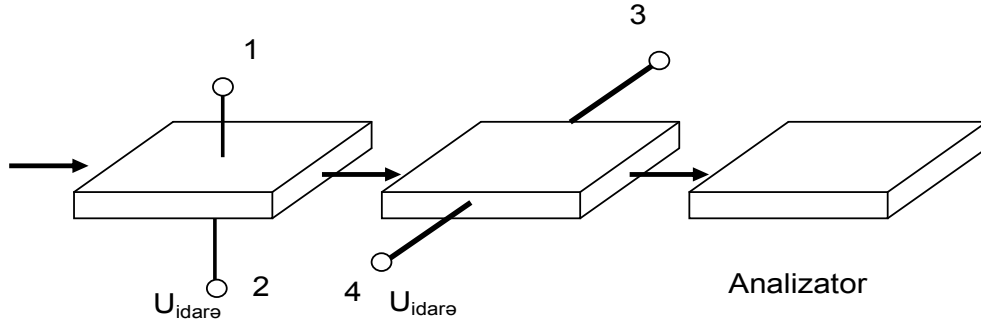
Modulyasiya üçün elektrooptika effekti olan Kerr effektindən də istifadə olunur. Kerr effekti üçün

$$\begin{aligned} n_a(E) &= n_0 + r_k E^2 \\ \Delta\varphi &= 2\pi r_k \cdot l \cdot E^2 \end{aligned} \quad (4.20)$$

kimidir, burada r_k - Kerr elektrooptika sabitidir.

Modulyasiya daxili və xarici olur. Modulyatorla lazer şüasının xarici modulyasiyası aparılır.

Elektrooptika modulyatorunun struktur sxemi şəkil 4.7 – də verilmişdir.



Şəkil 4.7. Elektrooptika modulyatorun struktur sxemi

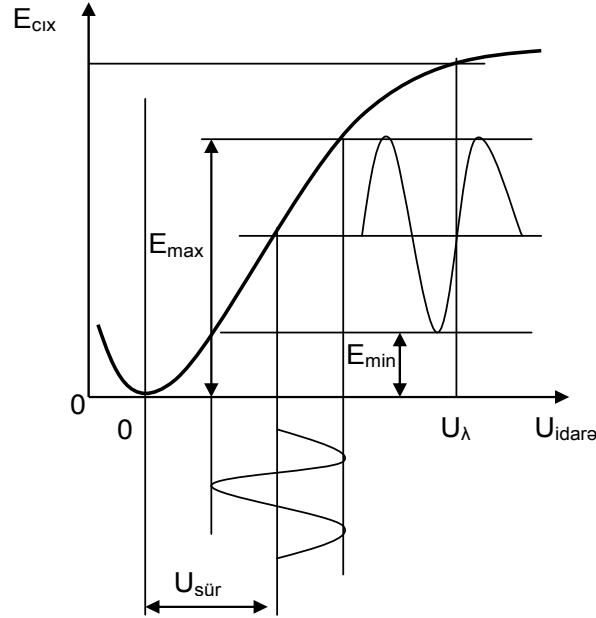
Modulyatorun əsasını eyni ölçülü və kristalloqrafik oxları qarşılıqlı perpendikulyar olan iki kristal təşkil edir. İş prinsipi Pokkels effektinə əsaslanır. $U_{idarə}$ gərginliyinin dəyişməsi giriş və çıxışda optik siqnal arasında fazalar fərqi yaradır. Fazalar fərqi intensivliyə çevrilməsi üçün modulyatorun çıxışında analizator yerləşdirilir. Çıxışda şüalanmanın intensivliyi

$$E_{çıx} = E_{gir} \cdot \sin^2 \left(\frac{\pi u_{idar}}{2 u_{\lambda/2}} \right) \quad (4.21)$$

kimidir. E_{gir} - girişdə intensivlik, $u_{\lambda/2}$ - idarəetmədə yarımdalğa gərginliyidir. Yarımdalğa gərginliyi şüalanma intensivliyini minimum qiymətdən maksimuma çatdırmaq üçün tələb olan gərginlikdir. Bu zaman iki şüa bir-birinə nəzərən $\lambda/2$ qədər sürüşür və fazalar fərqi $\Delta\varphi = \pi$ olur. Baxılan modulyator üçün

$$u_{\lambda/2} = \left(\lambda / 2 n_0^2 r_p \right) \cdot (d / l), \quad (100V - 1kV) \quad (4.22)$$

Modulyatorun iş prinsipini əksətdirən $E_{\text{çix}}(u_{\text{idar}})$ asılılığı şəkil 4.8 - də göstərilib.



Şəkil 4.8. Elektrooptik modulyator üçün $E_{\text{çix}}(U_{\text{idar}})$ asılılığı.

$m = E_{\text{max}} / E_{\text{min}}$ modulyatorun effektivlik xarakteristikasıdır. $u_{\text{sür}} = 0$ olanda $m \rightarrow 0$ olur. $u_{\text{sür}} = u_{\lambda/2}$ olanda modulyasiyanın dərinliyi artır. Bu qurğu $10^8 - 10^9$ Hz tezliklərdə modulyasiyaya imkan verir. Modulyasiyanın keyfiyyətliyi

$$D_M = \frac{f_s}{P_{\text{idar}}} \quad (4.23)$$

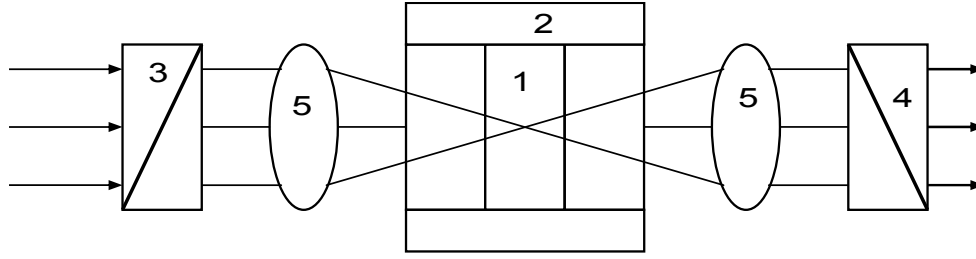
kimi təyin olunur, burada f_s - sərhəd tezliyi, P_{idar} - idarə gücüdür. Elektrooptik modulyator üçün $D_M \approx 10 \text{ MHz} / \text{mVt}$

Maqnitooptik modulyatorun struktur sxemi şəkil 4.9 - dəki kimidir.

İş prinsipi Faradey effektinə əsaslanır. Polyarizasiya müstəvisi maqnit sahəsinin təsirindən fırlanır. Müstəvinin dönmə bucağı belə təyin olunur:

$$\theta = VH$$

Burada H- maqnit sahəsi intensivliyi, l – mühidə şüanın yolu, V – Verde sabitidir. Verde sabiti $V \sim (0,01 \div 0,09)$ dəq/(sm erst.) qiymət alır. Bu modulyator 10^4 Hz tərtib tezliklərdə tətbiq olunur.



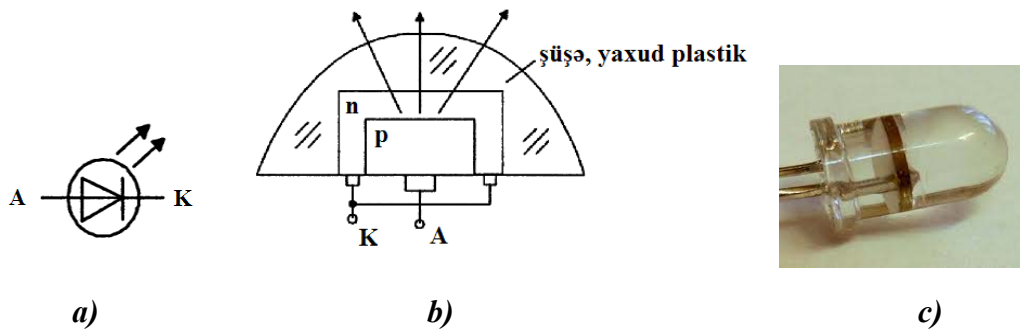
Şəkil 4.9. Maqnitooptik modulyatorun struktur sxemi:

1- aktiv mühit; 2- sayğac; 3- polyarizator; 4- analizator, -5 linza.

4.3.7. Şüalandırıcı diodlar. Şüalandırıcı diodlar görünən optik diapazonda şüalanma yaradan işıq diodlarına və İQ diapazonlu şüalanma hasil edən İQ – şüalandırıcılara bölünürlər.

İşıq diodları radioaparaturada, elektron sistemlərində, informasiya sistemlərində siqnalizasiya, müxtəlif elektrik və qeyri-elektrik kəmiyyətlərin səviyyələrinin ilkin qiymətləndirilməsi dövrlərində və s. işıq məlumat vericiləri kimi istifadə olunur. İQ – şüalandırıcılar müxtəlif idarə etmə pultlarında, avtomatik idarəetmə sistemlərində çox geniş tətbiq olunurlar.

Quruluşu. Şüalandırıcı diodların şərti qrafiki işarələnməsi, konstruktiv görünüşü və quruluşunun sxematik təsviri şəkil 4.10 - da verilmişdir.



Şəkil 4.10. Şüalandırıcı diod.

Şüalandırıcı diodlarda optik şüalanma, dioddan düz istiqamətdə cərəyan axdıqda p - n-keçidi oblastında və onlara bitişik oblastlarda elektron və deşiklərin rekombinasiyası hesabına fotonların şüalanması nəticəsində yaranır.

İşıq diodlarının növləri, əsas xarakteristikaları və parametrləri.

Optoelektron qurğularda işıq mənbəyi kimi p-n keçidindən düz istiqamətdə cərəyan axarkən yaranan elektrolüminessensiyadan istifadə olunur.

Belə şüalanma injeksiya ilə şüalanma adlanır və o, iki mərhələdən ibarətdir. İnjesiya yolu ilə yükdaşıyıcıların qeyri-tarazlıq halı yaradılır və sonra elektrolüminessensiya yolu ilə şüalanma kvantları yaranır.

İnjesiya, kontakt potensialları fərqi azaltmaqla əsas yükdaşıyıcıların diffuziyası nəticəsində bu yükdaşıyıcıların qeyri-əsas yükdaşıyıcılar olan hissəyə keçməsi prosesidir.

İnjesiya ilə baş verən elektrolüminessensiyada şüalanma kvantının dalğa uzunluğu

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta w}$$

kimidir, burada Δw - qadağan olunmuş zonanın energetik enidir.

İnjesiya ilə şüalanmada elektrik enerjisi işıq enerjisinə çevrilir. Çevrilmənin f.i.ə. çox yüksəkdir. p-n - keçidində düz cərəyanı dəyişdirmək yolu ilə yüksək tezlikli optik modulyasiya yaratmaq olur.

İşıq diodlarının və yarımkeçirici lazerlərin iş prinsipini injeksiya ilə şüalanma təşkil edir.

İşıq diodlarından optik rabitədə, optik siqnalizasiyada geniş istifadə olunur. İşıq diodları çox güclü şüalanma mənbəyi olurlar. İşıq diodlarının yaradılmasında əsasən GaAs, GaP, GaInP, GaAsP birləşmələrindən istifadə olunur.

İşıq diodlarının əsas xassələri aşağıdakılardır:

1. Şüalanmada monoxromatiklik lazerlərdən az olsa da yüksəkdir ($\Delta\lambda \sim 10-100$ nm);
2. Tərkibi dəyişdirməklə dalğa uzunluğu idarə olunur;
3. Şüalanmanın energetik parametrləri qida cərəyanından xətti asılıdır;
4. İmpuls mənbəyi vasitəsilə şüalanmada modulyasiyanın mümkünlüyü;
5. Elektrik parametrləri tranzistorlu sxemlərlə yaxşı uyğunlaşır.

İşıq diodlarının əsas parametrləri aşağıdakılardır:

1. Düz cərəyanın qiymətinə uyğun işıq şiddəti - $1 \div 10 \cdot 10^{-3}$ kd.
2. Vahid səthdən şüalanan işıq şiddəti – parlaqlıq - $10 \div 100$ kd/sm²;
3. Düz keçidə verilən sabit gərginlik $-(2-3)$ V;
4. Şüalanma enerjisinin maksimumuna uyğun dalğa uzunluğu - λ_{\max} (rəng);
5. Düz cərəyanın yol verilən həddi ~ 10 mA;
6. Əks gərginliyin yol verilən həddi ~ 20 V;
7. İş rejimini təmin edən temperatur diapazonu $(-60 \div 70)^{\circ}\text{S}$.

İstifadəsi zamanı aşağıdakı xarakteristikalardan istifadə olunur:

1. Parlaqlıq xarakteristikası – Parlaqlığın düz cərəyandan asılılığı;
2. Energetik xarakteristika – Işıq şiddətinin düz cərəyandan asılılığı;
3. Spektral xarakteristika – Şüalanma gücünün dalğa uzunluğundan asılılığı;
4. Volt-ampere xarakteristika (adi diodlarda olduğu kimi) ;
5. Şüalanmanın istiqamətlənmə diaqramı (konstruksiyadan asılıdır).

Işıq diodları sabit cərəyanla qidalandırılır. Əks gərginliyin yol verilə bilən qiyməti adi diodlardakından az olduğu üçün yüksək əks gərginlikdə onunla ardıcıl adi diod qoşulmalıdır. Onların volt-ampere xarakteristikalarındakı fərq istifadə olunan maddələrə görədir. Həmin maddələrdə qadağan olunmuş zonaların energetik enləri müxtəlifdir. Işıq diodunun ətalətliliyi baryer tutumun boşalma müddəti və aktiv oblastda qeyri - əsas yükdaşıyıcıların yığılma və sorulma müddətləri ilə təyin olunur.

İstismarı zamanı əsas mənfi cəhətlərindən biri deqradasiyadır. Uzun müddət düz cərəyan axanda, aşqar ionların sürüşməsi şüalanmayan mərkəzlərin konstruksiyasının (ölçüsünün) böyüməsinə səbəb olur və bu da şüalanma gücünü azaldır. Bundan başqa şüalanma mərkəzlərinin aktivliyi də azalır.

Deqradasiya nəticəsində gücün azalması eksponensial qanunla olur:

$$\Phi(t) = \Phi(0) \exp(-t / \tau_p) \quad (4.24)$$

$\Phi(0)$ - başlanğıc halda güc; $\tau_p \sim 10^5 \div 10^6$ san – deqradasiya müddətidir.

Temperaturun artması həm şüalanma selini azaldır, həm də maksimum dalğa uzunluğunu bir qədər artırır.

Işıq diodlarının optoelektron qurğularda istifadə olunan əsas növləri aşağıdakılardır:

1) KJ1101A, KJ1101B, KJ1101B – Bunlar SiC maddəsi əsasında yaradılır, sarı rəngli şüalanma verir, tətbiq olunan düz gərginlik (2,55 V), düz cərəyan (10, 20, 40 mA), parlaqlığı (10, 15, 20) Kd/m², kütləsi 0,2 q.

2) AL1102 A,B,B,Г – GaP maddəsi əsasında yaradılır, AL1102B-yaşıl, qalanlar qırmızı şüalanma verir.

3) AL1106A,B,B, AL1108A,B,B, və c - İnfraqırmızı oblastda tətbiq olunurlar.

4) KJ-104 –İnteqral texnologiya əsasında yaradılır və rəqəm göstəricisidir.

Ən mükəmməl işıq diodları və yarımkeçirici lazerlər heteroqəçid əsasında yaradılır.

Işıq diodlarının əsas xarakteristikaları aşağıdakılardır:

1) parlaqlıq xarakteristikası – L şüalanma işıqlığının diodun i_d cərəyanından asılılığı;

2) işıq gücü I_V – nin diodun i_d cərəyanından asılılığı.

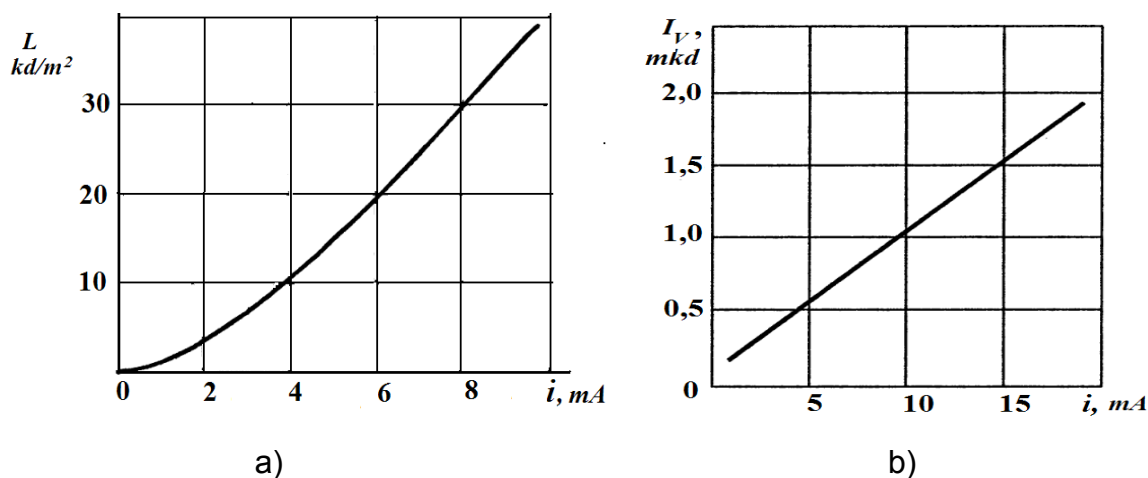
Görünməyən işıq diapazonunda işləyən şüalandırıcı diodların, o cümlədən İQ – diodların əsas xarakteristikası onların şüalandırdığı P gücünün diodun i_d cərəyanından asılılığıdır.

Qırmızı rəngli şüalanmaya malik olan AJI102A tipli işıq şüalandırıcı diodunun işıqlıq xarakteristikası və işıq gücünün diodun cərəyanından asılılığı qrafiki şəkil 4.11-də verilmişdir.

AJI119A tipli İQ – şüalandırıcı diodun (dalğa uzunluğu 0,93...0,96 mkm) bəzi əsas parametrlərini nəzərdən keçirək:

- şüalanma impulsunun artma müddəti – 1 mks –dən çox deyil;
- şüalanma impulsunun azalma müddəti – 1,5 mks –dən çox deyil;
- sabit düz gərginlik $i_d = 300$ mA qiymətində - 3V-dan çox deyil;
- maksimal yol verilə bilən sabit cərəyan, $t < +85^\circ\text{C}$ olduqda – 200 mA;
- ətraf mühitin temperaturu - - 60 ... +85°C .

İşarələnmə sistemi. Əvvəllər mövcud olan işarələnmə sistemində iki, yaxud üç hərf və rəqəm istifadə olunurdu. Məsələn, AJI102A və ya AJIC331A. Birinci hərf hazırlandığı materialı (GaAs), ikinci və üçüncü hərflər konstruktiv hazırlanmasını - Л - tək işıq diodu, ЛС - diodlar sırası və ya matrisi olmasını göstərir. Sonra gələn rəqəmlər diodun işlənilib hazırlanma sırasını işarə edir. Son illər tətbiq olunan işarələnmə sistemində şüalanma mənbələri indikatorların bir halı kimi baxılır və yeddi elementdən ibarətdir.



Şəkil 4.11. AJI102A tipli işıq şüalandırıcı diodunun a) parlaqlıq xarakteristikası və b) işıq gücünün diodun cərəyanından asılılığı qrafiki.

4.4. Şüalanma qəbulediciləri

Şüalanma qəbuledicilərinin vacib elementi işığa həssas cihazlardır. Bu cihazlar optik şüalanma enerjisini elektrik enerjisinə çevirmə funksiyasını yerinə yetirir. Ən çox istifadə olunan işığa həssas cihazlar *fotorezistorlar*, *fotodiodlar*, *fototranzistorlar* və *fototiristorlardır*. Ona görə də bu cihazları çox vaxt fotoelektrik cihazlar da adlandırırlar. Fotoelektrik cihazlar avtomatik siqnalizasiya, tənzimləmə, mühafizə, həmçinin, foto- və kinoaparaturada geniş tətbiq tapmışdır.

Fotoelektrik cihazlar şüalanma enerjisini elektrik enerjisinə çevirən elektron cihazlardır. Belə cihazlar vakuumba, qazda və ya yarımkəçiricidə baş verən *fotoeffekt* hadisəsinə əsaslanmışdır. Hazırda iş prinsipi yarımkəçiricidə daxili fotoeffektə əsaslanan fotoelektrik cihazlar daha geniş yayılmışlar. Fotoeffektin mahiyyəti xarici işığın fotonlarının təsiri altında elektron-deşik cütünün generasiyası və nəticədə yarımkəçiricidə sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artmasından, yəni yarımkəçirici materialın keçiriciliyinin artmasından ibarətdir. Bu cür alınan keçiricilik *fotokeçiricilik* adlanır. Yuxarıda qeyd olunduğu kimi əks proses, elektron-deşik cütünün rekombinasiyası şüalandırıcı cihazların iş prinsipini təşkil edir. Fotokeçiricilik xarici işıq selinin intensivliyindən və spektr tərkibindən asılıdır.

4.4.1. Şüalanma qəbuledicilərinin xarakteristikaları və parametrləri.

İş prinsipləri qeyd olunanlara əsaslanan cihazlar optoelektron qurğularda optik və elektron sistemlərini uzlaşdırır. Bu səbəbdən işığa həssas cihazların xarakteristikalarına və parametrlərinə qoyulan tələblər, optoelektron sistemə qoyulan ümumi tələblə uzlaşmalıdır.

Əksər fotoelektrik cihazlar $0,2 \div 20$ mkm spektral oblasta daxil olan işıq spektral diapazonuna malik olurlar. Optoelektron cihazların xarakteristikaları və parametrləri onların spektral, optik və elektrofiziki xassələrinə əsasən təyin olunur və hesablanır.

Bu xarakteristikaların və parametrlərin əsasları aşağıdakı kimidir:

1. *Həssaslığın spektral xarakteristikası*. Bu xarakteristika, cihazın, hansı dalğa uzunluğu intervalının şüalarına həssas olduğunu göstərir. Bu xarakteristika əsasında cihazın tətbiq olunduğu spektral diapazon, cihazın spektral və inteqral həssaslığı təyin edilir.

2. *Energetik və ya işıq xarakteristikası*. Bu, cihazın spektral və ya inteqral xarakteristikasının həyəcanlandırıcı şüanın intensivliyindən asılılığını göstərir. Bunlar amper-vatt, volt-vatt, lüks-amper kimi asılılıqlarla təsvir olunur.

3. *Astana və ya həssaslıq xarakteristikası*. Cihazın ən az intensivlikli şüalanmaya reaksiya vermə qabiliyyətini göstərir. Bu xassə cihazın məxsusi

küyündən - fluktuasiya cərəyanından asılıdır. Fluktuasiya cərəyanı - cihaz şüalandırılmadıqda və ya şüalandırma modulyasiya olunmadıqda yaranan cərəyandır.

4. *Volt-amper xarakteristikası.* Foto qəbuledicidən keçən cərəyanın ona verilən gərginlikdən asılılığını təyin edir. Ümumi fotocərəyan $I = I_g + I_f$ -dir. Burada I_g – işıqlandırma olmadıqda cərəyan (gizli və ya qaranlıq cərəyan), I_f – foto cərəyandır.

5. *Tezlik xarakteristikası.* Cihazın həssaslığının şüalanmanın modulyasiya tezliyindən asılılığını göstərir. Bu xarakteristikada cihazın ətalətlilik xassəsi əks etdirilir.

6. *Temperatur xarakteristikası.* Cihazın işçi temperatur oblastını təyin edir. Gizli cərəyanın, qaranlıq müqavimətin, astana həssaslığının ətraf mühitin temperaturundan asılılığı ilə təyin olunur.

7. *İşləmə gərginliyi* U_p – verilmiş istismar şəraiti üçün uzun müddət parametrlərin nominal qiymətlərini təmin edən sabit gərginliyin qiymətidir.

8. *Gərginliyin yol verilən maksimum həddi, U_{max}* - gərginliyin elə qiymətidir ki, bu zaman cihazın digər parametrlərinin qiymətləri yol verilən həddi aşmır.

9. *Sərf olunan güc (güc itkisi)* fotocərəyanın təsiri ilə cihazda istilik şəklində vahid zamanda ayrılan enerjinin qiymətidir. Bu güc yol verilən (P_{dop}) qiymətdən yüksək olduqda cihaz sıradan çıxır. İtirilən gücün yol verilən qiyməti istiliyin xaricə ötürülmə intensivliyindən asılıdır.

10. *Qaranlıq müqavimət, R_q* – şüalanma spektral həssaslıq (astan həssaslığı) çərçivəsində təsir göstərdikdə cihazın müqavimətidir.

11. *Diferensial müqavimət $R_g = \frac{dU}{dI}$* , gərginliyin kiçik dəyişməsinin uyğun cərəyan dəyişməsinə nisbəti kimi təyin olunur.

12. *Qaranlıq cərəyan I_q* - şüalanmanın təsiri astana həssaslığını aşmadıqda, gərginliyin verilmiş qiymətinə uyğun cihazdan axan cərəyanın qiymətidir.

13. *Spektral həssaslığın qısa və uzun dalğada sərhədi.* Uyğun olaraq, monoxromatik şüalanmanın ən kiçik və ən böyük dalğa uzunluğudur ki, onlara uyğun şüalanmanın yaratdığı həssaslıq maksimal qiymətini 0,1 hissəsini aşmır.

14. *Xəttiliyin dinamik diapazonu (desibellərlə).* Işıq selinin qiymətinin elə oblastını təyin edir ki, bu oblastda cihazın energetik xarakteristikası xətti olur;

$$\Delta = 10 \lg \left(\frac{\Phi_{\max}}{\Phi_{\min}} \right) \quad \Phi_{\min} \leq \Phi \leq \Phi_{\max} \quad (4.25)$$

15. Həssaslığın spektral xarakteristikasının maksimumu (λ_{max}) - cihazın maksimum həssaslığına uyğun olan dalğa uzunluğudur.

16. Cərəyana görə həssaslıq S_I (A/lm və ya A/Vt) - Şüalanma selinin vahid dəyişməsinə uyğun olan fotocərəyanın miqdarıdır.

17. Gərginliyə görə həssaslıq (S_u) – şüalanma selinin vahid dəyişməsinə uyğun olan gərginliyin voltlarla qiymətidir.

Cərəyana və gərginliyə görə həssaslıq həm inteqral şüalanma selinə, həm də monoxromatik şüalanma selinə görə təyin olunur.

$$S_I = (I - I_q) / \Phi; \quad S_u = (U - U_q) / \Phi \quad (4.26)$$

burada I, U və I_q, U_q - uyğun olaraq ümumi və qaranlıq cərəyan və gərginliklərin qiymətləridir.

18. Xüsusi aşkaretmə qabiliyyəti. Optoelektron qurğunun ən zəif siqnalı aşkaretmə qabiliyyətinə deyilir və aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$D = U_f \sqrt{\Delta f \cdot S} / U_m \cdot \Phi (Bm^{-1} \cdot Hs^{1/2} \cdot sm) \quad (4.27)$$

U_f - fon siqnalının gərginliyi (V); U_m - cihazın küy gərginliyi (V); Δf - buraxma zolağının tezliyi (Hz); S - işığa həssas səthin sahəsidir (sm^2).

19. Həssaslıq astanası – İşıq selinin elə qiymətidir ki, bu zaman yaranan siqnal küy tərtibində olur. Həssaslıq astanası ($F_{ast.}$) və xüsusi ayırdetmə qabiliyyəti arasında $P_{ast} = \sqrt{S} / D$ münasibəti var.

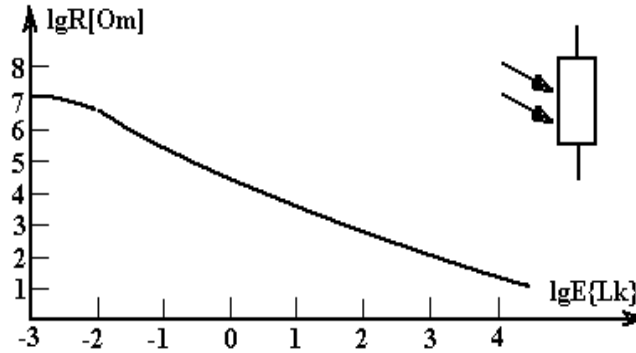
20. Cihazın ətalətliliyi. Şüalanma selinin impulsunun yaratdığı fotocərəyanın artma və azalma zaman intervallarının cəmidir. Bu xarakteristika işıq selinin modulyasiyasının mümkün tezliyini təyin edir. Adətən artma müddəti (t_H) azalma müddətindən (t_{jn}) kiçik olur.

4.4.2. Fotorezistorlar. Fotorezistor p-n keçidinə malik olmayan yarımkeçirici cihazdır və onun aktiv müqaviməti işıqlanmadan asılıdır. Onun müqaviməti ona verilən gərginliyin işarəsindən və qiymətindən asılı deyildir. Fotorezistorun müqavimətinin işıqlanmadan asılılığı və şərti işarəsi şəkil 4.12 – də göstərilmişdir. Fotorezistorlarda infraqırmızı, görünən və ultrabənövşəyi şüaların təsiri altında cismin müqavimətinin dəyişməsi hadisəsindən istifadə edilir. Fotorezistorun əsas elementi işıqlanma zamanı müqaviməti dəyişən yarımkeçirici lövhədən ibarətdir.

Fotokeçiriciliyin yaranması mexanizmi aşağıdakından ibarətdir. Qaranlıqlaşdırılmış yarımkeçiricidə istilik enerjisinin təsiri nəticəsində kiçik miqdarda hərəkətdə olan yükdaşıyıcılar yaranır. Uyğun olaraq yarımkeçiricinin qaranlıq keçiriciliyi adlanan

$$\sigma_0 = q(n_0\mu_n\rho_0\mu_p) \quad (4.28)$$

başlanğıc keçiriciliyə malik olur. Burada q - elektronların yükü, n_0 , p_0 - müvazinət halında yarımkeçiricidə hərəkətdə olan yükdaşıyıcıların konsentrasiyasıdır, μ_p , μ_n - deşik və elektronların yürüklüyüdür.



Şəkil 4.12. Fotorezistorun müqavimətinin işıqlanmadan asılılığı və sərti isarəsi

İşığın təsiri altında hərəkətdə olan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artır. Deşik və elektronların konsentrasiyasının artması, elektromaqnit şüa kvantlarının elektronları həyəcanlandıraraq, onları valent zonasından keçiricilik zonasına keçirməsi hesabına baş verə bilər. Elektronlar valent zonasından aşqarlar səviyyəsinə keçirildikdə ancaq deşik keçiriciliyinin artması baş verir. Elektrik keçiriciliyinin artması elektronlar aşqarlar səviyyəsindən keçiricilik zonasına keçdikdə müşahidə olunur. Beləliklə, işıqlanma zamanı yarımkeçiricidə hərəkətdə olan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası bu və ya başqa yolla Δn və Δp kəmiyyəti qədər çoxalır və onun keçiriciliyi kəskin artır:

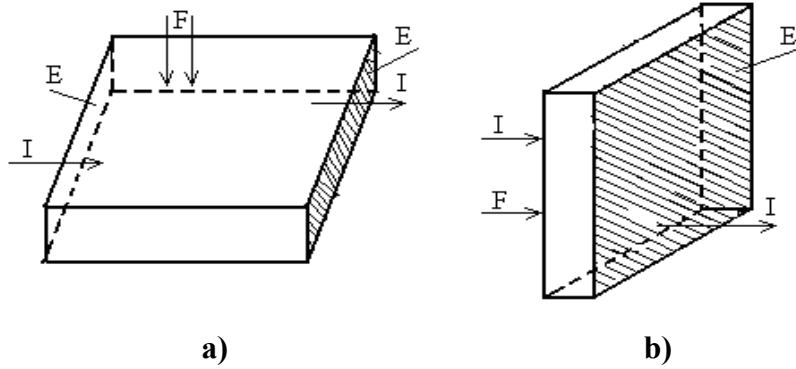
$$\sigma = q[(n_0 + \Delta n) \cdot \mu_n + (\rho_0 + \Delta p) \cdot \mu_p] \quad (4.29)$$

Yarımkeçiricinin elektrik keçiriciliyinin işıq təsiri altında dəyişməsi məhz onun fotokeçiriciliyi olur:

$$\sigma_f = \sigma - \sigma_0 = q \cdot (\Delta n \cdot \mu_n + \Delta p \cdot \mu_p) \quad (4.30)$$

İşığın parlaqlığını dəyişməklə yarımkeçiricinin fotokeçiriciliyi dəyişdirilir.

Fotorezistor konstruktiv cəhətdən üzərinə elektrik keçirici elektrod E çəkilmiş yarımkeçirici lövhədən ibarətdir. Fotorezistorun şəkil 4.13 - də göstərilən iki mümkün konstruksiyası vardır: eninə və uzununa konstruksiyalar.



Şəkil 4.13. Fotorezistorun eninə (a) və uzununa (b) konstruksiyaları.

Birinci halda fotorezistora tətbiq edilən elektrik sahəsi və həyəcanlandırıcı işıq qarşılıqlı perpendikulyar müstəvidə təsir edirlər. İkinci halda bu təsirlər bir müstəvidə baş verir. Uzununa fotorezistorda həyəcanlanma bu şüalanma üçün şəffaf olan elektrod vasitəsi ilə həyata keçirilir. Eninə fotorezistor on və yüz MHs tezliyə qədər, demək olar ki, omik müqavimətdən ibarətdir. Uzununa fotorezistor konstruktiv xüsusiyyətlərinə görə böyük həndəsi tutuma malik olduğundan onu omik müqavimət kimi qəbul etmirlər.

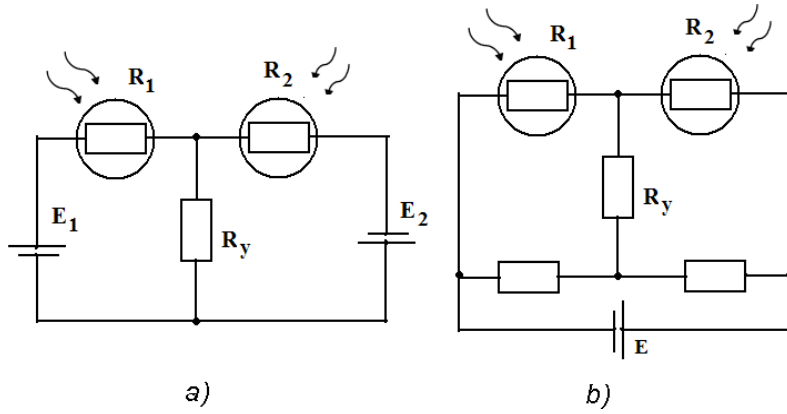
Fotorezistorların elektrik dövrəsinə qoşulma sxemləri.

Fotorezistorların tətbiqlərində bəzi qüsurlar mövcud olduğundan, onları dövrəyə əsasən diferensial və körpü sxemləri üzrə qoşurlar. Qeyd olunan variantlar üzrə qoşulma sxemləri şəkil 4.14- də göstərilmişdir.

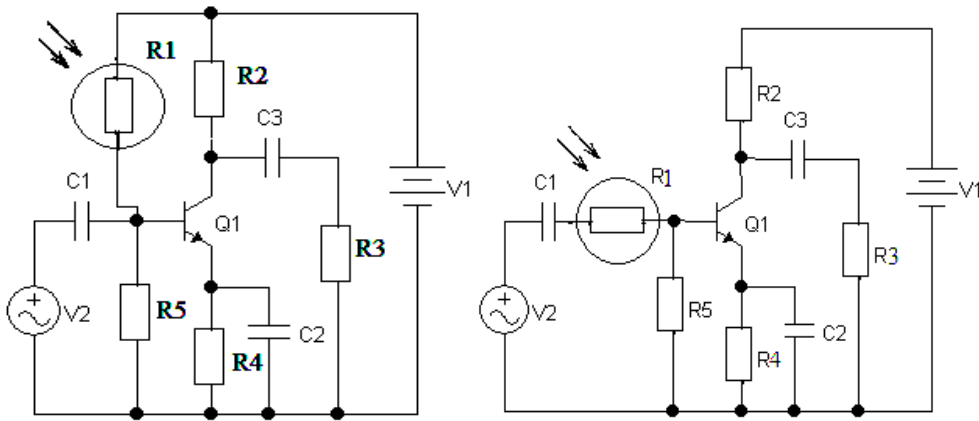
Diferensial sxemdə $R_1=R_2$ götürülsə rejim statik sayılır və bu zaman R_y yük müqavimətindən cərəyan keçmir. Fotosiqnalların modulyasiyaları əks fazada olduqda yük müqavimətindən faydalı siqnal keçir. Diferensial sxem iki kanallıdır. Kanallardan biri dayaq (köməkçi) digəri isə işçi sayılır. İşçi kanala ölçülən şüa, köməkçi kanala isə stabil mənbədən müqayisə şüası təsir göstərir. Köməkçi kanalda müqaviməti dəyişdirməklə işçi kanalda yaranan cərəyan kompensasiya edilir.

Körpü sxemində çıxış cərəyanı körpünün diaqonalına qoşulmuş yük müqavimətindən axır. Körpünün tarazlıq şərti $R_1/R_2 = R_3/R_4$ kimidir. Fotorezistorların temperatur və dreyf parametrləri eyni olduqda körpünün tarazlığı pozulmur. Fotosiqnalların müxtəlifliyi körpünün balansını pozur və yük müqavimətindən faydalı cərəyan axır.

Fotorezistorlarda yaranan faydalı siqnalı tələb olunan səviyyəyə gücləndirmək üçün tranzistorlu ilkin gücləndirici sxemlərdən istifadə olunur. Şəkil 4.15,a - da göstərilən sxemdə fotorezistor baza sürüşmə dövrəsinə, şəkil 4.15,b - dəki sxemdə isə giriş dövrəsinə qoşulmuşdur.



Şəkil 4.14. Fotorezistorun dövrəyə qoşulmasının diferensial (a) və körpü (b) qoşulma sxemləri.



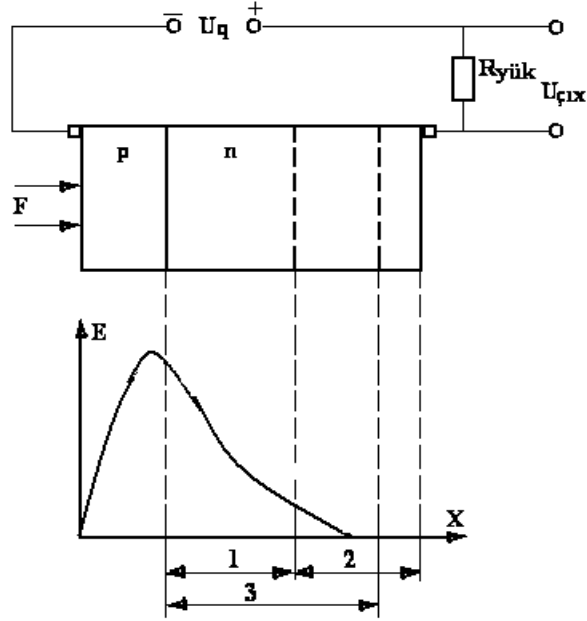
Şəkil 4.15. Fotorezistorun gücləndiricidə sürüşmə dövrəsinə (a) və giriş dövrəsinə (b) qoşulma sxemləri.

4.4.3. Fotodiodlar. Fotodiodlarda əsas struktur elementi kimi p-n keçidi istifadə olunur. Şüalanma həm p- , həm də n- oblastda keçirici yükdaşıyıcıların qeyri-tarazlıq halını yaradır. Bu zaman əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyası dəyişmir. Şüalanma qeyri əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını artırır. Əgər şüalanma p- oblastına nüfuz edərsə, onda yaranan elektronlar p-n keçid üçün xarakterik olan daxili sahənin yaratdığı potensiallar fərqi hesabına n- oblastına keçirlər. n-oblastda şüanın udulması hesabına generasiya olan deşiklər isə öz növbəsində keçiddəki potensiallar fərqi hesabına p-oblastına injeksiya olunurlar.

Fotodiodda fotogenerasiya nəticəsində yaranan elektron-deşik cütü daxili sahənin hesabına öz dreyf hərəkətləri ilə p-n keçidində uyğun potensial çəpərin hündürlüyünü azaldır və nəticədə keçidə uyğun elektrik keçiriciliyi artır. Fotonun təsiri ilə yaranan bu əlavə keçiricilik *fotokeçiricilik* adlanır.

Elektron və deşiklərin foto generasiyası mənfi və müsbət yüklərin kristal daxilində yenidən paylanmasını yaradır və nəticədə e.h.q. yaranır. Bu fotoqalvanik effekt adlanır. İş prinsipi fotoqalvanik effektə əsaslanan cihazlar optoelektron qurğularda cərəyan mənbəyi kimi istifadə olunur.

P-n keçidinə malik fotodiod əksinə sürüşmüş p-n keçiddən ibarətdir (şək.4.16). Belə keçidin əsas xüsusiyyəti keçidin yükdaşıyıcılarının yoxsullaşmış oblastının və düşən işığı udan (fotonları tutub saxlayan) udulma oblastının olmasıdır. Yoxsullaşmış oblast n-oblastındakı donorların müsbət yüklənmiş hərəkətsiz atomları və p-oblastındakı akseptorların müsbət yüklənmiş hərəkətsiz atomları hesabına yaranır. Yoxsullaşmış oblastın eni aşqarların konsentrasiyasından asılıdır.



Şəkil 4.16. p-n keçidin strukturu: 1- yoxsullaşmış oblast; 2 diffuziya oblastı; 3- udulma oblastı; E- elektrik sahəsinin gərginliyi; X- məsafə.

Aşqarlar az olduqca yoxsullaşmış oblast genişlənir. İşıq udan oblastın vəziyyəti və eni düşən işığın dalğa uzunluğundan və diodun materialından asılıdır. İşıq güclü udulduqca yoxsullaşmış oblast nazik olur. Fotonlar udulduqda elektronlar valent zonasından keçiricilik zonasına keçirlər. Elektron-deşik cütünü cərəyan yaradır. Əgər belə cütlər yoxsullaşmış oblastda yaranarsa, yükdaşıyıcılar yoxsullaşmış oblastdakı sahənin təsiri altında ayrılırlar. Nəticədə yük dövrəsində cərəyan axır.

Fotodiodun iş rejimləri. Fotodiodun yüksək həssaslıqla işləməsi üçün diffuziya cərəyanının təsiri minimuma endirilməlidir. Bu səbəbdən fotodiodun iki iş rejimi – foto qalvanik (generasiya) və fotodiod rejimləri vardır.

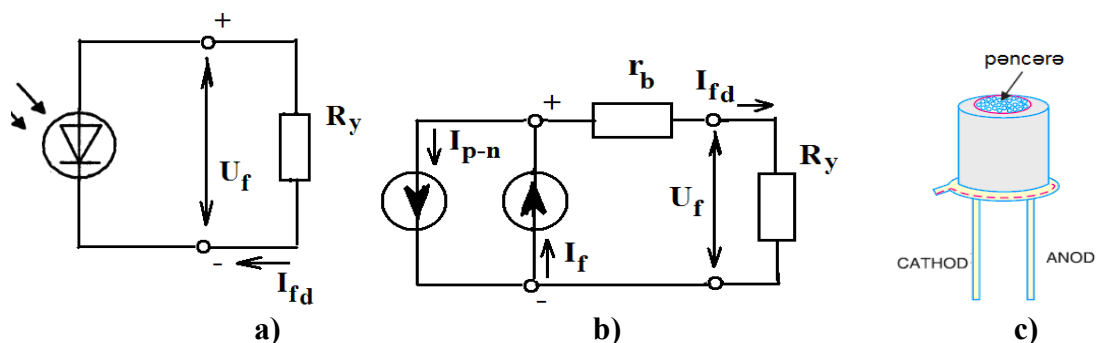
Foto qalvanik rejimdə diod xarici qida mənbəyinə qoşulmur, özü cərəyan mənbəyi funksiyasını yerinə yetirir (Şəkil 4.17).

I_f - fotokeçiricilik yüklərinin yaratdığı cərəyan; I_{p-n} - keçidin məxsusi cərəyanı; I_{fd} - foto dioddan keçən cərəyan; R_y - xarici dövrənin yük müqaviməti; r_b - fotodiodun daxili müqavimətidir. Əvəz sxemindən görüldüyü kimi:

$$I_{fd} = \frac{U_\phi}{R} = I_f - I_{p-n} = I_f - I_0(e^{u/\phi} - 1) \quad (4.31)$$

I_0 - istilik cərəyanı, ϕ - temperatur potensialıdır. Dövrə açıq olduqda $I_f = I_{pn}$ olur və bu zaman

$U = \phi \ln\left(1 + \frac{I_\phi}{I_0}\right)$ kimi hesablanabilir. Qısa qapanma halında $R = 0$, $U = 0$ və $I_{fd} = I_{pn}$ olur.



Şəkil 4.17. Fotodiodun fotoqalvanik rejimdə qoşulma (a), əvəz etmə (b) sxemləri və xarici görünüşü (c).

Fotodiod rejimində fotodiod keçid üçün əks gərginliyə qoşulur. Bu rejimdə potensial baryer (çəpərin hündürlüyü artır və $I_{pn} = I_0$; $I_{fd} = I_f - I_{pn} = I_f - I_0 \approx I_f$ olur. Fotodiodun volt-amper xarakteristikaları toplusu şəkil 4.18 – də göstərilmişdir.

Xarakteristikanın I sahəsi fotodiffuziya oblastına uyğun gəlir. Burada p-n keçidinə düzünə gərginlik verilir. Cərəyanın diffuziya təşkilədicisi fotocərəyandan çox olduğundan fotocərəyanın idarə olunması mümkün olmur. II sahədə foto-qalvanik rejim həyata keçirilir. III sahə fotodiod rejiminə uyğundur. Bu rejimdə əks gərginlik mənbəyi istifadə olunur. Nəticədə potensial çəpər (baryer) yaranır və I_{p-n} keçid cərəyanı şüaların olmadığı haldakı I_0 cərəyanı ilə müəyyən edilir. P-n keçidinə işıq axını təsir etdikdə fotodiodun cərəyanı

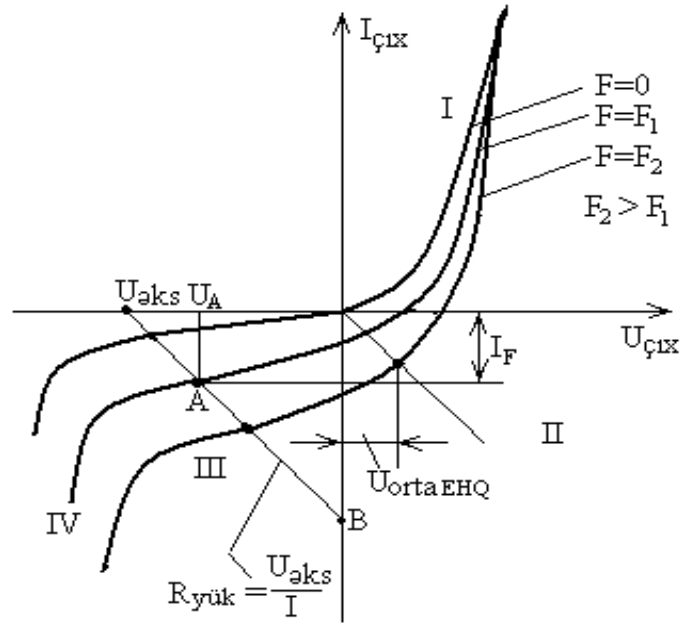
$$I_{f.d.} = I_f + I_0 \quad (4.32)$$

olur. Rezistorla yüklənmiş halda VAX düz xətti olur. Bu düz xəttin tənliyi

$$U_{\text{əks}} - I_f R_{\text{yük}} = U_A \quad (4.33)$$

olur. Burada U_A – fotodiodun A işçi nöqtəsindəki gərginlikdir.

Əks gərginliyin böyük qiymətlərində (IV sahə) p-n keçidin seləoxşar dəşilməsi baş verir. Bu effekt selvari fotodiodlarda istifadə olunur.



Şəkil 4.18. Fotodiodun volt-amper xarakteristikaları toplusu.

Fotodiodun enerji xarakteristikası. Enerji xarakteristikası fotocərəyanın işıq selindən asılılığı kimi təyin olunur. Aşağıdakı kimi nəzəri mülahizələrə əsaslanmaq olar. Işıq seli Φ – işçi səthə vahid zamanda düşən işıq enerjisi kimi təyin olunur. Onda $N=\Phi/h\nu$ - oblastın işçi səthinə vahid zamanda düşən fotonların sayı olar. Fotocərəyanın qiyməti bu sayla düz mütənəsbdir. Bir fotonun təsiri ilə yaranan elektron –deşik cütünün sayını η - ilə işarə etsək (buna daxili kvant çıxışı da deyilir) və γ - ilə rekombinasiyaya uğramamış yüklərin sayının ümumi yüklərin sayına nisbətini işarə etsək (buna ötürmə əmsalı da deyilir) fotocərəyanın qiyməti üçün aşağıdakı ifadəni yazı bilərik:

$$I_{\phi} = e \eta \gamma \frac{\phi}{h \nu} \quad (4.34)$$

$e=1.6 \cdot 10^{-19}$ – elementar yüküdür.

İfadə olunan 4.34 asılılığı fotodiod rejimi üçündür. Asılılığın xətti olması (Şəkil 4.19) onu göstərir ki, bütün fotokeçiricilik yükləri p-n keçidi keçərək fotocərəyanın yaranmasında iştirak edirlər.

Foto qalvanik rejim üçün iki hala baxılır. Birincisi qısa qapanma cərəyanının işıq selindən asılılığına $I_{qq}=f(\Phi)$ və elektrik hərəkət qüvvəsinin işıq

selindən asılılığına $U_x=f(\Phi)$. Hər iki asılılıq şəkil 4.19 – də təsvir edilmişdir və qeyri xəttidir. $I_{qq}=f(\Phi)$ – asılılığının qeyri – xətti hissəsi işıq seli artdıqca n - oblastın müqavimətinin artması hesabına yaranır. $U_x=f(\Phi)$ – asılılığının qeyri xəttiliyi isə selin artması hesabına potensial baryerin hündürlüyünün azalması ilə bağlıdır.

Fotodiodun spektral xarakteristikası. Fotodiodu xarakterizə edən parametrlərin dalğa uzunluğundan asılılığı spektral xarakteristika adlanır. Ən çox istifadə olunan parametr cərəyana və gərginliyə görə həssaslığın dalğa uzunluğundan asılılığıdır. Cərəyana görə həssaslıq fotodiodun işçi səthinə düşən işıq selinin bir vahid dəyişməsinə uyğun fotocərəyanın dəyişməsinə deyilir:

$$S_i(\lambda) = \frac{dI(\phi)}{d\phi}, \left(\frac{A}{Vt}\right) \quad (4.35)$$

Bu parametr fotodiodun enerji xarakteristikasından təyin olunur. İdeal hal üçün enerji xarakteristikası

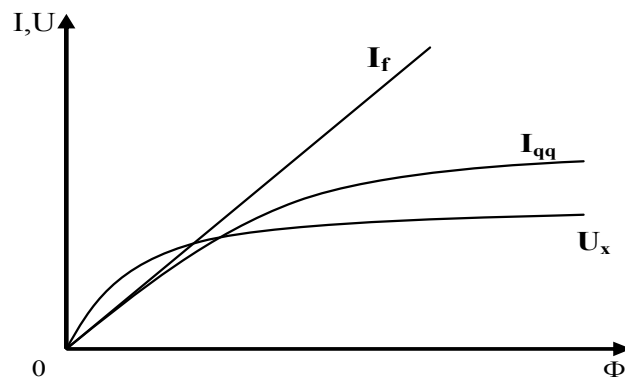
$I_\phi = e\eta\gamma \frac{\phi}{h\nu}$ kimidir. Dalğa uzunluğunun $\lambda = \frac{c}{\nu}$ olduğunu nəzərə alsaq enerji xarakteristikası üçün

$I_\phi = e\eta\gamma \frac{\lambda\phi}{h}$ alarıq. Göründüyü kimi $I_\phi(\lambda)$ asılılığı xəttidir. Onda

$\Delta I_\phi = e\eta\gamma \frac{\lambda}{h} \Delta\phi$ olduğunu nəzərə alsaq həssaslıq üçün

$$S_i(\lambda) = \frac{dI(\phi)}{d\phi} = e\eta\gamma \frac{\lambda}{hc} \quad (4.36)$$

alarıq.

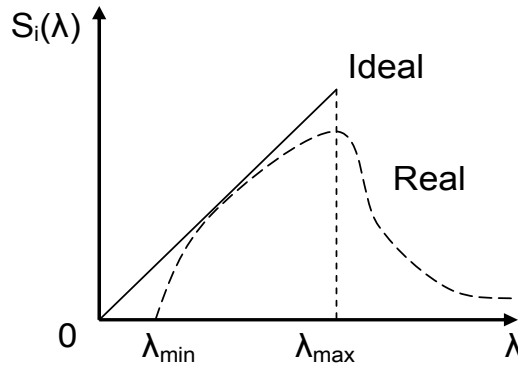


Şəkil 4.19. Fotodiodun enerji xarakteristikası.

İdeal və real hallar üçün həssaslıq əyriləri şəkil 4.20 – də verilmişdir.

İdeal halda asılılıq xəttidir. $\lambda > \lambda_{\max}$ oblastda fotonun enerjisi foto generasiyaya kifayət etmir. Bu oblastda həssaslığın azalması materialın öz xassəsi ilə bağlıdır. Qısa dalğada həssaslığın azalması belə dalğaların daha az dərinliyə nüfuz etməsi ilə bağlıdır. Dalğanın nüfuz etmə dərinliyi aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$d_{\lambda} = \lambda / (2\pi \sqrt{(n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \theta)}) \quad (4.37)$$



Şəkil 4.20. Fotodiodun həssaslıq xarakteristikası.

Dalğa p-n keçidə çatmır, fotoyükdaşıyıcıların diffuziya hərəkətinin yolu daha uzun olur, rekombinasiyaların sayı çoxalır və γ - ötürmə əmsalı kiçilir.

Gərginliyə görə həssaslıq $S_u(\lambda) = \frac{dU(\phi)}{d\phi} \cdot \left(\frac{V}{V_t}\right)$ kimi təyin olunur. Gərginliyə və cərəyana görə həssaslıqlar arasındakı münasibət $S_u(\lambda) = R \cdot S_i(\lambda)$ kimidir.

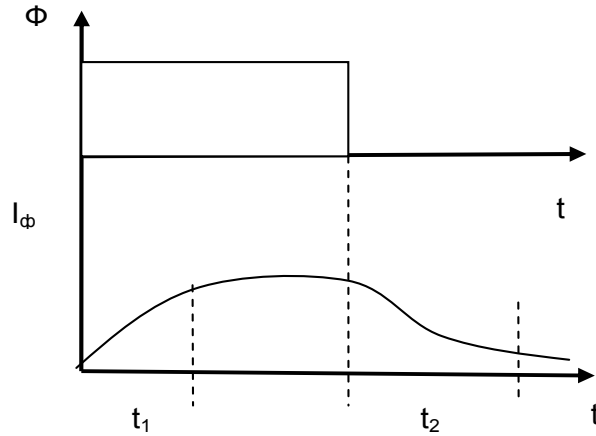
Çox vaxt həssaslığı qiymətləndirmək və qrafik təsvir etmək üçün həssaslığın gətirilmiş (nisbi) qiymətindən istifadə olunur. Bu parametrlər $S_0 = S(\lambda) / S(\lambda_{\max})$ kimi təyin olunur. Burada $S(\lambda_{\max})$ - həssaslığın verilmiş dalğa oblastında ən böyük qiyməti, λ_{\max} - isə ən böyük həssaslığa uyğun dalğa uzunluğudur. S_0 -ın qiyməti (0,1) intervalda dəyişir. Qeyd edək ki, spektral xarakteristika fotodiodun işlədildiyi spektral diapazonu təyin edir. Ən çox istifadə olunan fotodiodlar: Si – əsasında 0.8 mkm dalğa uzunluğuna, Ge - əsasında isə 1.2 mkm dalğa uzunluğuna daha həssasdırlar.

Fotodiodun ətalətliyi. Ətalətlik xarakteristikası işıq selinin modulyasiyasına uyğun tezliyin yuxarı sərhədini təyin edir (şəkil 4.21).

Parametr kimi impuls siqnalına uyğun fotocərəyanın öz maksimum həddinə çatma müddəti ilə bu həddən e dəfə azalma müddətinin cəmi götürülür.

Ətalətliyə uyğun zaman intervalının qiyməti aşağıdakı faktorlarla təyin olunur:

- Foton udulan zaman generasiya olunan fotoyükdaşıyıcıların ayrılma müddəti ilə, yəni diffuziya hərəkətinə sərf olunan vaxt ilə;
- p-n keçidinə uyğun baryer tutumun boşalma müddəti ilə.



Şəkil 4.21. Fotodiodun ətalətlilik xarakteristikası ($t=t_1+t_2$).

Diffuziya hərəkətinə sərf olunan zaman müddətini $t_1=\delta/V_{max}$ – kimi qiymətləndirmək olar. Burada $\delta\sim 5\mu\text{m}$ – p-n keçidin qalınlığı, $V_{max}\sim 5\cdot 10^4$ m/san dreyf hərəkətinin sürətidir. Bunları nəzərə alsaq, $t_1<0.1$ nsan alarıq. Bu keçidi keçmək üçün sərf olunan müddətdir. Qeyd edək ki, p-n keçidinin qalınlığı əks gərginliyin qiymətindən asılıdır.

Baryer tutumunun boşalması üçün sərf olunan zaman müddəti belə təyin olunur $t_2=J_{bar}\cdot r_{baza}\sim 1$ nsan.

Qeyd edək ki, dəşiklər daha az yürüklüyə malik olduqlarından əsas ətalətlilik onların hərəkətləri ilə bağlıdır.

Fotocərəyanın həm artması, həm də azalması eksponensial qanunla ifadə olunur. Dəşiklərin yaşama müddətini t_p ilə işarə etsək fotocərəyanın artması üçün

$$I_{\phi} = I_{\phi 0} [1 - \exp(-t / t_{p1})] \quad (4.38)$$

azalması üçün isə

$$I_{\phi} = I_{\phi 0} \exp(-t / t_{p2}) \quad (4.39)$$

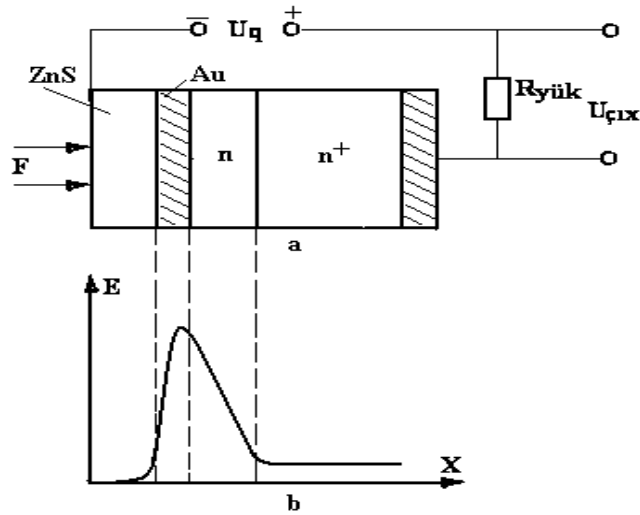
yazmaq olar. Deşiklər üçün $t_p = t_{p1} + t_{p2} \approx 100 \text{ nsan}$ qiymətə malikdir.

p-i-n quruluşlu fotodiod. Məxsusi keçiriciliyə malik i oblast p və n oblastlar arasında yerləşdirilir. Belə quruluşda həssaslıq adi fotodiodlardakı kimi, ətalətlik isə daha az olur. Güclü əks gərginlik i-oblastda çox güclü və bircins elektrik sahəsi yaradır və i-oblast daha qalın olduğundan tutumu kiçik olur və bu tutumla bağlı ətalətlik az olur. Kənar oblastlara nisbətən i-oblastın keçiriciliyi azdır. Foto generasiya nəticəsində bu oblasta düşən elektron və deşiklər güclü elektrik sahəsinin təsirindən sürətlənirlər və keçidi çox az müddətdə keçirlər. Şüalanma təsir edən p-oblastın qalınlığı 0.3mkm-dən az olur və şüa i - oblasta nüfuz edərək orada foto keçirici zərrəciklər generasiya edir. Bu keçirici zərrəciklərin hərəkəti adi diodlardakı kimi diffuziya xarakterli deyil dreyf xarakterlidir. Elektrik sahəsinin intensivliyi i-oblastda $\sim 10^5 \text{ V/m}$ qiymətə çatır və nəticədə dreyf hərəkətinin orta sürəti $\sim 10^5 \text{ m/san}$ olur. Qeyd edək ki, i-oblastdan kənarda hərəkət diffuziya xarakterlidir ($\sim 10^2 \text{ m/san}$) və bu da prosesin sürəkliliyini azaldır. Prosesin sürəkliliyini artırmaq üçün şüanı i-oblasta nüfuz etdirmək lazımdır. Məsələn 0.8mkm dalğa uzunluğunda Si maddəsinə şüanın nüfuz dərinliyi 20-22mkm-ə çatır. Şüanın əks olunma əmsalını azaltmaq üçün diodda şəffaf optika istifadə olunur və işçi səthin perimetri boyunca qoruyucu sədd çəkilir. Bu sədd elektrik deşilmə gərginliyini bir qədər artırmağa imkan verir. Sürətliliyi daha yüksək olan diodlar uçuş (uçub keçmə) diodlarıdır. Onlarda şüa nazik n-oblastına düşür. İş prinsipi zərbə ilə ionlaşma hadisəsinə əsaslanır. Diod deşilmə gərginliyində işləyir. Bu gərginliyin qiyməti temperaturdan asılı olduğundan xüsusi tədbir görülür.

Şottki fotodiodları. Güclü aşqarlanmış n^+ silisium altlıq üzərində nazik yüksək omlu yarımkeçirici n-tip epitaksial təbəqə yetişdirilir. Sonra n-tip materialın yüksək dərəcədə təmizlənmiş səthinə nazik (0,1 mkm) yarımşəffaf təbəqə çəkilir. Daha sonra bu təbəqənin üzərinə əksetdirməyə qarşı örtük çəkilir (şəkil 4.22.).

“Metal-yarımkeçirici” kontaktın strukturu və xüsusiyyətləri metalda və yarımkeçiricidə Fermi səviyyələrinin ($U_{f,m}$, $U_{f,y/k}$) qarşılıqlı yerləşməsindən asılıdır. Kontakt yarandığı halda elektronlar n-tipli yarımkeçiricidən metala keçirlər. Bu halda “Metal-yarımkeçirici” sərhədi yaxınlığında donorların müsbət ionlarının həcmi yükü və uyğun olaraq elektrik sahəsi yaranır. Xarici gərginlik və optik şüa axını olmadıqda keçid müvazinət vəziyyətində olur. Kontakt qatındakı potensial çəpər Şottki baryeri adlanır. Xarici gərginliyin işarəsindən asılı olaraq onun hündürlüyü və kontakt qatının müqaviməti dəyişəcəkdir. Düzünə gərginlik verilən halda (müsbət qütb metala, mənfi qütb isə n-tip

yarımkeçiriciyə) potensial çəpər (baryer) aşağı düşür, kontaktyanı qat əsas yükdaşıyıcılarla – elektronlarla zənginləşir və “Metal-yarımkeçirici” keçidin müqaviməti tarazlıq halından az olur. Xarici gərginliyin işarəsi dəyişən halda , yəni keçidə əks gərginlik verdikdə kontaktın potensial çəpərinin hündürlüyü artır. Bu halda kontaktyanı qat əsas yükdaşıyıcılarla - elektronlardan daha çox yoxsullaşır və onun müqaviməti tarazlıq vəziyyətinə nəzərən artır. Beləliklə, “Metal-yarımkeçirici” kontakt düzləndirmə xüsusiyyətinə malik olur ki, bu da Şottki diodlarının əsasını təşkil edir.



Şəkil 4.22. Şottki baryerli fotodiodun a) strukturu
və b) strukturda sahənin paylanması

Şottki diodlarının p-n keçidinə malik diodlardan fərqi onlarda qeyri-əsas yükdaşıyıcıların olmamasındadır. Şottki diodlarında əsas yükdaşıyıcıların hərəkətindən istifadə edilir və onlarda qeyri-əsas yükdaşıyıcıların toplanması və sorulması prosesləri olmur. Bu səbəbdən belə diodlarda çevrilmə prosesi tez baş verir.

Şottki baryerinə malik diodlarda şüalanma kvantlarının enerjisi qadağan olunmuş zonanın enindən kiçik olan hallarda kontaktın metalında kvantların udulması imkanı vardır. Əgər şüalanma kvantlarının enerjisi potensial çəpərdən böyük olarsa, həyəcanlanmış elektronlar potensial çəpəri aşaraq, metaldan yarımkeçiriciyə keçə bilirlər. Nəticədə fotodiodun spektral xarakteristikasının uzundalğalı sərhədi daha uzun dalğa tərəfə sürüşür.

Fotodiod əsaslı fotoqəbuledici qurğular. Fotoqəbuledici bloku işıq şüalandırıcısının şüalandırdığı optik dalğaları qəbul edərək atmosferdə baş verən udulmalar hesabına yaranan zəifləmələri, şüalanma mənbələrinin intensivliyini ölçmək və digər bu tipli məsələləri həll etməyə imkan verir. Fotoqəbuledici bloklarda həssas element kimi Si əsaslı FD263, FD256 tipli fotodiodlar və

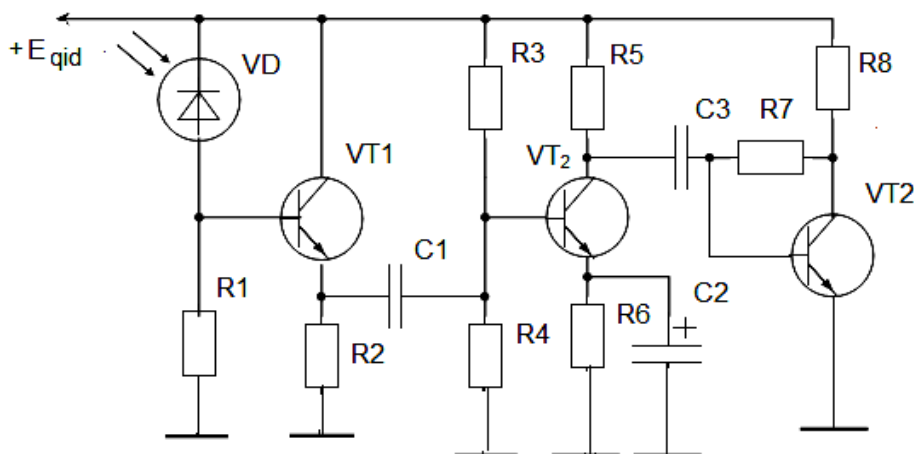
onların analoqları geniş istifadə olunur. Əksər hallarda həssas element kimi bu fotodiodların analoqu olub, daxili fotodioda və gücləndiriciyə malik olan mikrosxem istifadə olunur (məsələn OSD-100 markalı mikrosxem). Fotodiodun və ilkin gücləndirici blokun texnoloji cəhətdən birləşdirilməsi gücləndirici kanala düşən küylərin minimuma endirilməsinə imkan verir.

Hal-hazırda diskret fotodiodlar əsasında qurulan fotoqəbuledici bloklarda gücləndiriciləri azküylü, mürəkkəb tərkibli güclənmə əmsalı ≥ 1000 olan KT3102, KT3107 tipli tranzistorlar, yaxud azküylü aşağı tezlikli gücləndiricilər olan K538 tipli mikrosxemlər, yaxud, azküylü əməliyyat gücləndiriciləri əsasında qururlar.

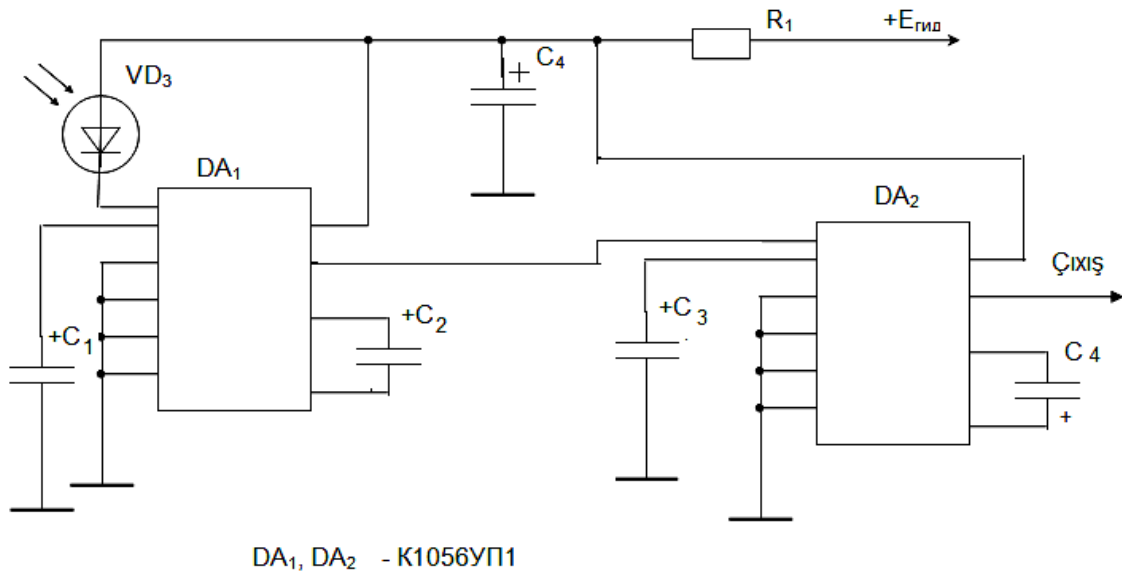
Tranzistor əsasında qurulan fotoqəbuledici bloklar bir çox əlverişli xüsusiyyətləri ilə seçilir. Belə ki, elementlərin əldə olunmasının, yığım və montaj sxemlərinin sadə olması, kökləmə işlərinin asan olması bu halda üstünlük təşkil edir.

Gücləndirici blokun ilkin kaskadı olaraq emitter təkrarlayıcısı istifadə olunması onunla bağlıdır ki, bu sxemdə fotodiod sxemə əks istiqamətdə qoşulmuşdur və əvvəlki sxemdəkindən fərqli olaraq fotodiod – əks müqavimətinin işıqlandırmanın təsiri ilə dəyişməsi rejimində işləyir (şək.4.23). Növbəti kaskad kollektor stabilizasiyasına malik olan ümumi emitterli sxem üzrə qurulub. Bu qoşulmada fiksə olunmuş sürüşməyə malik olan kaskaddakından fərqli olaraq, sürüşmə dövrəsinin müqavimətinin giriş dövrəsinin müqavimətinə təsiri olmur. Çıxış kaskadı kimi isə standart rezistiv – tutum əlaqəli ümumi emitterli sxem üzrə qoşulmuş kaskad istifadə olunmuşdur. Bu sxemdə ümumi gücləndirmə əmsalı istifadə olunan tranzistorun növündən asılı olaraq 3000-30000-ə qədər ola bilər.

Son illər bir çox analoji fotoqəbuledici bloklar K1056UP1 tipli mikrosxemlər əsasında qururlar. Bu mikrosxem əsasında qurulan fotoqəbuledici blokun tipik sxemi şək. 4.24 - də göstərilmişdir.



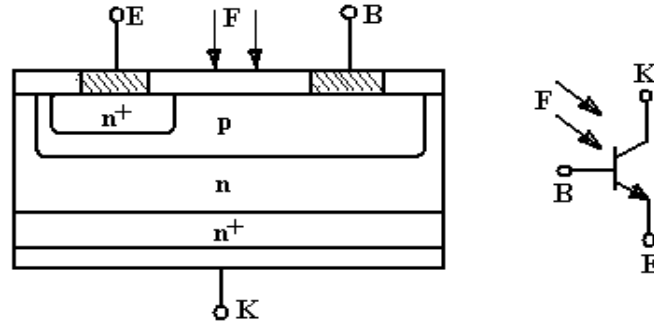
Şək.4.23. Tranzistorlar əsasında qurulmuş fotoqəbuledici qurğu.



Şək. 4.24. Mikrosxem əsaslı fotoqəbuledici blokun sxemi.

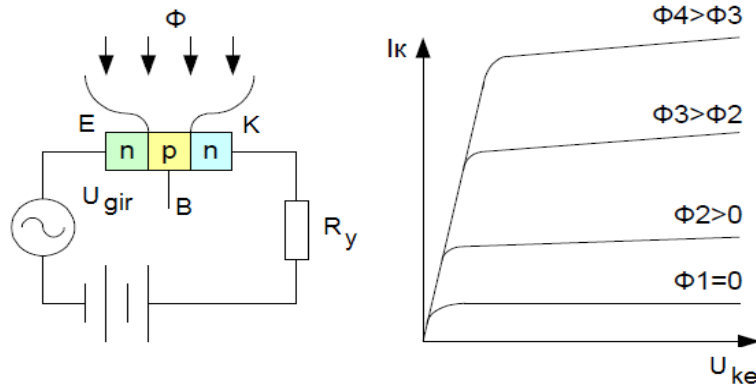
4.4.4. Fototranzistorlar. Tranzistor strukturuna malik və fotocərəyanı gücləndirə bilən fotoqəbuledici cihazlara fototranzistorlar deyilir. Bu cihazlar, adətən ÜE sxem üzrə qoşulan bir və ya bir neçə tranzistordan ibarət olur (şəkil 4.25). Sadə fototranzistorda optik şüalar strukturun işçi baza oblastına təsir edir. Burada fotodaşıyıcıların generasiyası təmin edilir, sonra isə p-n keçid vasitəsilə ayrılır.

Foto yükdaşıyıcıların ayrılması zamanı, elektrik güclənməsi mexanizmi hesabına, konsentrasiya əlavə olaraq artmış olur. Deşiklər keçid vasitəsi ilə p-oblasta keçirlər, elektronlar isə bazada qalırlar. Elektronların həcmi yükü hesabına yaranan sahə bazadakı yükləri baza cərəyanı hesabına azalda bilmir. Odur ki, həcmi yüklərin sahəsi emitter keçidinin potensial çəpərini aşağı salır və deşiklərin bazaya əlavə injeksiyasına imkan yaradır. Bu halda fotocərəyan baza cərəyanı rolunu oynayır. Fototranzistorun giriş xarakteristikaları bipolyar tranzistorun xarakteristikalarına analojidir. Çıxış xarakteristikalarının xüsusiyyəti kollektor cərəyanının kəskin görünən doyma oblastının olmamasında və xarakteristikalar toplusunda xarakteristikaların qeyri-müntəzəm paylanmasıdır.



Şəkil 4.25. Fototranzistorun strukturu və şərti işarəsi

Fototranzistorun qoşulma sxemi və çıxış xarakteristikalarının toplusu şəkil 4.26 – da verilmişdir.



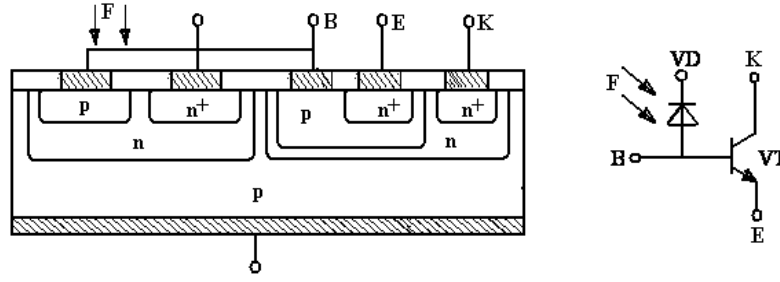
Şək. 4.26

Fototranzistorun bazası işıqlandırıldıqda onda yükdaşıyıcılarının fotogenerasiyası baş verir. Qeyri-əsas yüklər bağlı kollektor keçidindən kollektor oblastına keçir, əsasları isə bazada yığılırlar, bununla da emittor keçidinin açmaq təsirini artırır. Nəticədə emittor cərəyanı, deməli həm də kollektor cərəyanı artır. Yəni kollektor cərəyanının idarə olunması baza cərəyanı ilə yerinə yetirilir.

İnteqral fotoqəbuledicilərdə cəldliyi daxili güclənmə hesabına artırmaq üçün fotodiodla fototranzistorun birləşməsindən istifadə edilir (şəkil 4.27.).

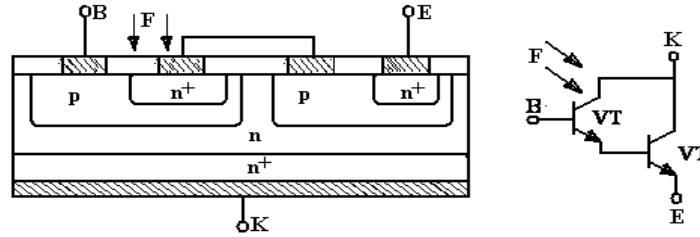
Bu strukturların ayrı-ayrılıqda optimallaşdırılması bir strukturda həssas, yüksək cəldliyə malik fotodiod və yüksək keyfiyyətli tranzistor almağa imkan yaradır. Belə struktur böyük daxili cərəyan güclənməsinə malik yüksək cəldlikli fototranzistora ekvivalent olur.

Həssaslığı daha da artırmaq üçün strukturda şəkil 4.28 – də göstərilən tərkibli fototranzistorlardan istifadə olunur.



Şəkil 4.27. Diod-tranzistorlu fotoqəbuledici.

Optoelektron qurğularda istifadə olunan işıqəhəssas yarımkeçirici cihazlar işıq enerjisini elektrik enerjisinə çevirməklə yanaşı, həm də gücləndirici və elektron açarı xassəsinə malik olurlar. Belə funksiyaları yerinə yetirən yarımkeçirici cihazların tipik nümunələri fototranzistorlar və foto tiristorlardır.



Şəkil 4.28. Tərkibli fototranzistorun strukturu

Fototranzistorların quruluşu və işi bipolyar və sahə tranzistorların quruluş və iş prinsipinə uyğundur.

Fəsil 3-də qeyd olunduğu kimi bipolyar tranzistorlar quruluşca iki $p-n$ keçidinə malik olurlar. Bunlardan biri emitter, digəri kollektor keçidi adlanır.

Yarımkeçirici təbəqələrin təkrarlanma ardıcılığına görə $p-n-p$ və $n-p-n$ növlərinə bölünən bipolyar tranzistorlarda orta oblast baza (B), kənar oblastlar isə uyğun olaraq emitter (E) və kollektor (K) adlanırlar. Xarici sahə olmadıqda elektronların və deşiklərin diffuziya hərəkəti onların yenidən paylanmasını təmin edir və nəticədə hər iki keçiddə kontakt elektrik sahələri yaranır. Bipolyar tranzistorlarda baza oblastı daha yüksək müqavimətə malik olur. Bazadan keçə bilən yükdaşıyıcıların konsentrasiyası emitter-baza (U_{eb}) gərginliyi ilə idarə oluna bilir və nəticədə qoşulma sxemindən asılı olaraq kollektorun çıxışında girişə nisbətən xarici mənbəyin enerjisi hesabına gərginliyin, cərəyanın və gücün gücləndirilməsi yaranır. Emitter $p-n-p$ tip tranzistorlarda deşikləri, $n-p-n$ tiplərdə isə elektronları baza istiqamətdə injeksiya etdirmək funksiyasını yerinə

yetirir. Kollektorun vəzifəsi isə bazaya injeksiya edilmiş zərrəcikləri toplayıb kollektorun elektroduna ötürməkdir. Kollektor və emitterin bu funksiyaları yerinə yetirməsi üçün emitter-baza keçidi düz keçidə uyğun gərginlik mənbəyinə, kollektor-baza keçidi isə əks keçidə uyğun gərginlik mənbəyinə qoşulur. Emitter-baza tranzistorun giriş dövrəsi, kollektor-baza (emitter) dövrəsi isə çıxış dövrəsi hesab olunurlar. Çıxış və giriş dövrlər üçün ümumi düyün nöqtəsinin kollektor, emitter və bazada olmasından asılı olaraq tranzistorlar sxemlərə ümumi baza, ümumi emitter və ümumi kollektor kimi qoşulurlar.

Ümumi emitter sxemi ən çox istifadə olunan sxemdir. Belə sxemdə giriş signalının gücü $10^3 \div 10^4$ dəfə gücləndirilir. Gücləndirmə üçün enerji sərfi kollektor dövrəsinin gərginlik mənbəyindən götürülür.

Adi bipolyar fototranzistorun quruluşu sxematik olaraq şəkil 4.25-də göstərilmişdir. Optik şüalanma fototranzistorda şəffaf foto qəbuledici təbəqədən işçi p-oblastına (bazaya) düşür. Müəyyən dərinliyə nüfuz edərək elektron-deşik cütü yaradır və baza oblastın elektrik keçiriciliyini artırır. Fotogenerasiya prosesi termik generasiya kimi qeyri-əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını artırır.

Fototranzistorun qoşulma sxemi. Fototranzistorlar adətən dövrəyə ümumi emitterli sxemlə qoşulurlar. Bazadan elektrodun çıxarılması o qədər də vacib deyil. Şüalanmanın təsirindən yaranan deşiklər kollektor keçidini keçərək p-oblastına düşür. Elektronlar isə bazada qalırlar. Bazaya toplanan elektronlar emitter keçidinin potensialını azaldır və bunun hesabına emitterdən əlavə deşiklər bazaya inyeksiya edilir və kollektor tərəfindən sorulur. Yaranan fotocərəyan baza cərəyanı rolunu oynayır. Bu səbəbdən də fototranzistorun çıxış xarakteristikası bipolyar tranzistorun çıxış xarakteristikası kimidir. Fotodioda nisbətən fototranzistorlar cərəyanı β dəfə çox artırır və uyğun inteqral həssaslıq β dəfə çox olur:

$$S_f = S_{fd} \cdot \beta \quad (4.40)$$

Burada S_{fd} - emitter keçidinə uyğun fotodiodun cərəyanına görə həssaslığı; β - tranzistorun gücləndirmə əmsəlidir. Bu baxımdan fototranzistor tranzistorda gücləndirici funksiyası yerinə yetirən kollektor keçidinin girişinə paralel qoşulmuş fotodioda ekvivalentdir və fototranzistorun həssaslığı fotodiodunkundan qat-qat yüksəkdir.

Baza sabit cərəyanla qidalandığından tranzistorun temperatur həssaslığı pozulur və fototranzistorun həssaslığının astana qiyməti aşağı düşür. Bu səbəbdən qaranlıq cərəyanın qiyməti $I_q = I_0(1 + \beta)$ artır. Burada I_0 - tranzistorun istilik (gizli) cərəyanıdır.

Bipolyar fototranzistorların tətbiqində bir sıra çətinliklər yaranır. Ötürmə əmsalını yaxşılaşdırmaq və cəld işləmə qabiliyyətini artırmaq üçün baza çox nazik olmalıdır. Bazanın nazikləşdirilməsi fotohəssaslığı aşağı salır. Kompromis variantda cəld işləmə qabiliyyəti $10^{-5} \div 10^{-6}$ san təşkil edir ki, bu da bipolyar fototranzistorların yüksək tezlikli sxemlərdə istifadəsini məhdudlaşdırır.

Vəziyyətdən çıxış yolu, fotodiodu və yüksək tezlikli fototranzistoru özündə birləşdirən inteqral sxemin yaradılmasıdır.

Tərkibində iki tranzistor (tərkibli tranzistor) olan sxem həssaslığı daha çox artırmağa imkan verir (şək.4.28) . Bu zaman

$$I_k = I_{k1} + I_{k2} = \beta_1 I_{b1} + \beta_2 I_{b2} = \beta_1 I_{b1} + \beta_2 (1 + \beta_1) I_{b1} \quad (4.41)$$

olur. Tərkibli tranzistor üçün gücləndirmə əmsalı

$$\beta = \frac{I_k}{I_{b1}} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \beta_2 \approx \beta_1 \beta_2 \quad (4.42)$$

kimidir. Belə fototranzistorun həssaslığı fotodiodunkundan 1000 dəfə çox olur.

4.4.5. Fototiristorlar. Üç və daha çox p-n keçidinə malik və VAX-da mənfə diferensial müqavimətə malik sahəsi olan fotoqəbuledici cihaza fototiristor deyilir. 3 p-n keçidinə malik tiristorun strukturu şəkil 4.29-da göstərilmişdir.

Bu strukturun kənar p və n oblastları emitter, həmin oblastlara bitişik olan keçidlər emitter keçidləri, mərkəzi keçid kollektor keçidi adlanır. Keçidlər arasındakı oblastlar (p və n) baza oblastları adlanır. n-emitterlə kontakt yaradan elektrod katod, p-emitterlə kontakt yaradan elektrod anod adlanır.

Struktura düzünə gərginlik verildikdə statik rejimdə P_2 kollektor keçidindən keçən cərəyan üçün

$$I_{P2} = (I_{k0} + I_{f2}) + (I + I_{f1}) \cdot \alpha_1 + (I + I_{f3}) \cdot \alpha_2 \quad (4.43)$$

yazmaq olar. Bu ifadədən

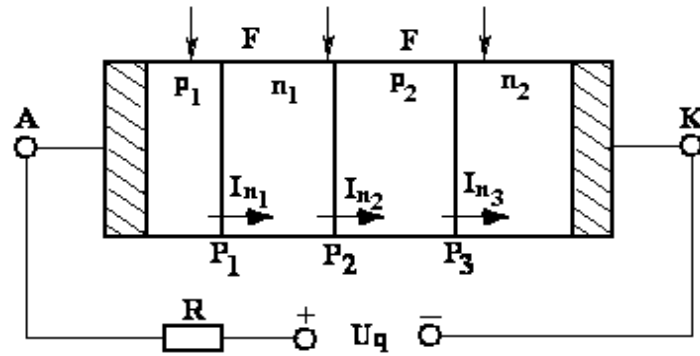
$$I(1 - \alpha_1 - \alpha_2) = I_{k0} + I_{f2} + I_{f1} \cdot \alpha_1 + I_{f3} \cdot \alpha_2 \quad (4.44)$$

alırıq, burada I_{f1} , I_{f2} , I_{f3} – şüalanma ilə generasiya olunan yükdaşıyıcıların uyğun p-n keçidlər vasitəsi ilə ayrılması nəticəsində yaranan fotocərəyanlardır; α_1 , α_2 - p₁-n₁-p₂ və n₂-p₂-n₁ tranzistor stukturlarının cərəyana görə ötürmə əmsallarıdır.

İşıqlanma olmadığı halda, yəni $I_{f1}=I_{f2}=I_{f3}=0$ olduqda, tiristorun iki-elektrodlu (dinistor) qoşulması halı üçün VAX-ın xarakteristikalarını alırıq. Bu xarakteristikalar fototiristorun qaranlıq haldakı xarakteristikaları olur.

İşıqlanma halında strukturdan axan I cərəyanı keçidlərdən axan I_f fotocərəyanlarının birgə təsiri və kollektor keçidinin I_{k0} cərəyanı ilə müəyyən edilir. İşıqlanmanın səviyyəsinin dəyişməsi ilə dəyişən $I_{f2} + I_{f1} \cdot \alpha_1 + I_{f3} \cdot \alpha_2$ kəmiyyəti adi tiristorda idarə cərəyanının rolunu oynayır, yəni işıq selinin təsiri nəticəsində fototiristorun $U_{qoş.}$ qoşulma gərginliyi dəyişir.

Fototiristorlar böyük güclü yüklərin qoşulması üçün perspektivli cihazlar hesab olunurlar.

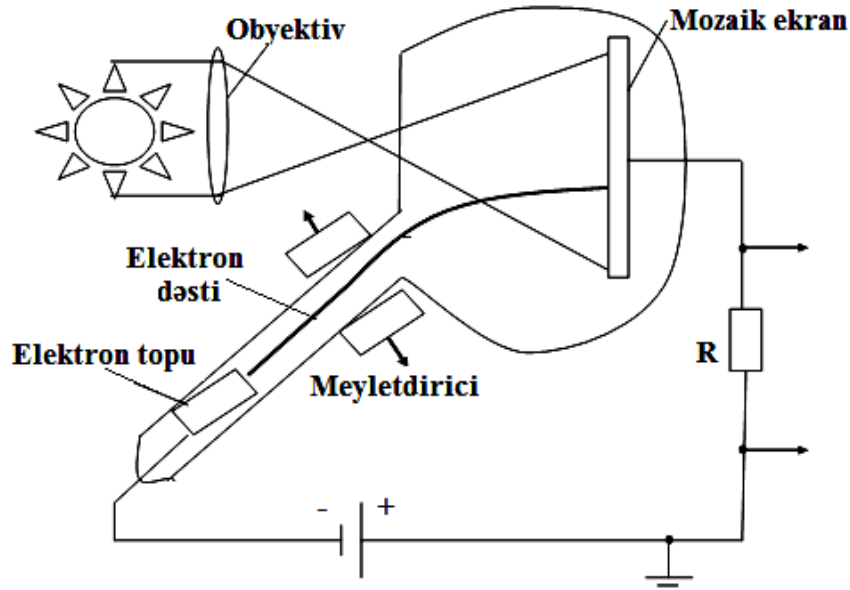


Şəkil 4.29. Fototiristorun strukturu

4.4.6. Təsvirlərin elektrik siqnallarına çevrilməsi qurğuları. Təsvirləri elektrik siqnallarına çevirmək üçün ikonoskop qurğularından və son vaxtlar yük əlaqəli foto qəbuledicilərdən istifadə edilir.

İkonoskoplar. İkonoskopun quruluşu şəkil 4.30-da göstərilmişdir.

Mozaik ekran çoxlu sayda (625) yuvacıqlardan ibarətdir. Obyekt optik sistem vasitəsilə mozaik ekrana fokuslanır. Mozaikanın hər bir yuvası düşən işıqın intensivliyindən asılı olaraq yüklənir. Elektron dəsti meylətdirici lövhələrin (açıcı gərginlik) vasitəsilə böyük sürətlə ardıcıl olaraq üfüqi və şaquli istiqamətdə ekranda gəzdirilir. Nəticədə R müqavimətindən yuvacıqlardakı yükə mütənasib cərəyan keçir. Sonrakı mərhələlər bu cərəyanın gücləndirilməsindən, modullaşdırılmasından və məsafəyə ötürülməsindən ibarətdir. Qəbuledicidə detektə etmədən sonra yaranan siqnal videosiqnal olur. Videosiqnallar kineskop qurğular vasitəsilə görünən təsvirə çevrilir.



Şəkil 4.30. İkonoskopun quruluşu.

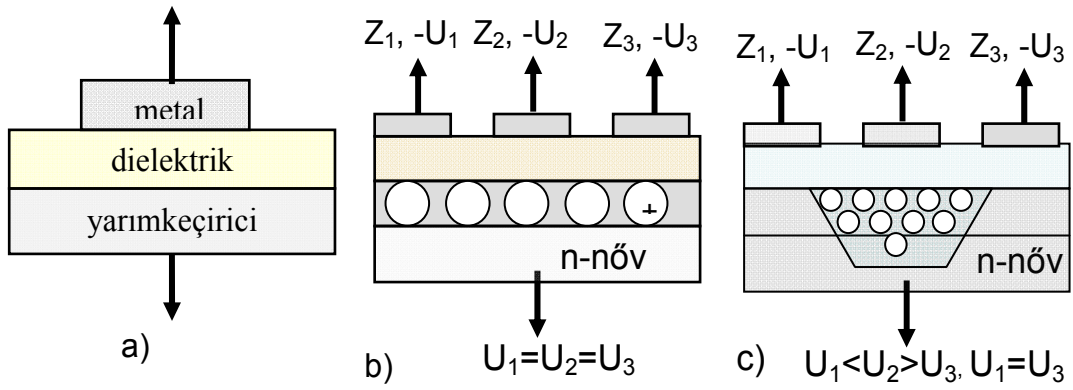
İkonoskop və kineskop qurğuların etibarlılığı yüksək deyil, Onlar vakuum elektron şüa texnikası əsasında yaradılır. Etibarlı qurğular bərk cisim elektronikasısı elementləri vasitəsilə yaradılır. Belə elementlərdən biri MDY (metal-dielektrik-yarımqeçirici) növ kondensatorlar və onlar əsasında yaradılan yük əlaqəli foto qəbuledicilərdir.

4.4.7. Yük əlaqəli fotoqəbuledicilər. Yük əlaqəli foto qəbuledici qurğuların quruluşu və iş prinsipi MDY- kondensatorların quruluşuna və iş prinsipinə əsaslanır. Adi kondensatorlardan, yəni metal köynəkli kondensatorlardan fərqli olaraq elektrik yükləri yarımqeçirici təbəqənin həcmində paylanır. MDY kondensatorun quruluşu şəkil 4.31 (a) –da verilmişdir.

Tutaq ki, köynəklərdən biri n-növ yarımqeçiricidir. Metal köynəyə (bu rəzə (zatvor) və ya bağlayıcı adlanır) müsbət gərginlik verilsə dəşiklər (qeyri əsas yüklər) yarımqeçiricinin tərkinə (dərindən) itələnirlər, elektronlar (əsas yüklər) isə yarımqeçirici dielektrik sərhədinə çəkilirlər. Sərhəd təbəqəsinin bu halı zənginləşmiş rejim adlanır. Bu halda yarımqeçirici təbəqə özünü metal köynək kimi aparır və onun tutumu müstəvi kondensatorlarda olduğu kimi hesablanır:

$$C_0 = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} \quad (4.45)$$

burada, d - dielektrik təbəqənin qalınlığı; ϵ – dielektrik nüfuzluğu; ϵ_0 – elektrik sabiti; S - metal köynəyin səthinin sahəsidir.



Şəkil 4.31. Yük əlaqəli fotoqəbuledici: a) MDY kondensator; b) rəzələr eyni gərginlikdə; c) rəzələr müxtəlif gərginlikdə (Yük paketinin yaranması).

Rəzə mənfi gərginlikdə olarsa, onda elektrik sahəsi sərbəst elektronları yarımkeçiricinin tərkibinə itələyir və yarımkeçirici təbəqə donor ionların hesabına müəyyən qalınlıqda müsbət yüklənir. Bu yükün həcmi sıxlığı $\rho = N_a \cdot q$ kimidir. N_a - donor ionlarının konsentrasiyasıdır.

Bu rejim MDY kondensatorlar və onlar əsasında yaradılan yük əlaqəli foto qəbuledicilər üçün əsas rejim sayılır. Elektrik sahəsinin təsirindən yarımkeçirici təbəqədə elektronlarla yoxsullaşmış oblastda potensialın paylanması Puasson tənliyi ilə ifadə olunur.

$$\frac{d^2 \varphi}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon \epsilon_0} = -\frac{q N_a}{\epsilon \epsilon_0}, \quad (4.46)$$

Tənliyin həlli üçün sərhəd şərtlərindən istifadə olunur: $x=l_0$ olduqda $\varphi=0$ və $d\varphi/dx=0$ olur. Bu şərt daxilində inteqrallama aparsaq aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\varphi_s = \frac{q N_a}{q \epsilon \epsilon_0} \cdot (x - l_0)^2, 0 \leq x \leq l \quad (4.47)$$

burada l_0 - yoxsul zolağın qalınlığıdır. $X=0$ şərtinə uyğun potensial səth potensialı adlanır. Onun qiyməti

$$\varphi(x) = \frac{q N_a}{q \epsilon \epsilon_0} \cdot l_0^2 \quad (4.48)$$

kimi hesablanır. Onda yoxsul oblastın qalınlığı üçün aşağıdakı ifadəni almış olarıq:

$$l_0 = \left(\frac{2 \varepsilon \varepsilon_0 \varphi_s}{q N_a} \right)^{0.5} \quad (4.49)$$

Yük əlaqəli foto qəbuledicilər bir - biriləri ilə qarşılıqlı təsirdə olan çoxlu sayda MDY kondensatorlardan təşkil olunur. Quruluşu şəkil 4.31,b - də verilmişdir. Bütün rəzələr eyni mənfi gərginlik aldıqda onlar altında eyni qalınlıqlı kasıb təbəqə yaranır.

Hansı rəzədə gərginlik modulca böyük olarsa onun altında da kasıb oblast daha qalın olur. Tutaq ki, Z2 rəzəsinə verilən mənfi gərginlik modulca daha böyükdür. Bu şərt daxilində Z2 rəzəsinin səthi işığın təsirinə məruz qaldıqda yarımkeçiricidə foto generasiya baş verir. Onda U2 gərginliyinin təsirindən foto dəşiklər səthə yığılır, fotoelektronlar isə yarımkeçiricinin tərkibinə itələnilir. Səthə toplanan bu dəşiklərin yükü yük paketi (yük qrupu) adlanır. Paketdə yükün qiyməti işıq seli ilə mütənasibdir. Deməli yaranan bu yük paketi işıq selinin daşdığı informasiyanın miqdarının ölçüsü ola bilər.

Yük paketini uzun müddət saxlamaq üçün modulca $U_2 > U_1 = U_3$ olmalıdır. U2- gərginliyi saxlama gərginliyi adlanır (şək.4.31, c).

Əgər modulca $U_3 > U_2$ olarsa onda yük paketi Z2 rəzəsinin altından Z3-ün altına tərəf sürüşər və Z3 rəzəsi vasitəsilə informasiya qəbul olunur. U3 gərginliyi informasiyanı götürülmə gərginliyi adlanır.

Yük paketinin saxlanma müddəti məhduddur. Temperaturun təsirindən uzun müddətli saxlama zamanı yük paketi korlana və yaxud təhrif oluna bilər.

Yük əlaqəli foto qəbuledicilər əsasında foto matrisalar və foto xətkəşlər hazırlanır. Foto matrisalardan təsvirləri elektrik siqnallarına çevirmək üçün, foto xətkəşlərdən isə spektrləri eyni zamanda qeyd etmək üçün istifadə olunur. Eyni zamanda qeyd etmə çox tez müddətdə baş verən kinetik prosesləri izləməyə imkan verir.

4.5. Optronlar, optocütlər və optoelektron mikrosxemlər

4.5.1. Optronların quruluşu və iş prinsipi.

Tərkibində şüalandırıcı və fotoqəbuledici olan, optik və elektrik əlaqəyə malik və konstruktiv cəhətdən biri-biri ilə əlaqəli olan optoelektron cihazlara optronlar deyilir. Optronların bəzi növlərinə optocütlər və ya optoizoleedicilər də deyilir.

İstənilən optronun işləmə prinsipi enerjinin ikiqat çevrilməsinə əsaslanmışdır. Elektrik signalının enerjisi şüalandırıcıda optik şüalanmaya çevrilir. Optoqəbuledicilərdə isə optik signal elektrik cərəyanı və ya gərginliyinə çevrilir, yaxud qəbuledicinin müqavimətinin dəyişməsinə gətirib çıxarır.

Xarici elektrik çıxışlarına, çıxış siqnallarına və daxili optik siqnallara malik optronlar daha geniş yayılmışdır. Belə optronun şəkil 4.32 - də strukturu və şəkil 4.33 – də konstruksiyası verilmişdir.

Elektrik sxemlərində belə cihaz çıxış elementi funksiyasını, yəni giriş və çıxışın elektrik izolyasiyasını (qalvanik ayrılmanı) təmin edən fotoqəbuledici funksiyasını yerinə yetirir.

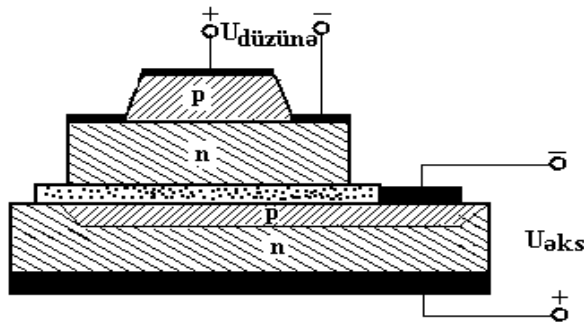
İşıq mənbəyi və foto qəbuledicisi optik və konstruktiv olaraq əlaqələndirilmiş optronlarda işıq mənbəyi elektrik siqnallarını şüalanma enerjisinə çevirir və bunun üçün optron xarici dövrə ilə elektrik əlaqəsində olur, giriş və çıxışın əlaqəsi isə optik signal ilə təmin edilir.



Şəkil 4.32. Daxili optik əlaqəyə malik optronun strukturu

Şüalandırıcı fotonlar mənbəyi rolunu oynayır və bu məqsədlə işıq diodu və ya miniatur közərmə lampası istifadə oluna bilər. Optik mühit hava, şüşə, plastik kütlə və ya lif işıq ötürəni ola bilər. Fotoqəbuledici kimi fotodiodlardan, fototranzistorlardan və fotorezistorlardan istifadə olunur. Bu məqsədlə inteqral fotodiod-tranzistor strukturlarından çox geniş istifadə olunur.

Praktiki işlərdə, adətən, optronların xarici girişlərindən və çıxış optik siqnallarından və daxili elektrik siqnallarından istifadə olunan strukturları tətbiq edilir (şəkil 4.34).

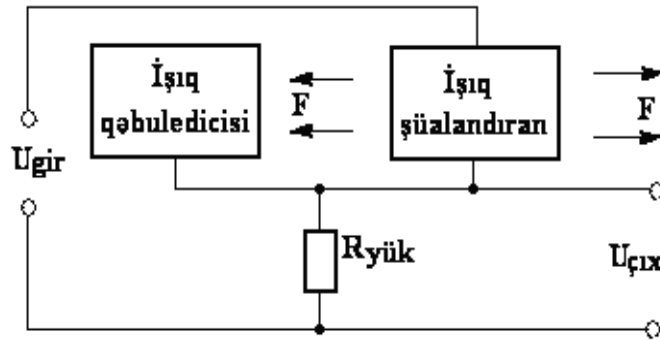


Şəkil 4.33. Daxili optik əlaqəyə malik diod-diod optronunun konstruksiyası



Şəkil 4.35. Xarici optik əlaqəyə malik optron

Bəzi hallarda optik və elektrik əlaqədən eyni zamanda istifadə olunan optronlar da tətbiq edilir. Belə optronun strukturunun mümkün variantlarından biri şəkil 4.35-də göstərilmişdir.



Şəkil 4.35. Eyni zamanda optik və elektrik əlaqələri istifadə olunan optron

Konstruktiv-texnoloji cəhətdən şüalandırıcı və fotoqəbuledici eyni hüquqludur. Enerjinin çevrilməsinin səmərəliliyi və optronun işləmə müddəti əsasən şüalandırıcı ilə müəyyən olunur. Optronlarda məlumat daşıyıcısı kimi fotonlardan istifadə olunması giriş və çıxışın yüksək elektrik izolyasiyasını, informasiya axınının bir istiqamətliliyini, çıxışdan girişə olan əks əlaqənin olmamasını və geniş buraxma zolağını təmin edir. Optronun bunlarla yanaşı aşağıdakı üstünlükləri də vardır:

- elektron obyektlərinin kontaktsiz idarə olunması;
- idarəolunmanın konstruktiv həllinin müxtəlifliyi və çevikliyi;
- optik əlaqə kanallarının elektromaqnit sahəsinin təsirindən asılı olmaması və bununla da uzun optik kanalların yüksək maneədavamlılığı, qarşılıqlı maneə təsirlərinin olmaması;
- xarakteristikaları optik şüaların təsiri ilə verilmiş qanunla dəyişdirilən fotoqəbuledicilərə malik funksional mikroelektron qurğularının yaradılması imkanı,
- optik kanalın (mühitin) materialına təsir etməklə optronun çıxış signalının idarəolunması imkanının genişləndirilməsi (bunun nəticəsində informasiyanın ötürülməsi üçün müxtəlif çeviricilərin və cihazların yaradılması).

Müasir optronlara aşağıdakı çatışmamazlıqlar aid edilə bilər:

- enerjinin iki dəfə çevrilməsi və istifadə olunan böyük güc hesabına aşağı f.i.ə.;

- parametrlərin temperaturdan güclü asılılığı;
- məxsusi küylərin yüksək səviyyəsi;
- konstruktor-texnoloji həllərin mükəmməl olmaması.

Göstərilən çatışmazlıqlar istifadə olunan materialların, texnologiyanın, sxemotexnikanın mükəmməlləşməsi ilə tədricən aradan qaldırılır.

Elektrik dövrləri üçün optron girişi ilə çıxışı qalvanik ayrılmış (elektrik cəhətdən izolyasiya olunmuş) foto qəbuledici olur.

Optronlarda işıq mənbəyi və foto qəbuledici elektrik və işıq parametrlərinə görə qarşılıqlı uyğunlaşdırılmalıdır. Bu məqsədlə aşağıdakı kombinasiyalar optimal sayılır:

1. p-i-n növ fotodiod GaAs (Zn), GaAlAs və GaAsP materiallar əsasında yaradılan işıq diodlarla həm spektral, həm də tezliyə görə yaxşı uzlaşırlar.

2. Si əsasında fotorezistorlar və fototiristorlar GaAlAs materialı əsasında işıq diodu ilə spektral uzlaşır.

3. CdS, CdSe əsasında fotorezistorlar GaP və GaAsP əsasında işıq mənbələri ilə uzlaşır. Lakin belə uzlaşmada cəld işləmə az olur.

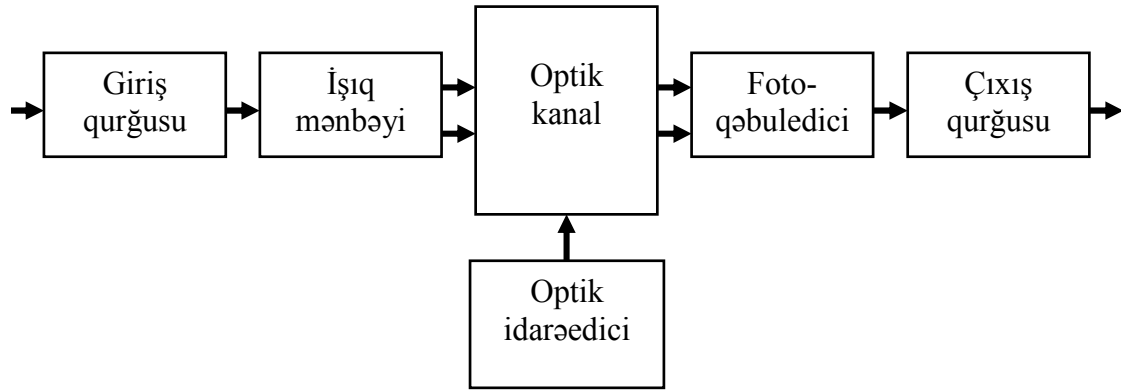
Optronlarda optik idarəetmə yaratmaqla müxtəlif funksiyaları yerinə yetirən çoxlu sayda funksional sxemlər yığılır. Optik idarəetmənin təşkilinin sxem variantlarından biri şəkil 4.36 - dakı kimidir. Bloklar aşağıdakı funksiyaları yerinə yetirirlər:

Giriş qurğusu – giriş siqnallarını şüalandırıcının səmərəli işini təmin edən siqnallara çevirmək üçündür və giriş siqnalını dəyişdirərək onu işıq mənbəyi üçün yararlı hala salır. Optronda, məsələn, İMS-dən işə salınması hallarında cərəyanı 0,1-1 –dən 10-15 mA -ə qədər gücləndirmək lazımdır. Ona görə də məntiqi sxemlərdə işlədilən optronun açılış cərəyanı 10-15 mA qədər gücləndirilir. Giriş qurğusu həm də yüksək cəldliyə malik olmalıdır.

İşıq mənbəyi – elektrik siqnalını işıq siqnalına çevirir. Işıq mənbəyi yüksək f.i.ə., yüksək sürətə və istiqamətlənmiş şüa dəsti yaratmaq tələblərinə cavab verməlidir. Şüalandırıcı elektron-optik çevrilmənin yüksək f.i.ə., yüksək cəldliyə, şüanın kifayət qədər dar istiqamətləndirilməsini və minimal giriş cərəyanını (təxminən 1 mA) təmin etməlidir.

Optik kanal - optik siqnalın enerjisinin zəifləmədən fotoqəbulediciyə maksimum tam ötürülməsi üçündür. Əsas tələblərə siqnalın formasının təhrif olunmamağı və kənar təhriflərdən qorunması aiddir. Ona görə optik kanal siqnalın, onun formasını dəyişmədən, yaxşı (təhrifsiz) buraxılmasını tələb etməlidir. Bu zaman şüalanmanın ətrafa minimum səpələnməsi təmin edilməlidir ki, ətrafda yerləşən optik siqnallara həssas olan qurğulara təsiri

olmasın. Optronun səhvən işə düşməsinin qarşısını almaq üçün o, xarici şüalanmadan maksimum təcrid olunmalıdır.



Şəkil 4.36. Optik idarəetmənin sxemi.

Optik idarəedici qurğu optik kanalın xüsusiyyətlərini idarə etmək üçündür və onun vasitəsi ilə çıxış siqnalı dəyişdirilir (modulyasiya edir). Bu zaman çıxış siqnalının dəyişməsi optronun həm elektrik girişi üzrə, həm də fotoqəbuledicinin optik girişi üzrə həyata keçirilə bilər. Bu məqsədlə ya optronun elektrik girişinə təsir göstərilir, ya da foto qəbuledicinin optik girişi idarə olunur. Optik kanalın digər konstruktiv dəyişmələri də mümkündür. Məsələn, açıq optik kanala malik (şüalandırıcı ilə fotoqəbuledici arasında hava boşluğu) optron bu boşluqda hərəkət edən perfolentdən məlumatın oxunması üçün yararlıdır. Xarici qeyri-elektrik təsirlər zamanı öz xüsusiyyətlərini dəyişən optik kanal seçməklə müxtəlif optoelektron çeviricilər almaq olar.

Fotoqəbuledicidə çox az itki ilə optik siqnalın elektrik siqnalına çevrilməsi baş verir ki, bu halda fotoqəbuledicinin böyük cəldliyi daxilində yüksək həssaslığı tələb olunur. Fotoqəbuledici bəzən fotosiqnalın ilkin güclənməsi funksiyasını da yerinə yetirir. Aydınır ki, “Şüalandırıcı-Optik kanal- FQ” dövrəsinin səmərəli işləməsi ancaq buraya daxil olan bütün elementlərin spektral xarakteristikalarının razılaşdırılması halında mümkündür.

Çıxış qurğusu fotoqəbuledicinin siqnalının, onun ötürülməsi üçün yararlı olan standart formaya çevrilməsini təmin edir. Burada yüksək cəldlik və səmərəlilik mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Göründüyü kimi, optik və elektrik xarakteristikalarına, istismar şəraitinə, konstruktör-texnoloji əlamətlərinə görə elementlərin uzlaşmasının təmin edilməsi optronların optimal konstruksiyaya edilməsinin əsas məsələsidir.

Hal-hazırda texnikada öz xassəsini xarici təsirlə dəyişdirə bilən optik kanallardan istifadə etməklə müxtəlif təyinatlı optoelektron çeviricilər yaradılır və geniş tətbiq olunur.

4.5.2. Optronların növləri və parametrləri. Quruluşunun mürəkkəblilik dərəcəsinə və optik kanalın növünə görə optronlar aşağıdakı növlərə bölünür:

1. Optocütlər – optik əlaqəli və elektrik izolyasiya olunmuş optronlardır.

Optocütlərin əsas parametrləri 4 qrupa bölünür:

- a) Giriş parametrləri - bunlar işıq mənbəyinin parametrləridir;
- b) Çıxış parametrləri – bunlar foto qəbuledicinin parametrləridir;
- c) Ötürmə parametrləri – çıxışı və girişi əlaqələndirilən parametrlərdir;
- d) İzolyasiya parametrləri.

Məsələn: Giriş parametrlərinə – nominal giriş cərəyanı, düz cərəyanda gərginlik düşküsi, girişlə çıxış arasında elektrik tutumu və s. aiddir.

2. Optoelektron inteqral mikrosxemlər (OİS) – tərkibində bir neçə optocüt olan mikrosxemlərə deyilir. Bu mikrosxemlər analoq və rəqəm çıxışlı olurlar.

3. Xüsusi optronlar – optik kanalın konstruksiyasına görə fərqlənirlər. Belə optronlara – lifli optik kanalı, çoxkanallı, açıq optik kanalı, idarə olunan optik kanalı olanlar aiddirlər.

Optronların tətbiqində üstün cəhətlər və çatışmazlıqlar mövcuddur. Üstün cəhətləri aşağıdakılardır:

1. Çıxış və giriş arasında elektriki əlaqəsinin olmaması və foto qəbuledici ilə işıq mənbəyi arasında əks əlaqənin olmaması ($R_{gir-çix} \sim 10^{14} \text{ Om}, C < 2pF$);

2. Buraxma zolağına uyğun tezlik diapazonunun çox geniş olması $0 < f \leq 10^{14} \text{ Hz}$;

3. Optik kanala təsir göstərməklə çıxış signalının idarəsinin mümkünlüyü;

4. Xarici elektromaqnit sahəsinin təsirinə dayanıqlığı;

5. Elektron sxemlərində yarımkeçirici və mikroelektron qurğularla yaxşı uzlaşması.

Optronların çatışmayan cəhətləri aşağıdakılardır:

1. Elektrik-optik və optik-elektrik çevrilmələrdə sərf olunan gücün çox olması, f.i.ə. kiçik olması;

2. Temperaturun dəyişməsinə həssaslığı və xarici radiasiyaya reaksiyanın olması;

3. İşçi parametrlərin zaman keçdikdə dəyişməsi;

4. Xüsusi küyün yüksək olması;

5. Hibrid texnologiyadan istifadə zərurəti. Bir cihazda müxtəlif materiallı elementlərin istifadə olunması.

4.5.3. Optocütlər.

Rezistor optocütləri. Rezistor optocütlərində şüalandırıcı kimi işıq şüalandıran diodlar, infraqırmızı şüalandırıcı diodlar və yaxud ifrat miniatur közərmə lampaları istifadə olunur. Fotoqəbuledici element kimi görünən işıq və

ya görünməyən infraqırmızı şüaların təsiri altında müqaviməti azalan yarımkeçirici rezistordan - fotorezistordan istifadə olunur. Fotorezistorun müqavimətinin azalması işıq təsiri ilə yarımkeçiricinin elektrik keçiriciliyini artıran cüt sərbəst yükdaşıyıcıların – elektron və deşiklərin generasiya olunması hesabına baş verir.

Fotorezistor və şüalandırıcı optocütün gövdəsi daxilində böyük izolyasiya müqavimətinə malik optik şəffaf mühit (kley) vasitəsilə birləşdirilir. Odur ki, şüalandırıcının dövrəsi optocütün çıxış dövrəsindən – fotoqəbuledicidən etibarlı izolə olunur. Optocütün parametrləri temperaturdan asılıdır. Fotorezistorun temperaturunun artması onun işıq müqavimətinin artmasına və fotocərəyanın azalmasına səbəb olur. Temperaturun artması zamanı qaranlıq cərəyan artır, qaranlıq müqaviməti azalır.

Diod optocütləri. Diod optocütlərində fotoqəbuledici element kimi silisium əsasında yaradılan fotodiod, şüalandırıcı kimi infraqırmızı şüalandırıcı diod istifadə edilir. Şüalanma zamanı fotodiodda cüt sərbəst yükdaşıyıcıların – elektron və deşiklərin generasiyası baş verir. Generasiyanın intensivliyi işığın gücünə, yəni giriş cərəyanına mütənasib olur. Əgər optocütün fotodioduna 0,5 V-dan böyük əks gərginlik verilərsə, şüalanma nəticəsində generasiya olunan elektron və deşiklər fotodiodun əks cərəyanını artırır. Qəbuledici elementin bu cür iş rejimi fotodiod rejimi adlanır. Əks fotocərəyanın qiyməti şüalandırıcı diodun işıq şiddətinin (gücünün) artması ilə xətti olaraq artır.

Tranzistor optocütləri. Tranzistor optocütü fototranzistorlu fotoqəbuledici elementdə yerinə yetirilir. Adətən, optocütlərdə dalğa uzunluğu 1 mkm ətrafında olan və şüalanmaya həssas silisium əsasında yaradılan n-p-n strukturlu fototranzistorlardan istifadə edilir. Şüalandırıcı kimi arsenid-qallium əsasında yaradılan dioddan istifadə edilir. Şüalandırıcı diod konstruktiv cəhətdən elə yerləşdirilir ki, işığın əsas hissəsi fototranzistorun baza oblastına istiqamətləndirilsin. Şüalandırıcı və qəbuledici optik şəffaf mühit (kley) vasitəsilə biri-birindən izolə edilir. Tranzistor optocütləri analoq və rəqəm kommutatorlarında, optoelektron relelərdə, əlaqə xətlərində və s. qalvanik ayırma üçün tətbiq edilir.

Tiristor optocütləri. Tiristor optocütlərində qəbuledici element kimi silisium fototiristordan istifadə edilir. Fototiristor adi tiristor kimi 4-təbəqəli p-n-p-n strukturuna malikdir. Konstruksiya cəhətdən optocüt elə yerinə yetirilir ki, giriş - işıq diodunun şüalarının əsas hissəsi fototiristorun yüksək omlu n baza oblastına istiqamətlənmiş olur. Kənar oblastlara – p-anoda və n-katoda xarici gərginlik verilir (+ qütbü anoda qoşulur). Şüalanma zamanı n-bazada elektron və deşik yükdaşıyıcılar cütü generasiya olunur. n- və p-oblastlar arasındakı mərkəzi keçidin (kollektor) elektrik sahəsi hesabına yükdaşıyıcılar ayrılırlar. Bu zaman

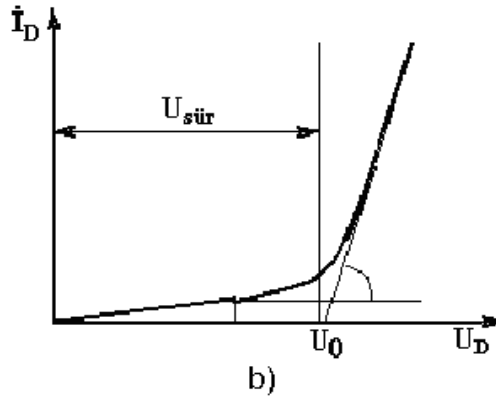
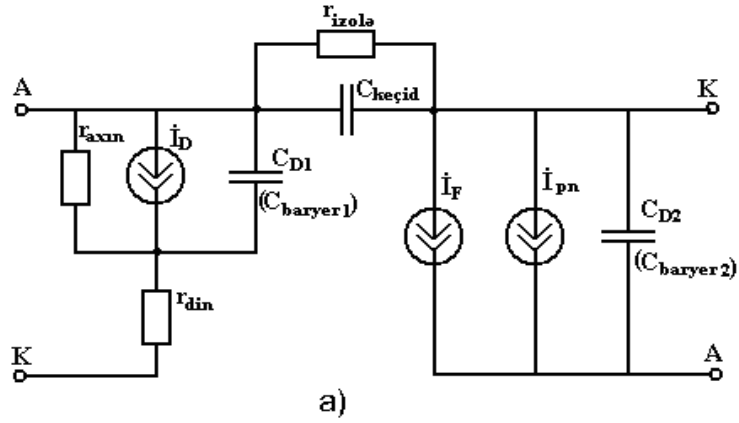
elektronlar n-bazada qalır, deşiklər isə p-bazaya düşürlər. Strukturun emitter adlanan kənar keçidlərindən qeyri-əsas yükdaşıyıcılar injeksiya olunurlar. Strukturdan axan cərəyanın selvari formada artması tiristoru «məhv olma» vəziyyətinə gətirir. Bütün keçidlər (3) düz istiqamətdə sürüşmüş olurlar və fototiristorda gərginlik düşküsi onun açıq vəziyyətində kiçik alınır. Fototiristor fotocərəyanın böyük daxili güclənməsinə malik olur. Fototranzistordan fərqli olaraq, fototiristorun qoşulmuş vəziyyəti giriş diodunun şüalanması aradan götürüldükdən sonra da saxlanılır. İdarəedici siqnal, tiristor optocütünə tiristoru açmaq üçün lazım olan qısa müddət ərzində verilə bilər. Bununla da enerji sərfinin kifayət qədər azalması əldə edilir. Tiristoru bağlamaq üçün xarici qıda gərginliyini götürmək lazımdır.

Fototiristorun üstün cəhətlərindən biri onun idarə dövrlərində az gücün tələb olunmasındadır (yükdə böyük güc idarə olunduğu hallarda) ki, bu da onlara girişə görə integral mikrosxemlərlə işləməyə imkan verir.

Sənayedə *integral mikrosxem* şəklində hazırlanmış optocütlər kütləvi şəkildə istehsal olunaraq geniş tətbiq tapmışdır. Bunlar içərisində AOD101 tipli diod optocütlərini, AOT102 və AOT110 tipli tranzistor optocütlərini misal göstərmək olar.

4.5.4. Optronun elektrik modeli. Diod optocütün dinamik modelinə baxaq. Birinci, diod optocütü tərkibində iki optoelektron cihaz – şüalandırıcı diod və fotoqəbuledici (foto-diod) olan qurğudur. Odur ki, optocütün modeli komponentlərin modellərindən ibarət olur. İkinci, optoelektron cihazlar arasında diod optocütü ən yaxşı izolyasiya və cəldlik parametrlərinə görə fərqlənirlər.

Şüalandırıcı diodun dinamik modeli I_d cərəyan mənbəyindən, diodun r_{din} dinamik müqavimətindən (diodun baza müqavimətindən, kontakt və çıxışların omik müqavimətlərindən ibarət), axıntı $r_{axın.}$ müqavimətindən və diodun C_d tutumundan ibarətdir (şəkil 4.37). Şüalandırıcı diod üçün U gərginliyi ilə idarə olunan I_d cərəyan mənbəyi, adətən diodun VAX-nın hissə-hissə xətti aproksimasiyaya uyğun gələn ifadələrlə təsvir olunur (şəkil 4.37,a). Diodun baryer tutumu C_{b1} güclü təsir yaratdığına görə diodun VAX-nın $0 < U < U_0$ gərginliyi üçün olan hissəsini şüalandırıcı diodda nəzərə almaq lazımdır. U gərginliyinin bu qiymətlərində C_{b1} tutumunun qiymətini azaltmaq üçün bəzən düzünə sabit sürüşmə gərginliyindən $U_{sür}$ istifadə edilir (şəkil 4.37,b).



Şəkil 4.37. Diod optocütün dinamik modeli (a) və şüalandırıcı diodun VAX-nın aproksimasiyası (b)

Şüalandırıcı diodun dinamik modeli kimi, adətən Ebers-Moll modelindən və ya yüklə idarəolunan modeldən istifadə edilir. Ebers-Moll modeli üçün əvəzləmə sxemi şəkildə verilmişdir:

$$I_D = I_0 [\exp(U/(m\varphi_T)) - 1];$$

$$C_D = C_{baryek} + C_{dif};$$

$$C_{barye2} = C_{barye0} (1 - U/\Psi)^{-\gamma}$$

$$C_{dif} = [I_0 \exp(U/(m\varphi_T))] (m\varphi_T / \tau), \quad (4.50)$$

burada $\varphi_T = 0,026$ V ($T=25_0C$); $\Psi = 0,7 \dots 0,75$ V; C_{dif} –diffuziya tutumudur.

Modelin I_0 , m , φ_T parametrlərini şüalandırıcı diodun statik VAX-nın aproksimasiya şərtindən

$$I_j = I_0 \left[\exp(U_j - I_j t_{din}) / (m\varphi_T) \right] \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4.51)$$

ifadəsi ilə hesablamaq olar. Burada I_j , U_j – cərəyan və gərginliyin diodun VAX-da j -cı təcrübi nöqtəyə uyğun qiymətləridir; N - təcrübi nöqtələrin sayıdır. Hesablama, məsələn, minimum kvadratlar üsulu ilə aparılır.

Fotodiod iş rejimi üçün fotoqəbuledicinin modeli $I_f = k_i I_d$ fotocərəyan mənbəyindən, gərginliklə idarəolunan p-n keçidinin $I = I_0 \exp \left\{ \left(\frac{U}{m T} \right) - 1 \right\}$ cərəyan mənbəyindən və fotodiodun C_{b2} baryer tutumundan ibarətdir. Qeyd etmək lazımdır ki, optocütün cəldliyi C_{b1} , C_{b2} baryer tutumları ilə kifayət qədər məhdudlanır. Optocütün elektrik izolyasiyasının parametrləri $C_{keç}$ keçid tutumu və R izolyasiya müqaviməti ilə təsvir olunur. Optocütün izolə dövrəsindəki tutum cərəyanı optocütün girişində və çıxışında gərginliyin dəyişmə sürətindən asılıdır. Keçid tutumu vasitəsi ilə elektrik əks əlaqəsi və uyğun olaraq səhvən qoşulma və ya qurğunun öz-özünə həyəcanlanması mümkündür.

Optronların digər növü Volstron adlanır. Volstron aralarında lif işıqötürəni olan (uzunluğu 10-100 m təşkil edir) şüalandırıcıdan və fotoqəbuledicidən ibarət olan qurğudur və vahid konstruksiyaya malikdir.

4.5.5. Lifli optik rabitə elementləri. Müasir rabitə sistemlərində informasiya mübadiləsi üçün optik şüalanmadan istifadənin üstünlükləri əsaslandırılmışdır.

Rabitə metodlarının inkişaf tarixi göstərir ki, dalğa uzunluğu qısaldıqca məlumatın ötürülməsinin keyfiyyəti yüksəlir. Bu qısa dalğa uzunluqlarında maneədayanıqlığının yüksək olması və rabitə kanallarının sayının artırılma imkanının olması ilə əlaqədardır. Kiçik dalğa uzunluqlarında sənaye və atmosfer təbiətli küylərin səviyyələri az olur.

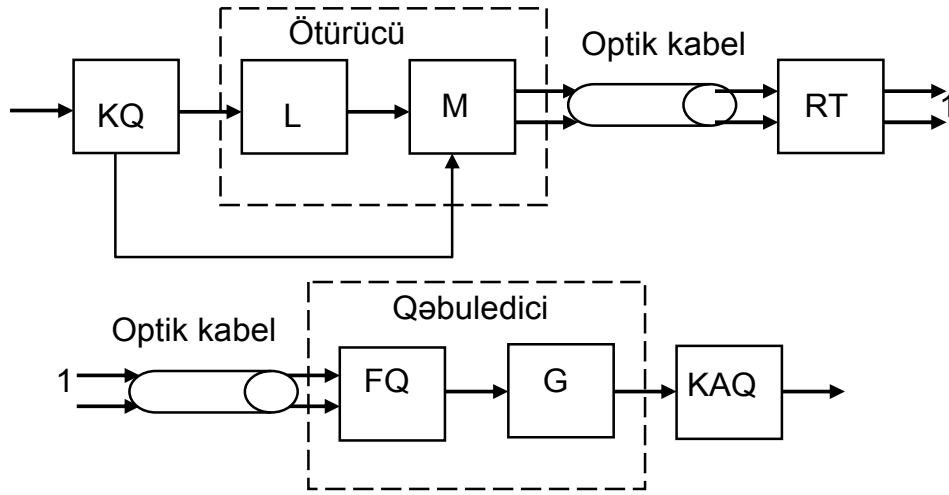
Güclü şüalanma mənbələrinin – lazerlərin yaradılması onlar vasitəsilə informasiya mübadiləsinin təşkilinə geniş imkan yaratsa da açıq kanallardan istifadənin imkanları məhduddur. Güclü yağıntı və duman rabitənin uzaq məsafəyə ötürülməsinə imkan vermir.

Elektrik kabellərinin analoqu olan optik liflərin istehsalı yüksək keyfiyyətli rabitə kanalı yaratmağa imkan verir.

Optik lifli rabitə xəttinin (OLRX) quruluş sxemi şəkil 4.38-dəki kimidir.

Optik lifli rabitə xəttinin əsas elementlərinin funksiyaları aşağıdakılardır:

KQ - kodlaşdırıcı qurğu ilə ilkin məlumat ötürülmək üçün tələb olunan formaya çevrilir. Kodlaşdırılmış siqnal *M* - *modulyatora* ötürülür, modulyator isə *L* - *Lazerin* şüalanma intensivliyini idarə edir. Modullaşdırılmış optik siqnal *optik kabelə* ötürülür və *FQ* - *foto qəbuledicidə* yenidən elektrik siqnalına çevrilir, *G* – *gücləndirici* vasitəsilə gücləndirilir və *KAQ* – *kod açan qurğuda* kodu açılır. *RT* - *Retranslyator* böyük məsafələrə informasiyanın ötürülməsi zamanı siqnalın səviyyəsini saxlamaq üçün istifadə olunur.



Şək. 4.34. Optik idarəetmənin sxemi

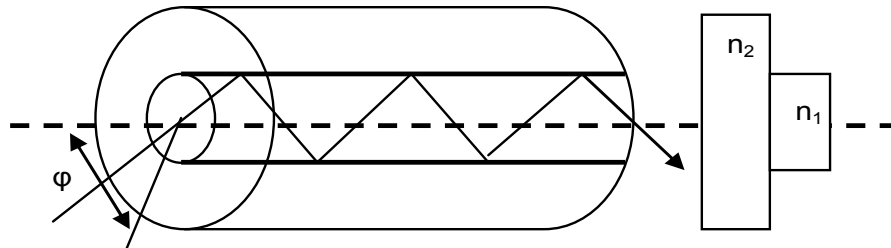
Optik lifli rabitə xəttinin əsas elementi optik kabeldir - lifli işıq ötürücüsüdür. Optik lifin quruluş sxemi şəkil 4.39-da verilmişdir.

Optik lifin işi tam daxilə qayıtma hadisəsinə əsaslanır. Tam daxilə qayıtmanın baş verməsi üçün $\varphi > \varphi_0$ və $n_1 < n_2$ olmalıdır. Burada φ_0 -tam daxilə qayıtmanın limit bucağıdır.

$A_0 = \sin \varphi_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} < 1$ kəmiyyəti lifin aperturası adlanır. Optik siqnalın lifdə zəifləmə əmsalı

$$B = \frac{1}{l} 10 \lg \frac{P_{\text{вп}}}{P_{\text{чвх}}} \quad (4.52)$$

kimi təyin olunur, burada l – optik lifin uzunluğudur. Müasir kabellər üçün $B=0,5\text{dB/km}$ kimidir.



Şək. 4.39. Optik lifin quruluş sxemi

4.6. İndikatorlar

Elektron qurğuları ilə istifadəçi arasında informasiya mübadiləsi ölçmə cihazlarının, xüsusi çeviricilərin-rəqəm çap və indikasiya qurğularının köməyi ilə həyata keçirilir. Rəqəm çap qurğuları, bir qayda olaraq, elektron qurğularının tərkibində məlumatın emalı nəticələrini sənədləşdirmək üçün istifadə edilir. Mikrokontrollerli elektron qurğuları əsasında yaradılan texnoloji proseslərin idarə edilməsi və onlara nəzarət sistemlərində indikator qurğularından istifadə edilir. İndikator qurğuları elektrik siqnallarını informasiyanın təsvirinin vizual formasına çevirir. Həll olunan məsələdən asılı olaraq indikatorlar müxtəlif mürəkkəbliyə - sadə işıq diodundan tutmuş elektron-şüa indikatoru əsasında universal displeyə qədər – malik olurlar.

İnformasiyanın təsviri qurğuları müxtəlif fiziki prinsiplərə əsaslanır və onları aşağıdakı növlərə ayırmaq olar:

1. *Közərmə indikatorları* elektrik cərəyanı ilə qızdırılmış metal torun işıqlanmasına əsaslanır. Təsvirin lazım olan parlaqlığını almaq üçün böyük gücə malik cərəyan mənbəyi tələb olunur. Bu indikatorlara közərmə lampası, işarələrə malik közərmə vakuum indikatorları aid edilir. İndikatorlarda işarə seqmenti kimi 3...5 V gərginlikdə 20...30 mA işıqlanma cərəyanına qədər qızdırılan volfram sapdan istifadə edilir.

2. *Lüminessent indikatorlarda* müəyyən kristal cisimlərin elektrik sahəsində işıqlanma xüsusiyyətindən istifadə edilir. Bu indikatorlar köynəkləri arasında rəngli lüminoforlu dielektrik qatı yerləşdirilmiş müstəvi kondensatordan ibarət olurlar. Lüminoforun işıqlanması elektrodların 175...250 V dəyişən gərginlik mənbəyinə qoşulduğu halda baş verir. İşarənin təsviri indikatorun üz tərəfində yerləşən trafaretlə müəyyən edilir.

3. *Vakuum-lüminessent indikatorlar* lüminoforun elektronlarla bombalanması zamanı işıqlanmasına əsaslanmışdır. Bu tip indikatorlar yüksək parlaqlığa malikdirlər, uzunömürlüdürlər, az enerji sərf edirlər, bir neçə dövrəyə işləyə bilirlər, MDY-strukturlu mikrosxemlərlə yaxşı uzlaşırlar.

4. *Qazboşalma indikatorları* elektrik boşalması zamanı qazın işıqlanmasına əsaslanmışdır. Bu indikatorlar zəif boşalmaya malik ion cihazlarına aid edilir və soyuq katoda malik olurlar. İon cihazları 0,1...1000 Pa təzyiqlə ətalətli qazla doldurulmuş şüşə balon içərisində təlləşdirilmiş iki və daha çox elektroda malik olurlar. Elektrodlar arasında yüksək gərginlik tətbiq etdikdə elektrik boşalması baş verir. Bu indikatorlara neon lampaları, zəif boşalma tiratronları, xətti indikatorlar, indikator panelləri, çoxkatodlu (seqmentli) indikatorlar aid edilir. Bu indikatorlar 100-250 V gərginlik tələb etdiklərindən onların bilavasitə MP sistemlərinə qoşulması mümkün olmur.

5. *Yarımkeçirici indikatorlar* p-n keçiddə neon yük daşıyıcılarının rekombinasiyası zamanı işıq kvantlarının şüalanmasına əsaslanmışdır. BU indikatorların əsasında işıq diodu durur və işıq şüaları p-n oblastından şəffaf pəncərə içərisindən keçərək şüalanır. Işıq diodlarının işıqlanması 2...6V düzünə gərginlikdə və 10...40 mA cərəyanda yaranır.

6. *Mayekristallı indikatorlar* elektrik cərəyanının təsiri altında maye kristalların optik xüsusiyyətlərinin dəyişməsinə əsaslanmışdır. Digər indikatorlardan fərqli olaraq onların özləri işıq şüalandırmırlar, ancaq onlara düşən və ya onlardan keçən işıq şüalarını sındırırlar. İndikatorun əsasını maye xüsusiyyətlərinə və kristal molekulyar struktura malik mayekristal cisim təşkil edir. Belə cismin strukturu elektrik sahəsinin və ya ultrasəs təsiri altında asanlıqla dəyişir. Bu indikatorların konstruksiyası kondensatora oxşayır. Elektrik keçirici qatla örtülmüş daxili səthə malik şüşə lövhələr arasında mayekristal cisim təbəqəsi (qatı) yerləşdirilir. Elektrodlardan biri şəffaf, digəri isə işığı yaxşı əks etdirən olur. Elektrodla verilən 10...20 V gərginliyin təsiri altında cismin şüanı sındırmaq xüsusiyyəti dəyişir və nəticədə onun şəffaflığı azalır. Əgər şəffaf elektrodlar seqment şəklində yerinə yetirilmiş olarsa, onda işıq fonunda nöqtə işarələr alınır. Bu indikatorlar ən az enerji sərf edir və MDY strukturlarla yaxşı uzlaşır. Lakin onlardan istifadə etmək üçün xarici işıq mənbəyi və dar temperatur diapazonu (1...50°C) lazımdır.

Baxılan indikatorlardan məişət texnikasında daha çox yarımkeçirici və mayekristallı indikatorlar istifadə olunur.

4.6.1. Hərf-rəqəm indikatorları. Hərf-rəqəm indikatorları informasiyanın rəqəmlər, hərflər və müxtəlif simvollar şəklində təsvir edilməsi üçün nəzərdə tutulub.

Hərf-rəqəm indikatorlarını aşağıdakı növlərə bölürlər:

- közərməli;
- qazboşalmalı;
- işıqdiodlu;
- vakuumlu elektrolüminessentli;
- mayekristal.

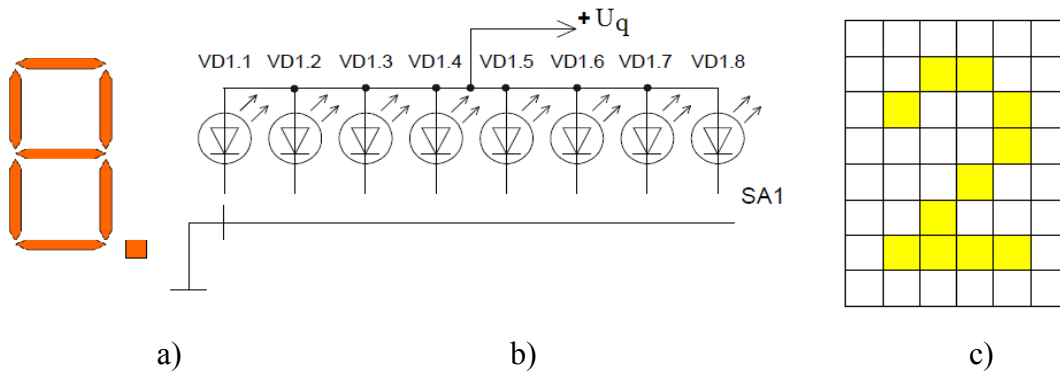
Közərməli və qazboşalmalı indikatorlar indiki dövrdə praktiki olaraq tətbiq olunmurlar.

İşıqdiodlu indikatorlar iki növ olurlar: yeddiseqmentli və matrisli.

Yeddiseqmentli işıqdiodlu indikatorlar informasiyanın rəqəm şəklində təsvir edilməsi üçün nəzərdə tutulub və yeddisi seqment, biri - səkkizincisi isə, nöqtə formasında olan səkkiz işıq diodundan ibarətdir (şək 4.40, a). Işıqdiodlu seqmentləri uyğun qaydada qida mənbəyinə qoşmaqla istənilən rəqəmi

formalaşdırmaq olar. Nöqtə eyni qayda ilə işıqlandırılır və ədədin tam hissəsini göstərmək üçündür.

Yeddiseqmentli indikatorlar iki cür buraxılır – ümumi anodlu, yaxud ümumi katodlu (şək. 4.40, b).



Şəkil 4.40. Işıqdiodlu indikatorlar: yeddiseqmentli indikator (a) və onun qoşulma sxemi (b). Matrisli indikator (c).

4.6.2. Matrisli indikatorlar. Işıqdiodlu matrisli indikatorlar çoxlu sayda işıqdiodlarından ibarət olur. Bu və ya digər işıqdiodlarının matrisdə qoşulması yolu ilə istənilən rəqəm, hərf, yaxud, simvolu formalaşdırmaq olar (şək. 4.40, c).

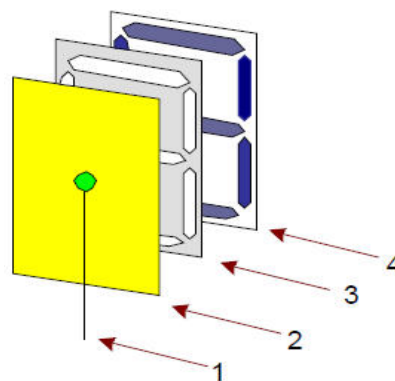
Işıqdiodlarının üstünlükləri aşağıdakılardır:

- az qida gərginliyi;
- nisbətən az sərf etdiyi cərəyan;
- rəqəmin dəqiq konfigurasiyası.

Çatışmazlığı – işıqlanma parlaqlığının kifayət olmamasıdır.

4.6.3. Vakuumlu elektrolüminessent indikatorlar. İş prinsipi metallaşdırılmış seqmentlər şəklində olan, lüminoforla örtülmüş anodların səthinə elektron seli düşdükdə onların işıq saçmasına əsaslanmışdır.

Belə indikatorun tərkibinə termoelektron emissiya yaratmaq üçün 1- katod, 2 - sürətləndirici tor, 3- maska və 4- anodlar daxildir (şəkil 4.41).



Şəkil 4.41. Vakuumlu elektrolüminessent indikator.

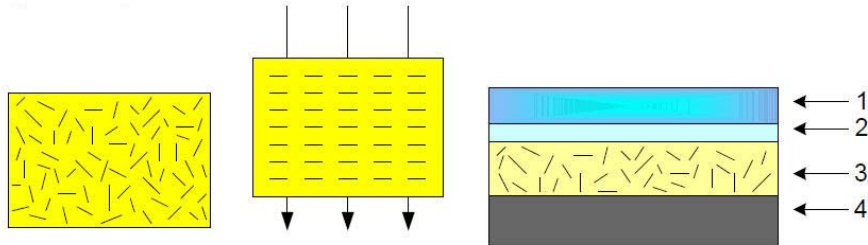
Katod, tor vasitəsilə sürətlənən və sonra maskadan keçərək gərginlik verilən anodlara düşən elektron seli yaradır və bu da öz növbəsində lüminoforun işıqlanmasını əmələ gətirir. Maska - anodların konfigurasiyasına uyğun yarıqları olan metal folqa olub, rəqəmin daha dəqiq konfigurasiyasını almaq üçün nəzərdə tutulur.

Bu tip indikatorların çatışmazlığı tələb etdiyi cərəyanın böyük olmasıdır.

4.6.4. Mayekristallı indikatorlar. Yüksək yürüklüyə malik, uzun zəncirlər şəklində olan material maye kristal adlanır. Buna görə də adi halda molekullar materialda xaotik yerləşmişdir və maye kristal qeyri-şəffafdır. Əgər maye kristal elektrik sahəsinə yerləşdirsək, onda onun molekulları sahənin gərginlik xətlərinə nəzərən istiqamətlənir və maye kristal şəffaf olur.

İndikatorun konstruksiyasına 1-şüşə, 2-şəffaf elektrod, 2-maye kristal və 4-qeyri-şəffaf elektrod daxildir (şək.4.42). Şəffaf elektrod seqmentlər, hərflər, yaxud simvollar şəklində yerinə yetirilir, və şəffaf və qeyri-şəffaf elektrodlar arasında elektrik sahəsinin yaradılmasından asılı olaraq, həmin yerdə maye kristal şəffaf olur, və ondan qeyri-şəffaf elektrod görünmüş olur.

Əsas üstünlüyü qida gərginliyinin kiçik və tələb etdiyi cərəyanın olduqca az olmasıdır. Çatışmazlığı isə, onun yalnız xarici işıqlanmanın olduğu halda istifadə oluna bilməsidir.



Şəkil 4.38. Mayekristallı indikatorlar

Optoelektron cihazların şərti qrafiki işarələnməsi əlavə 1-də, geniş yayılmış bir sıra optik elektron cihazların əsas parametrləri isə əlavə 2-də verilmişdir.

Qeyd: Əlavə 1-də elektron cihazlarının şərti-qrafiki işarələnməsi, əlavə 2-də geniş yayılmış elektron cihazlarının sorğu materialları, onların parametrlərinin və iş rejimlərinin təhlillərinə nümunələr, əlavə 3-də elektron cihazlarının tətbiq olunduğu elektron qurğularının sxemlərindən nümunələr və onların praktiki işçi rejimleri verilmiş, onların hesablanması aparılmasına göstərişlər verilmişdir.

5. NANOELEKTRONİKA ELEMENTLƏRİ

5.1. Nanoelektronika haqqında ümumi məlumat

Son illərə qədər fiziklər və elektronika mühəndisləri öz hesablamalarında yalnız klassik fizikanın qanunlarından istifadə edirdilər. Bu çox vaxt özünü tam doğruldurdu, çünki elektronların hərəkəti, məsələn, kineskopda olduğu kimi, özünü klassik maddi nöqtə kimi aparır. Çoxlu sayda belə misallara baxmayaraq, qeyd etmək lazımdır ki, hal-hazırda vəziyyət günbəgün dəyişir. İnteqral sxemlər daha mürəkkəbdir və özündə çoxlu elementlər cəmləşdirir, ona görə də, bu elementlərin ölçüləri mümkün qədər kiçilməlidir. Elementlərin ölçüləri indi mikronun hissələrinə qədər çatdırılmışdır. Bu halda klassik fizikanın tətbiqi özünü doğrultmur və yeni element bazasının yaradıcıları kvant mexanikasına müraciət etməyə məcbur olurlar.

Klassik fizikaya görə elektronlar, qalan bütün hissəciklər kimi trayektoriyalar üzrə hərəkət edir.

Kvant mexanikasında hərəkət mənzərəsi tamamilə başqa cürdür. Bu nəzəriyyədə hərəkət trayektoriya üzrə təsvir edilmir. Bu halda birlikdə elektronun başlanğıc koordinatının və impulsunun verilə bildiyi dəqiqliyə məhdudiyyətlər qoyulur. Əgər elektronun koordinatı Δx məlumdursa, onda onun impulsunu $\Delta p \geq h/2\pi\Delta x$ -dən dəqiq təyin etmək olmaz. Bu münasibət, Qeyzenberq qeyri-müəyyənliyi adlanır. Bu ifadədən görünür ki, elektronun vəziyyətinin çox dəqiq verilməsi elektronun impulsunun böyük qeyri müəyyənliyinə gətirib çıxarır və deməli, elektronun hərəkət edəcəyi istiqaməti əvvəlcədən təyin etmək isə qeyri mümkün olur.

Son illər artıq işi kvant mexanika prinsiplərinə əsaslanmış cihazların işlənməsi sahəsində böyük nailiyyətlər əldə olunmuşdur. Atomları bir-iki təbəqə dəqiqliyi ilə yerləşdirərək, verilmiş xassələrə malik olan süni kristallar, molekullar və atomlar yaratmaq olar. Bu cür materiallar, xüsusən də, cihazlarda istifadə olunan yarımkeçirici strukturları bir neçə nanometrlər ölçülərinə malikdirlər. Belə mikrostrukturları bir neçə əsas tiplərə ayırırlar: kvant çalaları (oyuqları), sapları, nöqtələri, ifrat qəfəsləri.

Nanoelektronika (nanoelectronics) elm və texnikanın nanometr ölçülərində elementləri olan elektron cihazlarının yaradılması, tədqiqi və tətbiqi ilə məşğul olan bir sahəsidir. Bu cihazların işləməsinin əsasında kvant effektləri durur. “Nano” yunan sözü olub elementlərin ölçülərinin nanometrlər səviyyəsində ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) olduğunu göstərir. Belə ki, nanoelektronikada istifadə olunan elementlərin ölçüləri bir neçə nanometrdən yüzlərlə nanometrlərə qədər təşkil edir.

Qeyd etmək lazımdır ki, “nanoölçülü strukturları” və “aşağı temperaturu strukturları” fərqləndirirlər. Birinci hal üçün əsas əlamət strukturun heç olmasa bir istiqamətdə nanoölçülərə uyğun olan xətti ölçüləridir. Aşağı ölçülü strukturlar (*lowdimensional structures*) ən azı bir ölçüsü sıfıra bərabər olan strukturdur. Belə tərif şərti xarakter daşıyır, belə ki, atomlardan düzəldilmiş səthin qalınlığı sıfır yox, bir atomun diametrinə bərabər olub 10^{-10} m təşkil edir.

Nanohissəciyin üzərinə elektron düşdükdə və ya ondan elektron qopduqda cərəyana görə bloklanma baş verir və bu effekt “Kulon bloklanması” adlanır. Bu effekt bir elektronla dövrəni açıb bağlamağı mümkün edir. Son illər bu effektə əsaslanan birelektronlu tranzistor hazırlanmışdır. Nanostrukturlar üzrə hazırlanan metalların möhkəmliyi adi metallara nisbətən bir neçə dəfə, bərkliyi 50-70 dəfələrlə, korroziyaya davamlılığı on dəfələrlə çoxdur.

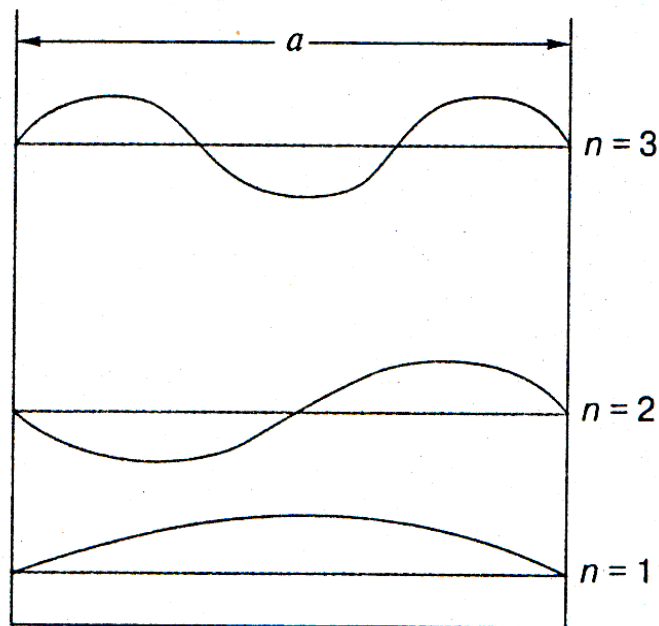
5.2. Kvantlama prinsipləri, kvant ölçülü effektlərin müşahidə olunması şərtləri və kvant strukturları

Məlum olduğu kimi elektron ikili korpuskulyar-dalğavari xassələrə (dualizm) malikdir. Deməli, elektron interferensiyaya məruz qala bilər, dar yarıqlardan və çəpərlərdən keçə bilər, bununla yanaşı o adi zərrəcik əlamətlərini saxlayır. Elektron tam müəyyən kütlə və yükə malikdir. Bundan başqa klassik nəzəriyyəyə tabe olan hissəciklər kimi elektron impulsa və enerjiyə malikdir.

Kvant mexanika təsvirinin əsas xüsusiyyətlərini nəzərdən keçirək. Əgər hər hansı bir zaman anında elektron fəzanın məhdud sahəsində yerləşirsə, onun sonrakı yerini dəqiq qabaqcadan demək mümkün deyil. Hissəciklərin fəzada paylanması və bu paylanma ehtimalı haqqında danışmaq olar. Bu paylanmanı təsvir edən kəmiyyət Ψ - funksiyası, yaxud dalğa funksiyası adlanır. Bu funksiya çoxlu sayda elektronların, yaxud yükü bütün fəzaya “yayılmış”(paylanmış) bir elektronun ortalaşmış fəaliyyətini təsvir etmir, o, ayrı-ayrı elektronların ehtimal, statistik təsvirini verir. Bu funksiyanın intensivliyi, daha dəqiq deyilsə, onun kvadratı Ψ^2 hissəciyin bu ya başqa sahədə aşkarlanması (qeydə alınması) ehtimalını müəyyənləşdirir. Δx intervalında hissəciyin qeydə alınma ehtimalı $|\Psi|^2 \Delta x$ - ə bərabərdir. Dalğa funksiyası kvant sisteminin əsas xarakteristikasıdır. Bu funksiya elektronlar yaxud, atomdakı, molekuldakı, kristaldakı başqa hissəciklər haqda tam informasiyaya malikdir.

Elektronun xalis kvant təbiətinin təzahürlərindən birini nəzərdən keçirək. Məlumdur ki, məhdud həcmdə həyəcanlandırılan müxtəlif fiziki təbiətli dalğalar ciddi təyin olunmuş dalğa uzunluğuna və tezliyə malikdir. Elektronun hərəkəti məhdud həcmdə baş verdiyi halda onun enerjisi ciddi təyin olunmuş, diskret qiymətlərə malikdir. Bu halda deyirlər ki, enerji spektri kvantlanmışdır. Əgər

elektron atomda, molekulda, yaxud potensial çuxurda “bağlanıb” qalıbsa Ψ - dalğa funksiyası özünü durğun dalğa kimi aparır. Əgər söhbət şəkildə verilmiş düzbucaqlı potensial çuxurdan gedirsə, onda dalğa dartılmış sim halında olduğu kimi olacaq, yalnız bu halda birinci dalğanın təbiəti başqadır, ikinci dalğa bu halda diskret tezlik spektri yox, enerji spektridir (şək.5.1). Çuxurlardakı elektron hallarını təsvir edən durğun dalğalar, $x=0$ və $x=a$ nöqtələrdə qiyməti sıfıra bərabər olur. Dalğa funksiyası $\Psi_n(x) = (\sqrt{2/a})\sin(\pi xn/a)$ ifadə olunur, burada n – kvant halının nömrəsi, a – çuxurun ölçüsüdür. Verilmiş şəkildə $n = 1,2,3$ nömrələrinə uyğun olan üç belə funksiya təsvir edilmişdir.



Şək.5.1. Çuxurlarda olan elektronların dalğa funksiyası.

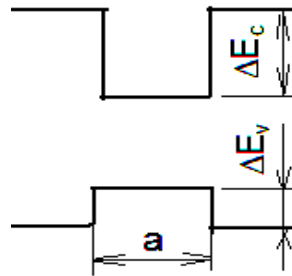
Göründüyü kimi elektron sıxlığı çuxurda qeyri-bərabər paylanır, ehtimalın sıxlığının maksimumları və minimumları var. Həmçinin, alınır ki, Ψ_n - funksiyasının, müxtəlif n -lərlə olan elektron hallarını təsvir edən dalğa uzunluqları $\lambda_n/2 = a/n$ şərtini ödəyir, yəni ki, çuxurda yarımdalğaların tam sayı yerləşir.

Kvant ölçülü effektlərin müşahidə olunması üçün energetik səviyyələr arasındakı məsafələr olduqca böyük olmalıdır. Birinci növbədə bu fərq yükdaşıyıcıların istilik enerjilərindən xeyli çox olmalıdır: $E_{n+1} - E_n \gg kT(1)$, əks halda effektlərin müşahidəsi qeyri-mümkün olacaq. Əgər qaz cırlaşıbsa və E_F – Fermi səviyyəsi ilə xarakterizə olunursa, onda həmçinin, $E_{n+1} - E_n \geq E_F$ şərtinin ödənilməsi lazımdır, bu halda (1) şərti avtomatik yerinə yetirilir, çünki $E_F \gg kT$, əkc halda, kvant effektləri olduqca kiçik nisbi qiymətlərə malik olur.

Bundan başqa yüklərin aşqarlarda, fononlarda və s. səpilmələri ilə bağlı digər şərtlər də mövcuddur.

5.2.1. İkiölçülü elektron qaz strukturları. Belə strukturlara bir misal nazik örtüklərdir. Bu strukturlarda istiqamətlərdən biri (z) çox kiçikdir, deməli, bu istiqamətdə energetik spektri $E_n = (\hbar n/a)^2/8m$ düsturu ilə təsvir etmək olar; burada m – elektronun effektiv kütləsi, a - örtüyün qalınlığıdır (çünki bu istiqamətdə potensial çuxur yaranır). Qalan iki istiqamətdə elektronlar sərbəst hərəkət edə bilirlər. Yaranmış potensial çuxuru sonsuz dərin hesab etmək olar. E_n qiyməti çuxurun həqiqi qiyməti Φ ilə müqayisədə kiçik olacaq. Bu şərt örtüyün qalınlığının nanometrlər həddində olmağına gətirib çıxarır ki, bu da bir neçə atom arası məsafəyə uyğundur. Kvant ölçülü örtükdəki yüklərin tam enerjisi qarışıq diskret-kəsilməz spektrə malikdir və $E = E_n + (p_x^2 + p_y^2)/2m$ ifadəsi ilə təyin olunur. Burada p_x və p_y təbəqə müstəvisində impuls komponentləridir.

Belə nazik örtüklərin istehsalı olduqca mürəkkəb problemdir, ona görə də müşahidələri əsasən, nazik örtük kimi dielektrik istifadə olunan MDY – strukturlarda aparılır. Hal-hazırda heterostrukturlarda (qadağan olunmuş zonalarının eni müxtəlif olan yarımkeçiricilər arasında kontakt) effektlər müşahidə olunur. Belə kontaktda energetik zonaların kənarları, yükdaşıyıcıların hərəkətini məhdudlaşdıran və kvant çuxurları rolunu oynayan divarlar sıçrayışlara məruz qalır (şək. 5.2).



Şək. 5.2.

5.2.2. Birölçülü elektron qaz strukturları (kvant sapları). Belə strukturlarda iki istiqamət (y və z) çox kiçikdir, ona görə də hər istiqamətdə enerji spektrini $E_n = (\hbar n/a)^2/8m$ düsturu ilə təsvir etmək olar. Burada a – örtüyün bir istiqamətdəki qalınlığıdır. Belə ki, bu istiqamətdə potensial çuxur yaranır. O biri istiqamətdə (x) isə elektronlar sərbəst hərəkət edə bilər. Yaranmış potensial çuxuru sonsuz dərin hesab etmək olar, deməli, E_n çuxurunun həqiqi dərinliyi Φ ilə müqayisədə kiçik olmalıdır. Bu şərt, sapın qalınlığının nanometrlər həddində olmasına gətirib çıxarır. Kvant ölçülü sapların tam enerjisi nazik örtüklərə

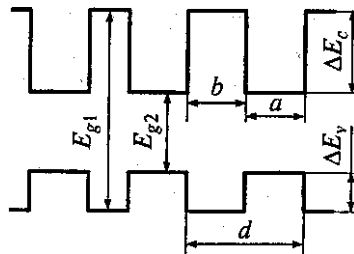
analoji olaraq qarışıq diskret-kəsilməz spektrə malik olur. Bu halda $E = E_{nm} + p_x^2/2m$ olur, burada p_x – sapın istiqamətində (x) impuls komponentidir.

5.2.3. Sıfır ölçülü elektron qaz strukturları (kvant nöqtələri). Belə strukturlarda bütün istiqamətlər (x, y və z) çox kiçikdirlər, bu halda enerji spektrini hər istiqamətdə $E_n = (\hbar n/a)^2/8m$ düsturu ilə təsvir etmək olar, burada a – örtüyün, verilmiş istiqamətdəki qalınlığıdır və bu istiqamətdə potensial çuxur yaranır. Eynilə bu halda da yaranmış potensial çuxuru sonsuz dərin hesab etmək lazımdır, deməli, E_n çuxurun həqiqi dərinliyi Φ ilə müqayisədə kiçik olmalıdır. Bu şərt yenə nöqtənin ölçülərinin nanometrlər həddində olmasına gətirib çıxarır. Kvant nöqtəsi yük-daşıyıcılarının tam enerjisi həmçinin, diskretkəsilməz spektrə malikdir(daşıyır) $E = E_{nml}$. Bu strukturlar xüsusi maraq kəsb edir, çünki onların xassələri diskret atomun xassələrinə analojidir, ona görə də bu strukturları bəzən süni atomlar da adlandırırlar.

5.2.4. Şaqüli köçürməli strukturlar. Real eksperiment nümunələrinin çoxlu sayda eyni olan, yaxud demək olar ki, eyni olan kvant obyektləri var. Adətən, bu fiziki mənşərini dəyişmiş, çünki bütün obyektlərdən təsirlər (daxil-olmalar) toplanır. Əgər obyektlər biri-birinə elə yaxın yerləşiblər ki, yük daşıyıcıları onlar arasında tunnəlləşə bilsin, onda vəziyyət əksinə dəyişmiş olur.

Şəkil 5.3 - də göstərilmiş çox nazik geniş zonalı ayıran təbəqələrlə olan paralel kvant çuxurlarını nəzərdən keçirək. Bu halda çuxurlar asılı olmayan (müstəqil) deyildirlər və genişzonalı təbəqələrdən(qatlardan) tunnəlləşmə hesabına elektron mübadiləsi edə bilirlər.

Belə strukturları şaquli daşıyıcı strukturlar adlandırırlar. Şəkil kvant çuxurlar sisteminə uyğundur, amma bu sistemi litoqrafik prosedurlara məruz etməklə, aralarında şaquli ötürmələr mümkün olan kvant sapları (tellər), yaxud kvant nöqtələri sistemi əldə etmək olar. Belə strukturlar bir sıra nanoelektronika cihazlarının əsasın təşkil edir.



Şək. 5.3.

Əgər şaquli daşıyıcı strukturlardakı paralel təbəqələrin (qatların) sayı çox olduqda (ən azı bir neçə onlarla) bu halda periodik struktura, yaxud, ifrat qəfəsə malik olan struktura alınır. İfrat qəfəslərin ən vacib xassəsi, tək kvant çuxurunun

spektrinə nəzərən onun energetik spektrinin mənzərəsinin dəyişmiş olmasıdır. Şəkildən görüldüyü kimi elektronlara və dəşiklərə ifrat qəfəsdə heterosərhədlərdə baş verən zonaların qırılması (kəsilməsi) ilə əlaqəli olan əlavə $V(z)$ düzbucaqlı potensial impulsu təsir edir. Bu potensial kristallik qəfəs kimi periodikdir və ona periodik potensial üçün Şredinger tənliyinin xassələri haqqındakı əsas nəticələr tətbiq oluna bilər.

Yüklərin z oxu boyunca (ifrat qəfəsin oxu) hərəkəti p_z kvazi impuls ilə təsvir oluna bilər, belə ki, enerji, $h/(a + b)$ periodlu bir periodik funksiyadır. Enerji spektri zona xarakteri daşıyır və özünü yol verilən və qadağan olunmuş zonaların növbələşməsi kimi göstərir. Bu zonalar ilkin keçiricilik zonasının (elektronlar üçün) və valent zonasının (deşiklər üçün) parçalanmasının nəticəsidir, ona görə də onları minizonalar adlandırırlar.

İfrat qəfəs və adi kristallik qəfəs spektrləri arasında böyük fərqlər var. Birinci zona spektri ilə yalnız ifrat qəfəsin z oxu boyunca hərəkət xarakterizə olunur. Təbəqələrin müstəvilərində yüklər sərbəst kimi hərəkət edirlər və ifrat qəfəsin tam spektri yuxarıda baxılmış ikiölçülü sistemlər kimi anizotropdur.

İkincisi, ifrat qəfəsin periodunun kristal qəfəsinin parametrindən olduqca böyük olduğundan enerjinin və impulsların spektrdəki xarakterik miqyası olduqca kiçikdir. Minizonaların xarakterik enləri eV-un onlarla, yaxud yüzlərlə hissələri ilə ölçülür ki, o da elektronun istilik enerjisi ilə müqayisə olunan həddədir. Ona görə də minizona üzrə hərəkəti sabit effektiv kütlə ilə təsvir etmək olmaz. İfrat qəfəsin oxu boyunca dinamika mürəkkəb xarakterə malikdir ki, o da bir sıra qeyri-adi effektlərin səbəbidir.

5.3. Nanotexnologiya və onun əsas istiqamətləri

5.3.1. Nanotexnologiyanın xüsusiyyətləri.

Texnologiya, məhsulun istehsalı zamanı yerinə yetirilən materialın, xammalın və ya yarım fabrikatın emalı, hazırlanması, halının, xassələrinin, formasının dəyişdirilməsi metodlarının toplusuna deyilir. Nanotexnologiyanın xüsusiyyətləri ondan ibarətdir ki, qeyd olunan proseslər və yerinə yetirilən işlər nanometr ölçülü miqyaslarda baş verir. Atomun xarakterik ölçüsü bir neçə onlarla nanometr təşkil edir. Nanometrlər diapazonunda xammal olaraq atomlar, molekullar, molekulyar sistemlərdir, ənənəvi texnologiyada olduğu kimi mikron texnologiyaları, yaxud, milyard atomlara və molekullara malik olan makroskopik həcmli materiallardır. Ənənəvi texnologiyadan fərqli olaraq nanotexnologiyaya atomların və molekulların idarə olunmasını təmin edən xarici idarə olan fərdi yanaşmadır. Ənənəvi texnologiyalardan fərqli olaraq, xarici idarə etmənin ayrı-ayrı atom və molekullara çatması, və bu hesaba prinsiplial

yeni fiziki-kimyəvi və bioloji xassələrə malik olan, xarakterik nanometrlik ölçülərə malik yeni sinif qurğuların yaradılması ilə müşayiət olunan fərdi yanaşma ilə xarakterizə olunur. Elektronikanın inkişafının əsas tendensiyası cihaz strukturlarının ölçülərinin azaldılmasıdır. Müasir inteqral sxemlərdə (İS) bu ölçülər bir neçə mikron (mkm) və bir çox hallarda mkm-in onda birləri qədər olur. Bərkcisim strukturlarının ölçüləri nanometr oblastına yaxınlaşdıqda, bir neçə və ya onlarla atomlardan ibarət olan struktur yaranır, nəticədə daha çox elektronların kvant xassələri özünü büruzə verir. Bu halda elektronlarda kvant hissəciklərinə xas olan dalğa nəzəriyyəsi qanunları üstünlük təşkil edir.

Bu bir tərəfdən klassik hissəciklər kimi özünü aparan elektronun özünü aparma qanunlarının pozulmasına gətirib çıxarır, digər tərəfdən isə informasiya sistemləri üçün yeni növ unikal çevirici, yaddaş və gücləndirici elementlərin yaradılması üçün yeni perspektivlər açır.

Beləliklə, nanotexnologiya, xüsusi fiziki, kimyəvi və bioloji xassələrə malik olan yeni molekulların, nanostrukturların, nanoqurğuların və materialların yaradılması zamanı ayrı-ayrı atomların, molekulların idarə olunması məqsədilə nanometrlik ölçülü fəza oblastlarında fiziki-kimyəvi proseslərin qanunauyğunluqlarını öyrənən bir elm sahəsidir.

5.3.2. Nanotexnologiyanın ən vacib istiqamətləri.

1) *Molekulyar dizayn.* Molekulların yenidən qruplaşdırılması və güclü qeyri bircinsli elektromaqnit sahələrdə yeni molekulların sintezi.

2) *Nanomaterialşünaslıq.* Deffektsiz, yüksək möhkəmliyə malik olan, yüksək keçiriciliyə malik olan materialların yaradılması.

3) *Nanocihazqayırma.* Skanlayıcı tunel mikroskoplarının, atomgüc mikroskoplarının, maqnit güc mikroskoplarının, molekulyar dizayn üçün çoxiyənli sistemlərin, miniatür ifrathəssas vericilərin, nanorobotların yaradılması.

4) *Nanoelektronika.* Yeni nəsillə kompüterlər üçün nanometrli element bazasının, nanonaqillərin, sahə tranzistorlarının, düzləndiricilərin, displeylərin, akustik sistemlərin yaradılması.

5) *Nanooptika.* Nanolazerlərin yaradılması, nanolazerli çoxuclu (iyənli) sistemlərin sintezi.

6) *Nanokataliz.* Selektiv kataliz reaksiyaları sinifləri üçün nanostrukturlara malik olan katalizatorların işlənməsi.

9) *Nanotibb.* Virusların məhv edilməsi, orqanların lokal bərpası, canlı orqanizmin müəyyən yerlərinə yüksəkdəqiqliklə dərman dozasının çatdırılması üçün nanoalətlərin layihələndirilməsi.

10) Nanotribologiya. Nanostruktura materialları və sürtünmə qüvvələrinin əlaqələrinin təyin olunması və burada əldə olunmuş biliklərin perspektiv sürtünmə cütlərinin hazırlanması üçün istifadə olunması.

11) İdarə olunan nüvə reaksiyaları. Hissəciklərin nanosürətləndiriciləri, qeyri-statistik nüvə reaksiyaları.

Nanotexnologiyanın inkişafında əsas iki hadisə xüsusi rol oynayıb:

1982-ci ildə G.Benning, G.Rohrer tərəfindən skanlayıcı tunel mikroskopunun yaradılması və 1986-cı ildə G.Benning, K. Kuatt, K. Gerber tərəfindən skanlayıcı atom-güc mikroskopunun yaradılması və onların nanometrlilik diapazonda maddələrin atom quruluşunun vizualizasiyası üçün selvari istifadə olunması (1992-ci ildə Nobel mükafatı verilib).

1985-ci ildə karbonun yeni növünün – fullerenin mövcud olmasının kəşf olunması (*H.Kroto, J. Heath, S. O'Brien, R. Curl, R. Smalley*).

Yeni mikroskoplar monokristalların səthində nanometr diapazonunda atom-molekulyar strukturların vizuallaşdırılmasına imkan vermişlər.

Cihazların səthinə normal üzrə ən yaxşı ayırdetməsi nanometrin yüzdə birini təşkil edir. Tunel mikroskopunun işi elektronların vakuum baryerindən keçməsinə əsaslanmışdır. Tunel cərəyanı eksponensial olaraq baryerin enindən asılıdır. Baryerin atomun ölçüsü qədər dəyişdirilməsi zamanı cərəyan üç tərtib artacaq. Elektronların tunellənməsinin kvant effektinin əsası Q.A.Qamov tərəfindən 1928-ci ildə qoyulmuşdur.

Müxtəlif skanedici mikroskopların köməyi ilə hal-hazırda metal, yarımkeçirici monokristalların, yüksəktemperaturlu ifratkeçiricilərin, orqanik molekulların, bioloji obyektlərin səthinin müşahidəsini aparmaq olar.

Skanlayıcı mikroskoplar tək maddələrin atom-molekulyar quruluşunu vizuallaşdıran bir cihaz kimi yox, həm də, verilmiş formalı nanostrukturların konstruksiya edilməsi aləti kimi də istifadə oluna bilər. Mikroskopun iynəsinin müəyyən hərəkətlərinin köməyi ilə atom quruluşları yaratmaq olur.

5.3.3. Nanotexnologiyanın elementləri.

1) Karbon nanoborucuqlar. Hal-hazırda İBM şirkəti karbon nanoborucuqlar vasitəsilə klaster texnologiyayı inkişaf etdirir. Belə borucuqlar yalnız bir neçə atom təbəqələrindən ibarət ola bilər və bununla yanaşı poladdan minlərlə dəfə möhkəm ola bilər. Ölçülərindən və formasından asılı olaraq nanoborucuqlar yarımkeçirici və metal xassələrinə malik ola bilər. Hal-hazırda qrafit elektrodlar arasında xüsusi şəraitlərdə elektrik boşalmalarının yerinə yetirilməsi yolu ilə karbon klasterlərinin alınması metodu istifadəyə verilib. Bu yolla təkcə nanoborucuqlar yox, həm də müxtəlif fullerenlər – boş şarlar və nanometr ölçülü ellipsoidlər alınır. Fullerenləri 1985-ci ildə kəşf edən alimlər Sasseka Universitetindən H. W. Kroto və Ceyms Heats, və Rays

Universitetindən Sean O Brayn, R.E. Smolli və R.F.Kurl 1996-cı ildə Nobel mükafatı almışlar.

IBM şirkətinin alimləri gələcəkdə tamfunksiyalı elektron sxemlərin yaradılması məqsədilə yarımkeçirici və metal karbon borucuqlarının bir altlıq üzərində sistem inteqrasiyası texnologiyası üzərində işlər aparırlar.

Bu texnologiya tam başa çatdırılmasa da bəzi texnoloji üsullar sınaqlardan keçirilib. Cilalanmış oksidləşdirilmiş silisiumdan hazırlanmış altlıq – lövhənin üzərinə biri-birinə yapışmış, kütləvi istehsal zamanı biri-birindən ayrılması çətin olan yarımkeçirici və metal nanoborucuqlar dəstəsindən ibarət olan kompozisiya çəkilir. Alınmış örtüyün üstündən litoqrafik üsulla ensiz adi metal zolaqlar çəkilir. Elektrik siqnalın köməyi ilə karbon nanoborucuqlarını yarımkeçirici halından izolyator halına keçirmək olur. Bu işə idarə olunan elektrik deşilmə vasitəsi ilə metal tipli keçiriciliyi olan nanoborucuqları dağıtmaq və yarımkeçirici karbon nanoborucuq parçalarından təşkil olunmuş böyük requlyar (müntəzəm) massivlər almağa imkan verir. Hər bir belə nanoborucuq işə sxemlərin qurulması üçün nəzərdə tutulan nanotranzistorların əsasını təşkil edir.

Bununla yanaşı IBM-də elektrik siqnallarının köməyi ilə nanoborucuqlardan artıq atom təbəqələrinin götürülməsi “yonub” ayırmaq metodikası işlənmişdir və onun əsasında tələb olunan qadağan olunmuş zonanın eninə malik olan sahə tranzistorun alınmasına nail olmuşlar.

Bir neçə metal hesabına yaradılmış fullerenlər həm də yüksək temperaturu ifratkeçiricilərdir. Karbonlu nanoborucuqların uzunluğu minlərlə dəfə onların uzunluğundan çox ola bilər. Bu işə nanosxemlərin üçölçülü montajında borucuqları naqil kimi istifadə etməyə imkan verir.

2) Nano klasterlər. Nanoobyektlərin əksəriyyəti onlarla, yüzlərlə, yaxud minlərlə atomlardan ibarət olan olduqca kiçik hissəciklərdir. Klasterlərin xassələri eyni materialdan olan makroskopik həcmli obyektlərin xassələrindən kəskin fərqlənir. Nanoklasterləri istifadə etməklə məqsədyönlü olaraq, xassələri əvvəlcədən verilmiş yeni materiallar konstruksiya etmək olar.

3) Nanoqurğuların modelləri. Nanomateriallardan müəyyən nanoqurğular, məsələn nanomühərriklər, nanomanipulyatorlar, molekulyar nasoslar, yüksəksıxlığa malik olan yaddaş, nanorobotların mexanizmlərinin elementlərini yaratmaq olar.

Nanoqurğuların modelləri Palo Alto Molekulyar İstehsalçı korporasiyasından *K. E. Drexler* və *R. Merkle* tərəfindən təklif olunmuşdur. Dişli çarxın valları, ötürmə qutusunda karbon nanoborucuqlarıdır, dişləri isə benzol molekullarıdır. Çarxların xarakterik fırlanma tezliyi bir neçə Qiqaherslərə bərabərdir. Qurğu ya dərin vakuumda işləyir, ya da otaq

temperaturunda təsirsiz qaz mühitində işləyir. Təsirsiz qazlar qurğunun soyudulması üçün istifadə olunur.

5.3.4. Kvant ölçülü strukturların texnologiyası.

Molekulyar-şüa epitaksiya metodu. Molekulyar-şüa epitaksiya (MŞE) metodu özünü ifrat yüksək vakuum şəraitində termik tozlama üsulunun təkmilləşdirilmiş bir növü kimi göstərir. Qalıq qazların təzyiqi vakuum kamerasında 10^{-8} Pa-dan aşağı (10^{-10} mm c.st.) həddə saxlanılır.

Atomlar axını, yaxud molekullar, mənbədə - effuzion özəkdə yerləşən mayelərin buxarlanması, bərk materialların sublimasiyası hesabına əmələ gəlir. Effuziya özəyi diametri 1-2sm və 5-10sm olan silindrik, ya da konik tigeldir. Özək öz çıxışında diametri 5-8mm olan dairəvi deşiyə malikdir. Tigel hazırlamaq üçün yüksək təmiz pirolitik qrafit, yaxud bor nitrid BN istifadə olunur.

Zəruri elementlərin atomlarının(yaxud molekul) selləri altlığa yönəldilərək, orada tələb olunan tərkibli maddə yaratmaqla çökdürülür.

MŞE qurğusunun əsas qovşaqlarının(düyünlərinin) sxematik təsviri şəkil 5.4.-də verilmişdir. Effuzion özəklərin sayı örtüyün (plyonkanın) tərkibindən və legirləyici aşqarın olmasından asılıdır. Elementar Si, Ge yarımkəçiricilərinin yetişdirilməsi üçün əsas material xammalı və n- və p- tipli legirləyici aşqarlar xammalı tələb olunur. Mürəkkəb yarımkəçiricilər (ikiqat, üçqat birləşmələr) halında örtüyün hər bir komponentinin buxarlandırılması üçün ayrıca mənbə tələb olunur. Effuzion özəyin temperaturu altlığa daxil olan hissəciklər selinin qiymətini müəyyənləşdirir və ona ciddi nəzarət olunur. Əsas materialların və legirləyici aşqarların tərkibinin idarə olunması bu və ya digər selin qabağını kəsən qapaqların vasitəsilə həyata keçirilir. Əgər strukturun yetişdirilməsi gedişində eyni aşqarın konsentrasiyasını dəyişmək tələb olunursa, onda effuzion özəyin müxtəlif temperaturlarında bu aşqarın bir neçə mənbələrini istifadə edirlər. Örtüyün tərkibinin sahəyə görə bircinsliyi və onun kristallik quruluşu molekul dəstəsinin bircinsliyi ilə təyin olunur. Bir neçə hallarda bircinsliyin artırılması üçün artan(böyüyən) örtüklü altlıq daim fırlanır.

Yüksəkkeyfiyyətli epitaksial təbəqələrin MŞE metodu ilə yetişdirilməsi altlığın hazırlanmasında dəqiqlik tələb edir, çünki MŞE metodunda bir qayda olaraq böyümə kamerasında oksid təbəqələrinin təmizlənməsini çıxmaq şərti ilə, səthin başqa bir növ təmizlənməsi istifadə olunmur.

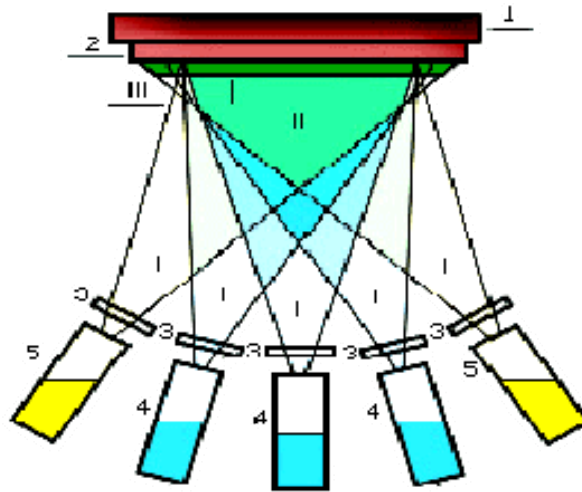
Yarımkəçirici birləşmələrin təbəqələrinin epitaksial böyüdülməsi ən vacibləri aşağıda verilmiş bir sıra ardıcıl əməliyyatdan ibarətdir:

- maddələri təşkil edən atom və molekulların adsorbsiyası;
- adsorbsiya etmiş hissəciklərin miqrasiyası(köçməsi) və dissosiasiyası(parçalanma);

- əsasın yaranmasına və təbəqənin böyüməsinə gətirib çıxaran təşkiledici atomların altlığa qatışması.

Böyüyən nazik örtük altlıqla təyin olunan kristallik quruluşa malikdir.

Altlığın səthinə düşən atomlar səthdə adsorbsiya olunur. Birinci mərhələdə bu özündən zəif van-der-vals və (yaxud) elektrostatik qüvvələr kimi özünü göstərir. Bu mərhələ *fizsorbsiya* adlanır. İkinci mərhələdə maddənin molekulları *kimyəvi sorbiyalayan* hala keçir ki, burada elektron ötürməsi, yəni, səthdəki atomlarla yenidən daxil olmuş maddənin atomları arasında kimyəvi reaksiya baş verir. Kimyəvi adsorbsiya zamanı rabitə enerjisi fiziki enerjiden çoxdur.



Şək. 5.4.

I –hər özəyin yaratdığı molekulyar şüa; II – ümumi molekulyar şüa;

III – artan (böyüdülən) örtük.

1-qızdırıcı blok; 2 - altlıq; 3 – ayrı-ayrı özəklərin qapıları (zaslonkalari); 4 -əsas komponentlərin effuzion özəkləri; 5 – legirleyici qarışıqların effuzion özəkləri.

Metalorqanik birləşmələrdə *qazfaza epitaksiyası nanolitoqrafiya* kimi digər texnologiyalar da vardır.

5.4. Nanoelektronika cihazları və onlarda kvant ölçülü strukturların tətbiqi

5.4.1. Kvant çuxurları və nöqtələri əsasında lazerlər. Yarımkəçirici lazerlərin ən geniş yayılmış tipi, aktiv oblastı iki genişzonalı yarımkəçiricinin arasında yerləşmiş nazik təbəqə olan ikiqat heterostruktur əsasında yaradılan lazerdir. Aktiv oblastın kifayət qədər az qalınlığında o, özünü kvant çuxuru kimi

aparır və enerji spektrinin onda kvantlanması lazerin xassələrini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir.

Lazerlərin xassələrinə əsas təsir kimi ölçü kvantlamasının təsiri altında baş verən hal sıxlığının dəyişməsinə göstərmək olar təsir edir. Əgər massiv yarımkeçiricidə bilavasitə zonanın kənarının yaxınlığında bu qiymət azdırsa, onda kvant-ölçü sistemində o kənarın yaxınlığında $4\pi m/\pi h^2$ -ə bərabər qalaraq azalmır. Kvant-ölçülü aktiv oblasta malik olan lazerin yaradılması otaq temperaturunda fasiləsiz generasiya almağa və bu işə öz növbəsində injeksiyalı lazerin hədd cərəyanının $50 A/cm^2$ qiymətinə qədər azaltmağa imkan yaratmışdır.

Hal sıxlıqlarında başqa cür enerji asılılıqlarının olması hesabına tək hədd cərəyanının qiyməti deyil, həm də onun temperatur asılılığı da dəyişir. O daha zəif olur və nəticədə yalnız otaq temperaturunda deyil, həm də onlarla dərəcə çox temperaturlarda fasiləsiz generasiya almaq mümkün olur.

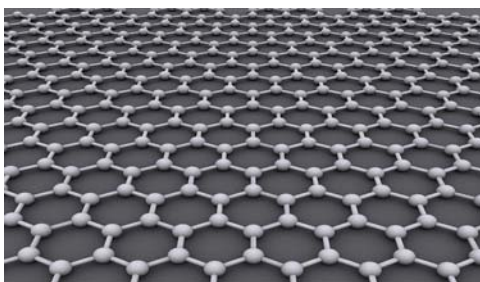
Kvant çuxurları əsasında olan lazerlərin başqa vacib xüsusiyyəti onların tezliyinin dəyişdirilə bilməsidir. Şüalandırılan kvant işıqlarının minimal enerjisi $h\nu = E_g + E_1^e + E_1^h$. O, a (kvant çuxurunun, və s. eni) qədər dəyişdikdə, o dəyişir, yəni, kvant çuxurunun enini dəyişmək yolu ilə generasiya tezliyini dəyişdirmək, geniş aktiv oblasta malik olan klassik lazerlərlə müqayisədə onu qısdalğalı tərəfə sürüşdürmək olar.

Kvant nöqtələrində enerji spektri kvant çuxurlarında olduğundan daha radikal dəyişir. Hal sıxlığı δ -şəkilli növə malikdir, və bunun nəticəsində optik şüalanmanın güclənməsində iştirak etməyən hallar yoxdur (amma elektronları var). Bu enerji itkilərini azaldır və bunun nəticəsi olaraq hədd cərəyanını azaldır. Lazerlərin kvant nöqtələri ilə dolmuş bir və ya bir neçə müstəviləri ola bilər (optik güclənməni artırmaq üçün). Nəzəri qiymətləndirmələrə görə kvant nöqtələrindən təşkil olunmuş aktiv mühitə malik olan diod lazerləri kvant çuxurları əsasında olan lazerlərlə müqayisədə daha yaxşı xassələrə malik olmalıdır. Məhz, böyük güclənmə əmsalı, kiçik cərəyanın hədd sıxlığının, qəfəsin temperaturunun təsirinə məruz qalmamaq qabiliyyətinin və yaxşı dinamik xarakteristikalarına, kvant şüalanmasının enerjisinə nəzarət üçün böyük imkanların olmasını təmin edir.

5.4.2. Birelektronlu tranzistor. Birelektronlu tranzistorun hazırlanmasında heksaqonal qəfəs üzrə yerləşmiş karbon atomlarının vahid təbəqəsindən ibarət olan iki ölçülü kristal və *qrafen* adlanan xüsusi material istifadə olunur. Qrafenin ideal strukturu şəkil 5.5-də verilmişdir.

Hal-hazırda qrafen karbonlu nanoborucuqlara əsas rəqabət təşkil edən material hesab olunur. Professor Heymin rəhbərliyi altında çalışan alimlər qrupu 2004-cü ildə qrafen alınması haqda bəyan ediblər və bu hadisə ilə eyni vaxtda bu material əsasında birelektronlu yarımkeçirici cihaz kimi işləyən tranzistorun

yaradıldığı haqda məlumat veriblər. İlk birelektronlu sahə tranzistorları böyük sızma cərəyanlarına malik idi. Yeni birelektronlu tranzistorda bu çatışmazlıq demək olar ki, yoxdur.



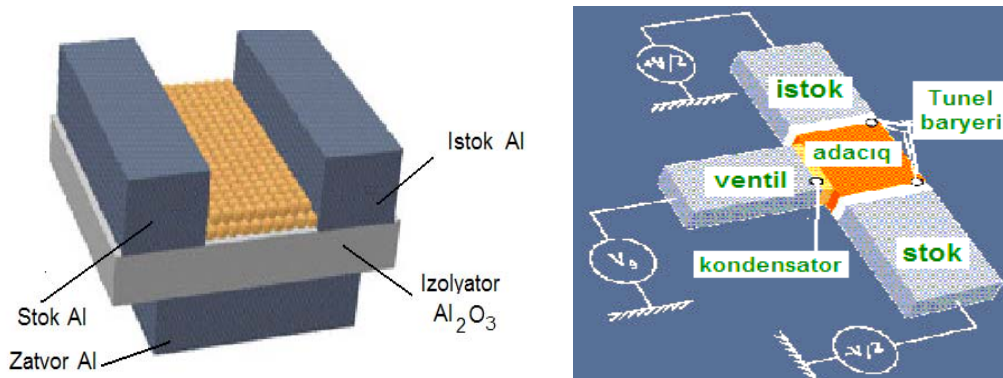
Şək.5.5. Qrafenin ideal strukturu.

Qeyd olunduğu kimi birelektronlu tranzistorun əsasında kulon bloklama effekti durur ki, bu effektdə əsasən də elektron keçən zamanı öz yükü ilə digər elektronları itələdiyindən növbəti hissəciklərin hərəkətinə mane olan gərginliyin yaranmasında o, özünü bürüzə verir. Bu hadisə isə kulon bloklaması adlanır. Bloklanmanın nəticəsində növbəti elektronun keçməsi yalnız əvvəlkinin keçiddən çıxdığı halda mümkün olur. Bunun nəticəsində də bir elektronun hesabına yarımkəçirici cihazın idarə olunması imkanı yaranır. Bu öz növbəsində sxemlərin yaradılmasında yeni imkanlar açır. Birelektronlu qrafen tranzistoru əsasında qurulan qurğular yüksək həssaslığı və sürəti ilə fərqlənəcəklər, və əlbəttə ki, onların ölçüləri dəfələrlə kiçiləcəkdir. Əvvəllər hazırlanmış birelektronlu tranzistorlar yalnız çox aşağı temperaturlarda işləyə bilər, qrafen tranzistorlar isə otaq temperaturlarında da işləmək imkanına malikdirlər.

Qrafen ixtiraçıları hesab edirlər ki, 2020-2025 illərə qədər silisium əsri hələ də davam edəcək, lakin qrafen əsaslı cihazlar elektronikanın, həmçinin elektron sxemotexnikasının inkişafında, başqa sözlə yeni növ elektron qurğularının işləyib hazırlanmasında müstəsna rol oynayacaqdır.

Oksidin izolyator kimi istifadə olunduğu metal atomları əsasında nanometr ölçülü tranzistor və otaq temperaturunda işləyən birelektronlu nanotranzistorlar hazırlanmışdır. Belə tranzistorların strukturu şəkil 5.6-da göstərilmişdir.

5.4.3. Kvant çuxurları əsasında fotoqəbuledicilər. Kvant çuxurlarının optik ionlaşması prosesləri yeni tip infraqırmızı (İQ) şüalanma qəbuledicilərinin yaradılması üçün istifadə oluna bilər. Yeni qəbuledicilərin yaradılması prinsipi çox sadədir: yüklərin genişzonalı yarımkəçiricilərin keçiricilik zonasına (potensial çəpərinə) atılması, heterostrukturların təbəqələrinə perpendikulyar istiqamətdə keçiriciliyi artırır.



Şəkil 5.6.

İş prinsipinə görə belə qəbuledici, mərkəz rolunu kvant çuxurları oynayan aşqar fotorezistorunu xatırladır. Ona görə də qeyri - əsas yükdaşıyıcılarının yaşama müddəti kimi kvant çuxurunda tutulma τ_q – müddəti özünü göstərir. Rekombinasiya mərkəzlərində tutulma ilə bağlı olan adi yaşama müddəti ilə müqayisədə τ_q iki vacib fərqli cəhətlərə malikdir.

Birincisi, τ_q , mərkəzlərdə tutulma vaxtı ilə müqayisədə olduqca kiçikdir (bir neçə tərtib). Bunun səbəbi tutma prosesi, mərkəzin əlaqə enerjisində, yaxud da kvant çuxuruna tutma zamanı lazım olan ΔE qiymətinə bərabər olan, yükədən qəfəsə böyük enerjinin ötürülməsi zərurəti ilə bağlıdır. Enerji ötürülməsinin ən effektiv mexanizmi $h\omega_0/2\pi$ enerjili optik fotonların şüalandırılmasıdır. Ancaq mərkəzlərin əlaqə enerjisi heç də $h\omega_0/2\pi$ ilə üst-üstə düşmür və ona görə də bu proses qeyri-mümkündür. Elektron enerjisini çoxlu akustik fononların daha yavaş pillə-pillə buraxılması prosesi gedişində verməlidir. Kvant çuxuru halında çuxur müstəvisində fasiləsiz hərəkət spektrinin olması vəziyyəti tamamilə dəyişir. Optik fononun buraxılması (çıxması) zamanı çuxurda bağlanmış (bağlı) vəziyyətə, qalıq enerjinin çuxur müstəvisində hərəkətə eyni zamanda keçməsi, mümkün olur (şək.5.7). Əgər ilkin (başlanğıc) elektron genişzonalı materialın zona kənarına yaxın enerjiyə malik idisə, şəkil 5.6 - dən görüldüyü kimi, buraxılan fonon kvant çuxuru müstəvisində böyük impulsa malik olacaq:

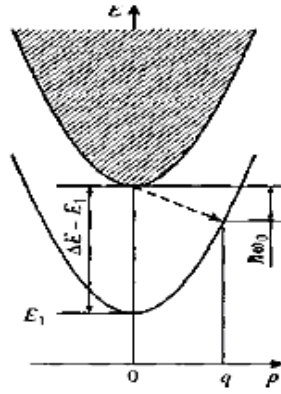
$$q = [2m (\Delta E - E_1 - h\omega_0/2\pi)]^{1/2}$$

Elektronların, bu halda daha çox optik fononlarla qarşılıqlı əlaqə qiymətinin akustik fononlarla olan əlaqəsindən çox olması τ_q – nin, mərkəzdən tutma müddəti ilə müqayisədə kiçik olmasını müəyyənləşdirir.

İkincisi τ_q qeyri-monoton, ossilyasiyaedici (müvazinət vəziyyətindən dəyişən) şəkildə çuxurun parametrlərindən asılıdır. Bu, kvant çuxurlarının üzərindəki delokalizasiya olunmuş elektronların ψ_ϵ dalğa funksiyasının xassələri ilə bağlıdır. Əgər çuxur rezonans xarakterli deyilsə, onda çuxurun bilavasitə

ətrafında elektronların enerjisinin az olduğu vaxt bu dalğa funksiyasının amplitudu olduqca kiçikdir. Əslində τ_q qiyməti nisbətən çox olacaq. Rezonans kvant çuxurları olan halda tutma ehtimalı artır, yəni, τ_q azalır.

Baxılan strukturun fotokeçiriciliyi, eynilə adi fotorezistorda olduğu kimi üç faktorun hasili ilə təyin olunur: öz növbəsində, α – udulma əmsalına, delokallaşmış vəziyyətdəki τ_q yaşama müddətinə mütənasib olan optik generasiya sürətinin və ondakı μ_{ef} effektiv yürüklüyün. Aydınır ki, yürüklük, özlüyündə elektronun kvant çuxurunun üstündən keçmə kvant-mexaniki əmsalına mütənasib olmalıdır. Birinci və üçüncü faktorlar rezonans kvant çuxurlar üçün maksimaldır, τ_q isə əksinə minimaldır. Ancaq bütün faktorların birgə təsiri belə göstərir ki, kvant çuxurlar əsasında fotoqəbuledicilər rezonans çuxurlar halında yaxşı parametrlərə malik olacaq.



Şək.5.7. Optik fonon buraxmaqla qeyri taraz elektronların kvant çuxurunda tutulması prosesi.

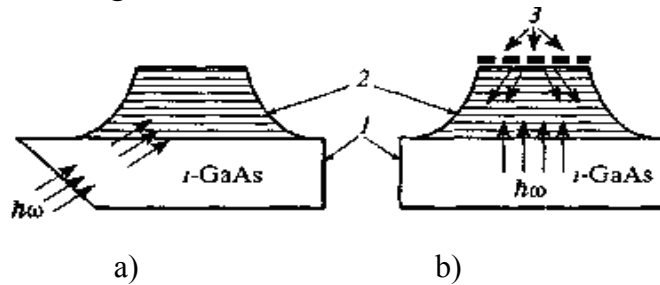
Məsələn, ən geniş yayılmış GaAs- Al_xGa_{1-x} ($x = 0.2 - 0.25$) heterosistemi üçün rezonans şərti 40 - 45 Å – ya bölünən qalınlığı olan çuxurlar üçün yerinə yetirilir. Əgər $a = 40 - 45$ Å, onda fotonəssaslıq strukturlarının diapazonu dalğa uzunluğu 8mk yaxınlığında yerləşir ki, bu da atmosferin şəffaflıq pəncərələrinin birinə uyğundur və ona görə də böyük praktiki əhəmiyyətə malikdir. Kvant çuxurları əsasında qəbuledicilər CdHgTe bərk məhlulları əsasında fotonəssas materiallara tam rəqabət yarada bilər. Kvant çuxurları əsasında strukturların əsas üstünlüyü böyük stabilliyi və parametrlərinin xətasının az olmasıdır ki, bu da matris fotonəssas strukturlar üçün xüsusən, vacibdir.

Genişzonalı təbəqələrin tərkibini və çuxurun qalınlığını bir az dəyişməklə fotonəssaslığın maksimumunun vəziyyətini və zolağın enini dəyişmək olar. Bu son hal onunla bağlıdır ki, dəqiq rezonans şərtinin pozulması zamanı kvant

çuxurunun fotoionizasiya spektri daha rəvan olur və az qiymətli kəskin maksimuma malik olur.

Kvant çuxurlarının optik ionizasiyası yalnız kvant təbəqələrinin normalına nəzərən polyarizə olunmuş işıqla yarana bilər. Ona görə də təsvir edilən (sözügedən) fotoqəbuledicilərin tərkibində, düşən işığı tələb olunan şəkildə polyarizasiya edən xüsusi alətlər lazımdır. Bunu etmək üçün iki üsul vardır. Birinci variantda işıq fəthəssas strukturaya bucaq altında altlığın kəsilməş ucundan yönəldilir (şək.5.8,a). İkinci varianta işıq altlıqdan normal üzrə keçir, strukturun yuxarı təbəqəsinə çəkilmiş difraksiya qəfəsindən keçərək lazımi polyarizasiya alır (şək.5.8,b).

Yuxarıda baxılmış konstruksiyanın mürəkkəbliklərindən qaçmaq üçün problemin alternativ həlli mümkündür. Anizotrop energetik strukturlu yarımkəçiricilərdən yetişdirilmiş kvant strukturları buna misal ola bilər. Anizotropiyası olduqda, təbəqələrin müstəvisində olan və normal düşən işıq dalğasının elektrik sahəsi bu müstəviyə müəyyən bucaq altında elektronlara impuls verir. Kvant mexanikası mövqeyindən baxdıqda bu müxtəlif kvant-ölçülü səviyyələr arasında, yaxud kvant çuxuru üzərindəki hallar səviyyəsi və kontinumu (davam etməsi) arasında keçidlərin mümkünlüyünü bildirir ki, bu da qəbuledicinin işi üçün tələb olunur. Praktikada bu ideyanın reallaşması üçün çox hallarda texnoloji cəhətdən daha çox mənimsənilmiş GaAs-Al_xGa_{1-x}As sistemi əsasadakı, n- və p- tip legirləməyə malik olan heterostruktur istifadə edirlər. Bu halda valent zonasının energetik spektrinin mürəkkəb xarakteri işığın normal düşməsində fəthəssaslığı təmin edir.



Şək.5.8. Şüalanmanın kvant çuxuru əsasında olan fotoqəbulediciyə daxil edilməsi üsulları.

a- altlığın kəsilməş ucundan daxil etmə; b – difraksiya qəfəsi vasitəsilə daxil etmə.

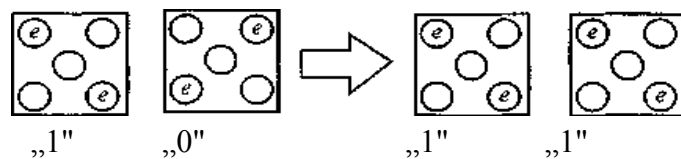
1 — altlıq, 2 — kvant çuxurlu fəthəssas struktur; 3-difraksiya qəfəsi.

5.4.4. Kvant-nöqtə qəfəsli (dama) avtomat və məftilsiz elektron məntiqi. Məntiq elementlərinin sıxlığı çox yüksək olan və bir çevrilmə zamanı tələb olunan enerjisi minimuma endirilmiş nanokompüterlər üçün məntiq qurğularının işlənməsi məntiq elementlərində çox kiçik ölçülü keçirici adacıqların – kvant nöqtələrinin istifadə olunması təklifinə gətirib çıxarmışdır.

Bu cür cihazlarda Bul məntiq funksiyalarının realizə edilməsi üçün qarşılıqlı əlaqədə olan kvant nöqtələrinin massivi (toplusu) istifadə olunur. Bu yeni cihazları kvant-nöqtə qəfəs avtomatları (QCA — Quan-tum Cellular Automata) adlandırırlar.

Bu cihazın əsasını dörd, yaxud beş kvant nöqtəsindən təşkil olunmuş özək təşkil edir. Şəkil 5.9 – da kvant nöqtələrinin dördü kvadratin künclərində, biri isə onun mərkəzində yerləşmiş beş kvant nöqtəsindən ibarət olan özək verilmişdir. Xarici gərginlik vasitəsilə özəyə əlavə elektrod vasitəsilə iki artıq qalmış elektron daxil edilir və özək elektrik yükü qazanır. Kvant nöqtələri özəkdə elə yerləşirlər ki, yalnız mərkəzi nöqtədən tunelləşmə mümkündür. Artıq elektronlar arasındakı elektrostatik itələməyə görə sistem yalnız o vaxt minimal enerjiyə malik olacaq ki, əgər elektronlar mümkün qədər biri-birindən uzaqda, yəni kvadratin künclərində yerləşmiş olsunlar. Belə mümkün vəziyyətlərin cəmi iki olduğundan sistem cəmi iki dayanıqlı vəziyyətə malikdir (iki polyarizasiya) və deməli, bu hallardan birini məntiqi vahid (“1”), ikincisini isə məntiqi sıfır (“0”) qəbul etmək olar. Sistemin bir vəziyyətdən o biri vəziyyətə keçməsi zamanı sistemin polyarizasiyası və özəyin ətrafında elektrik sahələrinin paylanması dəyişir. Tutum rabitəsilə özək ilə əlaqədə olan əlavə elektrodların köməyiylə özəyə lazım halı qəbul etdirmək (vermək) və “1”, yaxud “0” vəziyyətinə keçirmək olar. Əgər birinci özəyin yanında ikincini yerləşdirsək, nəzərə alınsa ki, onda iki əlavə elektron yerləşir, onda birinci özəyin elektrostatik sahəsi elektronları elə yerləşməyə məcbur edəcək ki, nəticədə bütün sistemin minimum elektrostatik enerjisi təmin edilsin. Müxtəlif şəkildə yerləşdirilmiş özəklərin kombinasiyasını tərtib etməklə müxtəlif məntiq funksiyalarını realizə etmək olar və lazımi məntiq çevirmələrini və hesablamalarını yerinə yetirmək olar.

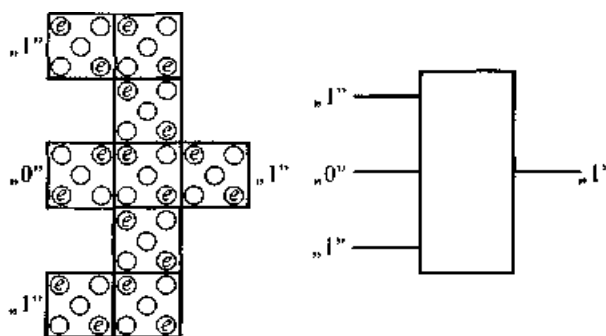
Şəkil 5.9 – da çıxışındakı hal girişdəki halların çoxluğu ilə təyin olunan (“Majority” məntiq funksiyası) özəklər kombinasiyasına misal verilmişdir. Məntiq əməliyyatlarını reallaşdırmaq üçün özəklərin müxtəlif kombinasiyaları təklif olunmuşdur. Bu cür elementlərin əsasında nanokompüterlərin yaradılması mümkündür. Özəklərin qarşılıqlı yerləşdirilməsi, dövrə boyunca yüklərin yerdəyişməsi olmadan, cərəyansız rejimdə , yalnız hal dövrəsi boyunca polyarizasiyanı ötürmək hesabına məntiq signalının verilməsini təmin edir



Şək. 5.9. Kvant-nöqtə avtomatlarının özəklərinin müxtəlif konfigurasiyaları.

Kvant-nöqtəli qəfəs avtomatları əsasında məntiq qurğularının üstünlüyü ondan ibarətdir ki, sahə tranzistorları əsasında analoji qurğularla müqayisədə olduqca kiçik aktiv həcmi elektrik sahəsi tələb olunur. Məsələn, tək bir sahə tranzistorunun tutduğu təxminən 1mkm^2 sahədə nöqtəsinin ölçüləri 20nm olan qəfəs avtomatları əsasında qurulmuş tam cəmləyicini yerləşdirmək olar. Belə cəmləyicinin sahə tranzistoru əsasında qurulması üçün təxminən, 40 tranzistor tələb olunur. Əgər tranzistorların öz aralarındakı kommutasiya sahələrini də nəzərə alsaq, məlum olduğu kimi bu əlaqələr aktiv cihazların tutduğu yerə bərabər, hətta çox olan yer tutduğunu nəzərə alsaq qəfəs avtomatlarının tutduğu yerin ölçülərinin ~ 100 dəfə az olduğunu və tam aşkar üstünlüklərə malik olduğunu görürük.

Şəkil 5.10-da standart elektron-şüa litoqrafiya köməyi ilə oksidləşmiş Si lövhə üzərində alüminium adacıklardan hazırlanmış özəyin misalında qəfəs avtomatları əsasında məntiq elementlərinin işinin prinsipial mümkünlüyünün nümayiş etdirilməsi göstərilmişdir. Cihazın sahəsi $\sim 50 \times 50 \text{ nm}^2$ təşkil edir.



Şək.5.10. Çıxışındakı halın girişdəki halların çoxundan asılı olduğu kvant-nöqtə avtomatının özəklərinin kombinasiyaları.

Qəfəsli avtomatlar əsasında cihazlarda hesablama prosesi bütün özəklərin məcmusu (toplusu) minimal enerjili hala - əsas hala keçdikdə həyata keçirilir. Mürəkkəb hesablayıcı qurğular üçün çoxlu sayda özəklər lazım olduğundan minimal enerjili halı müxtəlif üsullarla almaq olar. Bu hesablamalarda səhvlərə gətirib çıxarır. Bundan başqa belə sistemlər xarici təsirlərə həssasdır və ona görə də kənar şərtlərə ciddi nəzarət olunmasını tələb edir. Temperaturun artması zamanı hesablama prosesi pozula bilər. Bir kvant nöqtəsinin ölçüsü 20nm olan özəklər üçün nöqtə təkrar yükləndə (yüksüzləşəndə) enerjinin dəyişməsi 1meV (otaq temperaturunda təxminən $1/20$ kT) təşkil edir. Birelektronlu tranzistorda olduğu kimi işçi temperaturu özəklərin (uyğun olaraq hər kvant nöqtəsinin) ölçülərinin kiçildilməsi hesabına artırmaq olar. Bundan başqa qəfəs avtomatlar əsasında qurğuların yaxşı işləməsi üçün

həll olunması vacib olan bir problem də mövcuddur, Bu problem ondan ibarətdir ki, özəyin elektrostatik sahəsi, həm qurğunun çıxışı istiqamətində, həm də giriş istiqamətində qonşu özəklərə təsir etdiyindən, təsadüfi təsirlər hesabına yalnız girişdən çıxışa yox, həmçinin, əksinə siqnalın yayılması mümkündür. Bu çatışmazlığın aradan qaldırılması üçün siqnalın ötürülmə istiqaməti xarici sahə ilə təyin olunan kvant nöqtələri əsasında qurğu təklif olunmuşdur. Qəfəs avtomatları əsəsindəki qurğuların praktiki hazırlanması ən başlanğıc mərhələdədir və bir çox problemlərin, əsasən, texnoloji problemlərin həllini tələb edir.

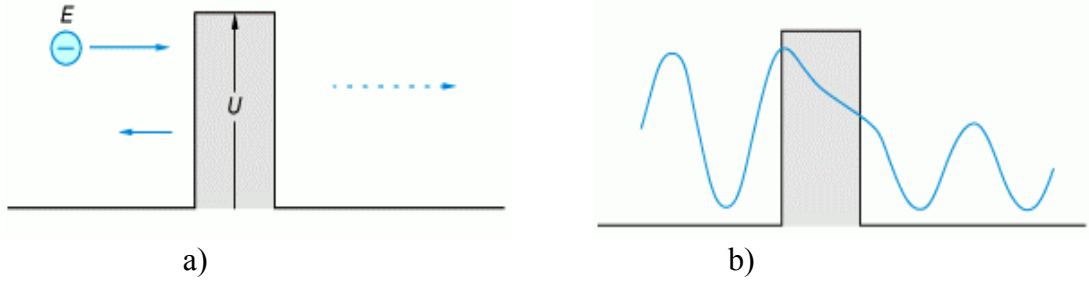
5.4.5. Tunelləmə cihazları. Kvant hissəciklərinin, o cümlədən elektronların ən unikal xassəsi ondan ibarətdir ki, bu hissəciklər hətta onların potensial enerjisi verilmiş sərhəddən az olduğu halda belə bu sərhədi keçmək qabiliyyətinə malikdirlər. Bu proses tunelləşmə adlanır. Sxematik olaraq bu proses şəkil 5.11- də təsvir edilmişdir. Əgər elektron E enerjisinə malik olan klassik hissəcik olsaydı öz qarşısında aşib keçməsi üçün U -dan çox enerji tələb edən maneəyə rast gələydi, o, bu maneədən əks olunmalı idi. Ancaq o, bir dalğa kimi enerji itirərək maneədən keçir (şək. 5.11,b). Uyğun dalğa funksiyası, onun vasitəsilə isə tunelləmə ehtimalı Şredinger tənliyindən hesablanır.

Baryer həndəsi olaraq nə qədər nazik, və düşən enerji ilə baryer hündürlüyü arasındakı fərq nə qədər kiçik olsa, tunelləmə ehtimalı bir o qədər çox olur.

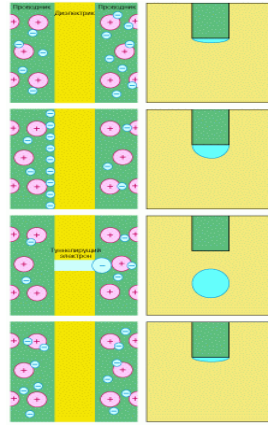
Kvant məhdudlanması nanoölçülü strukturlarda əmələ gələrək, tunelləməyə xüsusi təsir edir. Beləliklə, çox nazik, periodik potensial çuxurlarda yerləşmiş elektronların energetik hallarının kvantlanması ona gətirib çıxarır ki, onlarda tunelləmə rezonans xarakteri daşıyır, yəni ki, tunelləmə prosesində bu strukturlardan yalnız müəyyən enerjiyə malik olan elektronlar keçə bilirlər.

Kvant məhdudlamanın başqa spesifik təzahürü kulon blokadasında birelektronlu tunelləmədir (şək.5.12). Bu termini izah etmək üçün şəkil 5.12-də təsvir edilmiş elektronun metal-dielektrik-metal strukturundan keçməsi misalını nəzərdən keçirək. Əyani təsvir kimi paralel olaraq borunun ucundan qopub ayrılan damcı ilə analogiya aparılır. Başlanğıcda metal və dielektrik arasında ayrılma sərhədi elektrik olaraq neytraldır. Metal sahələrə potensial tətbiq etdikdə bu sərhəddə yüklər yığılmağa başlayır. Bu o vaxta qədər davam edir ki, onun qiyməti bir elektronun qopub ayrılmasına və dielektrikdən tunelləməsinə kifayət etsin. Tunelləmə baş verdikdən sonra sistem əvvəlki vəziyyətinə qayıdır. Xarici tətbiq olunmuş gərginlik saxlanıldıqda hər şey yenidən təkrarlanır. Beləliklə belə strukturda yükün ötürülməsi bir elektronun yükünə bərabər olan porsiyalarla yerinə yetirilir. Yük yığılması və elektronun metal və dielektrikin sərhədindən

qopub ayrılması bu elektronun metaldakı digər hərəkətli və hərəkətsiz yüklərlə kulon qarşılıqlı təsiri qüvvələrinin balanslaşması ilə müəyyən olunur.



Şək.5.11. E enerjisində malik olan elektronların hündürlüyü U olan potensial baryerdən tunellənməsi, $U > E$. a) - elektron E enerjisində malik olan klassik hissəcik olduqda; b) - elektron dalğa xarakterinə malik olduqda;



Şək.5.12. Kulon blokadası şəraitində birelektronlu tunelləmə.

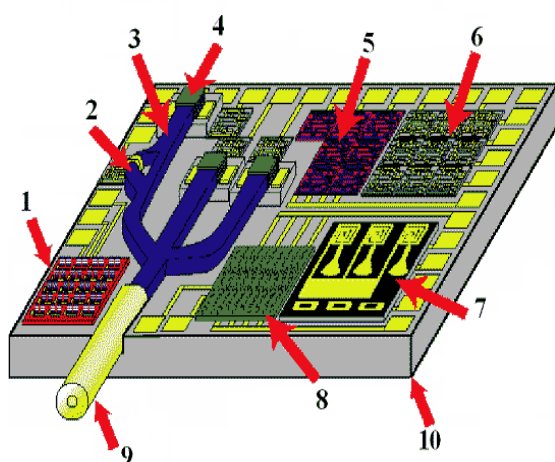
Bu baxılan kvant hadisələri artıq müasir dövrdə işlənilib hazırlanmış informasiya sistemləri üçün nanoelektron elementlərdə istifadə olunur. Lakin bununla elektronun kvant təbiətinin tətbiqi imkanları bitmir.

5.4.6. İnformasiya sistemlərinin nanoelektron elementləri. Kvant effektlərinə əsaslanmış tranzistorlarda elektronların dalğa təbiəti və uyğun hadisələr onların işinin əsasını təşkil edir. Bu, ölçüləri 10nm və daha az qiymətlərə qədər kiçildilmiş olan yarımkəçirici strukturlarda əldə olunur. İlk olaraq rezonans tunelləməyə əsaslanan elementlər yaradılmışdır. İlk dəfə olaraq rezonans tunelləmə hadisəsi 1958-ci ildə yapon tədqiqatçısı L.İsaki tərəfindən təsvir edilmişdir və daha ətraflı olaraq 1974-cü ildə tədqiq olunmuşdur. Lakin rezonans tunelləməyə əsaslanan tranzistorun hərtərəfli nəzəri əsaslandırılması və təcrübi nümunələri yalnız 90-cı illərin əvvəllərində meydana gəlmişdir. Rezonans tunelləməyə əsaslanan tranzistorlar, oyuqlarının potensialı və uyğun

rezonans şərtləri üçüncü elektrodla idarə olunan kvant oyuqları əsasında qurulmuş iki baryerli diodlardır. Bu tranzistorların çevrilmə (dəyişmə) tezliyi müasir inteqral mikrosxemlərin ən yaxşı tranzistorlarının tezliyindən 100 – 1000 dəfələrlə çoxdur. Hesablama sistemləri üçün belə tranzistorlar əsasında statik yaddaş özləklərinin və digər elementlərin yaradılması təklifləri öz həllini artıq tapmaqdadır.

Son illər işlənib hazırlanmış nanoelektron elementlər miniaturliyinə, sürətinə və tələb etdiyi gücə görə informasiya sistemlərinin əhəmiyyətli yarımkeçirici elementlərinə çox ciddi rəqabət yaradır. Artıq texnika nəzəri mümkün olan bir elektron vasitəsilə 1 bit informasiyanın saxlanması və ötürülməsi mərhələsinə tam yaxınlaşmışdır. Bu özəyin lokallaşdırılması bir atom vasitəsilə verilə bilər. Analoji birfotonlu elementlərin ideyası da öz praktiki həllini gözləyir.

Hal-hazırda nanoelektronikanın son nailiyyətlərindən olan birkristallı nanosistemin (çip) strukturu şəkil 5.13 – də göstərilmişdir.



1 - çevirici; 2 - optik modulyatorlar; 3 - dielektrik dalğaötürənlər; 4 - optik detektorlar; 5 - spin-çeviricilər; 6 - KMOY-qurğular; 7 - radioötürücü modullar; 8 - nano-elektron elementlər; 9 - optik-lifli kabel; 10 - yüksək-effektivli yanacaq elementi olan silisium altlıq.

Şək. 5.13. Birkristallı nanosistemin (çip) strukturu

5.5. Nanotexnologiyanın və nanoelektronikanın inkişafını təmin edən elm sahələri

1) Nanometrologiya

1. Cihaz-nanoobyekt sistemlərinin kompüter modellərinin yaradılması və onların kalibrə edilməsi.
2. Nanometrlik ölçmələrin avtomatlaşdırılması və verilənlər bankının yaradılması.

2) Nanomexanika

a) Nanomateriallarda və nanoobyektlərdə mexaniki gərginliklərin və deformasiyaların tədqiqi..

b) Nanoobyektin məqsədli manipulyasiyası zamanı iynənin (zondun) hərəkətinin modelləşdirilməsi.

c) Nanoqurğular üçün nanomexanizmlərdə (molekulyar çarxlarda, molekulyar mühərriklərdə, molekulyar nasoslarda) hərəkətin modelləşdirilməsi, nanomanipulyatorların hesabı.

d) Nanorobotların idarə olunması sistemlərinin işlənməsi.

3) Nanoelektrodinamika

a) Zondların və çox iynəli (uclu) sistemlərin yaratdığı olduqca qeyri-bircinsli elektromaqnit sahələrində molekulların dinamikasının modelləşdirilməsi.

b) Nanomaterialların elektrik və maqnit xassələrinin hesablanması.

4) Nanooptika

a) Nanoobyektlərdə işığın şüalandırılması, yayılması və udulması mexanizmlərinin modelləşdirilməsi.

b) Nanolazerlərin və hibrid sistemlərin hesablanması. Zondların və nanolazerlərin hesablanması.

5) Nanokonstruksiyaların özünü təşkil nəzəriyyəsi

a) Nanokonstruksiyaların özünüyığılmasının fundamental prinsiplərinin ifadə edilməsi.

b) Özünüyığılmanın alqoritmlərinin yaradılması.

c) Özünüyığılma modellərinin keyfiyyətli təhlili üçün hesablama alqoritmlərinin işlənməsi.

6) Fəza-zaman özünü təşkil manomaterialların və hadisələrin yaradılması zamanı proseslərin modelləşdirilməsi

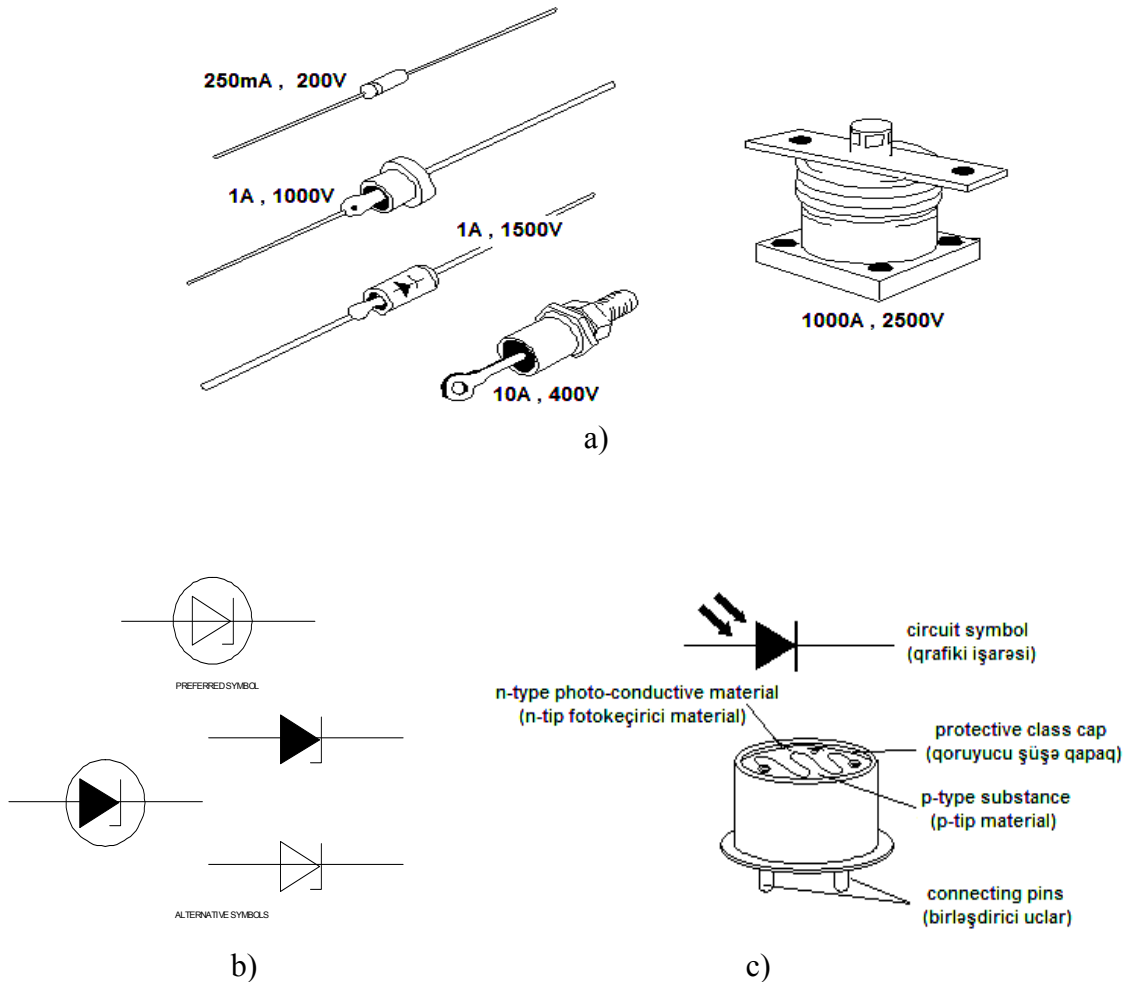
Ölçülərin nanoölçü şkalasında molekulyar-şüa epitaksiyası və nanolitoqrafiyada riyazi modelləşdirmənin inkişaf etdirilməsi maraqlı məsələlərdən biridir.

Bu metodlar: a) yüksəkkeyfiyyətli maqnit materialların əsasını təşkil edən nazik metallik örtüklərin; b) nanoelektronikanın baza elementlərinin materiallarının, c) kvant hesablamalar üçün kompüter elementləri, d) selektiv kataliz üçün modifikasiya olunmuş katalizator yaratmağa imkan verirlər.

6. AVIASIYA TEXNİKASI AVADANLIQLARINDA TƏTBİQ OLUNAN ELEKTRON CİHAZLARININ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

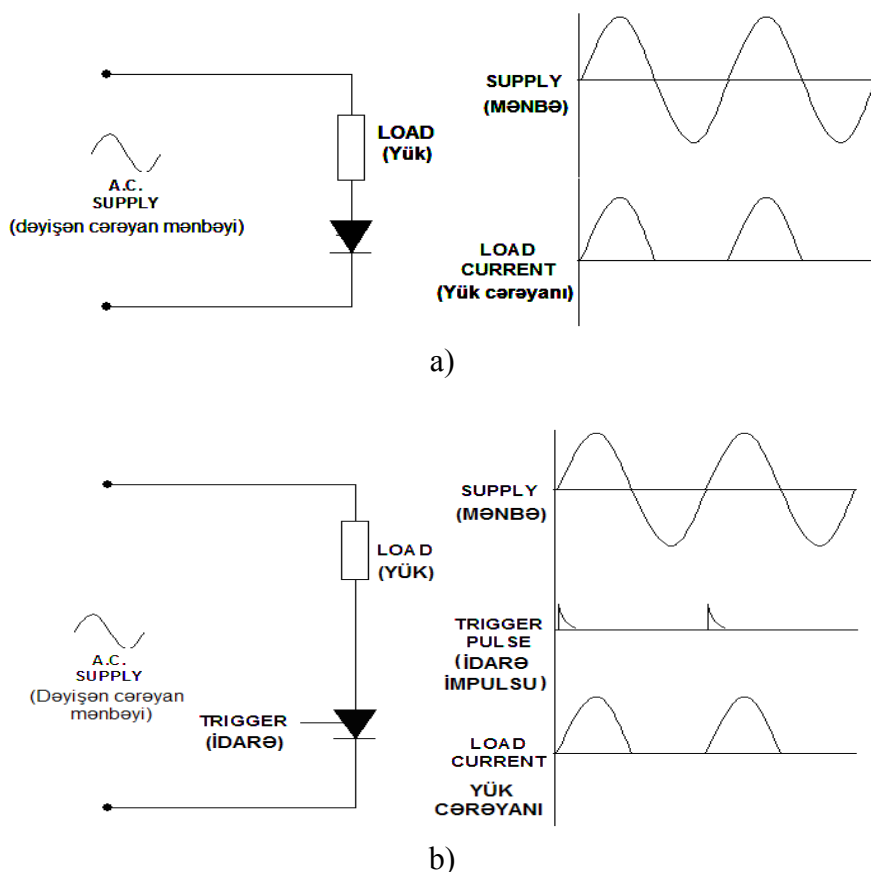
6.1. Hava gəmilərinin bort avadanlıqlarında yarımkeçirici cihazların tətbiq xüsusiyyətləri

Geniş tətbiq olunan yarımkeçirici cihazlarla müqayisədə uçan aparatların bort avadanlıqlarında tətbiq olunan cihazlara qoyulan tələblər daha sərt olur. Belə ki, bu cihazlar bir qayda olaraq iş rejimlərinə və şərtlərinə görə iki və hətta üçqat rezervlə hesablanmış olurlar. Hava gəmilərində tətbiq olunan düzləndirici yarımkeçirici diodların xarici görünüşü və onların hesablandığı parametrləri, Zener diodunun (stabilitronun) qrafiki işarələnməsi və fotodiodun işarələnməsi və onun xarici görünüşü şək. 6.1 - də verilmişdir.



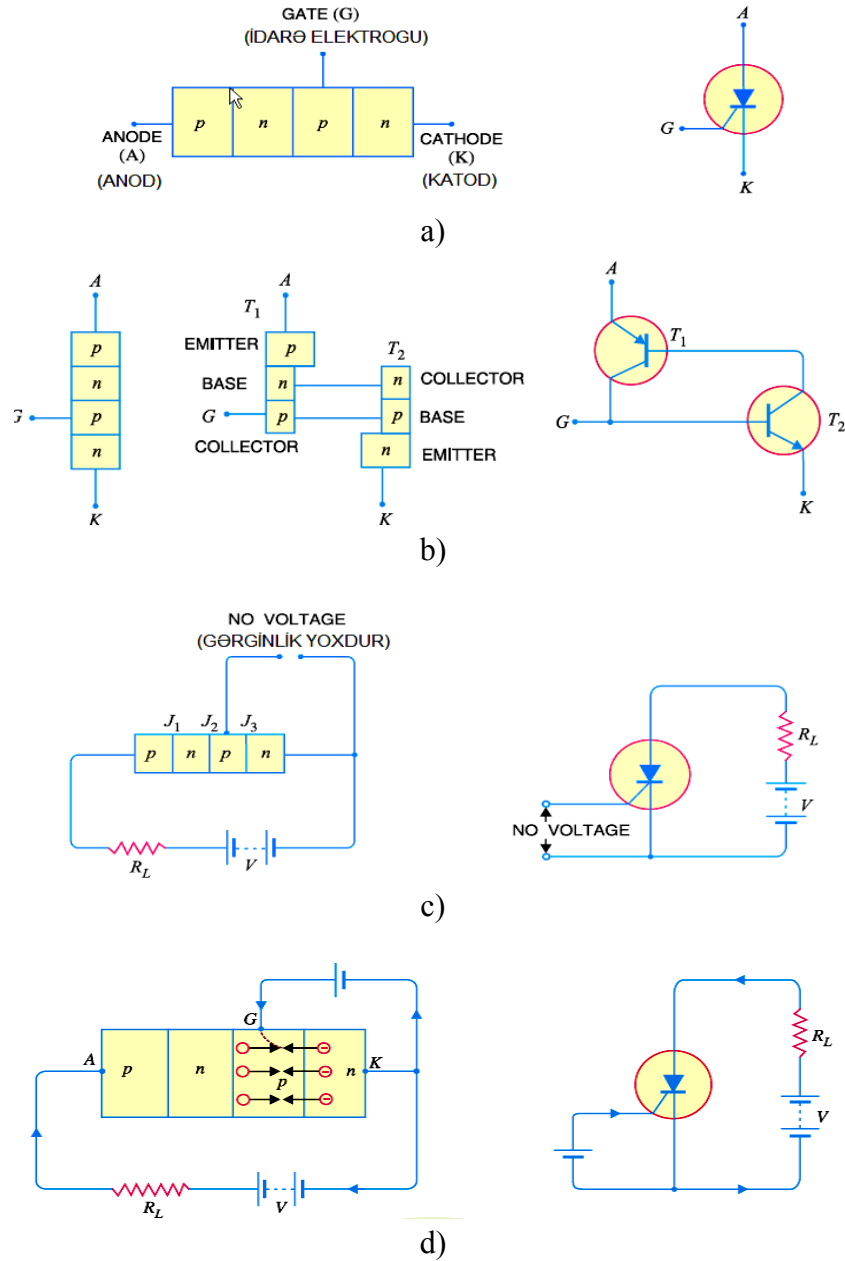
Şək.6.1. Qərb aviasiya texnikasının bort avadanlığında istifadə olunan yarımkeçirici diodlar: a) düzləndirici diodlar; b) Zener diodu; c) fotodiod.

6.1.1. Bort avadanlığında istifadə olunan diodların tipik qoşulma sxemləri. Əvvəlki fəsillərdə qeyd olunduğu kimi düzləndirici diodlar həm bir yarımperiodlu, həm də ikiyarımperiodlu düzləndirici sxemlərində tətbiq olunurlar. Digər tərəfdən düzləndirici təyinatından asılı olaraq idarəolunmayan və idarəolunan ola bilər. İdarəolunmayan düzləndiricilər adi düzləndirici diodlar əsasında qurulur və 1000A-ə qədər yüklərdə sabit cərəyan təmin etmək üçün nəzərdə tutulur. Yük dövrəsində cərəyanın və gərginliyin orta qiymətinin tənzimlənməsi tələb olunduqda, həmçinin, yük cərəyanı 1000A-dən çox olduqda idarəolunan düzləndiricilər tətbiq olunur. İdarəolunan düzləndirici tiristor əsasında qurulur. Diod əsasında qurulmuş idarəolunmayan və tiristor əsasında qurulmuş idarəolunan bir yarımperiodlu düzləndiricilərin sxemləri və zaman diaqramları şəkl. 6.2.-də göstərilmişdir. İstifadə olunan düzləndirici diodun növündən asılı olaraq idarəolunmayan və idarəolunan düzləndirici sxemləri istifadə olunur.



Şəkl. 6.2. İdarəolunmayan (a) və idarəolunan (b) biryarımperiodlu düzləndirici

Şəkl. 6.3-də tiristorların aviasiya texnikası avadanlıqlarının elektronikasına həsr edilmiş xarici ədəbiyyatda verilən işarələnməsi və strukturu (a), əvəzetmə sxemi (b), işçi qoşulma sxemləri (c və d) verilmişdir.

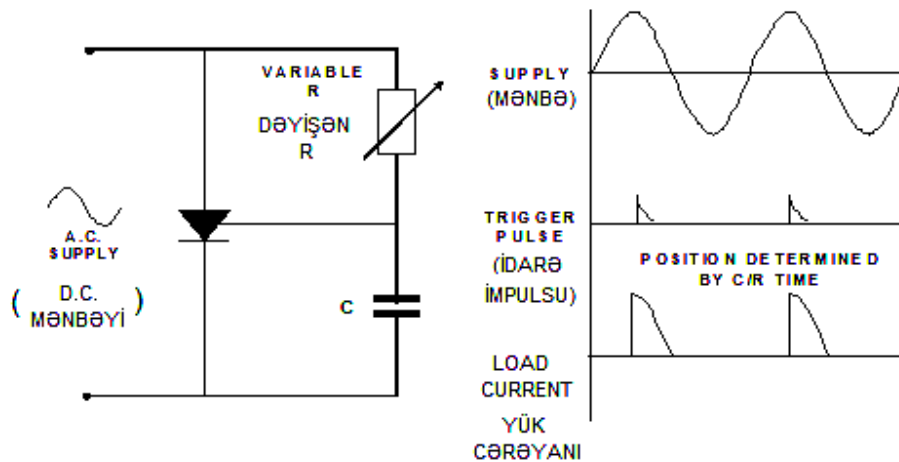


Şək. 6.3. Tiristorların strukturu, qrafiki işarələnməsi, əvəzetmə sxemi, işçi sxemləri.

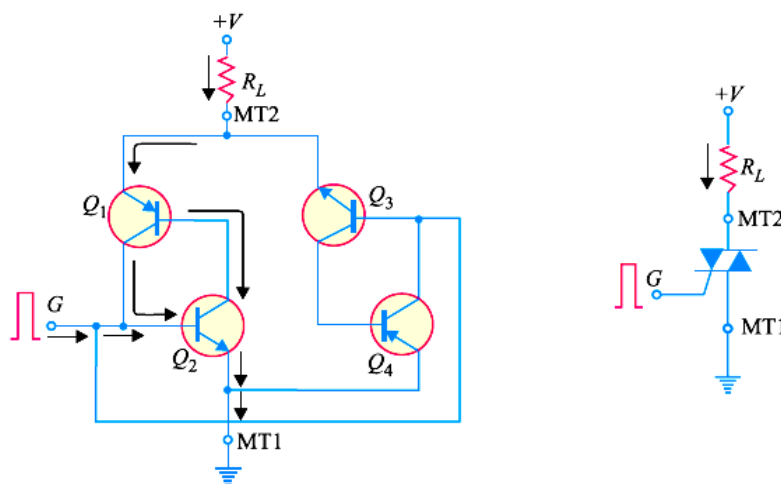
Şəkil 6.4-də isə tiristordan və faza sürüşdürücü RC - dövrəsindən təşkil olunmuş idarəolunan bir yarımpriodlu düzləndiricinin sxemi verilmişdir. Bu sxem dəyişən rezistorun köməyiylə RC dövrəsinin zaman sabitini dəyişməklə idarəedici impulsun faza sürüşməsinə (zamana görə vəziyyətinin dəyişməsinə) və nəticədə yükdəki gərginliyin orta qiymətini tənzimləməyə imkan verir.

İki yarımpriodlu idarəolunan düzləndirici qurmaq üçün diod körpü sxeminə analogi olaraq dörd tiristordan ibarət olan sxem tətbiq olunur. Belə sxem vasitəsilə həm də dəyişən cərəyan gərginliyindən işləyən yükün mənbəyə elektron kommutasiyasının idarə olunmasını təmin etmək olar. Tiristorların

sayını azaltmaq məqsədilə iki tiristoru əvəz edən simistordan istifadə olunur. Şəkil 6.5-də simistorun əvəzetmə sxemi, işarəsi və qoşulma sxemi verilmişdir.



Şək. 6.4.



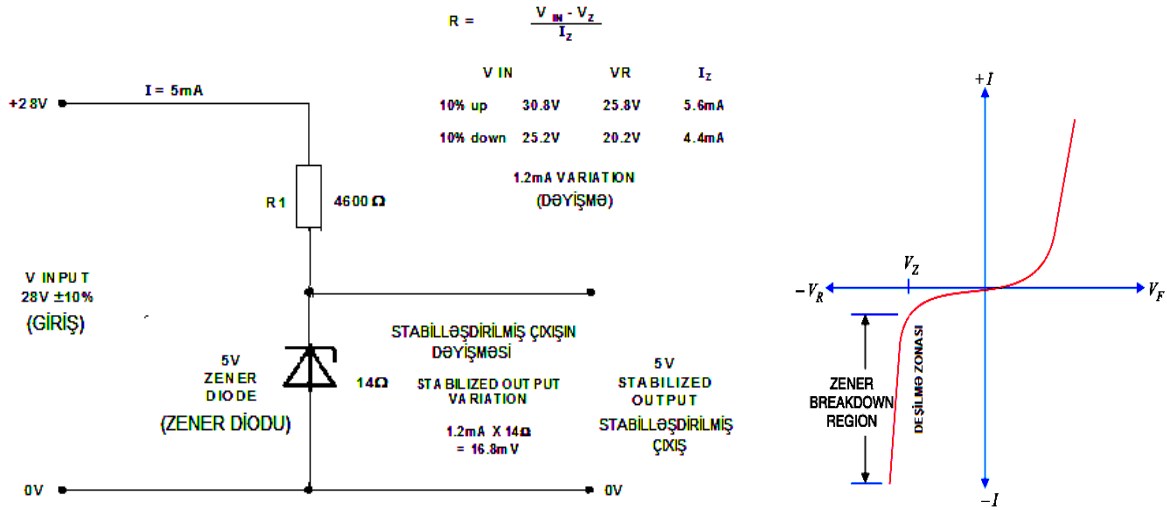
Şək. 6.5.

Zener diodu əsasında qurulan dayağ gərginlik dövrələri və parametrik stabilizatorlar bort avadanlığında geniş tətbiq olunur. Bort 28V DC (sabit cərəyan) gərginliyindən mikrosxemlərin qidalanması üçün tələb olunan stabil 5V DC gərginliyi almaq üçün Zener diodu əsasında qurulan gərginlik stabilizatorunun sxemi və hesabat qaydası şəkil 6.6 - da verilmişdir.

6.1.2. Bort avadanlığında tranzistorların tətbiqi sxemləri. Tranzistorlar bort avadanlığında həm gücləndirici sxemlərində, həm impuls sxemlərində geniş tətbiq tapmışdır. İdarə olunması nisbətən əlverişli olduğundan bipolyar tranzistorlar azgüclü impuls qurğularında xüsusi yer tutur.

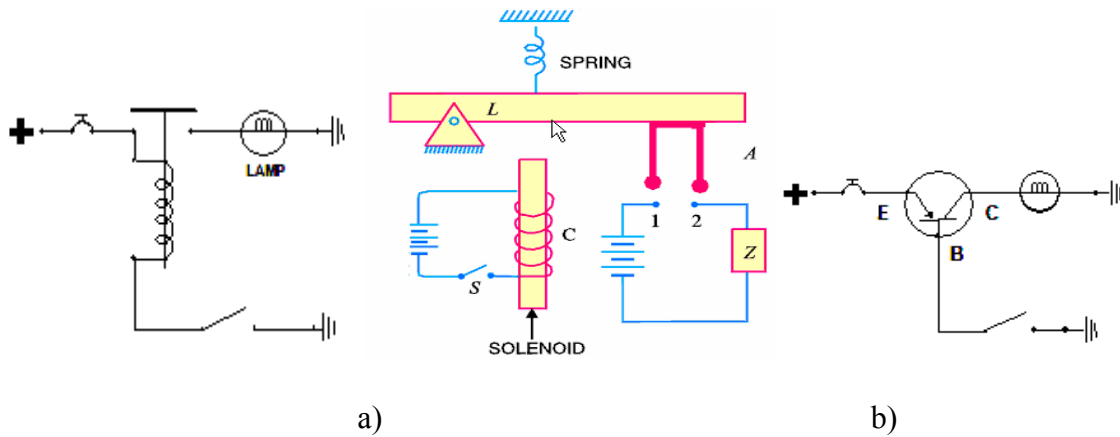
Şəkil 6.7-də işıqlandırma lampasının rele ilə idarə olunan açar sxemi (a) və onun əvəzləyicisi tranzistorlu açar sxemi (b) verilmişdir. Tranzistorlu açar

sxemi releli açar sxemi ilə müqayisədə daha yüksək sürətə malikdir və tranzistorun bazasına çox kiçik idarəetmə cərəyanı verməklə idarəetməni təmin etmək olar. Bundan əlavə eyni markalı transistor əsasında istənilən gərginliyə (yol verilən diapazonda) hesablanmış açar sxemi qurmaq olar. Lakin releli sxemlərdə konkret gərginliyə hesablanmış releni seçmək lazımdır.



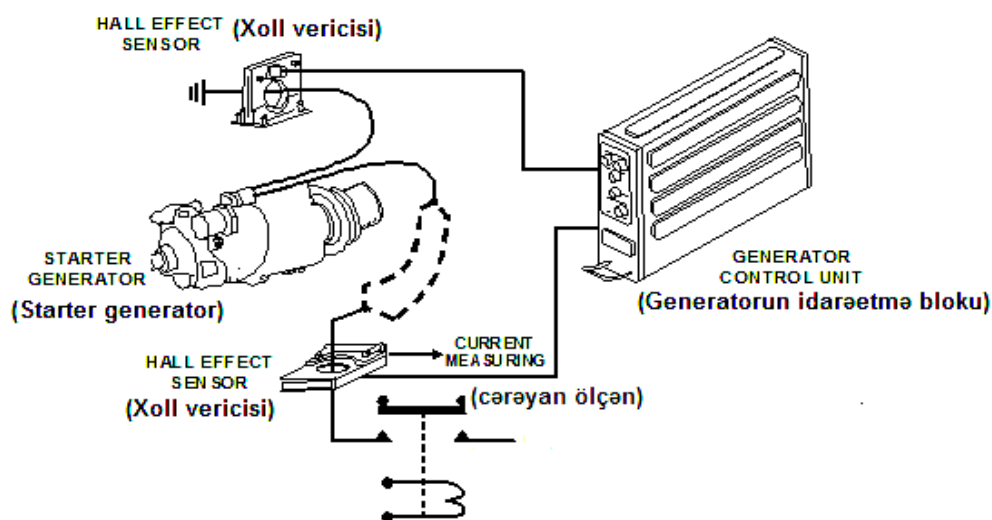
Şək. 6.6.

6.1.3. Yarımkəçirici vericilər və onların tətbiqinə misallar. Böyük praktiki tətbiq sahələrinə malik olan *Xoll vericilərinin* ATR42/72 təyyarəsində istifadə olunma sxemi şək.6.8-də verilmişdir. Sxemdə göstərilmiş Xoll vericilərindən biri sabit cərəyan starter-generatorunun kontaktlarının ayrılmasına nəzarət, o birisi isə dəyişən cərəyan generatorunun çıxış cərəyanını ölçmək və çıxışın qorunmasını təmin etmək üçün nəzərdə tutulub, generatorun idarəetmə blokunun (GCU) girişinə - gərginlik tənzimləyicisinə idarə signalının verilməsini təmin edir.



Şək.6.7.

Cərəyan vericiləri. Çoxlu sayda cərəyan ölçmə vericiləri mövcuddur, lakin bunlar içərisində yalnız üç növ: rezistiv vericilər, transformator cərəyan vericiləri və Xoll effektinə əsaslanan vericilər daha geniş tətbiq tapmışdır. Rezistiv metod ən sadə və qənaətcil olub, lakin bir çox çatışmazlıqlara malikdir. Bu çatışmazlıqlar içərisində rezistorda böyük güc itkilərinin yaranması və ölçü dövrəsi ilə ölçü qurğusu arasında qalvanik ayırmanın olmaması kimi xüsusiyyətləri göstərmək olar. Bundan əlavə məftilli rezistorlar böyük induktivliyə malikdirlər, bu isə onların impuls və yüksək tezikli cərəyanların ölçülməsi sxemlərində istifadə etməyə imkan vermir. İnduksiyasız qalıntəbəqəli güclü rezistorların tətbiqi bu metodun tətbiqində əlavə konstruktiv və iqtisadi problemlər yaradır. Cərəyan transformatorlarının tətbiqi, daha bahalı həllərdən olub, məhdud tezlik diapazonunda dəyişən cərəyanın ölçülməsi zamanı mümkündür.



Şək. 6.8.

Xoll cərəyan vericiləri keçiricilik hesabına itkilərin olmaması və həm sabit cərəyanın, həm də dəyişən cərəyanın ölçülməsi imkanına malik olması ilə fərqlənirlər. Bundan əlavə Xoll vericisi ölçülən cərəyan dövrəsindən izolyasiya olunub ki, bu da avtomatik olaraq qalvanik ayırmanı təmin edir. Bu halda çatışmazlıq xarici qida mənbəyinin olması zərurətidir. Ancaq qeyd etmək lazımdır ki, əksər hallarda cərəyan vericisi çıxış qurğusu olmadığından bu tip vericilərdə ondan sonra sxemin digər elektrik qida gərginliyi tələb edən komponentləri də olur.

Xətti Xoll vericilərinin maqnit induksiyasını ölçmə diapazonu məhdud olduğundan, konstruktiv tərtibatı seçərkən vericinin maqnit dövrəsinin konfigurasiyasını müəyyənləşdirmək lazımdır.

Böyük cərəyanların (10-2000A) ölçülməsi zamanı Xoll vericisi əlavə maqnit içliyi istifadə etmədən birbaşa naqilin yaxınlığında yerləşdirilə bilər.

Vericilərin mövcud tipləri üçün optimal olaraq ölçü diapazonunun ortası üçün maqnit induksiyanın qiymətini 100 Qauss hesab etmək olar. Bu çıxış küylərinə görə vericinin əlverişli həssaslığını təmin edər.

Xətti Xoll vericiləri həm də kifayət qədər yüksək tezlikli cərəyanları ölçməyə imkan verir və verici cərəyanlı məftilin yaxınlığında yerləşdikdə onun çıxış gərginliyi məftilin ətrafında yaranan maqnit sahə induksiyanına, sonuncu isə öz növbəsində cərəyana mütənasib olur.

Ən sadə Xoll cərəyan vericisi ölçülən cərəyanın axdığı məftilin yaxınlığında yerləşdirilən konstruksiyaya malik olan Xoll vericisidir (şək. 6.9,a). Cərəyanlı naqilin yaratdığı maqnit sahəsinin induksiya aşağıdakı məlum (beyn. sistemdə) düsturla qiymətləndirilə bilər

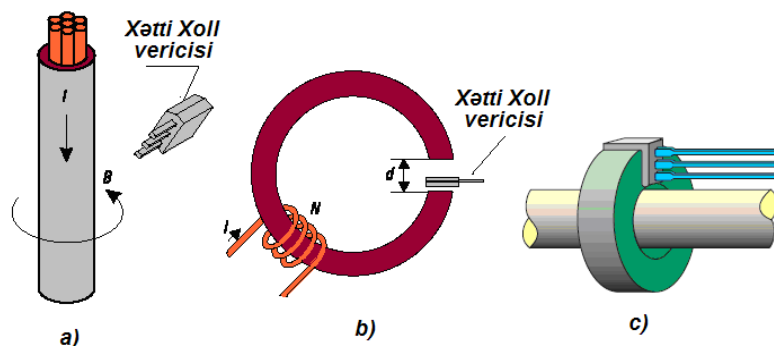
$$B \approx \mu_0 (I / 4\pi r) \quad (6.1)$$

burada r - məftil ilə Xoll vericisinin mərkəzləri arasındakı məsafədir. Xətti Xoll vericisinin məftilə nəzərən vəziyyətini seçərkən nəzərə almaq lazımdır ki, ən yüksək həssaslıq maqnit sahə xətlərinin vericinin müstəvisini düz bucaq altında kəsdiyi halda əldə olunur. Bu vericinin əsas çatışmazlığı ondan ibarətdir ki, istənilən xarici maqnit sahə mənbəyi vericinin göstərişinə təsir edir.

Daha yüksək həssaslığa malik olan Xoll vericisi yaratmaq üçün maqnit seli konsentratoru rolu oynayan kəsikli maqnit içliyi istifadə olunur (şək.6.9,b). Bu halda vericiyə təsir edən maqnit induksiya belə təyin olunur:

$$B \approx 12,57 \cdot 10^{-7} (IN / d) \quad (6.2)$$

burada d – maqnit içliyin kəsiyinin ölçüsü, N – sarğınların sayıdır.



Şəkil 6.9. Xoll effektinə əsaslanan cərəyan vericilərinin konstruktiv sxemi.

Bu metodun əsas çatışmazlığı ondan ibarətdir ki, istənilən xarici maqnit sahəsi cərəyan vericisinin göstəricilərinə çox güclü təsir göstərir. Ona görə də

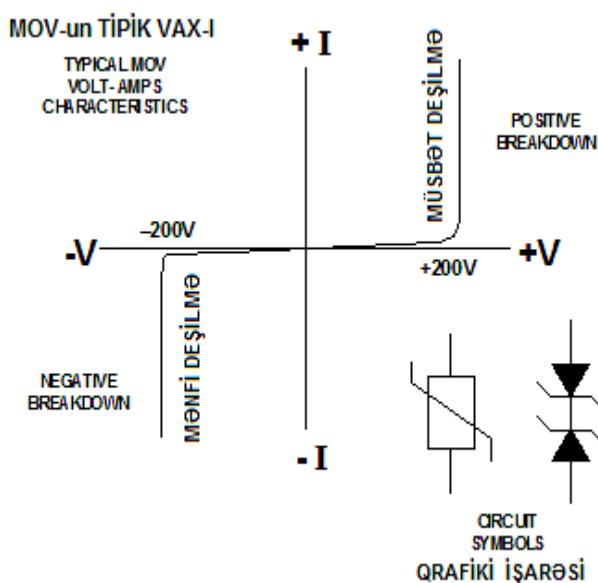
həssaslığı artırmaq və bununla yanaşı xarici təsirləri azaltmaq məqsədilə kəsikli toroidal maqnit içliyin kəsik aralıq hissəsində kalibrə olunmuş, integral sxemli presizion verici yerləşdirilir və cərəyanlı naqıl transformator vericisində olduğu kimi toroidin içərisindən buraxılır (şək.6.9,c). Kəsik aralıqdakı maqnit induksiyasının təxmini qiyməti Qausslarla aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$B \approx 6,9Q_{\text{auss}} / A \times \dot{I} \quad (6.3)$$

Nəzərdən keçirilmiş cərəyan ölçmə prinsipi Allegro Microsystems kompaniyasının ACS ailəsindən (markasından) olan modul vericiləri şəklində realizə edilmişdir. Bu seriyadan olan vericilərin xarakteristikaları aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

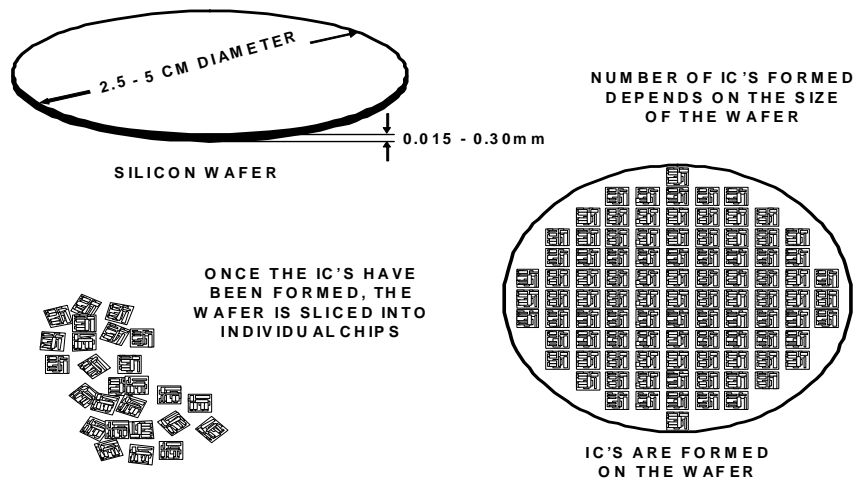
Vericinin seriyası	Cərəyanın ölçülmə diapazonu	İzolyasiya gərginliyi, kV	Tezlik zolağı, kHs	Temperatur diapazonu, °C
ACS706	5-20	1,6	50	-40 ... +85
ACS750	50-100	3	13	-40 ... +150
ACS752	50-100	3	50	-20 ... +85
ACS754	50-200	3	35	-40 ... +150
ACS755	50-200	3	35	-40 ... +150

Şək. 6.10-da aviasiya avadanlıqlarında tətbiq tapmış **metal-oksidlil varistorun** quruluşu və volt-ampər xarakteristikası (VAX) verilmişdir. Bu varistor yarımkeçirici rezistor olub sink oksidindən hazırlanmışdır. İş prinsipinə görə hər iki istiqamətdə özünü Zener diodu kimi aparır və yüksək gərginliklərdə deşilir, öz işində daha yüksək sürətə malikdir.

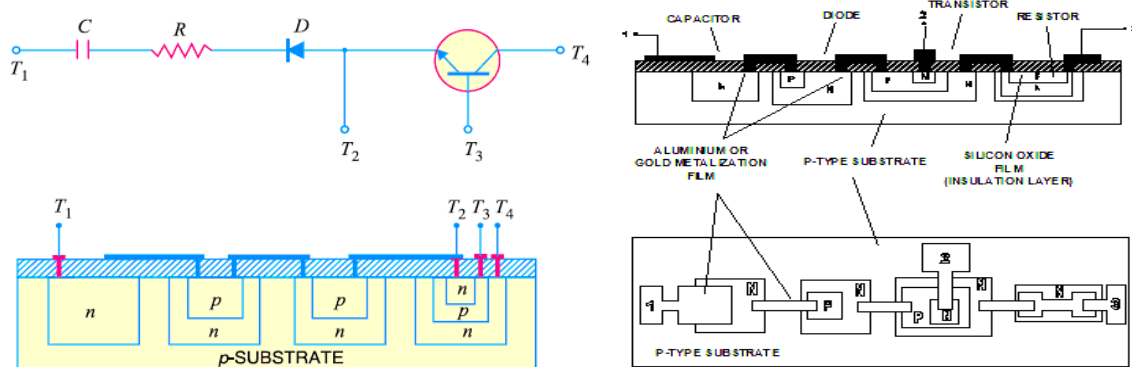


Şək. 6.10.

6.1.4. İnteqral mikrosxemlərin tətbiq sxemləri. Yarımkəçirici inteqral mikrosxemlərin hazırlanma texnologiyası sxematik olaraq şək. 6.11-də verilmişdir. Şək.6.12-də isə hibrid mikrosxemin sxemi və onun quruluşu verilmişdir.

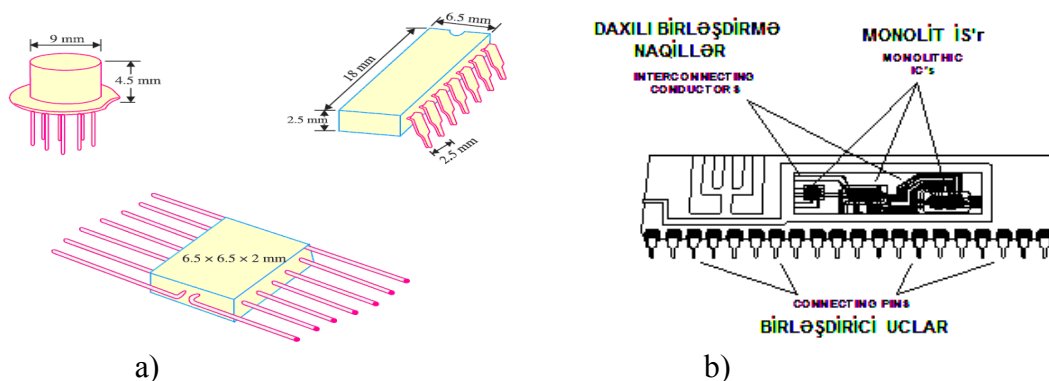


Şək.6.11.



Şək.6.12.

Şəkil 6.13 – də müxtəlif konstruktiv mikrosxemlərin xarici görünüşü (a) və bir korpusta yerinə yetirilmiş monolit mikrosxemin konstruktiv quruluşu və görünüşü (b) verilmişdir.



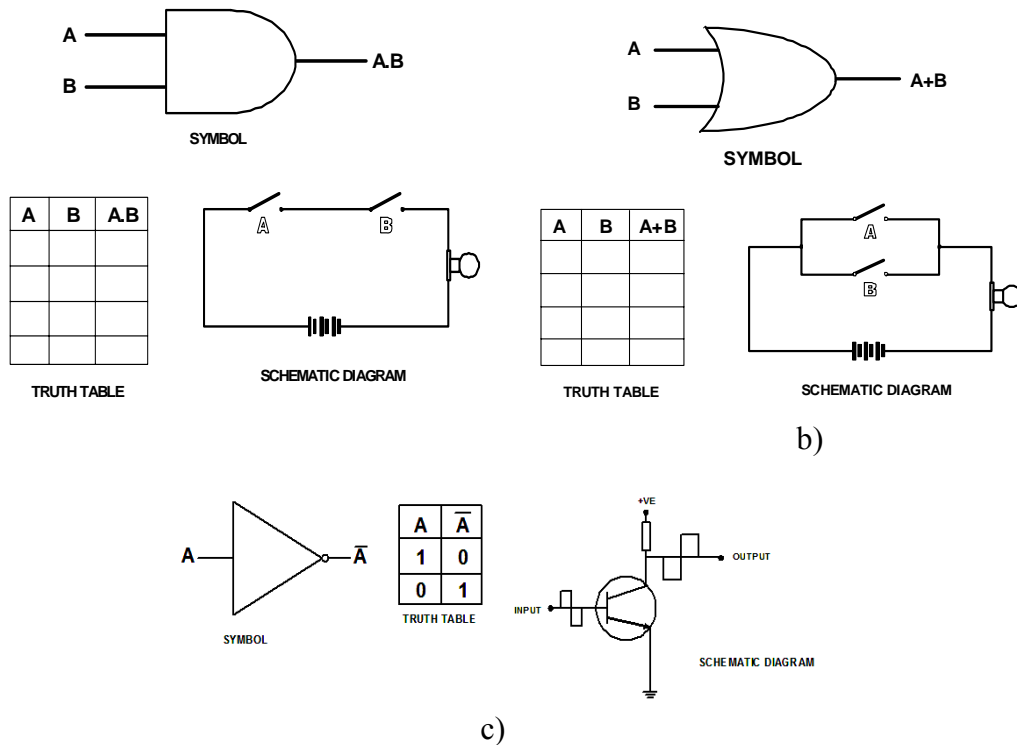
a)

b)

Şək.6.13.

Hava gəmilərində istifadə olunan elektron qurğularında məntiq elementləri və rəqəm mikrosxemləri geniş tətbiq tapmışdır.

Məntiq elementlərinin xarici ölkə texnikası avadanlıqlarının sxemlərində qəbul edilmiş şərti işarələnməsi və onlar əsasında qurulan məntiqi açar sxemləri şək.6.14-də verilmişdir.



Şək. 6.14. Məntiq elementləri əsasında məntiqi açarlarının sxemləri:
a) "YAXUD" ;b) "VƏ" c) "YOX"

6.2. Aviasiya texnikasında istifadə olunan indikator və displeylər

Az enerji tələb edən və ölçüləri kiçik olan yeni növ displeylər: LCD (LCD – Liquid Cristal Display), LED (Light emitted diode), plazma və digər tipli displeylər hal-hazırda daha çox tətbiq olunmaqdadır. Lakin bəzi hallarda elektron şüa borularının (EŞB) tətbiqinə də xüsusi yer verilir.

Elektron Şüa Borularının (EŞB) tətbiqi. Bir sıra aparaturlarda, o cümlədən, hava gəmilərinin avadanlıqlarında təsvirin yüksək keyfiyyətini təmin etmək üçün EŞB-lər istifadə olunur. Məsələn, ossilloqraflarda, rəngli televizorlarda və s. Hava gəmilərinin aviasiya avadanlıqlarında, xüsusən "Boeing" tipli təyyarələrdə bu növ displeylər üstünlük təşkil edir. Bu işə təyyarənin konstruktiv xüsusiyyətləri və EŞB-lərə xas olan üstünlüklərlə izah olunur (şək.6.15).



Şək.6.15. Boeing 747 təyyarəsinin cihaz lövhəsində quraşdırılmış CRT (Catode ray tube – Elektron şüa borusu) tipli displeylər.

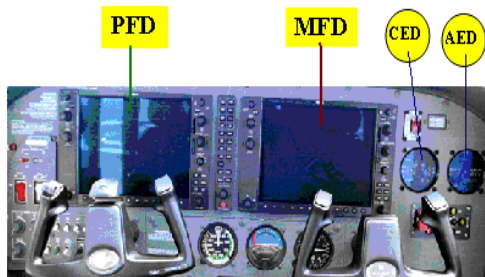
Maye kristal indikatorların və displeylərin tətbiq sahələri. Qida gərginliyinin kiçik və tələb etdiyi cərəyanın olduqca az olması hesabına maye kristal indikatorlar və displeylər (LCD – Liquid Cristal Display) həm məişət, həm sənaye avadanlıqlarında (televizorlarda, kompüterlərdə, informasiya tablolarında və s.) geniş tətbiq tapmışdır. Müasir təyyarələrdə istifadə olunan çoxfunksiyalı LCD displeylər cihaz lövhələrini xeyli kompaktlaşdırmağa, cihaz və indikasiya sisteminin etibarlılığını artırmağa imkan yaratmışdır. Funksional təyinatına və cihaz lövhəsində quraşdırılma xüsusiyyətlərinə görə fərqlənən LCD indikator və displeylərin növləri Cessna 172S (Garmin G1000 sistemi ilə olan) və Aerobus A320 tipli təyyarələrinin misalında şək.6.16-da göstərilmişdir.



a)



b)



PFD (Primary Flight Display) - Əsas Pilotaj Displeyi;
MFD (Multi Function Display) - Çoxfunksiyalı Displeyi;
CED (Combine Engine Display - Kombinəedilmiş Mühərrik Displeyi;
AED (Auxillary Engine Display - Köməkçi Mühəttik Displeyi.

c)



PFD (Primary Flight Display) - Əsas Pilotaj Displeyi;
ND (Navigation Display) - Naviqasiya Displeyi.

ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitor) - Təyyarənin Elektron Mərkəzi Monitoru

d)

Şək. 6.16. Təyyarələrdə quraşdırılan LCD indikatorlar və displeylərin növləri, və onların cihaz lövhəsində quraşdırılma sxemi. a) və b) idarəetmə panellərində quraşdırılmış LCD indikatorlar; c) və d) cihaz lövhələrində quraşdırılmış LCD displeylər.

6.3. Optik müşahidə cihazlarının və qurğularının mülki aviasiyada tətbiqi perspektivləri

Hava nəqliyyatının dünyanın nəqliyyat sistemindəki xüsusi çəkisinin artması uçuşların texniki təminatının rolunun artırılması ilə müşahidə olunur. Son zamanlar mülki aviasiya radioelektron sistemlərinin inkişafına ayrılan xərclər, təyyarələrin və yerüstü texnikanın istehsalına ayrılan xərclərlə eyni ölçüdədir. Yükdaşımaların effektivliyinin, təhlükəsizliyinin, müntəzəmliyinin və qənaətcilliyinin uçuşların intensivliyinin günbəgün artdığı bir şəraitdə artırılması, bu texniki vasitələrin inkişaf etdirilməsi və təkmilləşdirilməsini tələb edir. Bu baxımdan yeni növ radioelektron sistemlərinin işlənilib tətbiq olunması xüsusi aktualıq kəsb edir. Hal-hazırda videoinformasiyanın alınması üçün müxtəlif diapazonlu optik sistemlər istifadə olunur ki, bu da istənilən hava şəraitində və günün istənilən vaxtında müşahidə aparmağa imkan verir.

Hal-hazırda müxtəlif işıqlanmalara malik olan işıqdiolarından ibarət olan tamrəngli lampaların işlənməsi istiqamətində və həmçinin, yüksək effektivliyə malik olan UB- və İQ- diapazon dalğalı fotoqəbuledicilərin işlənməsi və yaradılması sahəsində aparılan intensiv işlər bu cihazlar əsasında qurulan optik müşahidə sistemlərinin mülki aviasiyada tətbiqinə yeni perspektivlər açır.

Son illər çoxrəngli böyük gücə malik olan HF (DF) – lazerlərin tətbiqi daha çox müşahidə və hədəfin spektral xarakteristikasına cavab verən şüalanma dalğa uzunluğunun və hədəfin energetik işıqlanmasını seçməyə imkan verir. Kompleks ötürücüqəbuledici aparatura istifadə etməklə atmosferin yerə yaxın qatlarında və yerin səthində məhdud görmə şəraitində: gecə vaxtı, dumanda, tüstü və s. şəraitdə lazerdən istifadə etməklə lokasiya və hədəflərin müşahidəsini aparmaq imkan yaranır. Bu növ lazerləri istifadə etməklə mülki aviasiya obyektlərində müşahidə etmək və lokasiya aparmaq olar.

Videoinformasiyanın alınması üçün daha aktiv olaraq istifadə olunan görünən diapazon və İQ-diapazonun teplopelenqasiya adlanan (8-14mkm) diapazonu həm aktiv, həm də passiv müşahidə aparmağa imkan verir. Son illər hələlik yalnız bir çox spesifik hədəfləri, məsələn start raketlərinin, yaxud reaktiv təyyarələrin müşahidəsini aparmağa imkan verən İQ-diapazonun 2-5 mkm spektral diapazonunun öyrənilməsinə və bu diapazonda işləyən aparaturlarının işlənməsinə xüsusi yer verilir. Bu isə gələcəkdə qeyd olunan diapazonda işləyən İQ-müşahidə aparaturlarının aerodrom zonasında istənilən hava şəraitində uçuş aparatlarının hərəkətinə nəzarət etməyə imkan verən sistemin qurulmasına zəmin yaradır.

Mövcud olan optoelektron cihazlarının və onların əsasında qurulan sistemlərin mülki aviasiyada tətbiqini tapması hal-hazırda reallaşmaqda olan və

çox böyük praktiki əhəmiyyət kəsb edən bir məsələdir. Perspektivdə lazer texnikasının inkişafı belə məsələlərin həllində matrisli PZS-tipli fotoqəbuledicilərin tətbiqi ilə təsvirlərin qurulmasına şərait yaradır.

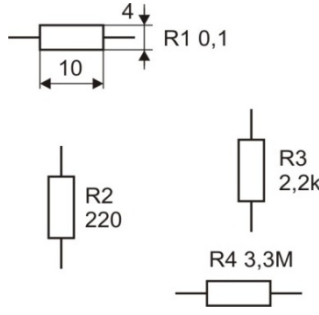
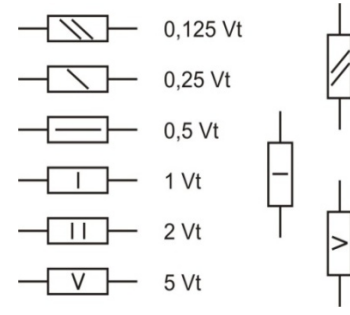
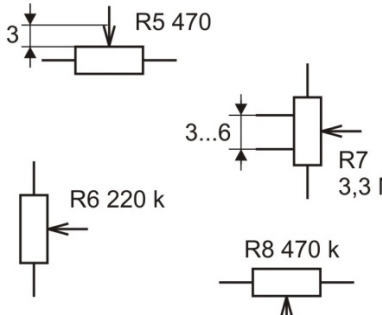
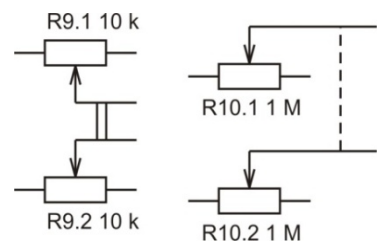
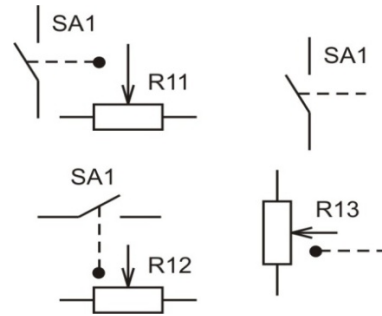
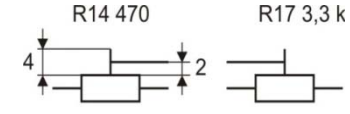
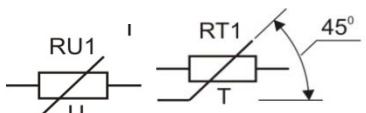
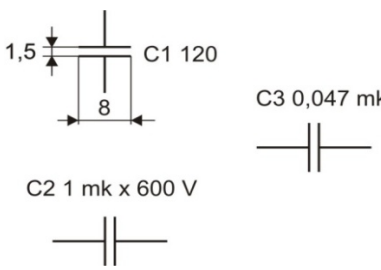
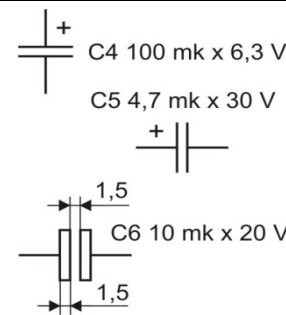
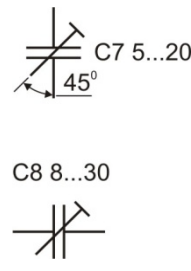
Baxmayaraq ki, hal-hazırda aviasiyada da geniş tətbiq olunan bir çox radiolokasiya qurğuları qeyd olunan məsələlərin bir çoxunu həll etməyə imkan verir, aktiv lokasiya prinsipləri istifadə olunan müşahidə radiolokatorlarında böyük enerji sərfiyyatı, qabarit ölçüləri, çəki və s. tələb olunur.

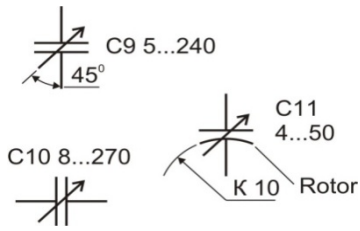
Passiv müşahidə aparmağa imkan verən İQ - fotoqəbuledicilər əsasında qurulmuş müşahidə sistemləri 30km-ə qədər və daha çox uzaqlıqlarda aerodrom zonasında aeronaviqasiya məsələlərinin və HHİE məsələlərinin həllində İQ-lərin tətbiq edilməsində yeni perspektivlər açır.

Qeyd: **Əlavə 1-də** elektron cihazlarının şərti-qrafiki işarələnməsi, **əlavə 2-də** geniş yayılmış elektron cihazlarının sorğu materialları, onların parametrlərinin və iş rejimlərinin təhlillərinə nümunələr, **əlavə 3-də** elektron cihazlarının tətbiq olunduğu elektron qurğularının sxemlərindən nümunələr və onların praktiki işçi rejimləri verilmiş, onların hesablanması aparılmasına göstərişlər verilmişdir.

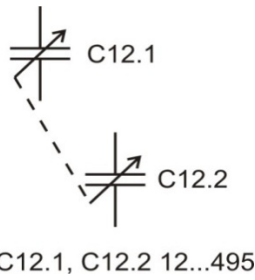
ƏLAVƏLƏR

Əlavə 1. Elementlərin şərti-qrafiki işarələri

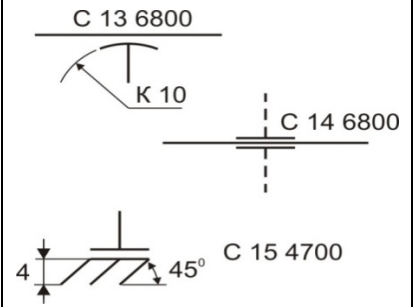
Rezistorlar		
 <p>Sabit müqavimətli rezistorlar</p>	 <p>Sabit müqavimətli rezistorlar</p>	 <p>Dəyişən müqavimətli rezistorlar</p>
 <p>İkili dəyişən müqavimətli rezistorlar</p>	 <p>Qapayıcı kontaktlı dəyişən müqavimətli rezistorlar</p>	 <p>Kökləyici rezistorlar</p>  <p>Qeyri-xətti rezistorlar: RU1-varistor, RT1- termorezistor</p>
Kondensatorlar		
 <p>Sabit tutumlu kondensatorlar</p>	 <p>Oksidli polyar və qeyri-polyar kondensatorlar</p>	 <p>Kökləyici (sazlayıcı) kondensatorlar</p>



Dəyişən tutumlu
kondensatorlar

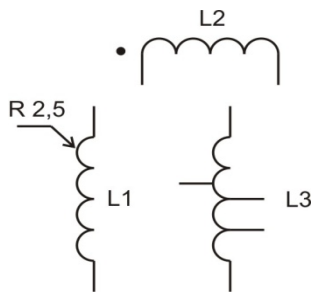


Dəyişən tutumlu
kondensatorların ikili bloku

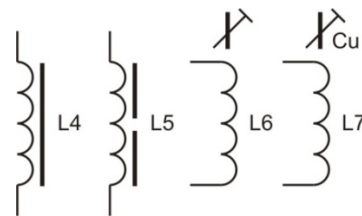


Keçid və dayaq
kondensatorları

İnduktivlik sarğacı, drossellər və transformatorlar



İnduktivlik sarğacı, drossel

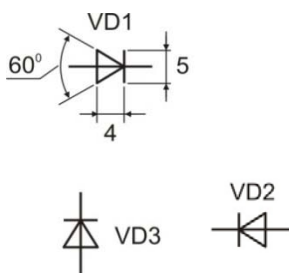


Sarğac, maqnitnaqilli drossel

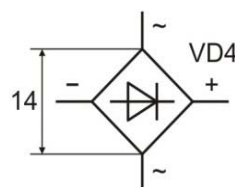


Elektrostatik ekranlı və üç
dolaqlı transformator

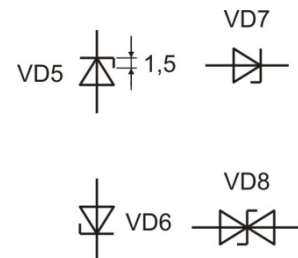
Yarımkəçirici diodlar



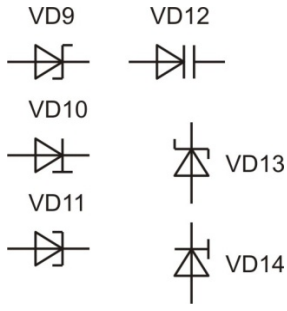
Adi (düzləndirici) diodlar



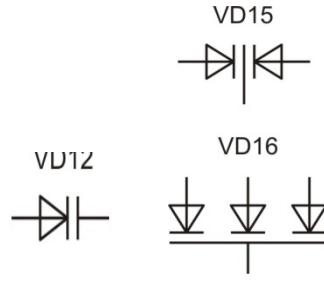
Diod körpüsü (düzləndirici)



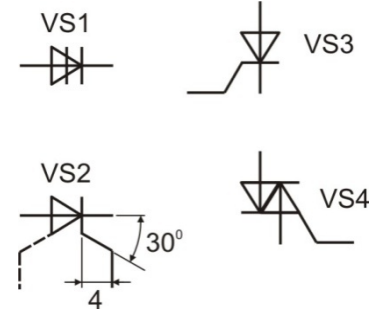
Stabilitronlar
(VD8-ikianodlu)



Şottki (VD9,VD13), məhdudlaşdırıcı(VD10,VD14), tunel (VD11) diodları

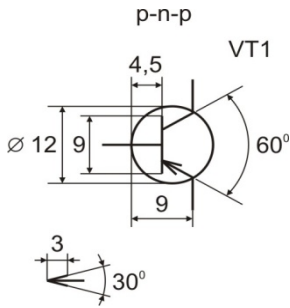


Varikap (VD12), Varikap matrisi (VD15, VD16)

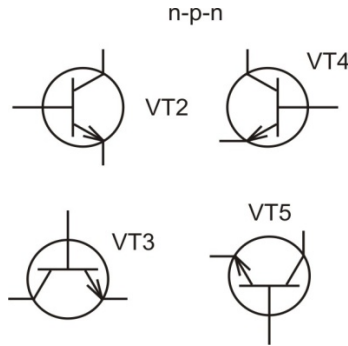


Dinistor, trinistor, simistor

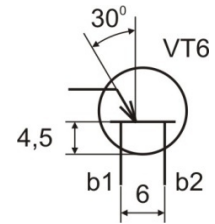
Tranzistorlar



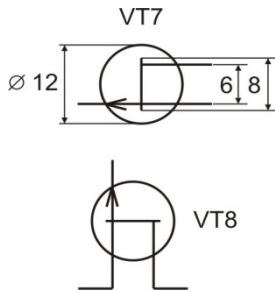
p-n-p tipli bipolyar tranzistor



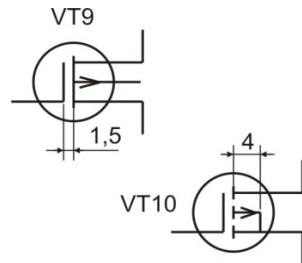
n-p-n tipli bipolyar tranzistorlar



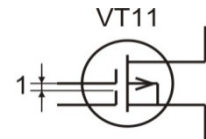
Birkeçidli tranzistor



p-kanallı sahə tranzistoru

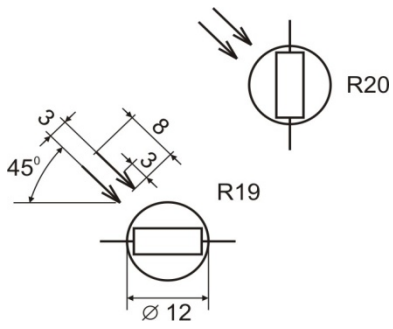


p-kanallı və izolə olunmuş zatvorlu sahə tranzistoru



n-kanallı və izolə olunmuş iki zatvorlu sahə tranzistoru

Optik-elektron cihazlar



Fotorezistorlar

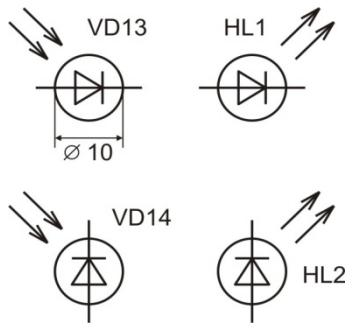
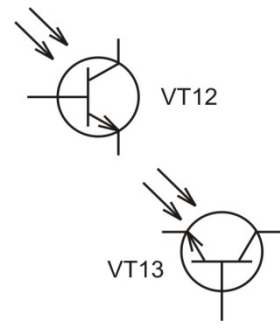
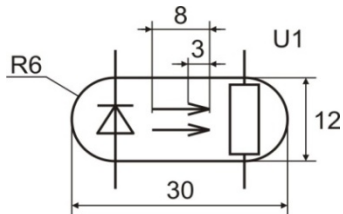


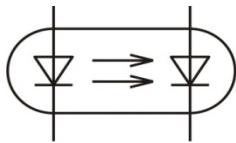
Foto və işıq diodları



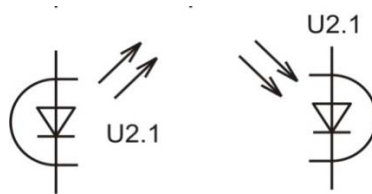
Fototranzistorlar



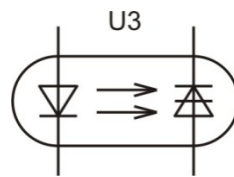
Rezistorlu optik cüt



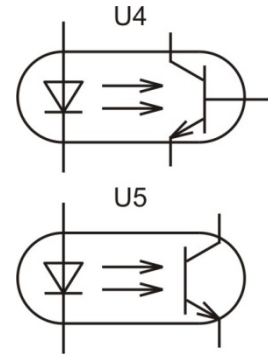
Diodlu optik cütük



Diodlu optik cütük

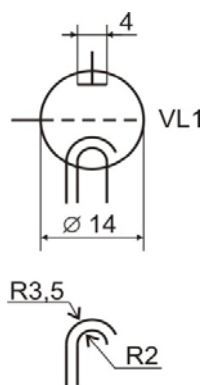


Tiristorlu optik cütük

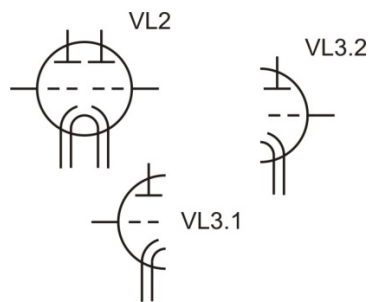


Tranzistorlu optik cütük

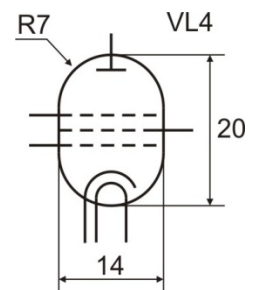
Elektrovakuum lampaları



Triod lampası

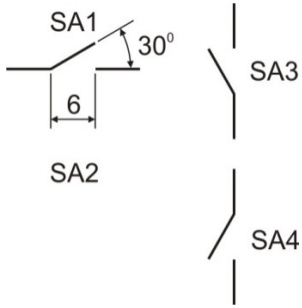


İkiqat triodlu lampa

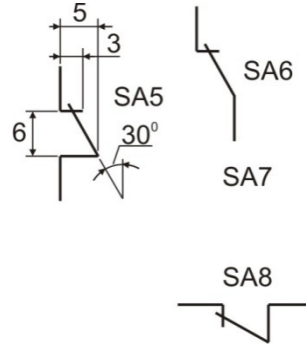


Pentod lampası

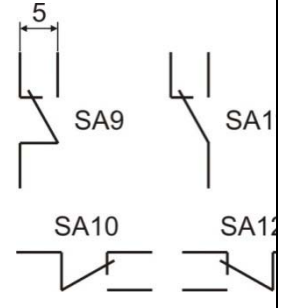
Kommutasiya qurğuları və kontakt birləşmələri



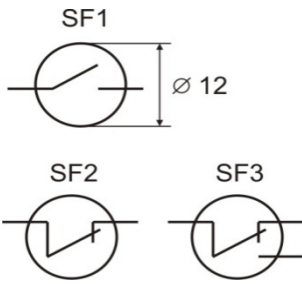
Qapanan açarlar



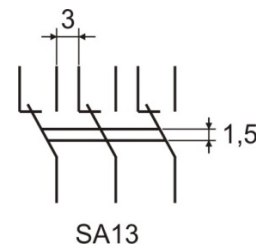
Qapamayan açarlar



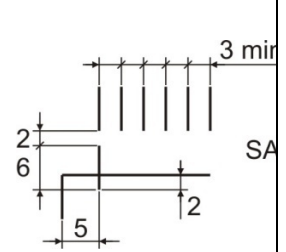
Çevirici açarlar



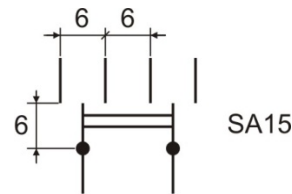
Herkon (germetik açarlar)



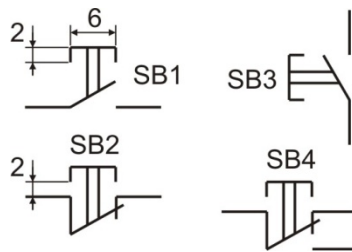
2-vəziyyətli, 3-istiqaətli açar



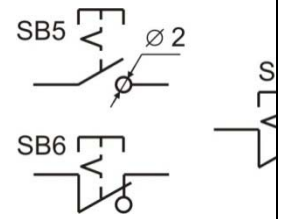
6-vəziyyətli, 1-istiqaətli açar



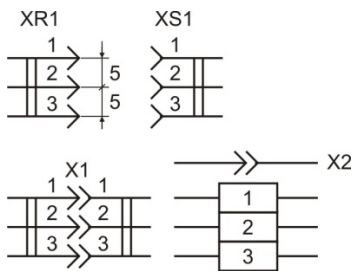
3-vəziyyətli, 2-istiqaətli açar



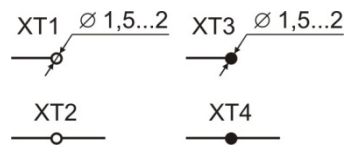
Düymə və çevirgəc (öz-özüne geriye qayıtmalı)



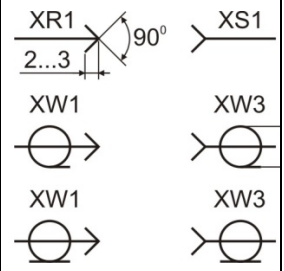
Düymə və çevirgəc (təkrar sıxmaqla)




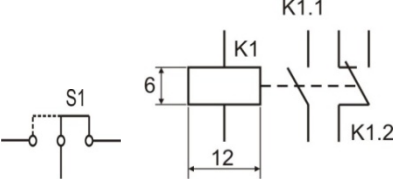
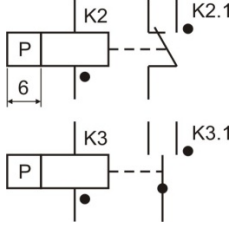
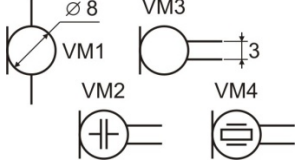
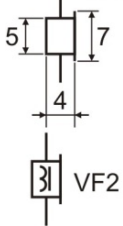
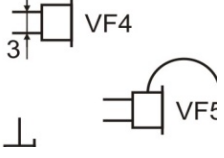
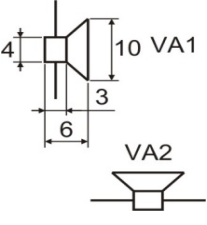
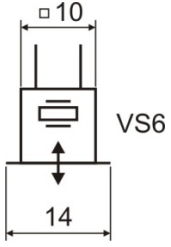
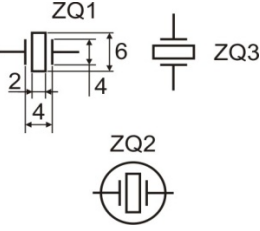
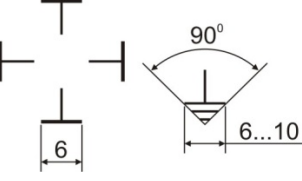
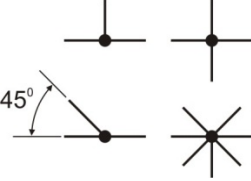
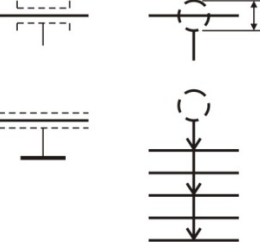
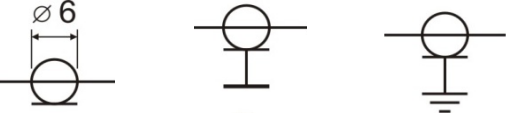
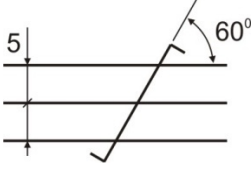
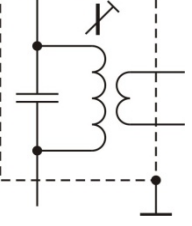
Vilka və rozетка (ayrılabilən birləşdirici)

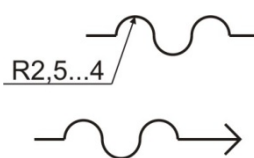
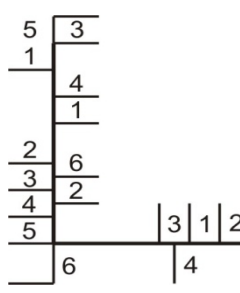
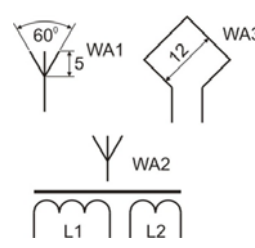


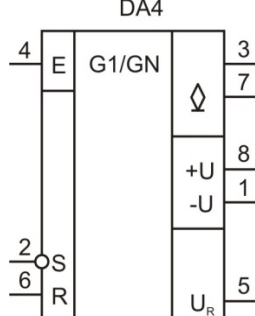
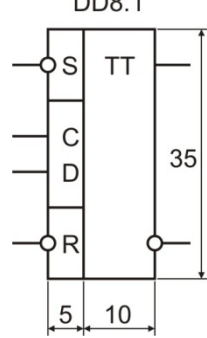
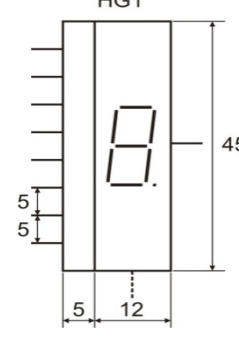
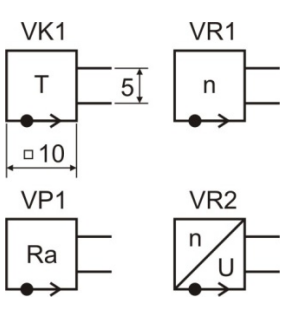
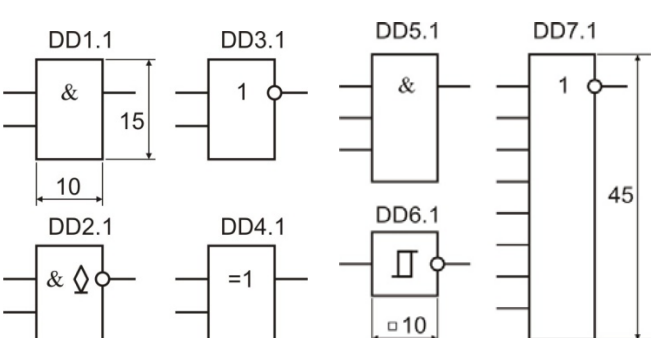
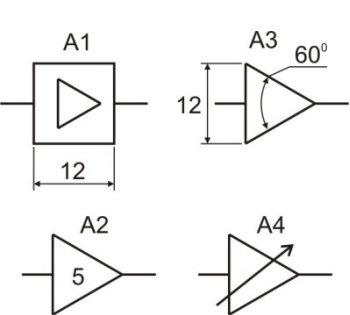
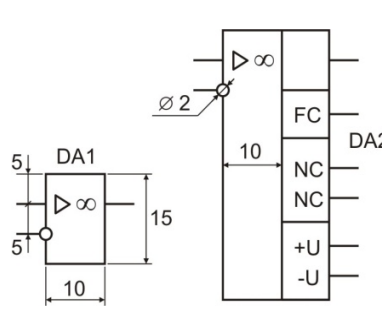
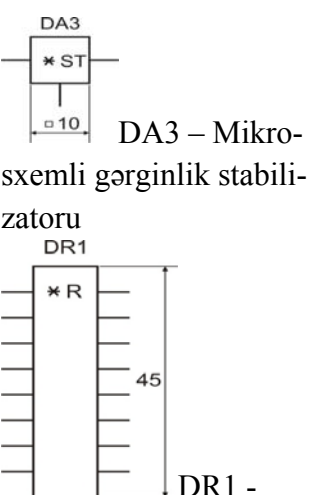
Sokülən və soküləbilməyən birləşməli kontaktlar



Çubuq və birləşmə yuvası

 <p>Birləşmə nöqtələri</p>	 <p>Elektromaqnit Qapayıcı Rele</p>	 <p>Qütbləşmiş rele</p>
Akustik cihazlar		
 <p>Mikrofon</p>	 <p>Telefon</p>	 <p>Telefon</p>
 <p>Ucadanışan</p>	 <p>Ultrasəs verici və qəbuledici</p>	 <p>Kvars, pyezokeramik rezonatorlar</p>
Rabitə xətləri və elementləri		
 <p>Ümumi naqıl ilə (korpus) birləşmə, torpaqlanma</p>	 <p>Elektriki əlaqəli xətlərin paylanması</p>	 <p>Ekranlaşdırılmış rabitə xətləri</p>
 <p>Koaksial kabel</p>	 <p>Burulmuş naqillərdən ibarət elektriki rabitə xətləri</p>	 <p>Ekranlayıcı elementlər qrupu</p>















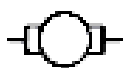





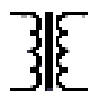














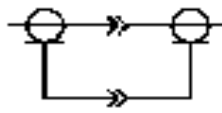




 <p>Elastik naqillərdən ibarət elektriki rabitə xətləri</p>	 <p>Qruplaşdırılmış rabitə xətləri</p>	 <p>Elektrik və maq-nit antennaları</p>
--	--	--

İnteqral mikrosxemlər		
 <p>Taymer</p>	 <p>D-trigger</p>	 <p>Rəqəmli indikator</p>
 <p>Qeyri-elektriki kəmiyyətlər vericisi</p>	 <p>Məntiq elementləri</p>	
 <p>Gücləndirici</p>	 <p>Əməliyyat gücləndiricisi</p>	 <p>DA3 – Mikro-sxemli gərginlik stabili-zatoru DR1 - Rezistorlar toplusu</p>

Rabitə qurğuları		
<p>U1 U3 U2 U4</p> <p>Çeviricilər</p>	<p>A5 dB</p> <p>A6 dB 0...40 dB</p> <p>Sabit və tənzimlənən attenyuatorlar</p>	<p>Z1 Z3 Z2 Z4</p> <p>Süzgəclər</p>
<p>DT1 DT3 DT2</p> <p>Ləngitmə xətləri: ümumi işarəsi (DT1), toplanmış parametrlə (DT2) və paylanmış parametrlə (DT3)</p>	<p>Siqnalın ötürülmə istiqaməti</p>	<p>G1 G3 G2 G4</p> <p>Generatorlar</p>
<p>Rəqəmli verilənlər axını</p>	<p>Elementlərin mexaniki əlaqə xətləri</p>	<p>V1</p> <p>Holl vericisi</p>

Elektrik qida mənbələri, siqnalizasiya lampaları		
<p>G1 1,5V G1 9V</p> <p>Qalvanik, akkumulyator, batareya elementləri</p>	<p>EL1 HL1 HL2 HL3</p> <p>İşıqlandırıcı (EL1) və siqnal-edicici (HL1, HL2) közərmə lampaları</p>	<p>R4</p> <p>Qazboşalma lampaları</p>
<p>Sabit gərginlik və cərəyan mənbələri</p>	<p>Dəyişən cərəyan mənbəyi</p>	<p>Dəyişən gərginlik mənbəyi</p>

Elektron qurğularının əsas elementlərinin xarici ingilis dilli ədəbiyyatda verilən işarələmələri və adları aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

						
Earth (ground)	Chassis (ground)	Fixed rezistor	Presed rezistor	Variable rezistor	Variable potentiometer	
						
Fxed Capacitor	Electrolytic capacitor	Preset capacitor	Variable capacitor	Quartz crystal	Fuse	
						
Aerial	Lamp	Motor	SPST switch	SPOT switch	DPST switch	
Microphone	Speaker	Iron cored Transformer	Fixed inductor	NPN transistor	PNP transistor	
						
Diode	Zener Diode	LED	NPN Darlington	PNP Darlington	N-channel JFET	P-channel JFET
						
Fermale Connector	Male connector	Shielded socket	Shielded plug	Coaxial plug and socket		
						
Open jack Socket	Closed jack socket	AC voltage source	Coaxial cable			
						

Əlavə 2. Geniş yayılmış yarımkeçirici cihazların parametrləri, istismar şərtləri və tətbiq sahələri

2.1. Yarımkeçirici diodların parametrləri, istismar şərtləri və tətbiq sahələrinə nümunələr

2.1.1. Diodların parametrlərinin təsnifatı. Diodların texniki şərtlərində və sorğu vərəqlərində verilən elektrik parametrləri arasında təsnifat parametrləri adlanan göstəricilərini göstərirlər.

Bu parametrlərinə görə yarımkeçirici diodların qrupundan lazım olan tipi (altqrupu) seçirlər. Məsələn, 5000Hs-ə qədər tezlikli dəyişən cərəyanın düzləndirilməsi üçün nəzərdə tutulan, metalik korpusda hazırlanan orta güclü ($I_{\text{ort.düz.}}=1\text{A}$) KD202 markalı diodlarında A altqrupundan olan diodlar üçün əks gərginliyin yol verilə bilən amplitudu 50V nəzərdə tutulduğu halda, C altqrupu üçün 600V-a qədər ola bilər.

Əgər düzləndirici diodlar üçün təsnifat parametri kimi adətən əks gərginlik nəzərdə tutulursa, impuls diodları əks müqavimətinin bərpa olunma müddətinə görə, stabiltronlar (dayaq diodları) stabilləşdirmə gərginliyinə görə və s. təsnifat olunurlar.

Bundan əlavə sorğu vərəqlərində və kitablarında əsas parametrlərlə yanaşı diodların ortalaşdırılmış statik volt-ampər xarakteristikaları da verilir. Bu xarakteristikaların köməyi ilə diodun parametrlərinin hesabatını aparmaq olar. Lakin nəzərə almaq lazımdır ki, diodların müxtəlif nümunələrinin xarakteristikaları ortalaşdırılmış VAX-dan fərqlənə bilər, ona görə də dəqiqlik 10-20%-dən çox olmur.

Bir neçə geniş tətbiq olunan yarımkeçirici diodun əsas parametrləri cədvəl 1-də verilmişdir

Cədvəl 1

Diodun markası	Növü	Əsas parametrləri				
		Maksimal əks gərginlik, V	Düz gərginlik düşküsi, V	Maksimal düz cərəyan, A	Sərhəd tezliyi, kHs	İşçi tempera-tur intervalı
D202	Düzləndirici	100	1	0,4	20	-55 ÷ +85°C
D217	Düzlənd.	800	1	0,1	10	-40 ÷ +100°C
D242	Düzlənd.	100	1,25	10		-60 ÷ +130°C
KD102	Düzlənd.	250	1,2	0,1		-60 ÷ +120°C
D223A	R/el. Sx. üç.	100	1	0,05	20000	-55 ÷ +100°C
D223B	R/el. Sx. üç.	150	1	0,05	20000	-55 ÷ +100°C

Düzləndirici diodların əsas parametrləri cədvəl 2-də verilmişdir

Diodun markası	T=25°C temperaturda parametrlərin son hədd qiymətləri			T=25°C-də parametrlərin qiymətləri		Maksimal işçi temperatur $T_{\kappa.max}$ (T_s), °C
	Əks gərginlik $U_{\text{əks.max.}}$ ($U_{\text{əks.im.m.}}$), V	Maksimal düz cərəyan $I_{\text{düz.max.}}$ ($I_{\text{d.im.max.}}$), A	Düz gərginlik düşküsi, $U_{\text{düz.}}$, V	Əks cərəyan $I_{\text{əks.}}$, mA	Sərhəd işçi tezliyi $f_{\text{iş.}}$ ($f_{\text{max.}}$), kHs	
1	2	3	4	5	6	7
Böyük güclü düzləndirici diodlar						
1	2	3	4	5	6	7
2Д2990Б	600 (600)	20	1,4	8	200	125
2Д2990В	400 (400)	20	1,4	11	200	125
КД2994А	200 (200)	20	1,4	11	200	125
КД2995А	100 (100)	20	1,4	11	200	125
КД2995Б	50 (50)	20	1,1	0,2	200	150
КД2995В	70 (70)	20	1,1	0,01	200	150
КД2995Г	100 (100)	20	1,1	0,01	200	150
КД2995Е	50 (50)	20	1,1	0,01	200	150
2Д2997А	100 (100)	20	1,1	0,01	200	150
2Д2997Б	200 (250)	30 (100)	1,0	0,01	100	125
2Д2997В	100 (200)	30 (100)	1,0	25	100	125
КД2997А	50 (100)	30 (100)	1,0	25	100	125
КД2997Б	200 (250)	30 (100)	1,0	25	100	125
КД2997В	100 (200)	30 (100)	1,0	25	100	125
2Д2998А	50 (100)	30 (100)	1,0	25	100	125
2Д2998Б	15 (15)	30 (100)	0,6	25	200	125
2Д2998В	25 (25)	30 (100)	0,68	150	200	125
2Д2999А	25 (25)	30 (100)	0,68	150	200	125
2Д2999Б	200 (250)	20 (100)	1,0	150	100	125
2Д2999В	100 (200)	20 (100)	1,0	25	100	125
КД2999А	50 (100)	20 (100)	1,0	25	100	125
КД2999Б	200 (250)	20 (100)	1,0	25	100	125

Orta güclü düzləndirici diodlar						
Diodun markası	$U_{\text{əks.max.}}$ ($U_{\text{əks.im.m.}}$) V	$I_{\text{düz.max.}}$ mA	$U_{\text{düz.}}$, V	$I_{\text{əks.}}$, mA	$f_{\text{iş.}}$ ($f_{\text{max.}}$), kHs	Maksimal işçi temperatur

						$T_{к.max}, ^\circ C$
1	2	3	4	5	6	7
Д214	(100)	10,0	1,2	3,0	1,1	10,0
Д214А	(100)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д214Б	(100)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д215	(200)	10,0	1,2	3,0	1,1	10,0
Д215А	(200)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д215Б	(200)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д231	(300)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д231А	(300)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д231Б	(300)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д232	(400)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д232А	(400)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д232Б	(400)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д233	(500)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д233Б	(500)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д234Б	(600)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д242	(100)	10,0	1,25	3,0	2 (10)	10,0
Д242А	(100)	10,0	1,0	3,0	2 (10)	10,0
Д242Б	(100)	5,0	1,5	3,0	2 (10)	5,0
Д243	(200)	10,0	1,25	3,0	1,1	10,0
Д243А	(200)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д243Б	(200)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д244	(50)	10,0	1,25	3,0	1,1	10,0
Д244А	(50)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д244Б	(50)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д245	(300)	10,0	1,25	3,0	1,1	10,0
Д245А	(300)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д245Б	(300)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д246	(400)	10,0	1,25	3,0	1,1	10,0
Д246А	(400)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д246Б	(400)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д247	(500)	10,0	1,25	3,0	1,1	10,0
Д247Б	(500)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д248Б	(600)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д302	200	1,0	0,25	0,8	5,0	1,0
Д302А	200	1,0	0,3	1,2	5,0	1,0
Д303	(150)	3,0	0,3	1,0	5,0	3,0
Д303А	(150)	3,0	0,35	1,2	5,0	3,0
Д304	(100)	5,0	0,25	2,0	5,0	5,0
Д305	(50)	10,0	0,3	2,5	5,0	10,0
Д332А	400	10,0	1,0	3,0	-	10,0
Д332Б	400	5,0	1,5	3,0	-	5,0
Д333	500	10,0	1,0	3,0	-	10,0

Д333Б	500	5,0	1,5	3,0	-	5,0
Д334Б	600	5,0	1,5	3,0	-	5,0
2Д201А	(100)	5,0	1,0	3,0	1,1	5,0
2Д201Б	(100)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
2Д201В	(200)	5,0	1,0	3,0	1,1	5,0
2Д201Г	(200)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
2Д202В	70 (100)	5,0	1,0	1,0	1,2 (5)	3,0
2Д202Д	120 (200)	5,0	1,0	1,0	1,2 (5)	3,0
2Д202Ж	210 (300)	5,0	1,0	1,0	1,2 (5)	3,0
2Д202К	200 (400)	5,0	1,0	1,0	1,2 (5)	3,0
2Д202М	350 (500)	5,0	1,0	1,0	1,2 (5)	3,0
2Д202Р	420 (600)	5,0	1,0	1,0	1,2 (5)	3,0
КД202А	35 (50)	5,0	0,9	0,8	1,2 (5)	5,0
КД202Б	35 (50)	3,5	0,9	0,8	1,2 (5)	3,5
КД202В	70 (100)	5,0	0,9	0,8	1,2 (5)	5,0
КД202Г	70 (100)	3,5	0,9	0,8	1,2 (5)	3,5
КД202Д	140 (200)	5,0	0,9	0,8	1,2 (5)	5,0
КД202Е	140 (200)	3,5	0,9	0,8	1,2 (5)	3,5
КД202Ж	210 (300)	5,0	0,9	0,8	1,2 (5)	5,0
КД202И	210 (300)	3,5	0,9	0,8	1,2 (5)	3,5
КД202К	280 (400)	5,0	0,9	0,8	1,2 (5)	5,0
КД202Л	280 (400)	3,5	0,9	0,8	1,2 (5)	3,5
КД202М	350 (500)	5,0	0,9	0,8	1,2 (5)	5,0
КД202Н	350 (500)	3,5	0,9	0,8	1,2 (5)	3,5
КД202Р	420 (600)	5,0	0,9	0,8	1,2 (5)	5,0
КД202С	480 (600)	3,5	0,9	0,8	1,2 (5)	3,5
2Д203А	420 (600)	10,0	1,0	1,5	1 (10)	10,0
2Д203Б	560 (800)	10,0	1,0	1,5	1 (10)	10,0
2Д203В	560 (800)	10,0	1,0	1,5	1 (10)	10,0
2Д203Г	700 (1000)	10,0	1,0	1,5	1 (10)	10,0
2Д203Д	700 (1000)	10,0	1,0	1,5	1 (10)	10,0
КД203А	420 (600)	10,0	1,0	1,5	1 (10)	10,0
КД203Б	560 (800)	10,0	1,0	1,5	1 (10)	10,0
КД203В	560 (800)	10,0	1,0	1,5	1 (10)	10,0
КД203Г	700 (1000)	10,0	1,0	1,5	1 (10)	10,0
КД203Д	700 (1000)	10,0	1,0	1,5	1 (10)	10,0
2Д204А	400	0,4	1,4	0,15	1,0	0,6
2Д204Б	200	0,6	1,4	0,1	5,0	0,6
2Д204В	50	1,0	1,4	0,05	5,0	0,6
КД204А	400	0,4	1,4	0,15	1,0	0,6

КД204Б	200	0,6	1,4	0,1	5,0	0,6
КД204В	50	1,0	1,4	0,05	5,0	0,6
2Д206А	400 (400)	5,0	1,2	0,7	1,0	1,0
2Д206Б	500 (500)	5,0	1,2	0,7	1,0	1,0
2Д206В	600 (600)	5,0	1,2	0,7	1,0	1,0
КД206А	400 (400)	10,0	1,2	0,7	1,0	1,0
КД206Б	500 (500)	10,0	1,2	0,7	1,0	1,0
КД206В	600 (600)	10,0	1,2	0,7	1,0	1,0
КД208А	100 (100)	1,5	1,0	0,1	1,0	1,0
КД208В	100	1,5	1,0	0,1	-	-
2Д210А	800 (800)	5,0	1,0	1,5	(5,0)	10,0
2Д210Б	800 (800)	10,0	1,0	1,5	(5,0)	10,0
2Д210В	1000 (1000)	5,0	1,0	1,5	(5,0)	10,0
2Д210Г	1000 (1000)	10,0	1,0	1,5	(5,0)	10,0
КД210А	800 (800)	5,0	1,0	1,5	(5,0)	10,0
КД210Б	800 (800)	10,0	1,0	1,5	(5,0)	10,0
КД210В	1000 (1000)	5,0	1,0	1,5	(5,0)	10,0
КД210Г	1000 (1000)	10,0	1,0	1,5	(5,0)	10,0
2Д212А	200 (200)	1,0	1,0	0,05	100	1,0
2Д212Б	100 (100)	1,0	1,0	0,1	100	1,0
КД212А	200	1,0	1,0	0,05	100	1,0
КД212Б	200	1,0	1,2	0,1	100	1,0
КД212В	100	1,0	1,0	0,05	100	1,0
КД212Г	100	1,0	1,2	0,1	100	1,0
2Д213А	200 (200)	10,0	1,0	0,2	(100)	10,0
2Д213А6	200 (200)	10,0	1,0	0,2	100	10,0
2Д213Б	200 (200)	10,0	1,2	0,2	(100)	10,0
2Д213Б6	200 (200)	10,0	1,2	0,2	100	10,0
2Д213В	100 (100)	10,0	1,0	0,2	(100)	10,0
2Д213Г	100 (100)	10,0	1,2	0,2	(100)	10,0
КД213А	200 (200)	10,0	1,0	0,2	(100)	10,0
КД213А6	200 (200)	10,0	1,0	0,2	(100)	10,0
КД213Б	200 (200)	10,0	1,2	0,2	(100)	10,0
КД213Б6	200 (200)	10,0	1,2	0,2	(100)	10,0
КД213В	100 (100)	10,0	1,0	0,2	(100)	10,0
КД213Г	100 (100)	10,0	1,2	0,2	(100)	10,0
2Д216А	100 (100)	10,0	1,4	0,05	100	10,0
2Д216Б	200 (200)	10,0	1,4	0,05	100	10,0
2Д217А	100 (100)	3,0	1,3	0,05	50 (100)	3,0
2Д217Б	200 (200)	3,0	1,3	0,05	50 (100)	3,0

2Д219А	15 (15)	10,0	0,55	10	200	10,0
2Д219Б	20 (20)	10,0	0,55	10	200	10,0
2Д219В	15 (15)	10,0	0,45	10	200	10,0
2Д219Г	20 (20)	10,0	0,45	10	200	10,0
2Д220А	400 (400)	3,0	1,5	0,045	10 (50)	3,0
2Д220Б	600 (600)	3,0	1,5	0,045	10 (50)	3,0
2Д220В	800 (800)	3,0	1,5	0,045	10 (50)	3,0
2Д220Г	1000(1000)	3,0	1,5	0,045	10 (50)	3,0
2Д220Д	400 (400)	3,0	1,3	0,045	10 (50)	3,0
2Д220Е	600 (600)	3,0	1,3	0,045	10 (50)	3,0
2Д220Ж	800 (800)	3,0	1,3	0,045	10 (50)	3,0
2Д220И	1000 (1000)	3,0	1,3	0,045	10 (50)	3,0
КД223А	200 (200)	2,0	1,3	10	35	6,0
КД226А	100 (100)	1,7	1,4	0,05	35	1,7
КД226Б	200 (200)	1,7	1,4	0,05	35	1,7
КД226В	400 (400)	1,7	1,4	0,05	35	1,7
КД226Г	600 (600)	1,7	1,4	0,05	35	1,7
КД226Д	800 (800)	1,7	1,4	0,05	35	1,7
КД227А	100 (150)	5,0	1,6	0,8	1,2	5,0
КД227Б	200 (300)	5,0	1,6	0,8	1,2	5,0
КД227В	300 (450)	5,0	1,6	0,8	1,2	5,0
КД227Г	400 (600)	5,0	1,6	0,8	1,2	5,0
КД227Д	500 (750)	5,0	1,6	0,8	1,2	5,0
КД227Е	600 (850)	5,0	1,6	0,8	1,2	5,0
КД227Ж	800 (1200)	5,0	1,6	0,8	1,2	5,0
2Д230А	400 (400)	3,0	1,5	0,045	10 (50)	3,0
2Д230Б	600 (600)	3,0	1,5	0,045	10 (20)	3,0
2Д230В	800 (800)	3,0	1,5	0,045	10 (20)	3,0
2Д230Г	1000(1000)	3,0	1,5	0,045	10 (20)	3,0
2Д230Д	400 (400)	3,0	1,3	0,045	10 (20)	3,0
2Д230Е	600 (600)	3,0	1,3	0,045	10 (50)	3,0
2Д230Ж	800 (800)	3,0	1,3	0,045	10 (20)	3,0
2Д230И	1000(1000)	3,0	1,3	0,045	10 (20)	3,0
2Д231А	(150)	10,0	1,0	0,05	200	10,0
2Д231Б	(200)	10,0	1,0	0,05	200	10,0
2Д231В	(150)	10,0	1,0	0,05	200	10,0
2Д231Г	(200)	10,0	1,0	0,05	200	10,0
2Д232А	(15)	10,0	0,6	7,5	200(200)	10,0
2Д232Б	(25)	10,0	0,7	7,5	200(200)	10,0

2Д232В	(25)	10,0	0,7	7,5	200(200)	10,0
2Д234А	100 (100)	3,0	1,5	0,1	50 (50)	3,0
2Д234Б	200 (200)	3,0	1,5	0,1	50 (50)	3,0
2Д234В	400 (400)	3,0	1,5	0,1	50 (50)	3,0
2Д251А	(50)	10,0	1,0	0,05	200	10,0
2Д251Б	(70)	10,0	1,0	0,05	200	10,0
2Д251В	(100)	10,0	1,0	0,05	200	10,0
2Д251Г	(50)	10,0	1,0	0,05	200	10,0
2Д251Д	(70)	10,0	1,0	0,05	200	10,0
2Д251Е	(100)	10,0	1,0	0,05	200	10,0
Д214	(100)	10,0	1,2	3,0	1,1	10,0
Д214А	(100)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д214Б	(100)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д215	(200)	10,0	1,2	3,0	1,1	10,0
Д215А	(200)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д215Б	(200)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д231	(300)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д231А	(300)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д231Б	(300)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д232	(400)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д232А	(400)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д232Б	(400)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д233	(500)	10,0	1,0	3,0	1,1	10,0
Д233Б	(500)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д234Б	(600)	5,0	1,5	3,0	1,1	5,0
Д242	(100)	10,0	1,25	3,0	2 (10)	10,0

Az güclü düzləndirici diodlar						
Diodun markası	$U_{\partial ks.max.}, V$ ($U_{\partial ks.imp.max.}$)	$I_{düz.max.}, mA$	$U_{düz.}, V$	$I_{\partial ks.}, mA$	$f_{iş.} (f_{max.}), kHz$	Maksimal işçi temperatur $T_{k.max.}, ^\circ C$
1	2	3	4	5	6	7
Д2Б	10 (30)	16	-	150	150	5,0
Д2В	30 (40)	25	-	150	150	9,0
Д2Г	50 (75)	16	-	150	150	2,0
Д2Д	50 (75)	16	-	150	150	4,5
Д2Е	100 (100)	16	-	150	150	4,5
Д2Ж	150 (150)	8	-	150	150	2,0
Д2И	100 (100)	16	-	150	150	2,0
МД3	15	12 (15)	-	-	-	5,0
Д7А	(50)	300	1,0	-	-	300
Д7Б	(100)	300	1,0	2,4	2,4	300

Д7В	(150)	300	1,0	2,4	2,4	300
Д7Г	(200)	300	1,0	2,4	2,4	300
Д7Д	(300)	300	1,0	2,4	2,4	300
Д7Е	(350)	300	1,0	2,4	2,4	300
Д7Ж	(400)	300	1,0	2,4	2,4	300
Д9Б	(10)	40	-	40	40	90
Д9Г	(30)	30	-	40	40	30
Д9Д	(30)	30	-	40	40	60
Д9Е	(50)	20	-	40	40	30
Д9Ж	(100)	15	-	40	40	10
Д9И	(30)	30	-	40	40	30
Д9К	(50)	30	-	40	40	60
Д9Л	(100)	15	-	40	40	30
Д10	10 (10)	16	-	150	40	-
Д10А	10 (10)	16	-	150	150	-
Д10Б	10 (10)	16	-	150	150	-
Д11	30 (40)	20	-	150	150	100
Д12	50 (75)	20	-	150	150	50
Д12А	50 (75)	20	-	150	150	100
Д13	75 (100)	20	-	150	150	100
Д14	100 (125)	20	-	150	150	50
Д14А	100 (125)	20	-	150	150	100
Д101	75 (75)	30	-	150	150	2,0
Д101А	75 (75)	30	-	150	150	1,0
Д102	50 (50)	30	-	150	150	2,0
Д102А	50 (50)	30	-	150	150	1,0
Д103А	30 (30)	30	-	150	150	1,0
Д104	100 (100)	30	-	150	150	2,0
Д104А	100 (100)	30	-	150	150	1,0
Д105	75 (75)	30	-	150	150	2,0
Д105А	75 (75)	30	-	150	150	1,0
Д106	30 (30)	30	-	-	150	2,0
Д106А	30 (30)	30	-	-	150	1,0
Д202	(100)	400	-	-	-	400
Д203	(200)	400	-	-	-	400
Д204	(300)	400	-	-	-	400
Д205	(400)	400	-	-	-	400
Д206	(100)	100	0,6	-	-	100
Д207	(200)	100	0,6	-	-	100
Д208	(300)	100	0,6	-	-	100
Д209	(400)	100	-	-	-	100
Д210	(500)	100	-	-	-	100
Д211	(600)	100	-	-	-	100
Д217	(800)	100	-	-	-	100

Д218	(1000)	100	-	-	-	100
МД217	800	100	-	-	-	100
МД218	1000	100	-	-	-	100
МД218А	1200	100	-	-	-	100
Д223	50	50	0,5	20	-	50
Д223А	100	50	0,5	20	-	50
Д223Б	150	50	0,5	20	20	50
Д226	(400)	300	-	-	20	300
Д226А	(300)	300	-	-	20	300
Д226Б	(400)	300	-	-	-	300
Д226В	(300)	300	-	-	-	300
Д226Г	(200)	300	-	-	-	300
Д226Д	(100)	300	-	-	-	300
Д226Е	(200)	300	-	-	-	300
МД226	(400)	300	-	1,0	-	300
МД226А	(300)	300	-	1,0	-	300
МД226Е	(200)	300	-	1,0	1,0	300
Д229А	200 (200)	400	10	3,0	1,0	400
Д229Б	400 (400)	400	10	3,0	1,0	400
Д229В	100 (100)	400	10	3,0	3,0	400
Д229Г	200 (200)	400	10	3,0	3,0	400
Д229Д	300 (300)	400	10	3,0	3,0	400
Д229Е	400 (400)	400	10	3,0	3,0	400
Д229Ж	100 (100)	700	10	3,0	3,0	700
Д229И	200 (200)	700	10	3,0	3,0	700
Д229К	300 (300)	700	10	3,0	3,0	700
Д229Л	400 (400)	700	10	3,0	3,0	700
Д237А	(200)	300	10	1,0	3,0	300
Д237Б	(400)	300	10	1,0	3,0	300
Д237В	(600)	100	10	1,0	1,0	100
Д237Е	(200)	400	10	1,0	1,0	400
Д237Ж	(400)	400	10	1,0	1,0	400
АД110А	30 (50)	10	-	5,0	1,0	10
АД112А	50	300	-	-	1,0	300
ГД107А	15	20	-	-	5,0	10
ГД113А	(115)	15	-	-	-	30
КД102А	250	100	-	-	-	50
КД102Б	300	100	-	-	-	50
КД103А	50	100	-	(0,02)	-	50
КД103Б	50	100	-	(0,02)	-	50
КД104А	300 (300)	10	1,0	0,02	-	10
КД105А	(200)	300	15	-	(0,02)	300
КД105Б	(400)	300	15	-	(0,02)	300
КД105В	(600)	300	15	-	0,02	300

КД105Г	(800)	300	15	-	-	300
КД116А-1	100	25(170)	-	-	-	25
КД116Б-1	50	100(170)	-	-	-	50
КД109А	(100)	300	-	-	-	300
КД109Б	(300)	300	-	-	-	300
КД109В	(600)	300	-	-	-	300
КД109Г	(600)	300	-	-	-	300
КД204А	400 (400)	400	10	0,05	-	600
КД204Б	200 (200)	600	10	0,05	-	600
КД204В	50 (50)	1000	10	0,05	-	600
КД205А	500	500	-	0,15	0,05	-
КД205Б	400	500	-	0,15	0,05	-
КД205В	300	500	-	0,15	0,05	-
КД205Г	200	500	-	0,15	0,15	-
КД205Д	100	500	-	0,15	0,15	-
КД205Е	500	300	-	0,15	0,15	-
КД205Ж	600	500	-	0,15	0,15	-
КД205И	700	300	-	0,15	0,15	-
КД205К	100	700	-	0,15	0,15	-
КД205Л	200	700	-	0,15	0,15	-
КД209А	400 (400)	700	15	-	0,15	700
КД209Б	600 (600)	500	15	-	0,15	500
КД209В	800 (800)	500	15	-	0,15	300
КД212А	200 (200)	1000	50	0,1	-	1000
КД212Б	200 (200)	1000	50	0,1	-	1000
КД212В	100 (100)	1000	50	0,1	-	1000
КД212Г	100 (100)	1000	50	0,1	0,1	1000
КД212А-6	200 (200)	1000	50	0,1	0,1	1000
КД212Б-6	200 (200)	1000	50	0,1	0,1	1000
КД212В-6	100 (100)	1000	50	0,1	0,1	1000

$U_{düz.maks.}$ - Diodun düz istiqamətdə maksimal-yol verilə bilən sabit gərginliyi;

$U_{əks.maks.}$ - Diodun əks istiqamətdə maksimal-yol verilə bilən sabit gərginliyi;

$I_{düz.maks.}$ - Period ərzindəki orta düz cərəyan;

$I_{düz.im.maks.}$ - Period ərzindəki impuls düz cərəyan;

$I_{h.a.yk.}$ - Düzləndirici diodun həddindən artıq yüklənmə cərəyanı;

$F_{maks.}$ - Diodun maksimal yol verilə bilən dəyişmə tezliyi;

$f_{iş.}$ - Diodun işçi dəyişmə tezliyi;

Verilmiş $I_{düz.}$ - də $U_{düz.}$ - Diodun verilmiş $I_{düz.}$ cərəyanında sabit düz gərginliyi;

$I_{əks.}$ - Sabit əks cərəyan;

$T_{к.макс}$ - Diodun korpusunun maksimal yol verilə bilən temperaturu;

$T_{n.макс}$ - Diodun keçidinin maksimal yol verilə bilən temperaturu.

Rusiyada və keçmiş SSR ittifaqında istehsal olunan ən geniş yayılmış diodların xarici analoqları aşağıdakı cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəl 3

0102	КД102А		1N534	КД205Е		1N1031	КД205Г
0112	КД102А		1N535	КД105В		1N1032	КД205В
0502	Д226В		1N537	Д229Ж		1N1033	КД205Б
0507	КД105Г		1N538	КД205Л		1N1053	КД208А
0604	КД206В		1N539	Д229К		1N1059	Д304
10F5	Д304		1N540	Д229Л		1N1061	Д243Б
10PM2	Д243		1N551	КД205Г		1N1062	Д245Б
10PM4	Д246		1N552	КД205В		1N1063	Д246Б
10PM6	КД206В		1N553	КД205Б		1N1067	Д243Б
10R6В	Д211		1N554	КД205А		1N1068	Д245Б
10R10В	МД218		1N555	КД205Ж		1N1069	Д246Б
11R2S	Д243		1N560	КД105Г		1N1073	Д243Б
11R3S	Д245		1N602	КД204Б		1N1075	КД246Б
11R4S	Д246		1N602А	КД204Б		1N1081А	Д229Ж
14P2	Д223Б		1N604	Д7Ж		1N1082А	КД205Л
12TQ045	КДШ2964Б		1N605	КД205Е		1N1083	КД205В
12TQ060	КДШ2964А		1N605А	КД205Е		1N1083А	Д229К
1N74	Д101		1N606А	КД105В		1N1084	КД205Б
1N87Т	Д9В		1N627	Д312А		1N1085	КД208А
1N210	Д102		1N647	Д229Е		1N1090	Д243Б
1N211	Д102		1N662	Д220Б		1N1091	Д245Б
1N212	Д101		1N662А	Д220Б		1N1092	Д246Б
1N213	Д101		1N663	Д220Б		1N1092А	Д246Б
1N219	КД104А		1N667	Д229В		1N1115	КД208А
1N220	КД104А		1N673	Д229Е		1N1169А	КД205Б
1N250	Д243		1N695	Д310		1N1251	КД204В
1N295X	Д9В		1N770	Д310		1N1253	КД205Г
1N320	КД205Е		1N777	Д312А		1N1254	КД205В
1N324	Д229В		1N844	Д220Б		1N1255	КД205Б
1N332	Д229Е		1N873	Д210		1N1256	КД205Е
1N339	Д229В		1N874	Д211		1N1257	КД105В
1N341	Д229Е		1N876	МД217		1N1258	КД205И
1N348	Д229В		1N878	МД218		1N1259	КД105Г
1N354	КД104А		1N903А	КД509А		1N1407	МД217
1N365	МД218		1N903АМ	КД509А		1N1440	КД205Л
1N388	Д102		1N903М	КД509Г		1N1441	Д229К
1N391	Д101		1N904	КД521Г		1N1446	КД208А
1N440В	Д229Ж		1N905А	КД521Г		1N1450	КД208А
1N441	КД204Б		1N905АМ	КД521Г		1N1487	Д229Ж

1N441B	КД205Л		1N905M	КД521Г		1N1488	КД205Л
1N442B	Д229К		1N906AM	КД521Г		1N1489	Д229К
1N443	Д7Ж		1N906A	КД521Г		1N1490	Д229Л
1N444	КД205Е		1N906M	КД521Г		1N1520A	КC456A
1N445	КД105B		1N907	КД521Г		1N1557	КД205Л
1N458	Д223B		1N908A	КД509A		1N1558	Д229К
1N843	КД103A		1N908AM	КД509A		1N1559	Д229Л
1N485	Д207		1N914A	КД521A		1N1563	КД208A
1N486	Д207		1N914B	КД521A		1N1613	Д304
1N487A	Д226B		1N914M	КД521A		1N1613A	Д304
1N488	Д209		1N916A	КД521A		1N1614A	Д243Б
1N531	КД204Б		1N916B	КД521A		1N1615A	Д246Б
1N533	КД205Б		1N996	Д310		1N1616	Д248Б
1N1616A	Д248Б		1N1986	КC210Б		1N2106	Д229К
1N1617	КД208A		1N1986A	КC210Б		1N2107	Д229К
1N1621	Д242		1N1986B	КC210Б		1N2230	Д243Б
1N1623	Д245		1N1988	КC215Ж		1N2230A	Д243Б
1N1624	Д246		1N1988A	КC215Ж		1N2231	Д243Б
1N1632	КД104A		1N1988B	КC215Ж		1N2232	Д245Б
1N1645	Д229Ж		1N1989	КC218Ж		1N2232A	Д245Б
1N1647	КД205Л		1N1989A	КC218Ж		1N2233A	Д245Б
1N1649	К229К		1N1989B	КC218Ж		1N2234	Д246Б
1N1651	К229Л		1N1990	КC222Ж		1N2234A	Д246Б
1N1694	Д229К		1N1990A	КC222Ж		1N2235	Д246Б
1N1695	Д229Л		1N1990B	КC222Ж		1N2235A	Д247Б
1N1703	КД204Б		1N2023	Д245		1N2236	Д247Б
1N1706	КД205У		1N2025	Д246		1N2237	Д247Б
1N1709	КД205Г		1N2069A	КД205Л		1N2238	Д248Б
1N1710	КД205B		1N2070	Д229Л		1N2238A	Д248Б
1N1711	КД205B		1N2070A	Д229Л		1N2239	Д248Б
1N1712	КД205A		1N2073	Д229Ж		1N2239A	Д248Б
1N1764	КД205A		1N2080	КД204B		1N2246	Д305
1N1765	КC456A		1N2082	КД205Г		1N2246A	Д305
1N1765A	КC456A		1N2083	КД205B		1N2247	Д305
1N1844	Д102		1N2084	КД205Б		1N2247A	Д305
1N1849	КД104A		1N2085	КД205A		1N2248	Д242
1N1927	КC139A		1N2086	КД205Ж		1N2248A	Д242
1N1984	КC168B		1N2091	Д229Ж		1N2249	Д242
1N1984A	КC168B		1N2092	КД205Л		1N2249A	Д242
1N1984B	КC168B		1N2093	Д229К		1N2250	Д243
1N1985	КC182A		1N2094	Д229Л		1N2250A	Д243
1N1985A	КC182A		1N2104	Д229Ж		1N2251	Д243
1N1985B	КC182A		1N2105	КД205Л		1N2251A	Д243

Bir sıra müxtəlif təyinatlı yarımkeçirici diodların əsas parametrlərini aşağıda verilmişdir. Verilən parametrlər yalnız nümunə kimi verilmişdir və elektron qurğuların işlənilib hazırlanması, sazlanması və təmiri zamanı uyğun sorğu ədəbiyyatından və cihazların texniki sənədlərindən istifadə etmək daha məqsədə uyğundur.

2.1.2. Universal təyinatlı diodlar, düzləndirici diodlar.

D226 markalı diodlar. 1kHs-ə qədər tezlikli dəyişən cərəyanın düzləndirilməsi üçün nəzərdə tutulmuşlar.

Əsas parametrləri aşağıdakılardır:

- $I_{düz} = 300\text{mA}$ cərəyanında düz gərginlik düşküsü $U_d, V \dots \leq 1$
- Əks gərginliyin 400V qiymətində əks cərəyanın qiyməti $I_{əks}, \text{mA} \dots \leq 50$
- Yol verilə bilən maksimal əks gərginlik $U_{əks}, V \dots \leq 400$
- Orta cərəyanın maksimal qiyməti, mA $\dots 300$
- Birdəfəlik yüklənmə vaxtı cərəyanın yol verilə bilən amplitudası, A $\dots 2,5$
- İşçi temperaturlar diapazonu, $^{\circ}\text{C} \dots -60 \div +100$

D232 markalı diodlar. 1kHs-ə qədər tezlikli dəyişən cərəyanın düzləndirilməsi üçün nəzərdə tutulmuşlar.

Əsas parametrləri aşağıdakılardır:

- $I_{düz} = 300\text{mA}$ cərəyanında düz gərginlik düşküsü $U_d, V \dots \leq 1$
- Əks gərginliyin 400V qiymətində əks cərəyanın qiyməti $I_{əks}, \text{mA} \dots \leq 3$
- Yol verilə bilən maksimal əks gərginlik $U_{əks}, V \dots \leq 400$
- Orta cərəyanın maksimal qiyməti, A $\dots 10$
- Birdəfəlik yüklənmə vaxtı cərəyanın yol verilə bilən amplitudu, A $\dots 100$
- İşçi temperaturlar diapazonu, $^{\circ}\text{C} \dots -60 \div +100$

KЦ410A-B markalı diodlu körpü yığımı. 1kHs-ə qədər tezlikli dəyişən cərəyanın düzləndirilməsi üçün nəzərdə tutulmuşlar.

Əsas parametrləri aşağıdakılardır:

- $I_{düz} = 1,5\text{A}$ cərəyanında düz gərginlik düşküsü $U_d, V \dots \leq 1,2$
- Əks gərginliyin maksimal qiymətində əks cərəyanın qiyməti $I_{əks}, \text{mA} \dots \leq 10$
- Yol verilə bilən maksimal əks gərginlik $U_{əks}, V$: 1) KЦ410A üçün ≤ 50 ; 2) KЦ410B üçün ≤ 100 ; 3) KЦ410B üçün ≤ 200 ;
- Orta cərəyanın maksimal qiyməti, A $\dots 3$
- Birdəfəlik yüklənmə vaxtı cərəyanın yol verilə bilən amplitudası, A $\dots 45$
- İşçi temperaturlar diapazonu, $^{\circ}\text{C} \dots -60 \div +85$

2.1.3. Universal təyinatlı azgüclü yüksək tezlikli diodlar.

KD512A diodları. Epitaksial-planar silisium diodu.

Əsas parametrləri aşağıdakılardır:

- $I_{düz} = 10\text{mA}$ cərəyanında düz gərginlik düşküsü $U_d, V \dots \leq 1$
- Əks gərginliyin maksimal qiymətində əks cərəyanın qiyməti $I_{əks}, \text{mA} \dots \leq 5$

- Yol verilə bilən maksimal əks gərginlik $U_{\text{əks}}, V$ 15
- Orta cərəyanın maksimal qiyməti, A20
- Birdəfəlik yüklənmə vaxtı cərəyanın yol verilə bilən amplitudu, mA.....200
- Düz cərəyanın $I_{\text{düz}} = 10\text{mA}$ qiymətində dəyişdirilmə yükü, nKl..... ≤ 30
- Diodun tutumu, nF..... ≤ 1
- Əks müqavimətinin bərpa olunma müddəti ($I_{\text{düz}} = 10\text{mA}$, $U_{\text{əks}}=10\text{V}$), ns..... ≤ 1
- İşçi temperaturlar diapazonu, $^{\circ}\text{C}$ -50 ÷ +85

KD513A diodları. Epitaksial-planar silisium diodu.

Əsas parametrləri aşağıdakılardır:

- $I_{\text{düz}} = 100\text{mA}$ cərəyanında düz gərginlik düşküsü U_d, V $\leq 1,1$
- Əks gərginliyin maksimal qiymətində əks cərəyanın qiyməti $I_{\text{əks}}, \text{mkA}$ ≤ 5
- Yol verilə bilən maksimal əks gərginlik $U_{\text{əks}}, V$ 50
- Orta cərəyanın maksimal qiyməti, A100
- Birdəfəlik yüklənmə vaxtı cərəyanın yol verilə bilən amplitudası, A.....1,5
- Düz cərəyanın $I_{\text{düz}} = 50\text{mA}$ qiymətində dəyişdirilmə yükü, nKl..... ≤ 40
- Diodun tutumu, nF..... ≤ 4
- Əks müqavimətinin bərpa olunma müddəti ($I_{\text{düz}} = 10\text{mA}$, $U_{\text{əks}}=10\text{V}$), ns..... ≤ 4
- İşçi temperaturlar diapazonu, $^{\circ}\text{C}$ -50 ÷ +85

2.1.4. Stabiltronlar.

KC133Г, KC139Г, KC147Г, KC156Г tipli stabiltronların

Əsas parametrləri aşağıdakılardır:

- Stabilizasiya gərginliyi: nominal stabilizasiya gərginlikləri hər bir stabiltronun markasının sonuncu iki rəqəminə uyğundur və müvafiq olaraq -3,3V; 3,9V; 4,7V; 5,6V təşkil edir.
- Stabilizasiya gərginliyinin nominal qiymətdən kənara çıxma, % ± 10
- Minimal stabilizasiya cərəyanı, mA1
- 5mA stabilizasiya cərəyanında diferensial müqavimət, Om..... ≤ 150
- Maksimal stabilizasiya cərəyanı (dəmir korpuslu stabiltronlar üçün), mA...50
- Maksimal stabilizasiya cərəyanı (plastmas korpuslu üçün), mA..... 50
- Maksimal səpələnmə gücü, mVt.....125
- İşçi temperaturlar diapazonu, $^{\circ}\text{C}$ -60 ÷ +120

KC162, KC168, KC175Ж, KC182 Ж, KC191Ж, KC210Ж, KC211ЖŞ, KC212Ж, KC213Ж, KC215Ж, KC216Ж, KC218Ж, KC220Ж, KC222Ж, KC224Ж (bu siyahıya daxil olan stabiltronlar dəqiq stabiltronlar hesab olunurlar).

Əsas parametrləri aşağıdakılardır:

- Stabilizasiya gərginliyi: nominal stabilizasiya gərginlikləri hər bir stabiltronun markasının sonuncu iki rəqəminə uyğundur və müvafiq olaraq - 6,2V; 6,8V; 7,5V; 8,2V; 9,1V; 10V; 11V; 12V; 13V; 15V; 16V; 18V; 20V; 22V; 24V təşkil edir.
- Stabilizasiya gərginliyinin nominal qiymətdən kənara çıxma, % ± 5
- Minimal stabilizasiya cərəyanı, mA0,5
- 4mA stabilizasiya cərəyanında diferensial müqavimət, Om..... ≤ 70

- Maksimal stabilizasiya cərəyanı, mA30
- Maksimal səpələnmə gücü, mVt.....125
- İşçi temperaturlar diapazonu, °C-60 ÷ +120

2.1.5.Varikaplar. Bu diodların p-n – keçidinin tutumu ona tətbiq olunan əks gərginlikdən asılı olaraq geniş diapazonda demək olar ki, xətti olaraq dəyişdiyindən və varikap özünü dəyişən kondensatora ekvivalent olaraq apardığından, varikaplar parametrik gücləndiricilərdə, tezliyin elektron köklənməsi, tezlik modulyasiyası və faza modulyasiyası sxemlərində geniş tətbiq edilirlər. Geniş yayılmış varikapların parametrləri aşağıdakı cədvəl 4-də verilmişdir.

Cədvəl 4

Varikapın tipi	C_{nom} , pF	$U_{əks.maks}$, V	Q_v , az deyil	$I_{əks}$ ($U_{əks.max}$, $t_{ətr.} = 25$ °C), mKA, çox deyil
Д901А	22 ... 32	80	25	1,0
Д901Б	28 ... 38	45	30	1,0
Д901В	28 ... 38	80	25	1,0
Д901Г	28 ... 38	45	30	1,0
Д901Д	34 ... 44	80	25	1,0
Д901Е	34 ... 44	45	30	1,0
Д902	6 ... 12	25	30	–
КВ101А	160 ... 240	4	12	1,0
КВ102А	14 ... 23	45	40	1,0
КВ102Б	19 ... 30	45	40	1,0
КВ102В	25 ... 40	45	40	1,0
КВ102Г	19 ... 30	45	100	1,0
КВ102Д	19 ... 30	80	40	1,0
КВ103А	18 ... 32	80	50	10
КВ103Б	28 ... 38	80	40	10
КВ104А	90 ... 120	45	100	5,0
КВ104Б	106 ... 144	45	100	5,0
КВ104В	128 ... 192	45	100	5,0
КВ104Г	95 ... 143	80	100	5,0
КВ104Д	128 ... 192	80	100	5,0
КВ104Е	95 ... 143	45	150	5,0
КВ105А	400 ... 600	90	500	50
КВ105Б	400 ... 600	50	500	50
КВ106А	20 ... 50	120	40	20
КВ106Б	15 ... 35	90	60	20
КВ107А	10 ... 40	5,5 ... 16	20	100
КВ107Б	10 ... 40	5,5 ... 16	20	100
КВ107В	30 ... 65	13 ... 31	20	100
КВ107Г	30 ... 65	13 ... 31	20	100

KB109A***	2,3 ... 2,8	25	300	0,5
KB109B***	2,0 ... 2,3	25	300	0,5
KB109B***	8,0 ... 17	25	160	0,5
KB109Г***	8,0 ... 17	25	160	0,5
KB110A	12 ... 18	45	300	1,0
KB110B	14 ... 21	45	300	1,0
KB110B	17 ... 26	45	300	1,0
KB110Г	12 ... 18	45	150	1,0
KB110Д	14 ... 21	45	150	1,0
KB110E	17 ... 26	45	150	1,0
KBC111A	≤ 33	30	200	1,0
KBC111B	≤ 33	30	150	1,0

C_{nom} – verilmiş əks sürüşmə gərginliyində nominal tutumu.

Q_V – varikapın keyfiyyətliyi. Q_V tutum müqavimətinin ekvivalent ardıcıl müqavimətə olan nisbətə bərabərdir.

*KB101A üçün $U_{əks} = 0,8V$; KB109A və KB109B üçün $U_{əks} = 25V$; KB109B və KB109Г üçün $U_{əks} = 3V$ və digər varikaplar üçün $U_{əks} = 4V$.

** $f = 1MHz$ olduqda KB105A, KB105B üçün; $f = 10MHz$ olduqda KB104A – KB104E üçün; KB107A– KB107Г üçün və $f = 50MHz$ olduqda qalan varikap tipləri üçün və $25^\circ C$ temperaturunda;

*** KB109A – KB109Г varikapları desimetrlik dalğalar (DMD) diapazonlu rezonatorlarda istifadə üçün nəzərdə tutulub.

2.1.6. İşıq diodları və yarımkeçirici rəqəm indikatorları.

İşıq şüalandırıcı diodlar. Bir sıra geniş yayılmış işıq diodlarının markaları və elektrik parametrləri aşağıdakı cədvəl 5-də verilmişdir.

Cədvəl 5. Görünən diapazon dalğa uzunluqlu işıqdiodlarının parametrləri

Cihazın tipi	İşıqlanmanın rəngi	T=25°C, $I_{d,nom}(mA)$ -da parametrlərin qiymətləri				T=25°C-də param-n hüdu qiyətləri		T_k max, °C
		$I_v, mkkd (L), kd/m^2$	$U_{düz}, V$	$I_{d,nom}, mA$	λ_{max}, mkm	$I_{d,max}, mA$	$U_{əks,max}, V$	
KJI101A	Sarı	(10)	5,5	6	0,64	10	20	70
KJI101B	Sarı	(15)	5,5	10	0,64	20	20	70
KJI101A	Sarı	(20)	5,5	20	0,64	40	20	70
AJI102A	Qırmızı	40	2,8	5	0,69	10	20	70
AJI102B	Qırmızı	100	2,8	10	0,69	10	20	70
AJI102B	Yaşıl	100	2,8	10	0,69	10	20	70
AJI307A	Qırmızı	150	2,0	10	0,666	20	20	70
AJI307B	Yaşıl	400	2,8	20	0,566	22	20	70
AJI307E	Sarı	100	2,8	10	0,62	22	20	70

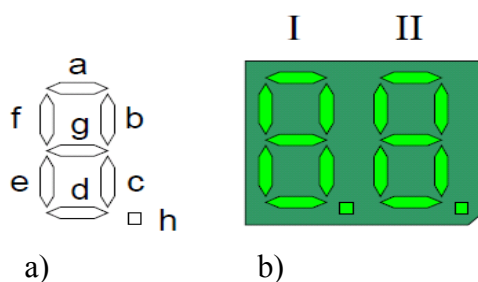
İnfraqırmızı (İQ) diapazon dalğa uzunluqlu işıqdiodlarının parametrləri

Cihazın tipi	İşıqlanmanın rəngi	T=25°C, İ _{d.nom} (mA)-da parametrlərin qiymətləri				T=25°C-də par-n hüdud qiymətləri		T _{k max} , °C
		λ, mkm	U _{düz} , V	İ _{d.nom} , mA	λ _{0,5} , mkm	İ _{d.max} , mA	U _{əksmax} , V	
AJI103A	İQ	0,95	1,6	15	0,05	50	20	70
AJI103B	İQ	0,95	1,6	40	0,05	50	20	70
AJI106A	İQ	0,92	1,7	40	-	100	20	70
AJI106B	İQ	0,92	1,7	50	-	100	20	70
AJI106B	İQ	0,92	1,7	50	-	100	20	70
AJI106Γ	İQ	0,92	1,7	60	-	100	20	70
AJI107A	İQ	0,95	2,0	20	0,03	80	20	70
AJI107B	İQ	0,95	2,0	30	0,03	80	20	70
AJI118A	İQ	1,00	1,7	100	0,04	500	20	70

İşiq diodlarının əsas parametrlərindən biri işiq gücüdür. Məsələn, AJI307A-Γ tipli işiq diodlarında işiq gücünün bu diodların işçi elektrik parametrlərindən asılılığı aşağıda verildiyi kimidir. Cədvəldən görüldüyü kimi AJI307A,B tipli işiq diodları qırmızı rəngli işıqlanma, AJI307B,Γ işiq diodları isə yaşıl rəngli işıqlanma diodlarıdır.

Düz gərginlik: AJI307A, B diodları üçün 2,0V; AJI307B,Γ diodları üçün 2,8V, maksimal düz cərəyanlar: 20mA olduqda işığın gücü AJI307A üçün -0,15 mkd, AJI307B üçün - 0,9 mkd; AJI307Γ üçün -1,5 mkd təşkil edir. Bu diodlarda işçi temperatur diapazonu, -60 ÷ +120°C-dir.

Yeddi seqmentli işıqdiodlu indikatorlar. Şəkil 1,a-da yaşıl rəngli işıqlanmaya malik olan VQE24F tipli indikatorun seqmentləri və hərflə işarələnməsi arasında uyğunluğu və şəkil 1,b-də isə bu indikatorun xarici görünüşü verilmişdir.



Şək. 1

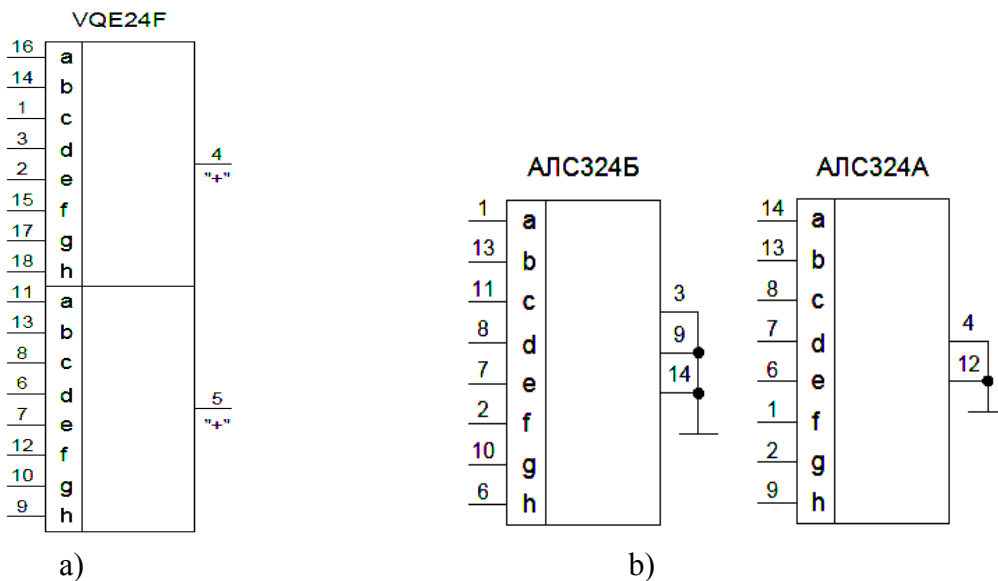
Şəkil 2,a-da VQE24F , şəkil 2,b-də isə Rusiya istehsalı olan AJIC 324B və AJIC324A yeddi seqmentli indikatorlarının çıxışlarının nömrələri göstərilmişdir.

АЛС 324Б индикатору ümumi katodlu və АЛС324А индикатору isə ümumu anodlu işıq diodlarından təşkil olunmuşdur. Hər iki индикатор qörmızı işıqlanmaya malikdirlər.

АЛС321Б, АЛС333Б, АЛС333Г, АЛС334Б, АЛС335Б, АЛС335Г, 3ЛС338Б, 3ЛС338Г yeddiseqmentli индикаторları АЛС324Б индикаторunun, АЛС321А, АЛС333А, АЛС333Б, АЛС334А, АЛС334Б, АЛС335А, АЛС335Б, 3ЛС338А индикаторları isə АЛС324А индикаторunun analoqu olub, işçi parametrləri ilə fərqlənirlər.

АЛС324Б və АЛС324А индикаторlarının əsas işçi parametrləri: nominal düz cərəyan - 20mA; maksimal sabit cərəyan – 25mA, maksimal impuls cərəyanı – 300mA; düz gərginlik düşgüsü – 2.5V; səpilmə gücü – 500mVt-dır.

Azgülü və kiçikölçülü yeddiseqmentli индикatorlara misal olaraq, rəqəmli informasiyanı əksətdirmək üçün nəzərdə tutulmuş АЛ304А, АЛ304Б, АЛ304В, АЛ304Г markalı индикatorları göstərmək olar. Bu индикatorlar epitaksial texnologiya üzrə hazırlanmış, arsenid-fosfid-qallium əsaslı işıq diodlarından (seqmentlərdən) təşkil olunmuşdur. Bu индикatorlar plastik kütləli (plastmass) korpusda buraxılır, rəqəmin hündürlüyü 3mm, kütləsi 0,25 təşkil edir.



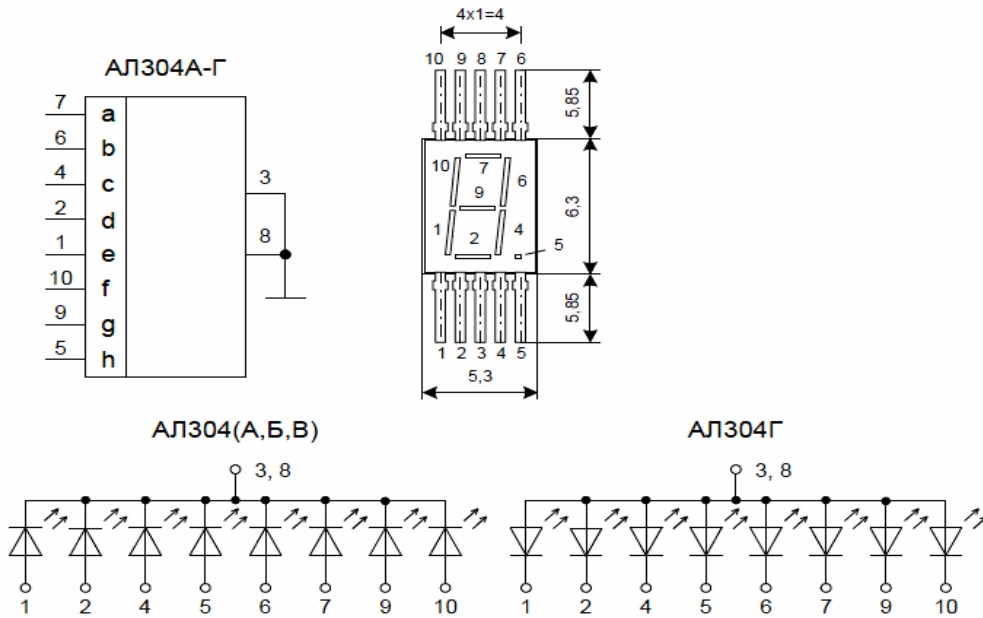
Şək.2

Şəkil 3-də АЛ304 markalı индикаторun xarici görünüşü, çıxışlarının nömrələri, bu seriyadan olan müxtəlif tipli индикatorların sxematik quruluşu və qoşulma sxemi verilmişdir.

Bu индикatorların misalında yarımkeçirici yeddiseqmentli индикatorların məxsus olduğu elektrik, işıq və istismar parametrlərini nəzərdən keçirək:

- 1) İndikatorların işıqlanma rəngi:
 - АЛ304А, АЛ304Б, АЛ304Г - qırmız;

- АЛ304В - yaşıl.
- 2) $I_{düz} = 5\text{mA}$ olduqda parlaqlıq :
 - АЛ304А üçün - $\geq 140\text{ kd/m}^2$;
 - АЛ304Б üçün - $80...320\text{ kd/m}^2$;
 - АЛ304В üçün 10mA cərəyanda- $\geq 60\text{ kd/m}^2$;
 - АЛ304Г üçün - $\geq 350\text{ kd/m}^2$
- 3) Elementlər arasında parlaqlığın qeyri-bərabərliyi – 60%
- 4) $I_{düz} = 5\text{mA}$ olduqda sabit düz gərginlik:
 - $T = +25...+70$ olduqda АЛ304А, АЛ304Б üçün $\leq 2,0\text{V}$;
 - $T = -60$ olduqda АЛ304А, АЛ304Б üçün $\leq 2,4\text{V}$;
 - $T = +25...+70$ olduqda АЛ304В, АЛ304Г üçün $\leq 3,0\text{V}$;
 - $T = -60$ olduqda АЛ304В, АЛ304Г üçün $\leq 3,6\text{V}$;



Şək. 3

Müxtəlif elektrik parametrlərə malik olan yarımkəçirici diodların xarici görünüşü şəkil 4-də verilmişdir.



Şək.4

2.2. Tranzistorların parametrləri, istismar şərtləri və tətbiq sahələri

2.2.1. Tranzistorların təsnifatı və işarələnmə sistemləri. 1964-cü ilə qədər buraxılan bipolyar tranzistorların şərti işarələnməsi istifadə olunan materialı bildirən hərflərdən – П yaxud МПİ və yol verilən səpələnmə gücünü və sərhəd tezliyini müəyyən edən rəqəmlərdən təşkil olunur:

- 1-dən 99-a qədər —azgüclü aşağı tezlikli germanium tranzistoru;
- 101-dən 199-a qədər —azgüclü aşağıtezlikli silisium tranzistoru;
- 201-dən 299-a qədər — germaniumlu güclü aşağı tezlikli germanium tranzistor;
- 301-dən 399-a qədər — silisiumlu güclü aşağıtezlikli silisium tranzistor;
- 401-dən 499-a qədər —azgüclü yüksək və ifrat yüksək tezlikli germanium tranzistor;
- 501-dən 599-a qədər —azgüclü yüksək və ifrat yüksək tezlikli silisium tranzistor;
- 601-dən 699-a qədər —güclü yüksək və ifrat yüksək tezlikli germanium tranzistor;
- 701-dən 799-a qədər —güclü yüksək və ifrat yüksək tezlikli silisium tranzistor.

Rəqəmlərdən sonra eyni markadan olan tranzistorların parametrlərinə görə ayrılmasını bildirən hərf olur.

Sonrakı illərin standartlarına görə isə birinci hərf, yaxud rəqəm yarımkeçirici materialın tipini göstərir: К, yaxud 1 – silisium; Г, yaxud 2 – germanium tranzistor olduğunu bildirir. İkinci hərf cihazın tipini bildirir, məsələn, Д – diod, Т – tranzistor və s.

Hərflərdən sonra üç, yaxud dörd rəqəmdən ibarət olan kombinasiya olur. Birinci rəqəm aşağıda verilmiş cədvələ uyğun olaraq tranzistorun yol verilə bilən səpələnmə gücünü və sərhəd tezliyini təyin edir.

Cədvəl 6. Tranzistorun yol verilə bilən səpələnmə gücünün və sərhəd tezliyinin təyin olunması

P, Vt \ f, MHz	< 3 Aş. Tez.	3...30 Ort. Tez.	>30Yük. Tez. və İYT
Az güclü, <0,3	1	2	3
Orta güclü, 0,3...3,0	4	5	6
Güclü, > 3	7	8	9

Əgər cihazların kiçik ölçüləri hərf, yaxud rəqəm işarələrini istifadə etməyə imkan vermirsə onda onun korpusuna rəngli markalanma çəkilir (nöqtə, yaxud rəngli zolaqlar). Rəngli kod uyğun cihazın texniki şərtlərində göstərilir.

Tranzistorların JEDEC sisteminə əsasən işarələnmə sistemi. Qərb ölkələrində yarımkeçirici cihazların işarələnməsinin müxtəlif sistemləri

mövcuddür. Ən geniş yayılmış sistem ABŞ-ın elektron cihazlar üzrə birləşmiş texniki şurası tərəfindən qəbul edilmiş JEDEC işarələmə sistemidir. Bu sistem üzrə cihazların markalanması aşağıdakı kimidir:

- bu markalama sistemində birinci rəqəm p-n –keçidlərin sayını göstərir: 1 – diod; 2 – tranzistor; 3 – tetrod (tiristor);
- rəqəmdən sonra N hərfi və elektron sənayesi müəssisələri assosiasiyası (EIA) tərəfindən qeydə alınan seriya nömrəsi gəlir;
- seriya nömrəsindən sonra eyni tiptən və seriyadan olan cihazların fərqli parametrlərə, yaxud xarakteristikalara görə ayrılmasını göstərən bir və ya bir neçə hərf olur.

Lakin qeyd etmək lazımdır ki, bu sistemdə seriya nömrəsinin rəqəmləri ilkin materiallı, tezlik diapazonunu və ya tətbiq sahəsini təyin etmirlər.

Pro Elektron sistemində tranzistorların işarələnmə xüsusiyyətləri. Avropada JEDEC sistemindən başqa yarımkeçirici cihazların markalanmasını müəyyənləşdirən Pro Elektron Beynəlxalq Assosiasiya Təşkilatı tərəfindən yaradılmış işarələmə sistem geniş istifadə olunur. Bu sistemə görə məişət aparaturası üçün nəzərdə tutulan geniş təyinatlı cihazlar iki hərfli, sənaye və xüsusi aparatura üçün nəzərdə tutulmuş cihazlar isə üç hərf və iki rəqəmlə işarələnirlər. Geniş təyinatlı cihazlarda iki hərfdən sonra cihazın 100-dən 999-a qədər üçrəqəmli sıra nömrəsi göstərilir. Sənaye və xüsusi təyinatlı aparaturada tətbiq olunan cihazlarda üçüncü işarə hərf olub, əks əlifba sırası ilə verilir: Z, Y, X və s., bu hərfdən sonra isə 10-dan 99-a qədər olan sıra nömrəsi gəlir.

Əgər bir korpusda bir neçə eyni tipli cihaz varsa, onda işarələmə tək diskret cihazların kodlarına (markalarına) uyğun olaraq yerinə yetirir. Bir korpusda bir neçə müxtəlif cihaz olduqda ikinci hərf kimi G hərfi istifadə olunur.

2.2.2. Tranzistorların əsas parametrləri və ən geniş yayılmış tranzistor markaları.

Aşağıda verilmiş cədvəl 7-də bipolyar tranzistorların müxtəlif qoşulma sxemləri üçün əsas parametrləri verilmişdir.

Cədvəl 7

Paraemtrin adı	Ümumi emitterli sxem	Ümumi bazalı sxem	Ümumi kollektorlu sxem
Cərəyana görə güclənmə	20 -200	(0.95 – 0.995)	20 - 200
Gərginliyə görə güclənmə	100 – 600	500 – 800	<1
Gücə görə güclənmə	Ən yüksək	Orta	Aşağı
Giriş müqaviməti	500 - 2000Ω	50 - 200Ω	20kΩ - 100kΩ
Çıxış müqaviməti	10 – 50 KΩ	100 kΩ - 1MΩ	20 – 500Ω

Giriş və çıxış siqnalları arasındakı faza fərqi	180°	Eyni fazada	Eyni fazada
Tipik istifadə olunması	Normal gücləndirici (Zəif güclü siqnalların gücləndirilməsi üçün)	Müqavimət razılaşdırıcısı (aşağı giriş müqaviməti ilə yüksək çıxış müqavimətini)	Müqavimət razılaşdırıcısı (yüksək giriş müqaviməti ilə aşağı çıxış müqavimətini)

Geniş yayılmış bipolyar tranzistorların markaları və onların tətbiq sahələri aşağıda verilmiş cədvəldə göstərilmişdir.

Cədvəl 8. Azgüclü tranzistorların markaları və tətbiq sahələri

Tranzistorun markası	Təyinatı və tətbiq sahəsi
1T101	Aşağı tezlikli gücləndiricilər
KT104	Gücləndiricilərdə tətbiq
ΓT108	Gücləndirici və impuls sxemləri
ΓT109	Aşağı tezlikli gücləndiricilərin giriş kaskadları
ΓT115	Radiohəvəskar konstruksiyalarının gücləndirici elementləri
ΓT116	Impuls formalaşdırıcıları və gücləndiriciləri, multivibratorlar və digər dəyişdirici sxemlər
KT117	Azgüclü generatorlarda tətbiq olunmaq üçün nəzərdə tutulmuş birkeçidli tranzistorlar
KT118	Modulyator sxemlərində işləmək üçün nəzərdə tutulmuş ikiemitterli tranzistorlar
KT119	Generatorlarda və dəyişdirici qurğularda işləmə üçün birkeçidli tranzistorlar
KT120	Gücləndirici və impuls sxemlərində işləmə üçün
ΓT122	Aşağı tezlikli gücləndiricilərin işi üçün
ΓT124	Aşağı tezlikli gücləndiricilərin işi üçün
ΓT125	Aşağı tezlikli gücləndiricilərin işi üçün
2T126	Gücləndiricilərdə və sabit cərəyan stabilizatorlarda
KT127-1	Gücləndiricilərdə və cərəyan stabilizatorlarda
KT201	Aşağı tezlikli gücləndiricilərin işi üçün
KT202	Gücləndiricilərdə və impuls qurğularında
KT203	Gücləndiricilərdə və impuls qurğularında
KT205	Gücləndiricilərdə və impuls qurğularında
KT206	Gücləndiricilərdə və impuls qurğularında
KT207	Gücləndiricilərdə
KT208	Gücləndiricilərdə və generator qurğularında
KT209	Gücləndiricilərdə və impuls qurğularında
KT211	Azgüclü gücləndiricilərin giriş kaskadları üçün normalaşdırılmış səviyyəli küylərə malik olan tranzistorlar
KT214-9	Açar və xətti gücləndirmə qurğularında
KT215-9	Açar və xətti gücləndirmə qurğularında

KT301	Gücləndiricilərdə və generator qurğularında
KT302	Aşağı tezlik gücləndiricilərinin ilkin kaskadları üçün 1kHs tezliyində normalaşdırılmış səviyyəli küylərə malik olan tranzistorlar
KTC303	Əməliyyat gücləndiricilərinin çıxış kaskadlarında, gücləndiricilərdə aşağı və yüksək tezlikli generatorlarda və impuls siqnalları generatorlarında istifadə üçün. n-p-n və p-n-p tipli iki tranzistordan ibarətdir.
ΓT305	Yüksək tezlikli güclənmə sxemlərində tətbiq üçün
KT306	Yüksək tezlikli siqnalların dəyişdirilməsi (çevrilməsi) və gücləndirilməsi üçün
KT307	Yüksək tezlikli siqnalların dəyişdirilməsi (çevrilməsi) və gücləndirilməsi üçün
ΓT308	Avtogeneratorlarda, güc gücləndiricilərində, impuls sxemlərində
ΓT309	Yüksək tezlikli güclənmə sxemlərində tətbiq üçün
ΓT310	Yüksək tezlikli gücləndirmə sxemlərində tətbiq üçün normalaşdırılmış küy əmsallı tranzistorlar
ΓT311	Yüksək və ifrat yüksək tezlikli siqnalların gücləndirilməsi və dəyişdirici qurğular üçün
KT312	Gücləndirici, dəyişdirici və generator qurğularının işi üçün
ΓT313	Yüksək və ifrat yüksək tezlikli siqnalların gücləndirilməsi
KT313	Yüksək tezlikli gücləndiricilərdə və dəyişdirici sxemlərdə tətbiq üçün
KT314	Gücləndirici və dəyişdirici sxemlərdə istifadə üçün
KT315	Yüksək, aralıq və aşağı tezlikli gücləndirici sxemlərinin işi üçün
KT316	Yüksək tezlikli siqnalların dəyişdirilməsi və gücləndirilməsi üçün
KT317	Yüksək tezlikli və aşağı tezlikli gücləndirici, dəyişdirici və impuls sxemləri üçün
KT318	Dəyişdirici (dövrə çevirici) sxemlərin işi üçün
ΓT320	Yüksək tezlikli siqnalların dəyişdirilməsi və gücləndirilməsi sxemlərində tətbiq üçün
ΓT321	Dəyişdirmə sxemlərində tətbiq üçün
KT321	İmpuls qurğularında və dəyişdirici qurğularda tətbiq üçün
ΓT322	Yüksək və aralıq tezlikli gücləndirmə sxemlərində tətbiq üçün normalaşdırılmış küy əmsallı tranzistorlar
KT324	Yüksək tezlikli siqnalların dəyişdirilməsi və gücləndirilməsi üçün
KT325	Yüksək tezlikli siqnalların gücləndirilməsi üçün
KT326	Yüksək tezlikli və ifratyüksək tezlikli gücləndirmə sxemlərində tətbiq üçün
ΓT328	Avtomatik tənzimlənməli güclənməyə malik olan metrlik dalğalar diapazonunda siqnalların güclənməsi üçün 180MHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə (7dB) malik olan tranzistorlar.
ΓT329	Yüksək tezlikli və İYT giriş və növbəti gücləndirici kaskadlarında tətbiq üçün 400MHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
ΓT330	Siqnalların gücləndirilməsi və generasiyası üçün 400MHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar
KT331	Siqnalların gücləndirilməsi və generasiyası üçün

KT332	Siqnalların gücləndirilməsi və generasiyası üçün 400MHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar
KT333	Dəyişdirici və impuls sxemlərində işləmə üçün
ΓT335	Dəyişdirici sxemlərdə istifadə üçün
KT336	Dəyişdirici və impuls sxemlərində işləmə üçün
KT337	Yüksək tezlikli dəyişdirici, impuls və gücləndirici sxemlər üçün
ΓT338	Selvari deşilmə rejimində işləmə üçün tranzistorlar
KT339	Yüksək tezlikli gücləndirmə sxemlərində işləmə üçün
KT340	Yüksək tezlikli dəyişdirici, impuls və gücləndirici sxemlər üçün
ΓT341	1QHs tezliyində normalaşdırılmış küy əmsalına malik olan İYT siqnalların gücləndirilməsi üçün tranzistorlar
KT342	Geniş tezlik diapazonunda siqnalların gücləndirilməsi və generasiyası
KT343	Aşağı və yüksək tezlikli dəyişdirici, impuls və gücləndirici sxemlərində
KT345	Aşağı və yüksək tezlikli dəyişdirici, impuls və gücləndirici sxemlərində
ΓT346	Avtomatik tənzimlənməli güclənməyə malik olan desimetrlik dalğalar diapazonunda siqnalların güclənməsi üçün 800MHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə (8dB) malik olan tranzistorlar.
KT347	Yüksək tezlikli dəyişdirici, impuls və gücləndirici sxemlərində
KT348	Aşağı və yüksək tezlikli dəyişdirici, impuls və gücləndirici sxemlərində
KT349	Yüksək tezlikli dəyişdirici, impuls və gücləndirici sxemlərində
KT350	Yüksək tezlikli siqnal dəyişdirici və gücləndirici sxemlərində
KT351	Yüksək tezlikli siqnal dəyişdirici və gücləndirici sxemlərində
KT352	Yüksək tezlikli siqnal dəyişdirici və gücləndirici sxemlərində
KT354	Yüksək tezlikli və İYT siqnal gücləndirici sxemlərində
KT355	Geniş tezlik diapazonunda siqnalların gücləndirilməsi və generasiyası
KT357	Yüksək tezlikli siqnal dəyişdirici və gücləndirici sxemlərində
KT358	Gücləndirici və generator sxemlərində
KT359	Gücləndiricilərdə tətbiq üçün 20MHs tezlikdə normalaşdırılmış küy səviyyəsinə (6dB) malik olan tranzistorlar
KT360	Dəyişdirici və gücləndirici qurğularda tətbiq üçün dəyişdirici tranzistorlar
KT361	Yüksək tezlikli gücləndiricilərdə işləmə üçün
ΓT362	İYT gücləndiricilərin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 2,25 QHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar
KT363	İYT siqnal dəyişdiricilərində və gücləndiricilərində
KT364	Dəyişdirici sxemlərində tətbiq üçün
KT366	İYT impuls, dəyişdirici və gücləndirici sxemlərində
KT368	Yüksək tezlikli gücləndiricilərin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 60MHs tezliyində normalaşdırılmış (3,3dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT369-9	Dəyişdirici (çevirici) tranzistorlar
KT370-9	Yüksək tezlikli və İYT siqnalların dəyişdirilməsi və gücləndirilməsi
KT371	İYT siqnalların gücləndirilməsi üçün
KT372	Yüksək tezlikli gücləndiricilərin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 1QHs tezliyində normalaşdırılmış (3,5dB) küy səviyyəsinə malik olan

	tranzistorlar.
KT373	Yüksək tezlikli dəyişdirmə və gücləndirmə sxemləri üçün
1T374	Yüksək tezlikli gücləndiricilərin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 2,25QHs tezliyində normalaşdırılmış (4,5dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT375	Yüksək tezlikli dəyişdirmə və gücləndirmə sxemləri üçün
ГТ376	Yüksək tezlikli gücləndiricilərin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 180MHs tezliyində normalaşdırılmış (4,5dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT377	Impuls kaskadlarında tətbiq üçün
KT378	Impuls kaskadlarında tətbiq üçün
KT379	Yüksək tezlikli dəyişdirmə və gücləndirmə sxemləri üçün
KT380	Yüksək tezlikli dəyişdirmə və gücləndirmə sxemləri üçün
KT381	Seçilmiş tranzistorlar cütü
KT382	Yüksək tezlikli və İYT gücləndiricilərin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 400MHs tezliyində normalaşdırılmış (3dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
ГТ383	транзисторы с нормированным уровнем шума на частоте 2,25 İYT gücləndiricilərin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 2,25QHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT384	Nanosaniyə diapazonlu impuls və dəyişdirici kaskadlar üçün
2T385-9	Nanosaniyə diapazonlu impuls və dəyişdirici kaskadlar üçün
1T386	Yüksək tezlikli gücləndiricilərin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 180MHs tezliyində normalaşdırılmış (4dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
ГТ387	İYT siqnalların gücləndirilməsi və generasiyası üçün generator tranzistorları
2T388	Yüksək tezlikli impuls, dəyişdirici və gücləndirici sxemlərinin işi üçün
2T389	Yüksək tezlikli impuls, dəyişdirici və gücləndirici sxemlərinin işi üçün
KT391-2	İYT gücləndiricilərin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 3,6QHs tezliyində normalaşdırılmış (6dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT392	Yüksək tezlikli siqnalların gücləndirilməsi
KTC393-9	Genişzolaqlı balans, diferensial və əməliyyat gücləndiricilərində, dəyişdirici və digər kaskadlarda tətbiq üçün nəzərdə tutulmuş tranzistor yığımı.
KTC394	Genişzolaqlı balans, diferensial və əməliyyat gücləndiricilərində, dəyişdirici və digər kaskadlarda tətbiq üçün nəzərdə tutulmuş tranzistor yığımı.
KTC395	Genişzolaqlı balans, diferensial və əməliyyat gücləndiricilərində, dəyişdirici və digər kaskadlarda tətbiq üçün nəzərdə tutulmuş tranzistor yığımı.
KT396-9	İYT siqnalların gücləndirilməsi üçün
KT397	Yüksək tezlikli siqnalların gücləndirilməsi üçün
KTC398-94	Genişzolaqlı balans, diferensial və əməliyyat gücləndiricilərində, dəyişdirici və digər kaskadlarda tətbiq üçün nəzərdə tutulmuş tranzistor yığımı.
KT399	Yüksək tezlikli və İYT gücləndiricilərinin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 400MHs tezliyində normalaşdırılmış (2dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.

KT3101	İYT gücləndiricilərinin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 2,25QHs tezliyində normalaşdırılmış (4,5dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT3102	Yüksək tezlikli gücləndirici və generator sxemlərində giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 1kHs tezliyində normalaşdırılmış (10dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar. İnvers rejimdə işləməsi yol verilir
KTC3103	60MHs tezliyində 5dB küy əmsalına malik olan diferensial kaskadlarda işləmək üçün p-n-p- tranzistor cütü
KT3104	Yüksək tezlikli gücləndiricilərin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 60MHs tezliyində normalaşdırılmış (8dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT3106-9	Yüksək tezlikli gücləndiricilərin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 120MHs tezliyində normalaşdırılmış (2dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT3107	Aşağı və yüksək tezlikli siqnalların gücləndirilməsi, generasiyası və dəyişdirilməsi üçün nəzərdə tutulan 1kHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə (10dB) malik olan tranzistorlar
KT3108	Yüksək tezlikli loqarifmik videgücləndiricilərdə və xətti gücləndiricilərdə tətbiq üçün nəzərdə tutulmuş 100MHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə (6dB) malik olan tranzistorlar
KT3109	Metrlik və desimetrlik dalğalı televiziya kanallarının selektolarında və digər qəbul-gücləndirici aparaturada tətbiq üçün
1T3110	İYT siqnalların gücləndirilməsi və generasiyası üçün tranzistor
2TC3111	Genişzolaqlı balans, diferensial və əməliyyat gücləndiricilərində, dəyişdirici və digər kaskadlarda tətbiq üçün nəzərdə tutulmuş tranzistor yığımı.
KT3114	İYT gücləndiricilərində tətbiq üçün 400MHs tezlikdə normalaşdırılmış küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar
2T3115-2	Yüksək tezlikli və İYT gücləndiricilərinin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 400MHs tezliyində normalaşdırılmış (5dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT3117	Yüksək tezlikli dəyişdirici (çevirici) tranzistorlar
KT3120	Yüksək tezlikli və İYT gücləndiricilərinin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 400MHs tezliyində normalaşdırılmış (2dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT3121	İYT gücləndiricilərinin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 1QHs tezliyində normalaşdırılmış (2dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT3122	Nanosaniyə impulsları formalaşdırmaq üçün ləvin deşilmə rejimində işləyən tranzistorlar
KT3123	İYT gücləndiricilərinin giriş və növbəti kaskadlarında tətbiq üçün 1QHs tezliyində normalaşdırılmış (3dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
2T3124-2	İYT azküylü gücləndiricilərində tətbiq üçün 4-6QHs tezliyində normalaşdırılmış (5dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT3126	Yüksək tezlikli rəqslərin generasiya edilməsi, gücləndirilməsi və çevrilməsi üçün
KT3127	Avtomatik güclənməni tənzimləmə kaskadlarında yüksək tezlikli rəqslərin generasiyası, gücləndirilməsi, çevrilməsi sxemlərində tətbiq üçün nəzərdə

	tutulmuş 100MHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə (5dB) malik olan tranzistorlar
KT3128	Güclənmənin avtomatik tənzimləməli televiziya kanallarının selektorlarında tətbiq üçün
2T3129-9	Aşağıtezlikli və yüksək tezlikli gücləndiricilərdə, generatorlarda, stabilizatorlarda və impuls qurğularında tətbiq üçün
KT3130-9	Az küylü gücləndiricilərin, həmçinin yüksək tezlikli gücləndiricilərin giriş kaskadlarında, generatorlarda, gərginlik stabilizatorlarında tətbiq üçün 1kHs tezliyində normalaşdırılmış (4dB) küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
KT3132-2	İYT azküylü gücləndiricilərində tətbiq üçün 1-7,2QHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə malik olan tranzistorlar.
2TC3136-1	p-n-p tranzistorların diferensial çütü
2T3141-2	Az küy səviyyəli İYT qurğuları üçün
KT3142	Gücləndirici, çevirici və generator qurğuları üçün
2T3150-2	Yüksək tezlikli gücləndiricilərdə tətbiq üçün
2T3154-1	Gücləndirici və dəyişdirici (çevirici) qurğular üçün
2T3155-C1	Gücləndirici qurğular üçün
2T3156-2	Gücləndirici qurğular üçün
KT3157	İmpuls sxemlərin üçün dəyişdirici açar tranzistorlar.
2T3158-2	İmpuls sxemləri üçün
2T3160-2	İmpuls sxemləri üçün
2T3161-C	Avtomatik telefon stansiyalarının kommutasiya dövrlərinin və yüksək tezlikli gücləndirici kaskadlarının işi üçün pnp/npn tranzistorlar yığıcı
2T3162	YT və İYT diapazonlu gücləndirici və çevirici açar qurğularında tətbiq üçün
2T3164	İmpuls sxemləri və gücləndirici qurğular üçün
KT3165	Televiziya kanalları selektorlarında çevirici, qeterodin və gücləndirici elementi kimi tətbiq üçün
KT3168-9	Az küylü tranzistor (1QHs-də 3dB)
KT3169-9 KT3169-91	Televiziya qəbuledicilərinin kanal selektorları üçün azküylü tranzistorlar
KT3170-9	Məişət videotexnikasında və televizorların çıxış Ar.TG kaskadlarında tətbiq üçün
KT3172-9	Məişət texnikası üçün
KT3174-C2	Geniş zolaqlı diferensial gücləndiricilərdə, cəmləyicilərdə, komparatorlarda, qarışdırıcılarda, balans gücləndiricilərində tətbiq üçün
Orta güclü tranzistorların markaları və tətbiq sahələri	
ГТ402	ATG-lərin çıxış kaskadları üçün
ГТ403	Dəyişdirmə sxemlərinin işi üçün, Ar.TG-lərin çıxış kaskadları, çeviricilər və sabit cərəyan stabilizatorları üçün
ГТ404	ATG-lərin çıxış kaskadları üçün
ГТ405	ATG-lərin çıxış kaskadları üçün
KT501	Normalaşdırılmış gücləndirmə əmsalına malik olan ATG üçün, əməliyyat və diferensial gücləndiricilərdə, çeviricilərdə, impuls sxemlərində
KT502	Normalaşdırılmış gücləndirmə əmsalına malik olan ATG üçün, əməliyyat və

	diferensial gücləndiricilərdə, çeviricilərdə, impuls sxemlərində
KT503	Normalaşdırılmış gücləndirmə əmsalına malik olan ATG üçün, əməliyyat və diferensial gücləndiricilərdə, çeviricilərdə, impuls sxemlərində
2T504	Yüksəkvoltlu gərginlik stabilizatorları və çeviriciləri üçün dəyişdirici (çevirici) tranzistorlar
2T505	İkinci qida mənbələrində və digər dəyişdirici qurğularında istifadə üçün
2T506	Açar sxemlərində, impuls modulyatorlarında, çeviricilərdə, xətti gərginlik stabilizatorlarında və digər sxemlərdə istifadə üçün
2T509	Yüksək voltlu gərginlik stabilizatorlarında və digər aparaturada mikrorejimdə işləyən tənzimləyici element
KT601 KT601-M	Radioyayım və TV qəbuledicilərinin sxemlərində tətbiq üçün
KT602 KT602-M	Siqnalların gücləndirilməsi və generasiyası sxemləri üçün
KT603	Impuls, dəyişdirici və yüksək tezlikli gücləndirici sxemlər üçün
KT604	əməliyyat gücləndirici sxemlərində, videogücləndiricilərdə və açılış generatorlarında
KT605	Impuls, dəyişdirici və yüksək tezlikli gücləndirici sxemlər üçün
KT610	İYT gərginliyini və gücünü gücləndirmək üçün
KT611	Yüksək tezlik diapazonunda siqnalların gücləndirilməsi və generasiyası üçün
ΓT612	İYT siqnallarının gücləndirilməsi və generasiyası üçün
KTC613	Yüksəksürətli impuls sxemləri üçün
ΓT614	Ümumi bazalı sxem üzrə qurulmuş generator sxeminin işi üçün
KT616	Dəyişdirici (çevirici) sxemlərdə istifadə üçün
KT617	Dəyişdirici (çevirici) sxemlərdə istifadə üçün
KT618	Dəyişdirici (çevirici) sxemlərdə istifadə üçün
KTC622	Dəyişdirici (çevirici) sxemlərdə istifadə üçün
KT624	Impuls sxemləri üçün
KT625	Dəyişdirici (çevirici) tranzistorlar
KT630	Gücləndirici və impuls sxemləri üçün
KTC631	Dəyişdirici (çevirici) sxemlərdə istifadə üçün
2T632	Xətti geniş zolaqlı gücləndiricilərdə tətbiq üçün
2T633	Ümumi bazalı sxem üzrə qurulmuş yüksək tezlikli və impuls sxemlər üçün
2T634-2	Ümumi bazalı sxem üzrə qurulmuş 1-5QHs tezlik diapazonunda işləyən generator və güc gücləndiriciləri üçün
KT635	Impuls və yüksək tezlikli sxemlər üçün
2T637-2	Ümumi bazalı sxem üzrə qurulmuş generator və güc gücləndiriciləri üçün
2TC641	Qoşalaşmış p-n-p və n-p-n tranzistorları
2T642-2	1,8-15QHs tezlik diapazonunda işləyən gücləndirici və generator qurğularında tətbiq üçün
2T643-2	Ümumi bazalı sxem üzrə qurulmuş 1,8-15QHs tezlik diapazonunda işləyən gücləndirici və generator qurğularında tətbiq üçün
KT644	Aşağı tezlik gücləndiriciləri, güc gücləndiriciləri, video gücləndiricilər,

	impuls və dəyişdirici qurğularda tətbiq üçün
2TC641	Qoşalaşmış p-n-p və n-p-n tranzistorları
2T652	Dəyişdirici və gücləndirici sxemlər üçün
2T653	Açar və xətti sxemlərdə, dəyişdiricilərdə və ikinci qida mənbələrinin digər qurğularında istifadə üçün
2T663	Dəyişdiric qurğular üçün
2T664-91	Gücləndiricilərdə və dəyişdirici qurğularda tətbiq üçün
2T665-91	Gücləndiricilərdə və dəyişdirici qurğularda tətbiq üçün
2T672-2	Impuls sxemləri üçün
2T679-2	Gücləndiricilərdə və dəyişdirici qurğularda tətbiq üçün
KT680	Aşağı tezlik gücləndiriciləri üçün
KT681	Aşağı tezlik gücləndiriciləri üçün
2T682-2	3,6QHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə malik olan İYT diapazonlu azküylü gücləndiricilərdə tətbiq üçün tranzistorlar
2T690-C	Gücləndirici qurğularda
2T691-2	1QHs tezliyində normalaşdırılmış küy səviyyəsinə malik olan İYT diapazonlu azküylü gücləndiricilərdə tətbiq üçün tranzistorlar
2T693-C	İkinci elektrik qida mənbələrində tətbiq üçün 4 n-p-n tranzistorları
KT6115	Açar xətti sxemləri üçün tranzistor
KT6116	Böyük gərginlikli qida mənbələri sxemləri üçün
Böyük güclü tranzistorların markaları və tətbiq sahələri	
ГТ701	Aşağı tezlikli güc gücləndiricilərində, impuls və açar sxemlərində
ГТ702	Aşağı tezlikli güc gücləndiricilərində, impuls və açar sxemlərində, gərginlik çeviricilərində, idarəolunan tənzimləyici sxemlərində
ГТ703	Aşağı tezlikli güc gücləndiricilərində
KT704	Impuls modulyatorlarında istifadə üçün
ГТ705	Aşağı tezlikli güc gücləndiricilərində
2T708	Gücləndirici və dəyişdirici qurğularda tətbiq üçün tərkibli (mürəkkəb) tranzistorlar
KT801	Kadr və sətir açılışı sxemlərində, qida mənbələrində
KT802	Sabit cərəyan gücləndiricilərində, sətir açılışı generatorlarında, güc gücləndiricilərində
KT803	Sabit cərəyan gücləndiricilərində, sətir açılışı generatorlarında, güc gücləndiricilərində
KT805	Televizorların sətir açılışının çıxış kaskadları üçün, daxili yanma mühərriklərinin alışdırma sistemləri üçün
KT812	Televizorların sətir açılışının çıxış kaskadları, yüksəkvoltlu çeviricilər üçün
KT814	ATG, əməliyyat və diferensial gücləndiricilər, çevirici və impuls sxemləri üçün
KT815	ATG, əməliyyat və diferensial gücləndiricilər, çevirici və impuls sxemləri üçün
KT816	ATG, əməliyyat və diferensial gücləndiricilər, çevirici və impuls sxemləri üçün

KT817	ATG, əməliyyat və diferensial gücləndiricilər, çevirici və impuls sxemləri üçün
KT818-2 KT818	ATG, əməliyyat və diferensial gücləndiricilər, çevirici və impuls sxemləri üçün
KT819-2 KT819	ATG, əməliyyat və diferensial gücləndiricilər, çevirici və impuls sxemləri üçün
KT825 KT825-2	ATG, impuls güc gücləndiriciləri, cərəyan və güv gücləndiriciləri, təkrarlayıcılar, dəyişdiricilər, elektron idarəetmə sxemləri, avtomatika və qoruyucu sxemlər üçün mürəkkəb tranzistorlar
KT827	ATG, impuls güc gücləndiriciləri, cərəyan və güv gücləndiriciləri, təkrarlayıcılar, dəyişdiricilər, elektron idarəetmə sxemləri, avtomatika və qoruyucu sxemlər üçün mürəkkəb tranzistorlar
KT829	ATG güc gücləndiriciləri, açar sxemləri üçün
KT837	ATG güc gücləndiriciləri, açar sxemləri üçün
KT840	ATG güc gücləndiriciləri, açar sxemləri üçün
KT842	ATG güc gücləndiriciləri, açar sxemləri, güclü çeviricilər və gərginlik stabilizatorları üçün
KT8101	Yüksəkvoltlı tranzistor
KT8102	Yüksəkvoltlı tranzistor
KT8108	İkinci elektrik qida mənbələrində istifadə üçün
ΓT901	Impuls və gücləndirici qurğuları üçün
KT902	Yüksək tezlikli güc gücləndiricilərində tətbiq üçün
KT903	Yüksək tezlikli generator və güc gücləndiricilərində tətbiq üçün
KT917	Yüksək tezlikli güc impuls, generator və gücləndirici qurğularında tətbiq üçün
KT918	Ümumi bazalı qoşulma sxemində güc gücləndiricilərində və 1-3QHs tezliklərində işləyən generatorlar üçün
KT919	Güc gücləndiriciləri, 700-2400MHs diapazonunda işləyən generator və tezlik vurucuları üçün
KT932	Genişzolaqlı güc gücləndiricilərində və avtogeneratorlarda tətbiq üçün
2T933	Genişzolaqlı güc gücləndiricilərində və avtogeneratorlarda tətbiq üçün
KT935	Açar və impuls sxemləri üçün
KT936	Genişzolaqlı güc gücləndiricilərində tətbiq üçün
2T947	0,1-1,5QHs tezliklərində güc gücləndiricilərinin, tezlik vurucularının və avtogeneratorların işi üçün
KT948	0,7-2,3QHs tezliklərində ümumi bazalı güc gücləndiricilərinin, tezlik vurucularının və avtogeneratorların işi üçün
2T949	Xüsusi təyinatlı aparaturada açar və xətti sxemlərdə
2T963	2-10QHs tezliklərində ümumi bazalı güc gücləndiricilərinin, tezlik vurucularının və avtogeneratorların işi üçün
2T9106-C2	Gücləndirici qurğular üçün
2T9108-2	0,6-1,6QHs tezlik diapazonunda iş üçün
2T9118	0,9-1,4QHs tezlik diapazonlu radiolokasiya və rabitə sistemlərinin ötürücü qurğularında ümumi bazalı sxem üzrə fasiləsiz və impuls rejimlərində iş

	üçün
KT9141 KT9141-1	Çoxrəngli qrafiki displeylərinin videogücləndiricilərinin çıxış kaskadları üçün
KT9143	Güc gücləndiricilərinin çıxış kaskadlarında tətbiq üçün
2T9158	REA-nın İYT gücləndirici kaskadlarında tətbiq üçün
KT9180	Xətti və açar sxemlərində tətbiq üçün
KT9181	Xətti və açar sxemlərinin işi üçün

Müxtəlif növ tranzistorların fotogörünüşü aşağıdakı şəkildə verilmişdir:



Şək. 6

2.3. Tiristor və simistorlar

Tiristor yarımkəçirici açar element olub, üç əsas işçi vəziyyətlə: tətbiq olunan düz gərginliyi blokladığı bağlı, əks gərginliyi blokladığı cərəyan keçirmədiyi, əsas cərəyanı keçirdiyi açıq vəziyyəti ilə xarakterizə edilən cihazdır. Tiristorların bağlı vəziyyətdən açıq vəziyyətə keçməsi zamanı qoşma və ayırma keçid prosesləri baş verir.

Üç elektrodlu tiristor, həm də simistor idarə elektroduna verilən idarəetmə impulsu köməyi ilə qoşulur (işə salınır), ikielektrodlu dinistorlarda isə qoşulma tətbiq olunan düz gərginliyin uyğun qiymətində baş verir.

Д235А, Д235Б, Д235В, Д235Г tipli tiristorlar.

Bağlanmayan tiristorlar qrupuna aid olub, silisumlu diffuziya-ərintili p-n-p-n struktura malikdirlər. Bu tip tiristorların açılması idarəetmə impulsu ilə bağlanması isə ya anod cərəyanının qısa müddətli kəsilməsi, ya da anoda əks gərginliyin tətbiq olunması ilə təmin edilir. Orta güclü dəyişdirici element

qismində tətbiq üçün nəzərdə tutulublar. Sərt çıxışlara malik olan dəmir korpusda buraxılırlar. Kütləsi 6,5q.

Əsas elektrik parametrləri:

- 1) Açıq vəziyyətdə $I_{a\phi} = 2 \text{ A}$, $I_{idar\phi} = 50\text{mA}$ və $T_{atr.} = +25^{\circ}\text{C}$ olduqda - 2V;
- 2) Açıq impuls idarəetmə gərginliyi - 5V;
- 3) Bağlı vəziyyətdə düz sabit cərəyan - 2mA;
- 4) Sabit əks cərəyan $U_{\phi ks} = U_{\phi ks.max}$ olduqda - 2mA;

İstismar parametrlərinin hədd qiyətləri

- İdarəetmə impulsunun maksimal əks gərginliyi - 1V;
Bağlı vəziyyətdə maksimal sabit gərginlik - 100V;
Açıq vəziyyətdə maksimal sabit cərəyan - 2A;
Açıq vəziyyətdə maksimal impuls cərəyanı - 10A;
Orta səpələnmə gücü - 4Vt;
Ətraf mühitin temperaturu - $-60\dots+70^{\circ}\text{C}$

KY101A, KY101B, KY101G, KY101E tipli tiristorlar.

Az güclü dəyişdirici element qismində tətbiq üçün nəzərdə tutulublar. Elastik çıxışlara malik olan metalşüşə hermetik korpusda buraxılırlar. Kütləsi 2,5q.

İstismar parametrlərinin hədd qiyətləri

- İdarəetmə impulsunun maksimal əks gərginliyi - 1V;
Bağlı vəziyyətdə maksimal sabit gərginlik - 100V;
Açıq vəziyyətdə maksimal sabit cərəyan - 75mA;
İdarəetmə elektrodunda sabit cərəyan - 15ma
Açıq vəziyyətdə maksimal impuls cərəyanı - 0,5A;
Orta səpələnmə gücü - 200mVt;
Ətraf mühitin temperaturu - $-60\dots+70^{\circ}\text{C}$

KY202A, KY202B, KY202B, KY202G, KY202D, KY202E, KY202Ж, KY202И, KY202K, KY202Л, KY202M, KY202H

Böyük güclü dəyişdirici element qismində tətbiq üçün nəzərdə tutulublar. Sərt çıxışlara malik olan dəmir korpusda buraxılır. Kütləsi 25q.

İstismar parametrlərinin hədd qiyətləri

- Sabit və ya orta cərəyan - 10A;
İdarəedici elektrodun düz cərəyanı – 300mA
Trinistorun düz (bağlı vəziyyətdə) və əks gərginliyi, V:
KY202A, KY202B üçün - 25
KY202B, KY202G üçün - 50
KY202D, KY202E üçün - 100
KY202Ж, KY202И üçün - 200
KY202K, KY202Л üçün - 300
KY202M, KY202H üçün - 400

Müxtəlif markalı və müxtəlif parametrlərə hesablanmış tiristorların nümunələrinin fotogörünüşü aşağıdakı şəkildə verilmişdir.



Şək. 7

2.4. Analox mikrosxemləri

2.4.1. Siqnal gücləndiriciləri. Analox mikrosxemlər içərisində siqnal gücləndiriciləri əsas yerlərdən birini tutur. Siqnal gücləndiriciləri, onların təyinatı və tətbiq sahələri ilə əlaqəli olan parametrləri, funksional sxemləri, gücləndirilən siqnalların xarakteri və bir çox digər xassələri ilə fərqləndirilir. Gücləndirici tiplərinin çox müxtəlifliyinə baxmayaraq, siqnal gücləndiricilərinin təsnifat olunduğu bir neçə ümumi əlamətləri var. Hal-hazırda siqnal gücləndiricilərinin əsasən, təsnifat əlamətləri aşağıdakılardır: gücləndirilən siqnalların xarakteri; işçi tezlik diapazonu; gücləndiricinin sxeminin strukturu; təyinatı və tətbiq sahəsi.

Gücləndirilən siqnalların xarakterinə görə gücləndiriciləri iki böyük qrupa bölürlər:

1. Kəsilməz siqnalların telefon və radioyayım, kəsilməz proseslərin telemetriyası, səs yazılması və səsləndirilməsi və s. siqnallarının gücləndiriciləri;
2. Amplitudası diskret qiymətlər alan, yaxud, amplitudu siqnalın uzunluğuna nəzərən sürətlə dəyişən diskret (impuls) siqnallar gücləndiriciləri. Belə siqnallara İQ- və radioidarətmə siqnalları, teleqraf, radiolokasiya və radionaviqasiya siqnalları, həmçinin, rəqəm kodları aiddirlər.

Tezlik diapazonuna görə aşağıdakı qruplara bölünürlər:

- sabit cərəyan gücləndiriciləri;
- səs (ton) tezlikli siqnallarının gücləndiriciləri;
- yüksək tezlikli gücləndiricilər;
- genişzolaqlı gücləndiricilər.

Ən geniş tətbiq olunan siqnal gücləndiricilərinin nümunələri cədvəl 9 – da verilmişdir.

İMS-in tipi	İMS-in təyinatı	Əsas parametrləri								
		Tələb etdiyi cərəyan, mA	Gücləndirmə əmsalı	Giriş cərəyanı, mA	Sinfaz maneel. Zəiflə.-si əmsalı	Giriş müqaviməti, kOm	Çıxış gərginliyi, V	Qeyri xətti təhrif əmsalı, %	Yuxarı tezliyi, MHz	Qida mənbəy-n gərginliyi, V
K118YD1	Diferensial gücləndirici	1,8	15	10	60	6	4	5	1	6,3
K118YH1	Sabit cərəyan gücləndiricisi	5,5	250	-	-	2	3,8	5	5	12
K118YH2	Kaskod gücləndirici	2	25	-	-	1	3,8	5	5	6,3
K148YH1	Güc gücləndiricisi (GG)	25	200	-	-	-	-	2,5	0,02	12
K148YH2	GG	10	30	-	-	-	-	10	0,02	9
K171YB1	Genişzolaqlı gücləndirici	20	7	-	3	-	-	-	-	6
K171YB2	Video-gücləndirici	25	40	-	3	-	0,03	-	-	±6
K171YP1	Aral. Tezl. Gücləndir. (Ar. TG)	7	16	-	3	-	1,2	-	-	±6
K174YH3	Aşağı Tezl. Gücl. (Aş. TG)	6	1400	-	-	10	-	1,2	-	6
K174YH4	GG	10	40	-	-	10	-	2	0,001	9
K174YH5	GG	30	120	-	-	10	-	1	0,02	12
K174YH7	GG	15	-	-	-	50	-	-	0,02	12
K174YH8	GG	15	40	-	-	10	5,5	10	0,02	12
K174YH9	Aş. TG	30	-	-	-	-	-	2	-	18
K174YH10	İkikaskadlı Gücləndiricisi	40	15	-	-	-	3,9	0,5	-	15
K174YH11	GG	100	-	-	-	-	0,6	1	-	15
K174YP1	Gücləndirici-məhdudlayıcı	20	-	-	-	-	5	2	6,5	12
K174YP2	Ar. TG	50	-	-	-	-	-	-	35	12
K174YP3	Ar. TG	12	-	-	-	3,9	4,2	2	15	6
K175YB1	Genişzolaqlı gücləndirici	4	10	-	-	1	-	10	-	6,3
K175YB2	Difer. Genişzolaqlı güclən.	3,5	12	-	60	1	3,5	-	5,5	6,3
K175YB3	Difer. Genişzolaqlı güclən.	2	-	-	-	0,75	-	-	3	6
K175YB4	Difer. Güclən.	3	-	-	60	-	2	-	150	6
K224YH2	Aş. TG	20	5	-	-	-	2	3	-	9
K224YH3	Aş. TG	5	-	-	-	-	-	3	-	9
K224YH4	Aş. TG	5,5	140	-	-	-	-	-	-	9

K224YP1	Kaskod gücl.	8	-	-	-	-	6	-	-	12
K224YP2	Səs Ar.TG	15	-	-	-	-	13	-	-	12
K224YP3	Təsvir Ar.TG	25	-	-	-	-	7	-	-	12
K224YP4	Səs Ar.TG	15	-	-	-	-	13	-	-	12
K265YB1	Universal Gücl.	4	-	-	-	400	1,6	-	-	6,3
K265YB2	Tənziml-ci Gücl.	3,6	-	-	-	-	1,7	-	-	6,3
K265YB3	Kaskod Gücl.	4,6	-	-	-	400	1,4	-	-	6,3
K265YB4	Balans Güclən.	3	-	-	-	400	4	-	-	6,3
K265YB5	Universal Gücl.	4	-	-	-	400	-	-	-	6,3
K265YB6	Kaskod Gücl.	3,9	-	-	-	400	-	-	-	6,3
K265YB7	Genişzol. Gücl.	13	11	-	-	-	-	-	-	12,6
K538 YH1	Univers. Gücl.	8	100	-	62	50	3	0,05	10	15; 6
K538 YH5	Univers. Gücl.	5	300	-	-	-	-	-	-	15; 6
K538 YH1	İkikanallı. Gücl.	15	2·10 ⁵	-	-	-	3	0,05	20	18

Diferensial gücləndiricilər məsələn, K118YD1, K175 YB3, K175 YB3 qəbuledici aparaturada, o cümlədən avasiya bort və yerüstü avadanlıqlarda tezlik diapazonlarından asılı olaraq, yüksək tezlik gücləndiricilərində, qarışdırıcılarda, heterodinlərdə, məhdudlayıcılarda, aralıq gücləndiricilərdə, amplitud modulyasiyalı və tezlik modulyasiyalı siqnalların detektorlarında zəif siqnalları mövcud olan güclü maneə siqnallarının fonunda gücləndirmək üçün istifadə olunur.

Güclü inteqral aşağı tezlik gücləndiriciləri (ATG) qoşulma variantından asılı olaraq, aralıq, sonuncudan qabaq və çıxış kasakdları, yaxud, güc gücləndiriciləri kimi tətbiq oluna bilər. K174 seriyalı İMS-lər və onların analoqları ATG gücləndiriciləri və bəzi markaları güc gücləndiricisi kimi nəşərdə tutulmuşdur. Məsələn, K174 YH7 markalı mikrosxem çıxış gücü 4,5Vt-a qədər olan güc gücləndiricisidir.

K538 və K548 markalı mikrosxemlər və onların analoqları azküylü gücləndiricilər olub, qəbuledici-gücləndirici qurğularda ilkin gücləndiricilər kimi tətbiq olunurlar, çünki güc gücləndirici İMS-lərin gücləndirmə əmsalı kifayət qədər deyil, həm də məxsusi küyləri nisbətən çoxdur.

2.4.2. Əməliyyat gücləndiricilərinin növləri və tətbiq sahələri.

Hal-hazırda dünyada yüzdən çox adda inteqral əməliyyat gücləndiriciləri buraxılır. Bütün bu müxtəlif növ mikrosxemləri ümumi texnologiyasına və

sxemotexnikasına, dəqiqlik, dinamiki, yaxud istismar xarakteristikalarına görə qruplara bölürlər.

Daxili sxemotexnikasına görə əməliyyat gücləndiricilərini *bipolyar*, *bipolyar-sahə* və *KMOY tranzistorlulara* bölmək olar. Bipolyar-sahə ƏG-lərdə p-n-keçidli sahə tranzistorları, yaxud MOY-tranzistorları ƏG-nin girişində diferensial kaskadda istifadə olunurlar və bu hesaba yüksək giriş müqaviməti və az giriş cərəyanları təmin olunur. Məsələn, K140YД8, K544YД2 və s. tipli əməliyyat gücləndiriciləri bu növ ƏG-lərə aiddirlər.

ƏG-lərin nomenklaturasının böyük hissəsi *ümumi təyinatlı gücləndiricilərə* aiddirlər. Bu gücləndiricilər orta sürət, çox olmayan dəqiqliyə və az çıxış gücünə malik olub nisbətən ucuzdurlar. Əsas parametrləri: $K_U = 20\ 000 - 200\ 000$; $U_{cm} = 0,1 - 20\ mV$; $f_T = 0,1 - 10\ MHz$ s təşkil edir. Bu mikrosxemlərə K140 YД1, K140 YД2, K140 YД5, K140 YД6, K140 YД8, K153 YД5, K153 YД6 kimi əməliyyat gücləndiriciləri və onların xarici analoqu olan LF411 seriyalı mikrosxemlər aiddirlər.

Yüksəksürətli əməliyyat gücləndiriciləri orta dəqiqlik parametrlərində yüksək dinamiki xarakteristikalara malikdirlər: sərhəd tezliyi – $f_s = 20 - 1000MHz$ s, çıxış gərginliyinin artma sürəti – $r = 10-1000V/mks$ təşkil edir. ƏG-lərin sürətini iki səbəb məhdudlaşdırır. Birinci, diferensial kaskada nisbətən aşağı tezlikli olan bipolyar tranzistorlar daxil olur. İkinci, artma sürəti korreksiyaedici kondensatorun yüklənmə sürəti ilə məhdudlanmaya görə baş verir. Birinci faktoru aradan qaldırmaq üçün giriş kaskadında yüksəksürətli p-kanallı sahə tranzistorları istifadə edilir. İkinci faktoru aradan qaldırmaq üçün isə kondensatorun yüklənməsini sürətləndirmək üçün ya diferensial kaskadın cərəyanını artırmaq, ya da kondensatorun tutumunu azaltmaq lazım gəlir. Birinci halda ƏG-nin tələb etdiyi cərəyan artır, ikinci halda onun dayanıqlığı pisləşir. Ona görə də bu halda əlavə tədbirlər görmək lazım gəlir. Bu qrup ƏG-lərə K140YД10, K574YД1, K574YД2, K574YД3, K154YД2 mikrosxemləri və onların OPA634 tipli xarici analoqları aiddirlər.

Presizion (çox dəqiq) gücləndiricilər qrupuna daxil olan ƏG-lər yüksək diferensial gərginliyə görə gücləndirmə əmsalına, az sıfır sürüşməsinə və az giriş cərəyanlarına malik olurlar.

Gücləndirmə əmsalının artırılması gərginliyə görə gücləndirmə kaskadlarının təkmilləşdirilməsi, yaxud üçkaskadlı sxemin tətbiq olunması hesabına mümkün olur (məsələn, K551YД1), bu isə tezlik korreksiyasını çətinləşdirir. Sıfır sürüşməsinə radikal olaraq azaltmaq üçün modulyasiya-demodulyasiya(məsələn, K140YД13), yaxud periodik olaraq dreyfin kompensə edilməsi (kəsmə yolu ilə) tətbiq olunur. Bu tip ƏG-lərə K140 YД14, K140

УД17, К140 УД20, , MAX400M, OPA227 (kəsmə olmadan) və ICL7652, 140УД24, MAX430 (kəsmə yolu ilə) tipli mikrosxemləri aid etmək olar.

Mikrogüclü gücləndiricilər az enerji tələb edən mikrosxemlər kimi öz qidalanmasını qalvanik, yaxud akkumulyator batareyalarından alan cihazlarda istifadə olunurlar. Belə mikrosxemlər çox az cərəyan tələb edirlər. Məsələn, К140УД12 və onun xarici analoqu olan MAX406 tipli mikrosxemlər 1-2mA cərəyan tələb edirlər. Belə mikrosxemlər, digərlərindən fərqli olaraq minimal $\pm 1,5V$ gərginliklə qidalanmaqla işləyə bilirlər. Qeyd etmək lazımdır ki, prezision К140 УД14 və buna oxşar ƏG-lər də bir sıra parametrlərinə görə həm də mikrogüclü ƏG-lərə aid edilə bilirlər. Belə ki, bu mikrosxemlər minimal $\pm 2,5V$ gərginlikdən işləyə bilər və bu zaman tələb etdiyi cərəyan onlarla mA təşkil edir.

Az enerji tələbatı və sürət göstəriciləri arasında bir kompromis əldə etmək üçün çox vaxt bu mikrosxemləri proqramlanan şəkildə hazırlayırlar. Proqramlanan ƏG-lər, əlavə olaraq kənarda rezistor vasitəsilə qida mənbəyinin qütbləri ilə birləşmək üçün nəzərdə tutulan xüsusi çıxışa malik olurlar. Bu rezistorun müqaviməti artırıldıqda cərəyan tələbatı azalır, sürət isə pisləşir, azaldıldıqda isə əksinə.

Az güclü mikrosxemlərin bəziləri hətta daha aşağı gərginliklərdən işləyə bilirlər. Məsələn, MAX480 tipli ƏG $\pm 0,8V$ -dan $\pm 18V$ -a qədər gərginliklərdə işləyə bilər və bu zaman tələb etdiyi cərəyan 15mA-dan çox olmur.

Bəzi hallarda birqütblü mənbələrdən daxil olan siqnalları gücləndirmək üçün ya bir qütblü qida mənbəyindən ƏG üçün süni iki qütblü gərginlik almaq tələb olunur, ya da xüsusi növ ƏG-lərin istifadə olunmasına ehtiyac olur. Süni ikiqütblü gərginlik sxemlərində böyük dəqiqlik təmin etmək olmur. Ona görə də birqütblü qida gərginliyindən işləyən ƏG-lərin tətbiq olunması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Məsələn, MAX495 tipli ƏG 1,8V qida mənbəyindən işləyərək 150 mA, LMV321 tipli ƏG isə 145 mA cərəyan tələb edirlər.

Bir çox firmalar çoxkanallı gücləndiricilərin – ƏG-lərin buraxılmasına da xüsusi yer verir. Çoxkanallı gücləndiricilərdə bir kristalda iki, üç, yaxud dörd eynitipli ƏG olur. Məsələn, К140УД20 tipli mikrosxemdə iki eynitipli ƏG var. MAX406/407/409 və OPA227/2227/4227 mikrosxemlərində uyğun olaraq bir, iki və dörd eynitipli gücləndirici var.

Güclü və yüksək voltlu əməliyyat gücləndiriciləri. ƏG-lərin əksəriyyəti $\pm 15V$ -a qədər hesablanmışdır. Bəzilərinə qida gərginliyi $\pm 22V$ -a qədər yol verilə bilər. Bu isə bəzi fiziki və bioloji tədqiqatlarda idarəetmə üçün, məsələn, piezoelektrik çeviricilər üçün kifayət etmir. Ona görə də sənayedə 100V-a qədər gərginliklərə tab gətirən ƏG-lər buraxılır. Hətta 170 – 200V gərginliklərə tab gətirən və çıxışında 15A cərəyan təmin edə bilən ƏG-lər mövcuddur.

Ümumi təyinatlı ƏG-lər çıxışında 5mA-rə qədər cərəyanlar yol verə bilər. Güclü yükləri idarə etmək üçün güclü ƏG-lər tətbiq olunur. Güclü ƏG-lərə çıxışında 500mA-dan çox cərəyana yol verə bilən ƏG-ləri aid edirlər. Güclü inteqral ƏG-lərə misal çıxış cərəyanı 10A olub 90Vt-a qədər güc səpələyə bilən LM12 markalı ƏG-ni göstərmək olar. Apex Mikrotechnology firması 100A cərəyanda yükə 2000Vt güc verə bilən ifratgüclü hibrid PA30 markalı ƏG-lərini buraxır. Hal-hazırda Apex SA08 şirkətinin buraxdığı mikrosxemlər 98% f.ia. ilə 22kHs eninə impuls modulyasiyasında 500V işçi gərginlikdə, 20A çıxış cərəyanında yükə 10kVt güc təmin edə bilər.

Ən geniş tətbiq olunan əməliyyat gücləndiricilərin markaları və parametrləri cədvəl 10-da verilmişdir.

Cədvəl 10

Əməliyyat Gücləndiricisinin tipi	Əsas parametrləri										
	Qida mənbəyinin gərginliyi, V	Tələb etdiyi cərəyan, mA	Gücləndirmə əmsalı	Sinfaz maneələrin zəiflədilməsi əmsalı	Sifir sürüşməsi gərginliyi, mV	Giriş müqaviməti, kOm	Giriş cərəyanı, mA	Çıxış gərginliyi, V	Vahid güclü tezliyi, MHz	Çıxış gərginliyinin artma sürəti, V/ms	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
K140YD1	A	±6,3	4,2	$(9..40) \times 10^{-2}$	60	7	4	$5 \cdot 10^2$	±3	5	0,2
	B	±12,6	8	$(2..10) \times 10^3$				$8 \cdot 10^2$	±6		0,5
K140YD2		±12,6	16	$5 \cdot 10^2$	80	5	300	700	±10	2	0,12
K140YD5	A		4,2	$11 \cdot 10^2$	60	7	150	800	±8	15	3
	B	±12	8	$11 \cdot 10^2$	80	4,5	100	10^2			6
K140YD6	A		4,2	$7 \cdot 10^2$	80	5	$3 \cdot 10^2$	30	±12	1	2,5
	B	±15	8	$5 \cdot 10^2$	70	8	$2 \cdot 10^2$	50			2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
K140YD7		±15	2,8	$5 \cdot 10^2$	70	4	400	200	±11,5	0,5	10
K140YD8		±15	3	$5 \cdot 10^2$	70	50	10^2	0,1	±10	1	2
K140YD9		±15	8		80	5	300	350	±10	1	0,2
K140YD10		±15	8	$5 \cdot 10^2$	80	4	10^2	250	±11	15	50,2
K140YD11		±15	8		70	10	$5 \cdot 10^2$	250	±12	15	20
K140YD12		±1,8/18	0,02/0,15	$5 \cdot 10^2 / 10^3$	70	5	$5 \cdot 10^3 / 5 \cdot 10^4$	7,5/50	±2/±10	1	0,03/0,8
K140YD13		±15	2	0,01	90	50	$5 \cdot 10^2$	0,5	±1	10^{-2}	-
K140YD14		±15	0,6		70	2	$3 \cdot 10^2$	2	±13	0,5	0,2
K140YD17		±15	3,5	$5 \cdot 10^2$	160	20	10^2	0,15	±13	3	2,5
K153YD1		±15	6	$2 \cdot 10^2$	65	5	100	600	±10	1	0,06
K153YD2		±15	3	$2 \cdot 10^2$	70	0,5	300	500	±11	1	0,5
K153YD3		±15	3,6	$3 \cdot 10^2$	80	2	300	200	±10	1	0,2
K153YD4		±6	0,8	$2 \cdot 10^2$	70	5	200	400	±4	1	0,1
K153YD5		±15	2		94	2,5	10^2	125	±10	0,1	$5 \cdot 10^{-2}$
K153YD6		±15	3	$5 \cdot 10^2$	80	2	$\geq 10^2$	75	±10	0,7	0,5
K154YD1		±15	0,12	$2 \cdot 10^2$	80	3	$\geq 10^2$	20	±12	-	10
K154YD2		±15	6	10^2	80	2	$\geq 10^2$	100	±10	25	150
K157YD1		±15	9	$5 \cdot 10^2$	70	5	$\geq 10^2$	500	±12	0,5	0,5
K157YD2		±15	7	$5 \cdot 10^2$	70	10	$\geq 10^2$	500	±13	1	0,5
K284YD1	A	±9	6	$2 \cdot 10^2$	70/60	10	$\geq 10^2$	1	±6,5	0,1	10
	B										

K284YD2		±6	13	$5 \cdot 10^3$	40	20	$2 \cdot 10^3$	100	±2	$0,0$ 4	-
K544YD1	A	±15	3,5	$5 \cdot 10^4$	64	30/ 50	10^4	0,5/1	±10	1	2
	B			$2 \cdot 10^4$							
K544YD2	A	±15	7	$2 \cdot 10^4$	70	30/ 50	$\geq 10^4$	0,1/ 0,5	±10	15	20
	B			10^4							
K551YD1	A	±15	5	$5 \cdot 10^3$	100/ 94	1,5/ 2,5	$\geq 10^4$	100/ 125	±10	-	-
	B			$2,5 \cdot 10^5$							
K551YD2	A	±15	10	$5 \cdot 10^3$	70	5	$\geq 10^4$	$2 \cdot 10^3$	±10	-	-
	B										
K553YD1	A	±15	6	$15 \cdot 10^3$	65/ 80	7,5/ 2	100	1,5/ 10^3 / 200	±10	1	0,2
	B		3,6								
K553YD2		±15	6	$2 \cdot 10^4$	70	7,5	300	$2 \cdot 10^3$	±10	1	0,5
K553YD3		±15	3	$3 \cdot 10^4$	80	2	600	200	±10	1	0,2
K574YD1		±15	5,5	150	80	20	10^7	0,5	±10	13	90
K816YD1	A	±15	5	10^3	80	0,5	0,9	300	±10	3	2
	B										
K816YD2		±15	6	10^4	80	4	10^4	0,1	±10, 5	25	3
KMP1816YD5		±15	10	$5 \cdot 10^3$	70	2	$\geq 10^4$	$\leq 0,1$	±13	20	20
KP1408YD1	A	±27	5	$7 \cdot 10^4$	70	8/ 10	$\geq 10^4$	40/50	±21	0,5	1,5
	B			$5 \cdot 10^4$							
KP1408YD2		±15	2,6	$5 \cdot 10^4$	70	5	400	200	±11,5	0,8	0,3

2.5. Rəqəm mikrosxemləri

2.5.1. Məntiq elementləri və onların strukturaları. Xarici ədəbiyyatda qəbul olunmuş standartlara uyğun olaraq ən geniş yayılmış məntiq elementlərinin şərti qrafiki işarələnməsi şəkildə göstərilmişdir. Şəkildə elementlərin ingiliscə adları və mötərizədə isə azərbaycanca adları verilmişdir. Bununla yanaşı hər bir elementin yanında onun iş prinsipini əks etdirən həqiqət cədvəli verilmişdir (şək.8).

Rəqəm mikrosxemləri bipolyar və ya sahə tranzistorlarından təşkil olunurlar və müəyyən sxemotexniki prinsiplərə görə qurulurlar. Mikrosxemlərin işlənilib hazırlanması zamanı bir sıra prinsipial fərqlənən, relizə edilməsi üçün müəyyən texnoloji əməliyyatlar toplusu (yığımı) tətbiq olunan sxemotexniki həllər istifadə olunur. Hansı texnologiya üzrə hazırlanmağından mikrosxemin xassələri, və deməli həm də parametrləri asılıdır. Rəqəm mikrosxemlərini aşağıdakı texnologiyalar üzrə hazırlayırlar:

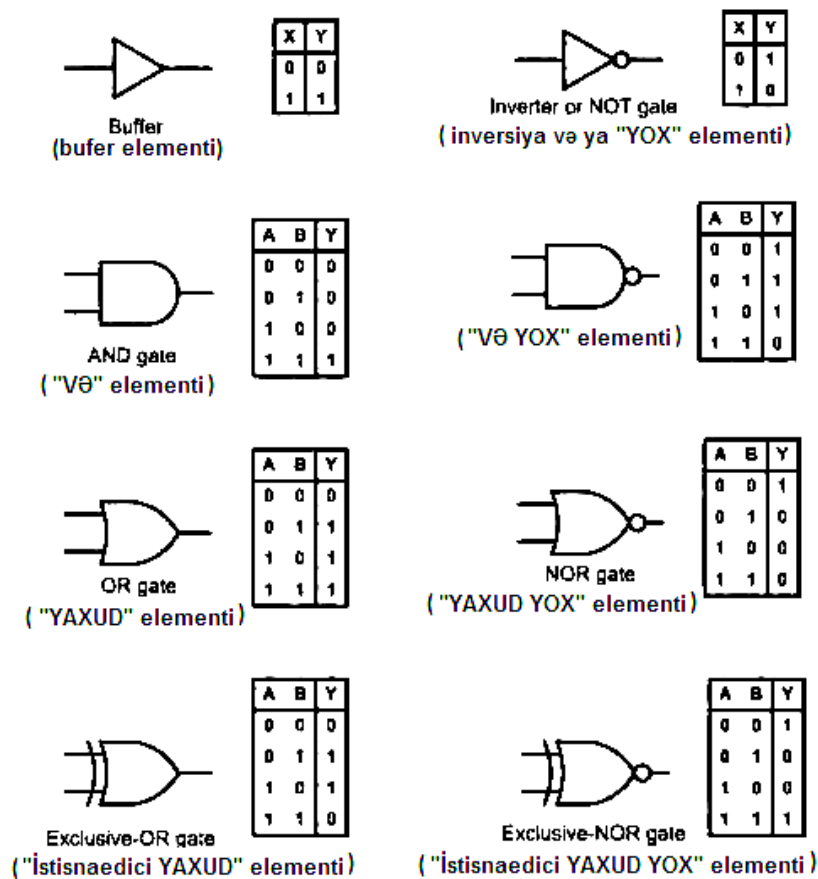
- tranzistor-tranzistor məntiqi – bipolyar tranzistorların və məntiq elementinin girişində çoxemitterli tranzistorun tətbiq olunduğu TTM-texnologiya. Bu, daha çox sınaq edilmiş, və geniş istifadə olunan texnologiya olub orta cəldliyə malik olan yüksək etibarlı mikrosxemlər almağa imkan verir.

- Şottki keçidli tranzistor-tranzistor məntiqi – TTMS texnologiya, TTM – texnologiyanın təkmilləşmiş variantıdır. Onlarda ya Şottki diodları, və ya tranzistorları tətbiq olunur. Şottki effekti o vaxt alınır ki, p-n-keçidin daxili

strukturasına, tranzistorun bazasındakı qeyri-əsas yükdaşıyıcıların sorulmasını onun dəyişməsi zamanı sürətləndirməyə və mikrosxemin cəldliyini artırmağa imkan verən nazik metal təbəqə daxil edirlər.

- Emitter əlaqəli məntiq – EƏM-texnologiyası əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, bipolyar tranzistorların rejimləri elə seçilib ki, onlar açıq vəziyyətə keçdikdə bazanın qeyri-əsas yükdaşıyıcıları ilə doyması baş vermir və nəticədə tranzistor bağlandıqda az miqdarda olan qeyri-əsas yüklər tez sorulurlar. Nəticədə EƏM-texnologiya əsasında ən yüksəksürətli mikrosxemlər alınır, lakin bu İMS-lərin enerji tələbatı digərlərində olduğundan xeyli çoxdur.

- MOY(Metal – oksid – yarımkəçirici) –texnologiyada mikrosxem sahə tranzistorlarından formalaşır. MOY – mikrosxemlər iki növ olurlar: n-MOY və p-MOY tipli. n və p simvolları sahə tranzistorlarının elektrik keçiriciliyi kanallarının uyğun olaraq elektron və deşik tipli olduğunu göstərir. MOY mikrosxemlər çox kiçik enerji tələbatına malikdirlər, lakin sahə tranzistorların xassəsi ilə əlaqədar olaraq yuxarıda baxılmış mikrosxemlərlə müqayisədə sürəti aşağıdır.



Şək. 8

- komplementar MOY-texnologiyada – KMOY-texnologiyasında mikrosxemlərin hər bir məntiq elementi biri-birini tamamlayan (komplimentar)

sahə tranzistorlarından, yəni əks tipli (n-MOY və p-MOY) keçiriciliyə malik olan tranzistorlardan təşkil olunmuşdur. Bu tranzistorların rəzələri (zatvorları) biri-biri ilə elektriki birləşmişdir və məntiq elementinin girişini yaradırlar. Belə olan halda hansı məntiq siqnalın - “0” və ya “1”-in elementin girişində olmasından asılı olmayaraq, uyğun tranzistorlardan biri açıq, digəri isə bağlı vəziyyətdə olacaq. Tranzistorlar cütündən biri həmişə bağlı olduğundan, bu tranzistorların dövrəsindən cərəyan axmayacaq. Deməli, KMOY mikrosxemlərində cərəyan tələbatı, yalnız tranzistorlar bir vəziyyətdən o birinə keçdiyi zaman, yəni onların halı bağlıdan açığa, və əksinə dəyişdikdə baş verir.

2.5.2. Geniş yayılmış məntiq mikrosxemlərinin seriyaları və onların İTX-ları. Məntiq mikrosxemləri yaddaş elementləri olmayan kombinasiya tipli funksional qovşaqlardır. Bu o deməkdir ki, məntiq mikrosxeminin (elementinin) halı giriş siqnalı daxil olana qədər mikrosxemin olduğu məntiq halından asılı olmayıb, hal-hazırda mikrosxemin girişindəki siqnalların kombinasiyasından asılıdır.

Məntiq mikrosxemlərinin ən geniş tətbiq olunan növləri baza məntiq elementlərindən: “YOX”, “VƏ”, “YAXUD”, “VƏ –YOX” və “YAXUD-YOX” elementlərindən təşkil olunmuş mikrosxemlərdir.

YOX əməliyyatını yerinə yetirən mikrosxemlər bir girişə və bir çıxışa malik olan məntiqi inversiya (inkar) elementlərindən ibarətdir. Məntiqi “YOX” elementinin girişinə məntiqi “1” verildikdə, çıxışında “0”, girişinə “0” verildikdə isə çıxışında “1” olacaq. Beləliklə, girişdəki rəqəm siqnalı əksinə olana çevrilir. Sənayedə buraxılan məntiqi “YOX” mikrosxemlərinin bir korpusunda adətən altı “YOX” məntiqi yerləşdirilir.

VƏ - məntiqi vurma mikrosxemləri iki və ya daha çox girişə və bir çıxışa malik olan məntiq elementlərindən təşkil olunur. Məntiq elementlərinin girişlərinin sayından asılı olaraq, mikrosxemlərinin bir korpusunda yerləşən elementlərin sayı 1, 2, 3 və 4 ola bilər.

YAXUD - məntiqi toplama əməliyyatını yerinə yetirən mikrosxemlər də iki və ya daha çox girişə və bir çıxışa malik olan məntiq elementlərindən təşkil olunur. Eynilə bu mikrosxemlərin də bir korpusunda yerləşən elementlərin sayı 1, 2, 3 və 4 ola bilər.

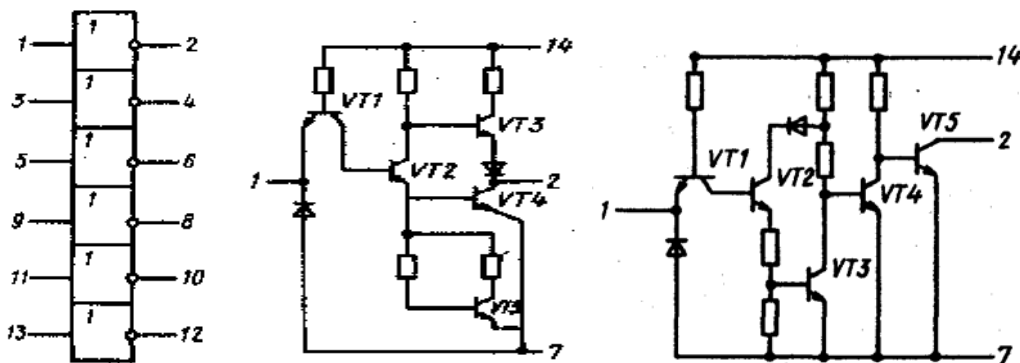
“VƏ-YOX” mikrosxemləri məntiqi vurma və sonra inversləmə əməliyyatını, “YAXUD-YOX” mikrosxemləri isə məntiqi toplama və sonra inversləmə əməliyyatını yerinə yetirən bir çıxışlı məntiq elementlərindən təşkil olunub, girişlərinin sayından asılı olaraq bir korpusunda yerləşən elementlərin sayı 1, 2, 3 və 4 ola bilər.

“VƏ”, “YAXUD”, “VƏ –YOX” və “YAXUD-YOX” mikrosxemlərindən 3 və 4 məntiq elementinə malik olanları daha geniş istifadə olunur.

Kütləvi istehsal olunan bir sıra mikrosxemlərin misalında müxtəlif markalı məntiq mikrosxemlərinin əsas parametrlərini nəzərdən keçirək.

Ən geniş yayılmış TTMSŞ-məntiqli K555(KM555) seriyalı mikrosxemlərin TTM – məntiqli K155 (KM155) seriyalı mikrosxemlərin analoqu olduğunu nəzərə alaraq bu seriyadan olan mikrosxemlərin, həmçinin, az enerji tələbatına və digər müsbət cəhətlərinə görə geniş tətbiq tapan KMOY-məntiqli K176, yaxud K561 seriyalı mikrosxemlərin parametrlərini müqayisəli şəkildə nəzərdən keçirək.

YOX məntiqi mikrosxemləri. K155 (TTM - strukturlu) və onların analoqu olan K555 (TTMSŞ - strukturlu) seriyalı mikrosxemlərinin əsasında məntiq mikrosxemlərinin xüsusiyyətlərini və sxemotexnikasını nəzərdən keçirək. Bu seriyaların K155JH1 (KM155JH1) və K555JH1 (KM555JH1) mikrosxemləri bir korpusda yerləşdirilmiş altı ədəd biri-birindən asılı olmayaraq işləyən, vahid qidalanma dövrələri olan məntiqi YOX elementlərindən ibarətdir. Bu məntiq elementlərinin qidalanma şinləri (dövrələri) mikrosxemin 14 və 7 çıxışlarına birləşdirilmişdir. Bu çıxışlara uyğun olaraq qida gərginliyinin “+” və “-“ qütbləri qoyulur (şək.9).



Şək 9. K555JH1 (KM555JH1) tipli “YOX” məntiqi mikrosxemləri

Hər məntiq elementinin bir girişi və budaqlanma əmsalı 10, yəni eyni vaxtda bu seriyadan olan 10-a qədər mikrosxemin girişinin yüklənməsini təmin edə bilən bir çıxışı var. K155JH1 tipli mikrosxemlər plastik kütləli (plastmas), KM155JH1 tiplilər isə metalkeramik korpuslarda buraxılırlar.

K561 seriyalı mikrosxemlər içərisində analogi konstruktiv tərtibata malik olan məntiqi YOX mikrosxemləri K561JH2 tipli mikrosxemlər olub plastik kütləli (plastmas) korpusda hazırlanırlar.

Qeyd olunan mikrosxemlərin 1,3,5,9,11 və 13 çıxışları məntiq elementlərin girişləri, 2,4,6,8,10 və 12 isə bu məntiq elementlərinin çıxışlarıdır.

JH2 tipli məntiqi YOX mikrosxemləri JH1 tipli mikrosxemlərdən açıq kollektorlu çıxış tranzistorlu olmaları ilə fərqlənirlər.

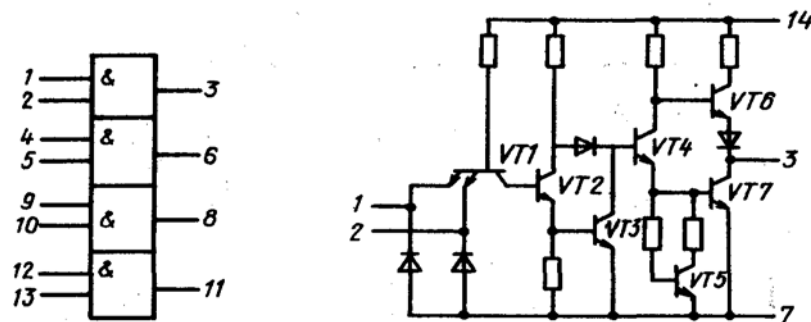
Bir sıra YOY məntiq elementlərinin müqayisəli parametrləri cədvəl 11-də verilmişdir.

Cədvəl 11. YOY məntiqi mikrosxemlərinin parametrləri və istismar verilənləri

№	Parametrin adı	K155ЛН1(KM155ЛН1)	K55ЛН1(KM55ЛН1)	K561 ЛН2
1	$I_{\text{təl.}}^0$, mA	≤ 33	$\leq 6,6$	$\leq 2,0\text{mkA}$
2	$I_{\text{təl.}}^1$, mA	≤ 12	$\leq 2,4$	$\leq 2,0\text{mkA}$
3	$I_{\text{gir.}}^0$, mA	$\leq 1,6$	$\leq 0,36$	$\leq 0,3\text{mkA}$
4	$I_{\text{gir.}}^1$, mA	$\leq 0,04$	$\leq 0,02$	$\leq 0,3\text{mkA}$
5	$U_{\text{çix.}}^0$, V	$\leq 0,4$	$\leq 0,5$	$\leq 0,01$
6	$U_{\text{çix.}}^1$, V	$\geq 2,4$	$\geq 2,7$	$\geq 9,99$
7	$t_{\text{ləng.orta.}}$, ns	≤ 19	≤ 30	≤ 120
8	U_{qida}	$5V \pm 10\%$	$5V \pm 5\%$	10 (int. - 3÷15)
9	$T_{\text{ətr.}}$	$-10 \div 70^\circ\text{C}$ ($-45 \div 85^\circ\text{C}$)	$-10 \div 70^\circ\text{C}$ ($-45 \div 85^\circ\text{C}$)	$-45 \div 85^\circ\text{C}$

VƏ məntiq mikrosxemləri. K155ЛН1(KM155ЛН1) və K55ЛН1 (KM55ЛН1) tipli TTM və TTMS strukturlu VƏ məntiq mikrosxemlərinin misalında VƏ məntiq mikrosxemlərinin xüsusiyyətlərini nəzərdən keçirək. Bu mikrosxemlərin markasında əlavə olunan M hərfi bu mikrosxemlərdə modernləşdirilmiş korpusun istifadə olunduğunu bildirir.

Bu mikrosxemlər VƏ məntiqi funksiyasını yerinə yetirən, bir korpusda yerləşmiş, biri-birindən asılı olmayaraq işləyən, vahid qidalanma dövrələrinə malik olan, korpusunun 14-cü çıxışı qida mənbəyinin “+”, 7-ci çıxışı isə “-“ qütbünə qoşulan, dörd iki girişli VƏ məntiq elementlərindən ibarətdir (şək.10).



Şək.10. K55ЛН1 (KM55ЛН1) tipli “VƏ” məntiq mikrosxemləri

Mikrosxemin giriş və çıxışlarının şərti qrafiki işarələnmədə və elektrik sxemində verilən nömrəsi onun korpusundakı çıxışlarının nömrələrinə uyğundur. VƏ məntiqi mikrosxemlərinin parametrləri aşağıdakı cədvəl 12-də verilmişdir.

Cədvəl 12. VƏ məntiqi mikrosxemlərinin parametrləri və istismar verilənləri

№	Parametrin adı	K155ЛИ1(КМ155ЛИ1)	K55ЛИ1(КМ55ЛИ1)	КР1561ЛИ2
1	$I_{\text{təl.}}^0$, mA	≤ 33	$\leq 8,8$	$\leq 150\text{mkA}$
2	$I_{\text{təl.}}^1$, mA	≤ 22	$\leq 4,4$	$\leq 150\text{mkA}$
3	$I_{\text{gir.}}^0$, mA	$\leq 1,6$	$\leq 0,36$	$\leq 1\text{mkA}$
4	$I_{\text{gir.}}^1$, mA	$\leq 0,04$	$\leq 0,02$	$\leq 1\text{mkA}$
5	$U_{\text{çix.}}^0$, V	$\leq 0,4$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
6	$U_{\text{çix.}}^1$, V	$\geq 2,4$	$\geq 2,7$	$\geq 9,5$
7	$t_{\text{ləng.orta.}}$, ns	≤ 16	$\leq 9,5$	≤ 320
8	$U_{\text{qida.}}$, V	$5V \pm 10\%$	$5V \pm 5\%$	10(diap.3÷15)
9	$T_{\text{ətr.}}$	$-10 \div 70^\circ\text{C} (-45 \div 85^\circ\text{C})$	$-10 \div 70^\circ\text{C} (-45 \div 85^\circ\text{C})$	$-45 \div 85^\circ\text{C}$

K155ЛИ2(КМ155ЛИ2) və K55ЛИ2(КМ55ЛИ2) mikrosxemləri uyğun seriyanın ЛИ1 mikrosxemlərinin analoqu olub, parametrlərinin nisbətən yaxşı olması ilə fərqlənir.

K155ЛИ3(КМ155ЛИ3) və K55ЛИ3(КМ55ЛИ3) mikrosxemləri, onların analoqları K155ЛИ4(КМ155ЛИ4) və K55ЛИ4(КМ55ЛИ4) 3 girişli üç ədəd “VƏ” məntiq elementlərindən ibarət olan mikrosxemlərdir.

K155 ЛИ5 tipli məntiq mikrosxemi iki ədəd 2 girişli, açıq kollektorlu çıxışı olan məntiqi “VƏ” elementlərindən ibarət olan mikrosxemdir.

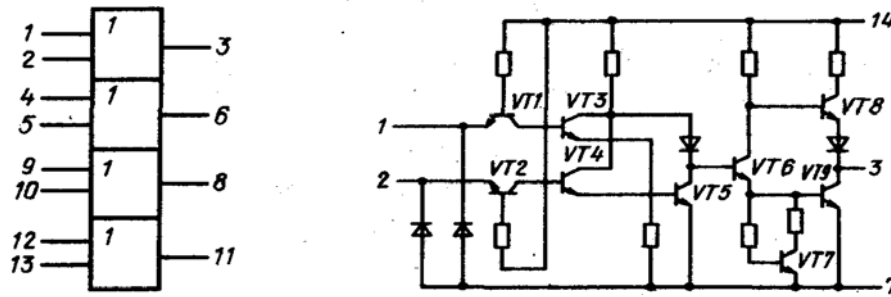
K555ЛИ6 tipli mikrosxem isə 4 girişli 2 ədəd məntiqi “VƏ” elementlərindən ibarətdir.

K1533 mikrosxemləri K555 seriyasının analoqu olub, parametrlərinin nisbətən yaxşı olması ilə fərqlənir və polimer korpuslarda hazırlanırlar.

K155ЛЛ1(КМ155ЛЛ1) və K55ЛЛ1(КМ55ЛЛ1) mikrosxemləri dörd ədəd 2 girişli YAXUD məntiqi elementlərindən ibarət olub, onların istismar-texniki parametrləri həmin seriyaların ЛИ1 tipli mikrosxemlərində olduğu kimidir.

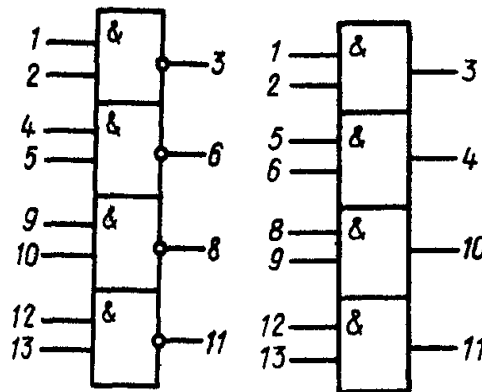
КМОУ-strukturлу K176 və K561 seriyalı YAXUD məntiq mikrosxemlərinin parametrləri həmin seriyanın VƏ məntiq mikrosxemlərinin parametrləri ilə eyni həddə olur.

Şəkil 11-də K155ЛЛ1(КМ155ЛЛ1) mikrosxeminin şərti qrafiki işarələnməsi və çıxışlarının təyinatı və YAXUD elementinin prinsipial sxemi verilmişdir.



Şək.11. K155JL11(KM155JL11) markalı YAXUD elementləri

K155 və K555 seriyalı mikrosxemlər içərisində K155JA1(K555 JA1) dörd girişli iki ədəd VƏ-YOX, K155JA2(K555 JA2) səkkiz girişli bir ədəd VƏ-YOX, K155JA3(K555 JA3) iki girişli dörd ədəd VƏ-YOX və s. tipli mikrosxemlər, onların modernləşdirilmiş yeni variantları mövcuddur. Bu mikrosxemlər içərisində dörd ədəd 2 girişli VƏ-YOX elementlərindən ibarət olan K155JA3 (K555 JA3) və bu mikrosxemlərin KMOY – strukturlu analoqu olan K176JA7(K561 JA7) markalı məntiq mikrosxemləri daha geniş istifadə olunurlar (şək.12). Bu mikrosxemlərin parametrləri cədvəl 13-də verilmişdir.



Şək.12. K155JA3(K555 JA3) tipli “VƏ-YOX” məntiqi mikrosxemləri

TTM və TTMSŞ strukturlu mikrosxemlər içərisində 2 girişli dörd ədəd YAXUD-YOX elementlərindən təşkil olunmuş K155JE1 və K555JE1, KMOY – strukturlu mikrosxem seriyalarında isə K176JE5 və K561JE5 tipli mikrosxemlər, və onların modernləşdirilmiş yeni variantları daha geniş tətbiq tapmışdır. Eyni zamanda bu seriyalarda 3 girişli, 4 girişli və s. YAXUD-YOX elementləri olan məntiq mikrosxemləri də mövcuddur.

Cədvəl 13. VƏ-YOX məntiqi mikrosxemlərinin parametrləri və istismar verilənləri

№	Parametrin adı	K155JIA3 (KM155JIA3)	K555JIA3 (KM555JIA3)	K176JIA7 (K561JIA7)
1	$I_{\text{təl.}}^0$, mA	≤ 22	$\leq 4,4$	$\leq 0,3\text{mkA}$
2	$I_{\text{təl.}}^1$, mA	≤ 8	$\leq 1,6$	$\leq 0,3\text{mkA}$
3	$I_{\text{gir.}}^0$, mA	$\leq 1,6$	$\leq 0,36$	$\leq 0,1\text{mkA}$
4	$I_{\text{gir.}}^1$, mA	$\leq 0,04$	$\leq 0,02$	$\leq 0,1\text{mkA}$
5	$U_{\text{çix.}}^0$, V	$\leq 0,4$	$\leq 0,5$	$\leq 0,3$
6	$U_{\text{çix.}}^1$, V	$\geq 2,4$	$\geq 2,7$	$\geq 8,2$
7	$t_{\text{əng.orta.}}$, ns	≤ 18	≤ 20	≤ 200
8	U_{qida} , V	$5V \pm 10\%$	$5V \pm 5\%$	9 (diap.3÷18)
9	$T_{\text{ətr.}}$	$-10 \div 70^\circ\text{C}$ $(-45 \div 85^\circ\text{C})$	$-10 \div 70^\circ\text{C}$ $(-45 \div 85^\circ\text{C})$	$-10 \div 70^\circ\text{C}$ $(-45 \div 85^\circ\text{C})$

Geniş yayılmış mikrosxemlərin nümunələrinin fotogörünüşü aşağıdakı şəkil 13-də verilmişdir.



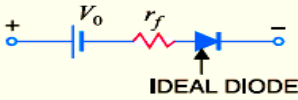
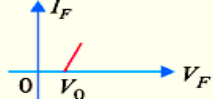

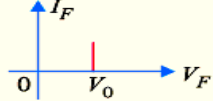
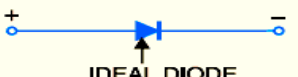
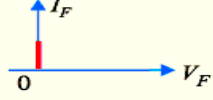
Şək.13.

Əlavə 3. Yarımkəçirici elektron cihazlarının parametrlərinin və qoşulma sxemlərinin təhlili və hesablanması üçün misallar

3.1. Yarımkəçirici diodların qoşulma sxemləri və parametrləri

Verilmiş sxemlərdə diodların qoşulma sxemini və iş rejimlərini nəzərə alaraq, sxemlərdə əsas işçi elektrik parametrlərini hesablayaraq, həm aşağı, həm də yüksək tezlik diapazonları üçün sxemlərin iş rejimlərini təmin edən diodları seçin.

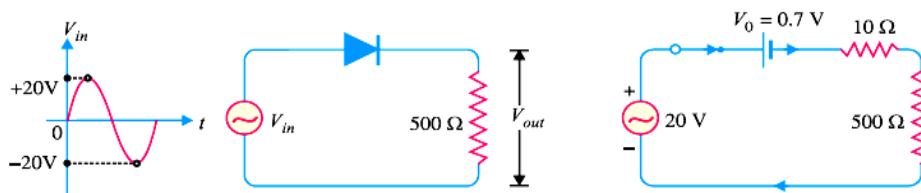
Aşağıdakı şəkildə diodun praktiki, sadələşdirilmiş və ideal modelləri verilmişdir (şək.3.1.). Bir sıra sxemlərdə, dövrədəki gərginlik çox böyük, onlarla və yüzlərlə volt olduqda, elektrik hesabını apararkən diodda düz istiqamətdə gərginlik düşküsünü nəzərə almamaq olar. Ancaq dövrlərə tətbiq olunan gərginlik az olduqda az və orta güclü Ge diodlar üçün $U_d \approx 0,3V$, Si diodlar üçün $U_d \approx 0,7V$, GaAs əsaslı işıqdiodları üçün $U_d \approx 2,0V$ olduğunu nəzərə almaq lazımdır.

Praktiki model		
Sadələşdirilmiş model		
İdeal model		

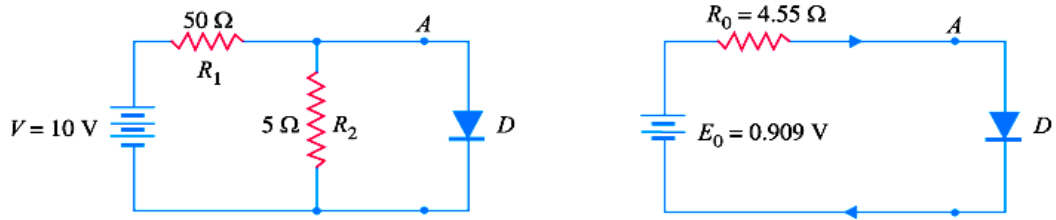
Şək.3.1. Diodun praktiki, sadələşdirilmiş və ideal modelləri

Qeyd olunanları nəzərə almaqla verilmiş sxemlərin təhlilini apararaq, elektrik hesabını yerinə yetirməklə sxemlərin elementlərini seçin.

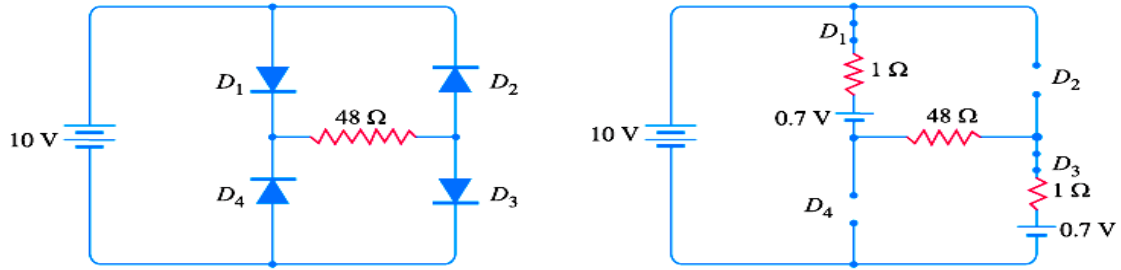
3.2 – 3.9 şəkillərində düzləndirici, impuls və universal diodların müxtəlif qurğularda qoşulma sxemləri və işçi rejimləri göstərilmişdir.



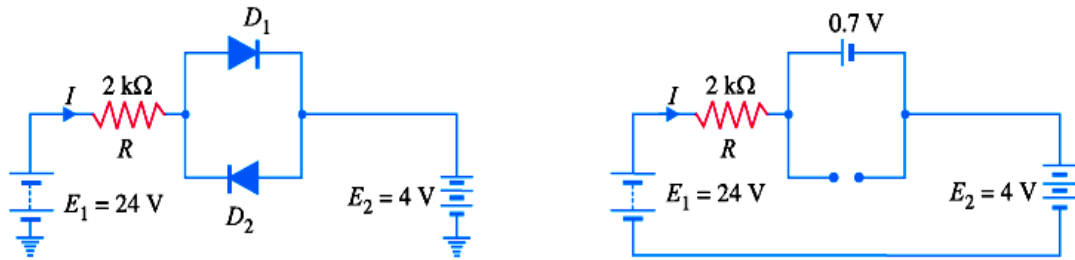
Şək. 3.2. Düzləndirici diodun yarımpəriodlu düzləndirici qurğusunda qoşulması sxemi.



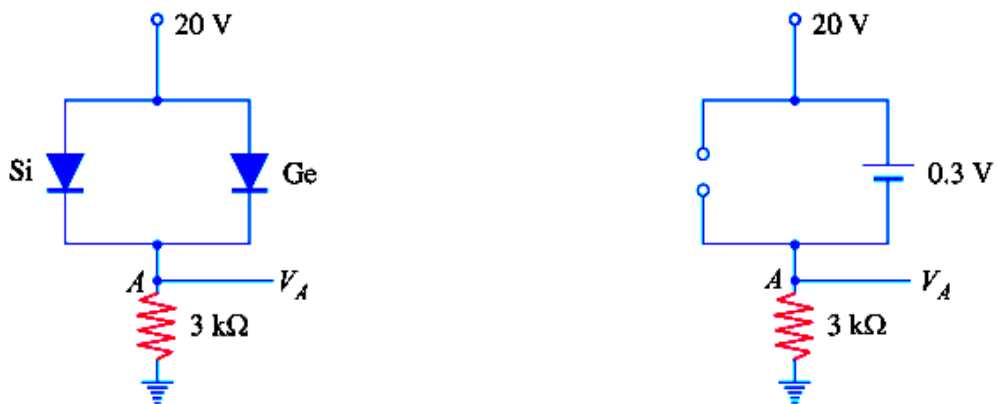
Şək. 3.3. Sabit cərəyan dövrlərində diodun qoşulması və qütblərin səhv qoşulmasının qarşısını almaq sxemi.



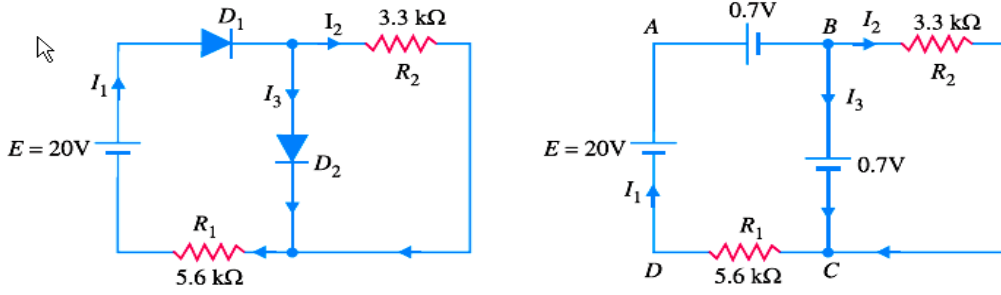
Şək. 3.4. Körpü sxemində diodların qoşulma sxemi və verilmiş parametrlı elementlər üçün əvəzetmə sxemi



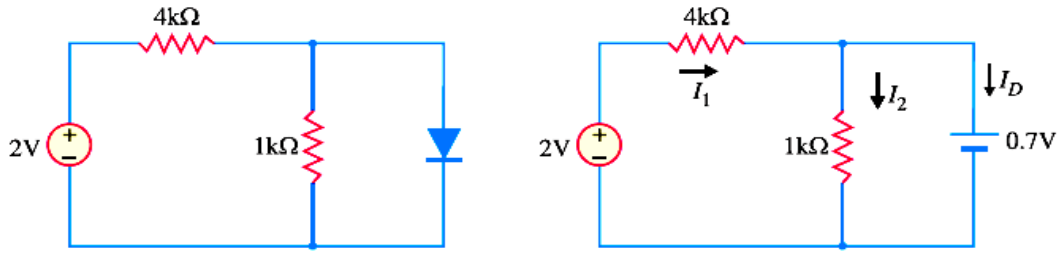
Şək. 3.5. Diodların biri-birinə əks paralel qoşulma sxemi və bir qütblü gərginlik dövrəsi üçün iş rejimləri və parametrləri.



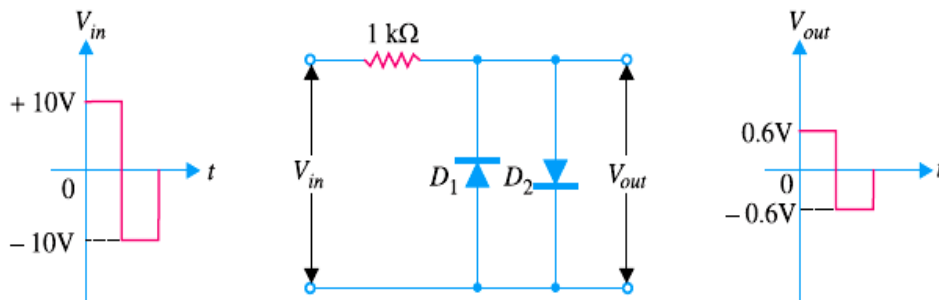
Şək. 3.6. Müxtəlif materialdan hazırlanmış diodların eyni istiqamətdə paralel qoşulma sxemi və bir qütblü gərginlik dövrəsi üçün iş rejimləri və parametrləri.



Şək. 3.7. Diodlu sxemlərdə cərəyanların və gərginliklərin paylanması

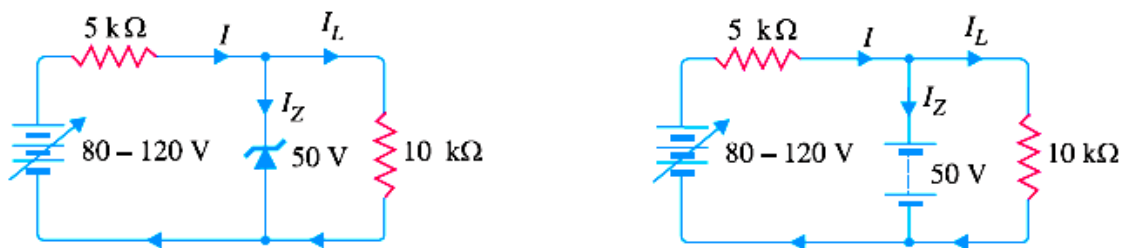


Şək. 3.8. Dioda parallel qoşulan aktiv yükün elektrik parametrlərinin təyini sxemi

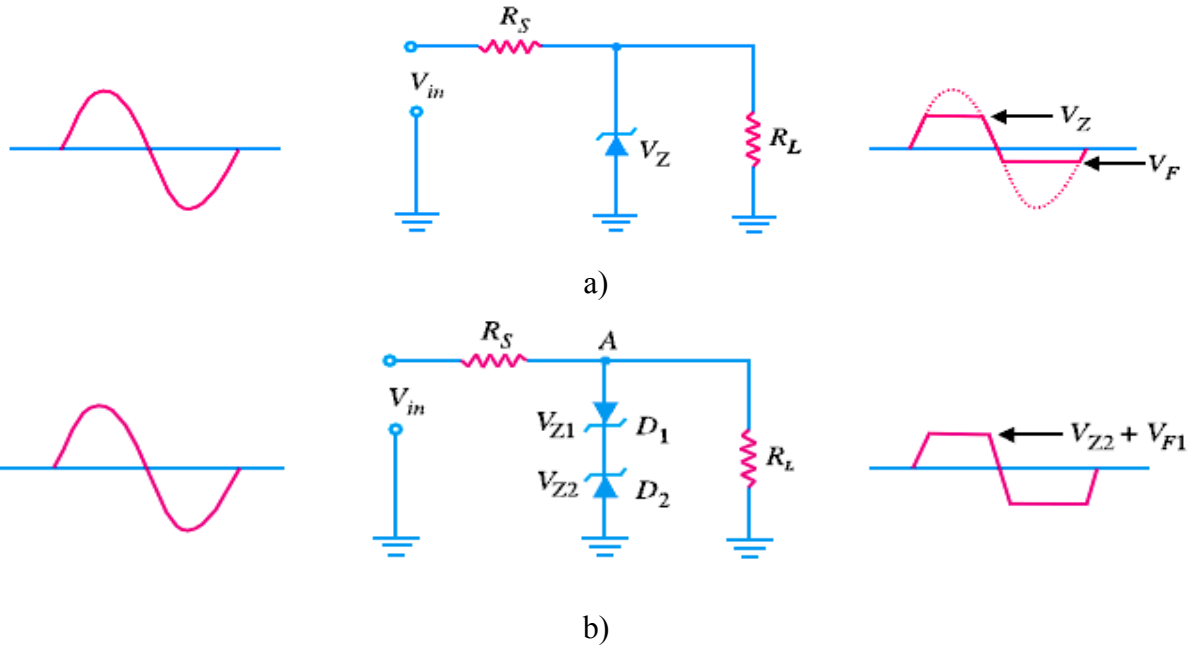


Şək. 3.9. Diodların impulsu amplituduna görə məhdudlayıcı qurğuda qoşulması

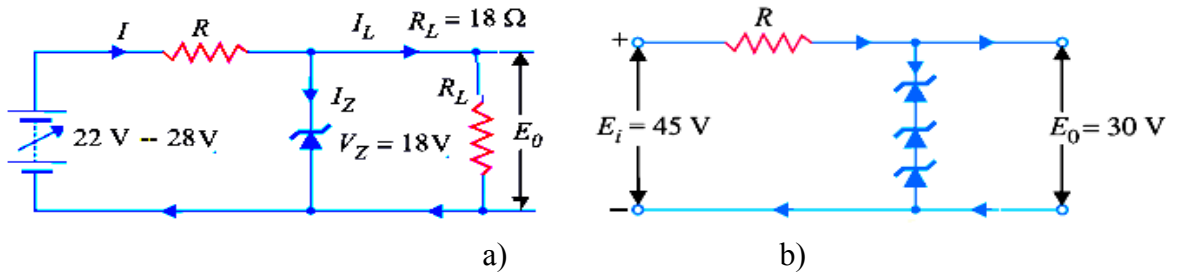
3.10 – 3.13 şəkillərində stabiltron əsaslı stabilləşdirmə dövrləri, bu sxemlərdə stabiltronların iş rejimləri verilmişdir. Verilmiş sxemlərdə elektrik hesabatı apararaq, tələbləri ödəyən elementləri seçin:



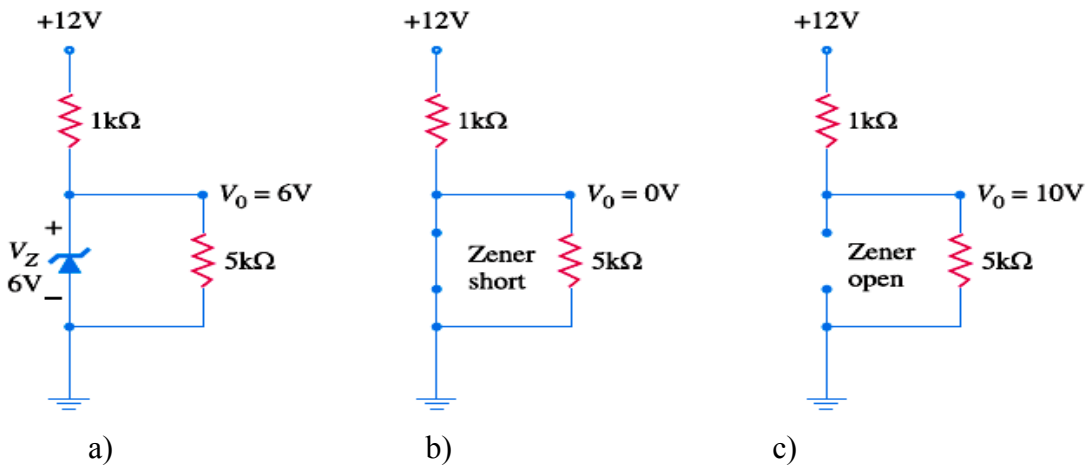
Şək. 3.10. Stabiltron əsasında parametrik stabilizator sxemi və onun işçi parametrlərinin seçilməsi



Şək. 3.11. Stabilizatorların sinusoidal gərginlikdən sabit gərginlik (a) və impuls gərginliyi formalaşdırın qurğularda qoşulma sxemi və onların işçi parametrlərinin seçilməsi

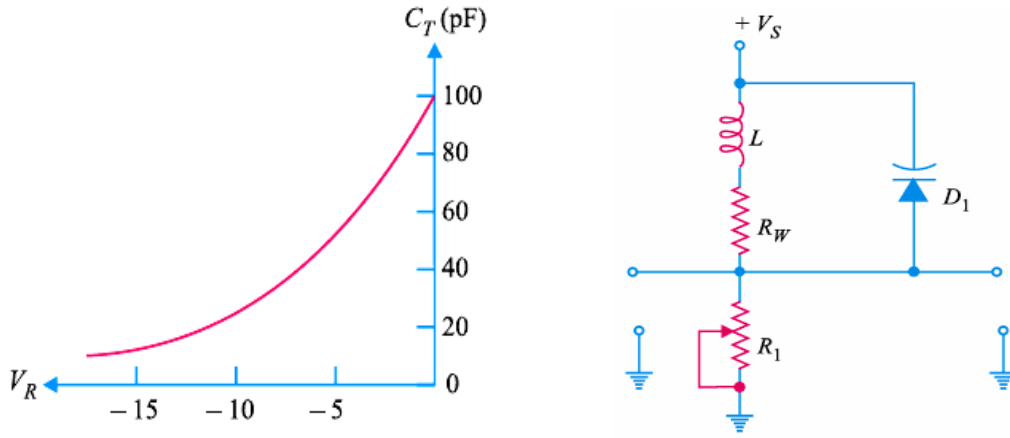


Şək. 3.12. Stabilizatorların qoşulma sxemləri və verilmiş parametrlə stabilizasiya dövrələri



Şək. 3.13. Stabilizatorun stabilizasiya sxemlərində mümkün olan rejimləri

Şəkil 3.14-də varikap əsasında qurulmuş rəqs dövrəsinin və onun köklənmə sxemi verilmişdir. Volt-farad xarakteristikası verilmiş (a) varikapı seçərək, müxtəlif tezliklər üçün rəqs dövrəsini hesablayın.

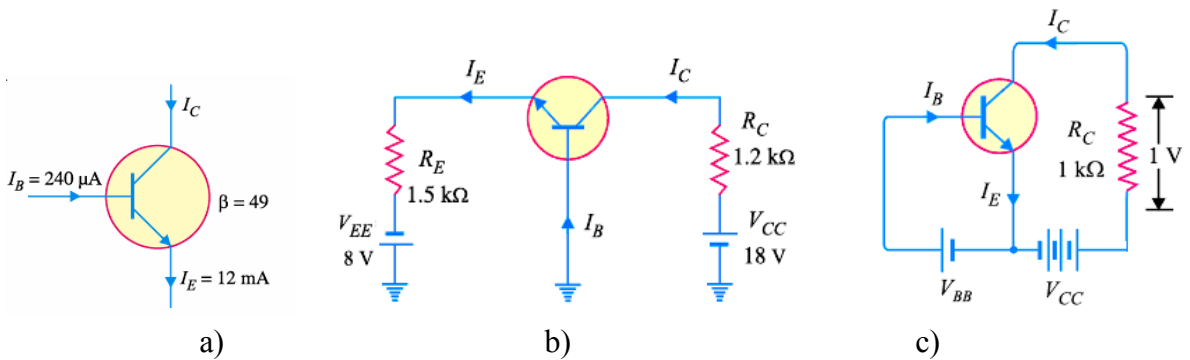


Şək. 3.14

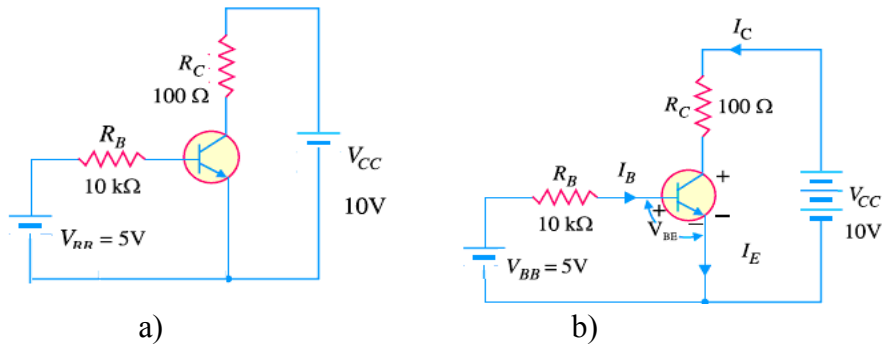
3.2. Tranzistorların qoşulma sxemləri və parametrləri

Verilmiş sxemlərdə tranzistorların qoşulma sxemlərini və iş rejimlərini nəzərə alaraq, sxemlərdə əsas işçi elektrik parametrlərini hesablayaraq, həm aşağı, həm də yüksək tezlik diapazonları üçün sxemlərin iş rejimlərini təmin edən tranzistorları seçin.

Şəkil 3.13-də və 3.14-də verilmiş sxemlər üçün $\beta=100$ və $\beta=200$ olduqda elektrik parametrlərini və tranzistorun iş rejimini təyin edin, eyni zamanda sxem üçün aşağı, həm də yüksək tezlik diapazonu üçün uyğun tranzistor seçin:

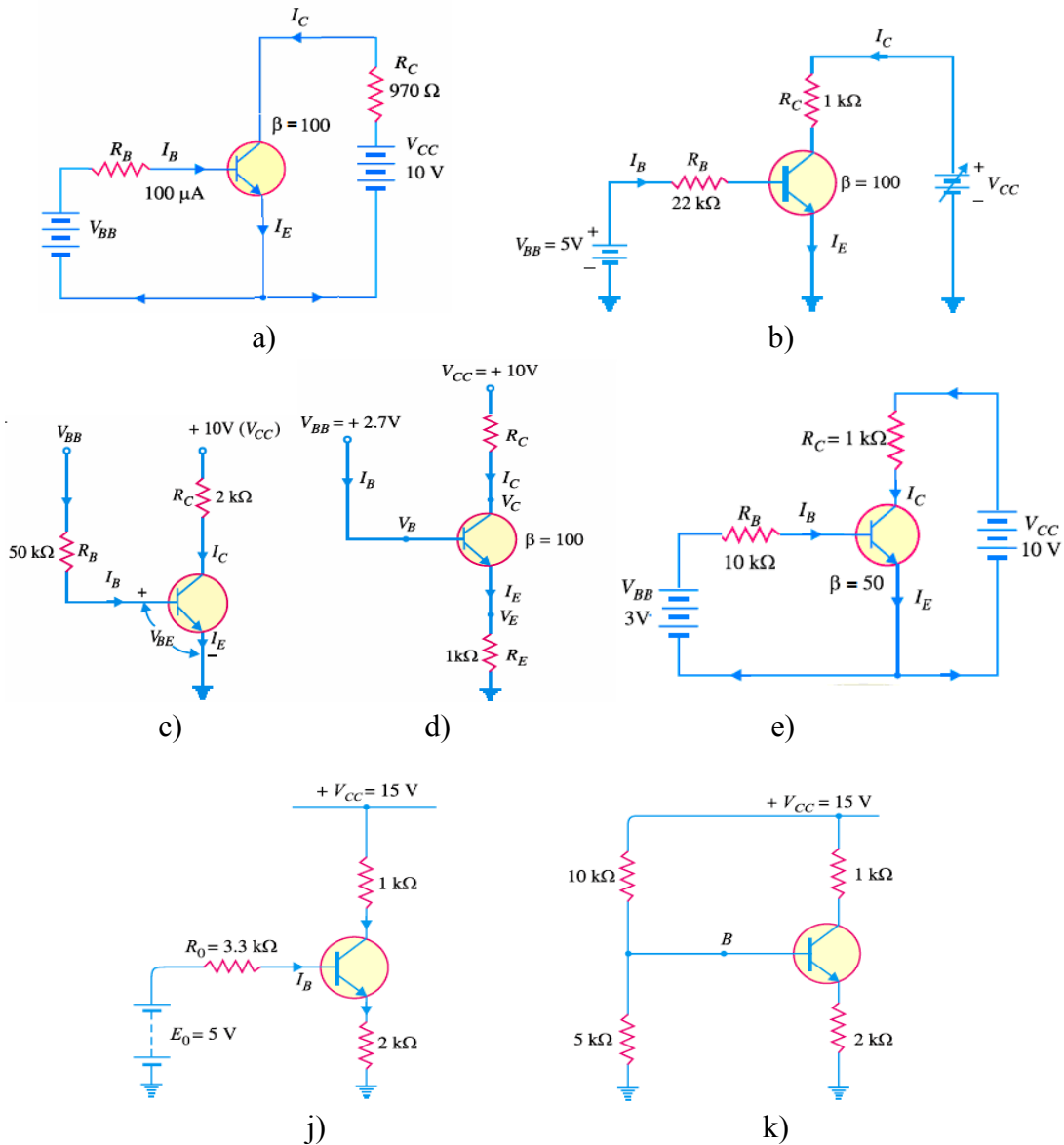


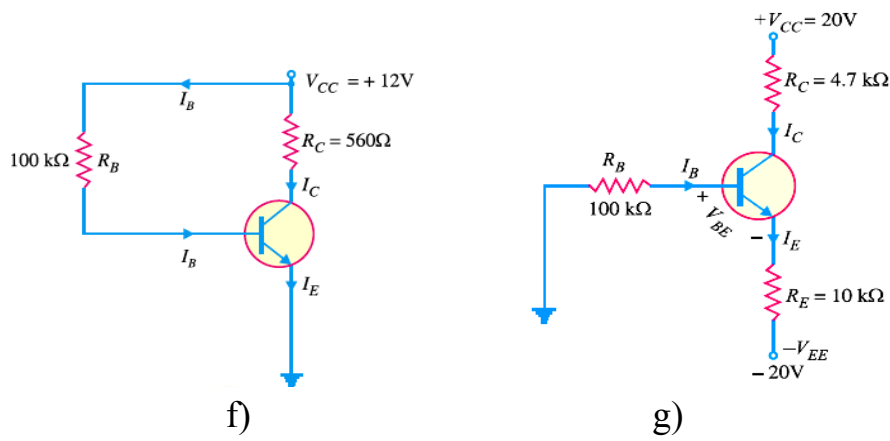
Şək. 3.13. n-p-n- tip bipolyar transistor (a), onun ümumi bazalı (b) və ümumi emitterli (c) sxem üzrə qoşulmuş sxemləri



Şək. 3.14. Transistorun parametrlərinin ümumi emitterli gücləndirici sxemində baza-emitter gərginliyini nəzərə alınmaqla (a) və alınmamaqla (b) hesablanması

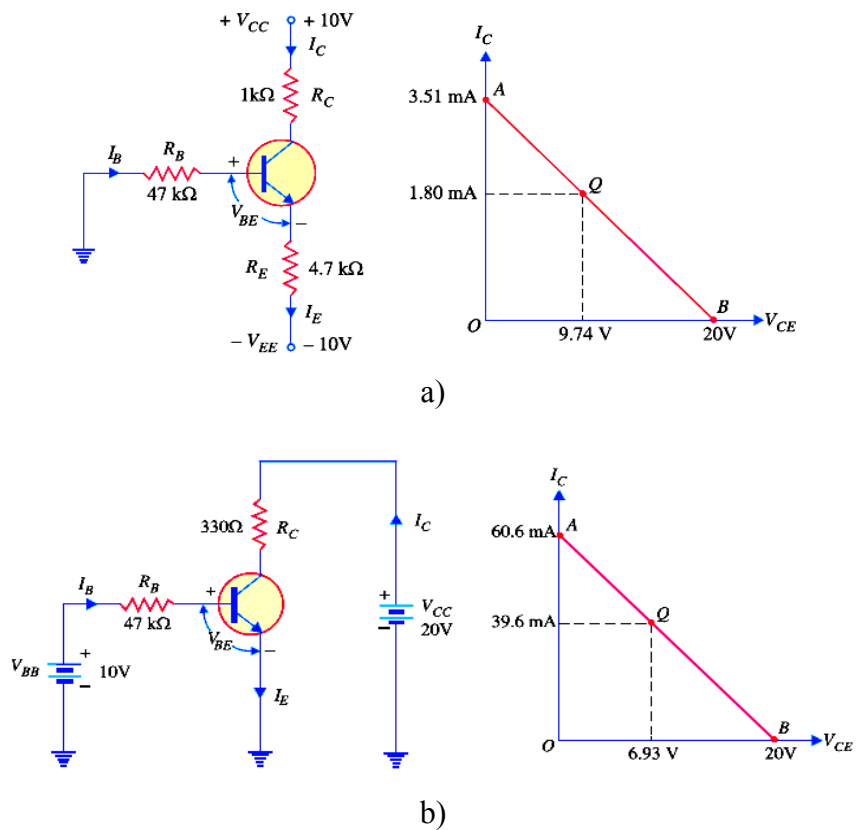
Şəkil 3.13-də və 3.14-də verilmiş sxemlər üçün $\beta=100$ və $\beta=200$ olduqda elektrik parametrlərini və tranzistorun iş rejimini təyin edin, eyni zamanda sxem üçün aşağı, həm də yüksək tezlik diapazonu üçün uyğun tranzistor seçin:





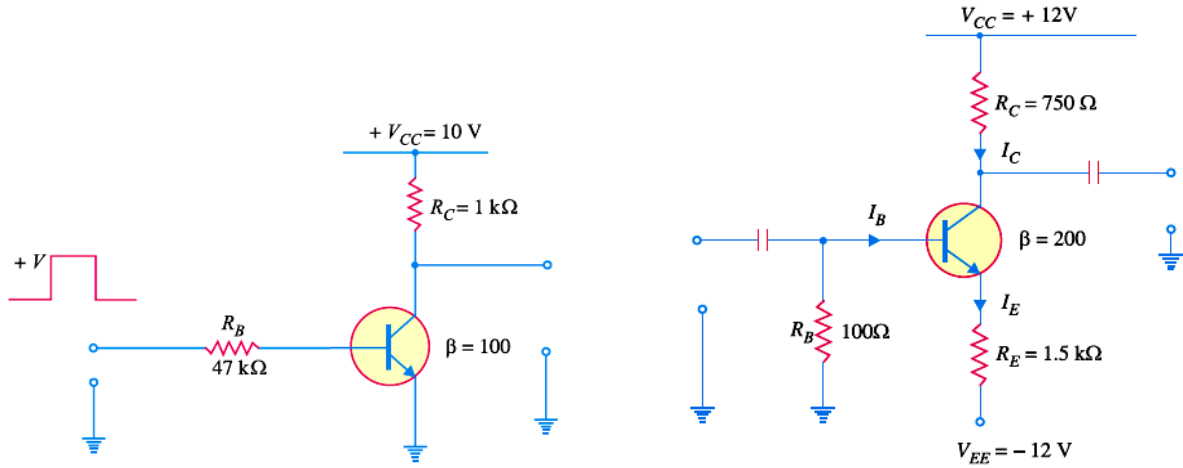
Şək. 3.15.

$\beta=100$ və tranzistorun Si əsaslı olduğunu nəzərə alaraq, şəkil 3.16-da verilmiş sxem və qrafikdə döşərilmiş parametrlərə uyğun olan elektrik parametrləri təyin edin və sxem üçün müxtəlif tezlik diapasonlarında sxemdə istifadə oluna bilən transistorları seçin:



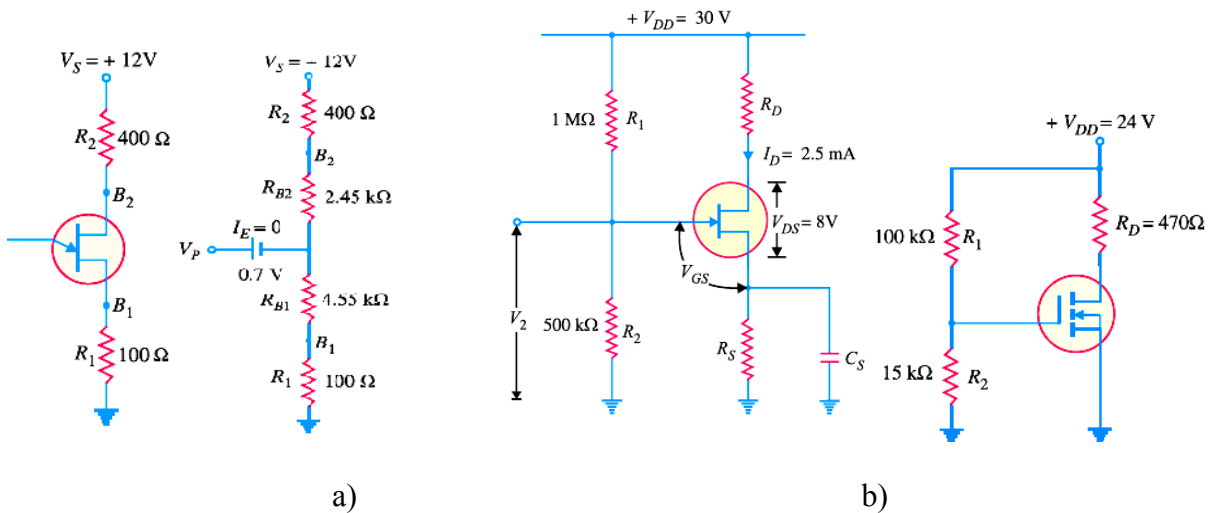
Şək. 3.16

Tranzistorun elektron açarında (a) və impuls gücləndiricisində (b) tətbiqinə nümunə şəkil 3.17- də verilmişdir. Bu sxemlərdə tranzistor dövrələrində elektrik parametrlərini təyin edin və elementləri seçin:



Şək. 3.17

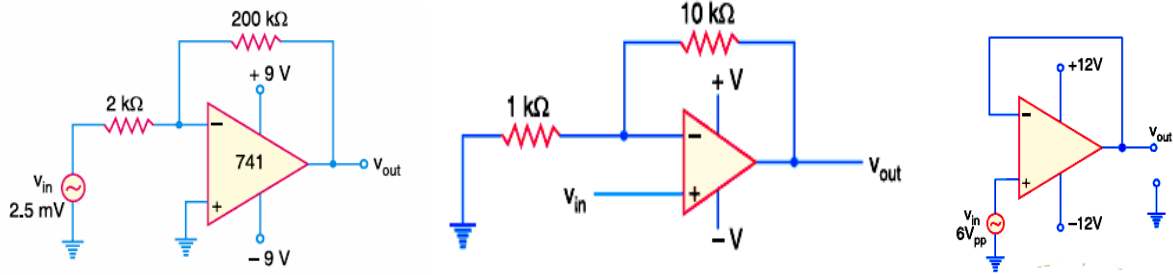
Şəkil 3.18-də birkeçidli tranzistorun qoşulma sxemi və onun əvəzləmə sxemi (a), sahə tranzistorunun gücləndirici sxemlərində praktiki tətbiq sxemləri (b) verilmişdir.



Şək.3.18. Birkeçidli tranzistorun qoşulma və onun əvəzləmə sxemi (a), sahə tranzistorları və onlar əsasında gücləndirici sxemləri (b)

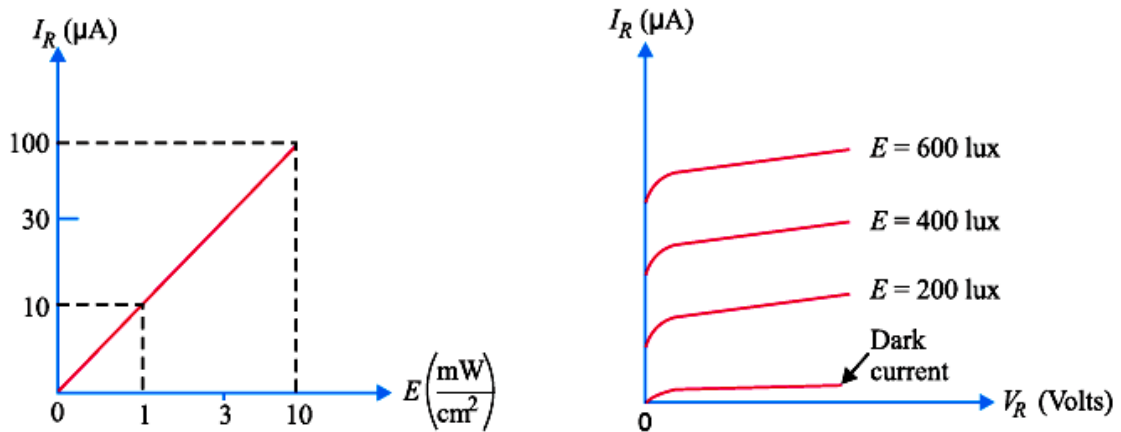
3.3. İntegral sxemlərin, optoelektron cihazların və optocütlərin qoşulma sxemləri və parametrləri

Şəkil 3.19-da əməliyyat gücləndiricilərin qoşulma sxemi və onun müxtəlif tipik qurğularda tətbiqinə nümunələr verilmişdir.

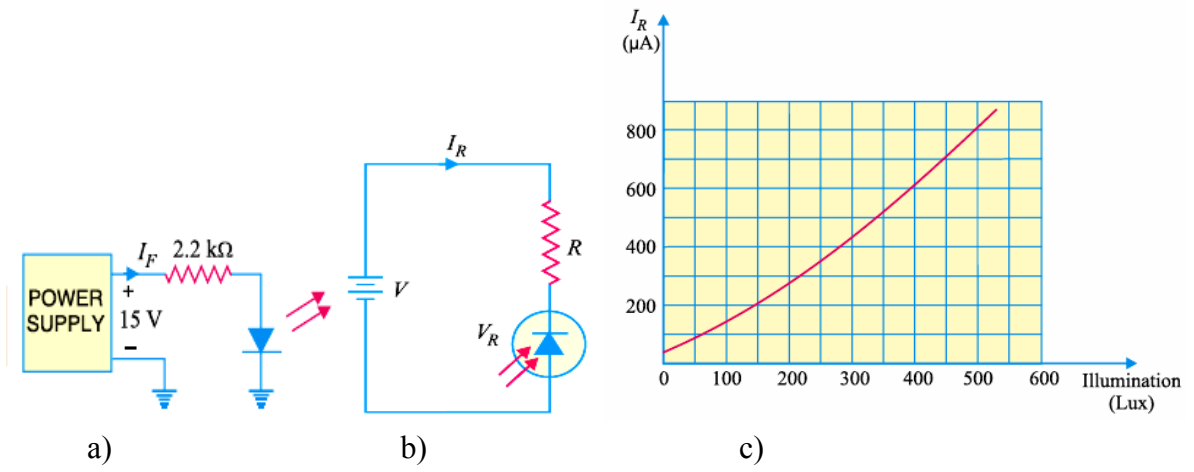


Şək.3.19. Əməliyyat gücləndiricisi və onun əsasında tipik sxemlər

Sxemlərdə istifadə olunan fotoqəbuledicilərin tipik energetik xarakteristikaları şəkil 3.20-də verilmişdir. Şüalandırıcı diodların (a), və fotodiodların praktiki qoşulma sxemləri (b) və fotodiodun real energetik xarakteristikası (c) şəkil 3.21-də göstərilmişdir. Verilmiş sxemlərə uyğun olaraq optoelektron cihazların iş rejimlərini təhlil edərək, elektrik parametrlərini təyin edin və elementləri seçin.

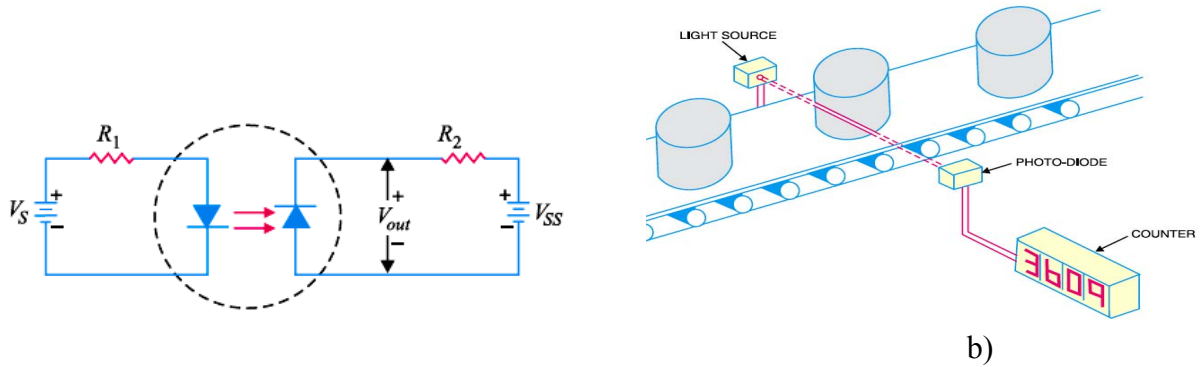


Şək.3.20



Şək.3.21

Diodlu optoelektron cütünün misalında optronların qoşulma sxemi (a) və açıq kanallı optocütlərin tətbiqinə (b) misal şəkil 3.22-də verilmişdir. Real istismar şəraitlərinə və tələblərinə uyğun olan optoelektron cihazların işçi rejimlərini hesablamaqla sxem qurun.



Şək. 3.22. Optoelektron cütünün qoşulma sxemi

XÜLASƏ

Oxuculara təqdim olunan bu dərslikdə mövcud olan elektron cihazlarının əyani təsvirlərlə müşayiət olunan, nisbətən sadə dildə və zəruri həcmdə fiziki və texniki təsviri verilmiş, geniş tətbiq olunan elektron qurğularının əsaslarına, onların işinin ətraflı izahına və sxem həllərinə xüsusi yer verilmiş və bununla da, bir tərəfdən tələbələrə vacib olan baza biliklərini vermək, digər tərəfdən mühəndis, magistr, həmçinin elmi işçilərə elektron qurğuları sahəsindəki biliklərini dərinləşdirmək və zənginləşdirmək məsələləri əsas məqsəd kimi qarşıya qoyulmuşdur. Ona görə də bu məsələlərin ən optimal həllini tapmaq heç də asanlıqla əldə olunmamışdır.

Bəzi materiallar dərslikdə tam əhatəli şəkildə verilmədiyindən bir sıra mövzuların, xüsusən tamam yeni bir sahə olan nanoelektronikanın dərinədən öyrənilməsi üçün yeni ədəbiyyatdan istifadə olunmasına böyük ehtiyac vardır. Buna baxmayaraq dərsliyin hər bir cildində yer tapmış nəzəri və praktiki materiallar elektron qurğularının əsasını təşkil edir və bu dərslikdən istifadə edən hər bir kəsə, bu sahəyə uyğun olan texniki fənləri, istənilən mürəkkəb texniki ədəbiyyatı yaxşı başa düşməyə, elektron qurğularının sxemlərini sərbəst şəkildə təhlil etməyə, onların elektrik hesabətını yerinə yetirməyə kömək edə bilər.

I cildə verilmiş elektron cihazlarının, həm II cildə, həm də III cildə verilən elektron qurğularının təsviri, eyni zamanda əlavələrdə verilmiş dolğun sorğu materialları və bu materialları tamamlayan sxem variantları elektron qurğularının sxem həllərini tərtib etmək, onların elektrik hesabətını aparmaq və praktiki realizə edilən variantını yaratmaq qabiliyyətinin formalaşdırılmasına əsaslı zəmin yaradır.

Müəlliflər kitabı hazırlayarkən cihazların fiziki əsaslarına və onların riyazi modellərinə az yer vermiş, lakin bu cihazların işini yaxşı başa düşməyə imkan verən əyani təsvirlərə geniş yer vermişdir. Bununla yanaşı elektron qurğularının əsaslarını verməklə, müəlliflər qurğuların sxemotexniki həllərinin daha yaxşı başa düşüləcək olmasına çalışmışlar. Bu işə öz növbəsində materialların hazırlanmasında, fəsilərin qruplaşdırılmasında və onların əlaqələndirilməsində böyük vaxt səfləri tələb etmiş və bir çox texniki çətinliklər yaratmışdır.

Müəlliflər ümid edir ki, görülən işlərin nəticələri faydasız olmayacaq, dərslik elektron qurğuları sahəsindəki biliklərin əsaslı bünövrəsini yaratmağa, oxucuları maraqlandıran əlavə texniki materialların sərbəst öyrənilməsinə, elektron qurğularının işlənməsi və yaradılması sahəsində çalışan, yaradıcılıq qabiliyyətlərinə malik olan savadlı mütəxəssis hazırlanmasında əsas yardımçı vəsaitlərdən biri olacaqdır.

Həmçinin, müəlliflər inanırlar ki, dərslik izahı aydın olan vəsaitlərdən biri kimi texniki ixtisasların tələbələri, mühəndis-texniki heyəti, eyni zamanda elektron qurğularına və onların sxemotexnikasına xüsusi marağı olan həm radiohəvəskarlar, həm də elektronika sevən geniş oxucu kütləsi tərəfindən böyük maraqla istifadə olunacaq.

Ədəbiyyat

1. *Гальперин М.В.* Электронная техника: Учебник. – 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005, 352с.
2. *Avionics fundamentals.* Jeppesen, USA, 2007, 432p.
3. *Нефёдов В.И.* Основы радиоэлектроники и связи: Учебное пособие. М., Высшая Школа, 2009, 735с.
4. *Лачин В.И., Савёлов Н.С.* Электроника: Учебн. пособие. 5-е изд., перераб. и доп - Ростов-на-Дону: «Феникс», 2005, 704с.
5. *Петров К.С.* Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. , учебн. пособие. СПб., Питер, 2003., 512с
6. *Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А.* Полупроводниковые приборы. М.: Энергоатомиздат, 1990, 576с.
7. *Гольденберг Л.М.* Импульсные устройства. М. Радио и связь. 1985, 287с.
8. *Крылов Н.П.* Авиационная радиоэлектроника, М., ”Машиностроение”, 1984, 196с.
9. *Каяцкас А.А.* Основы радиоэлектроники . М.,Высшая школа,1988,464 с.
10. *Манаев Е. И.* Основы радиоэлектроники . М.,Радио и связь ,1990,512 с.
11. *Воронков Э.Н., Овечкин Ю.А.* Основы проектирования усилительных и импульсных схем на транзисторах. М., Машиностроение, 1976, 238с.
12. *Игнатов А.Н.* Оптоэлектронные приборы и устройства:
Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз, 2006, 272с.
13. *Paşayev A.M., Hacıyev N.C., Nəbiyev R.N.* Elektronikanın əsasları. B., MAA, 2003, 271s.
14. *Davudov B., Daşdəmirov K.* Radiofizika. Dərs vəsaiti. – Bakı: “Bakı Universiteti” nəşriyyatı”, 2008, 392s.
15. *Баскаков СИ.* Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Высшая школа, 2005.
16. *Быстров Ю.А., Мироненко ИГ.* Электронные цепи и микросхемотехника. - М.: Высшая школа, 2002.
17. *Угрюмов Е.П..* Цифровая схемотехника: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2004, 800с.
18. *Шустов М.А.* Практическая схемотехника. Полу-проводниковые приборы и их применение. Книга 5. – М.: «АЛЬТЕКС», 2004,304с.
19. *Ашихмин А.С.* Цифровая схемотехника. Современный подход. – М.: «ТехБук», 2007, 288с.
20. *Верещака А. И., Олянюк. П. В.* Авиационная радиоэлектроника, средства связи и радионавигации. Учеб.для вузов.М.:Транспорт,1993,343 с.

21. Новожилов О.П. Основы микропроцессорной техники: В 2 т. - М.: РадиоСофт, 2007.
22. Гусев ВТ., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника. - М.: Высшая школа, 2008.
23. Голубцов М.С., Кириченко А.В. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. Изд. 2-е, испр., и доп., М., СОЛОН-Пресс (Серия «Библиотека инженера»), 2006, 304с.
24. Mike Tooley and David Wyatt. Aircraft Electrical and Electronic Systems. Principles, operation and maintenance. - Oxford OX2 8DP, UK 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA, 2009, 408p.
25. Пухальский Г. И. Цифровые устройства: Учебное пособие для втузов - СПб.: Политехника, 1996, 885с.
26. Бойт К. Цифровая электроника/ К. Бойт – М.: Техносфера, 2007, 472 с.
27. Кузнецов Б.Ф. Электронные промышленные устройства. – Иркутск.: Изд. Анг.ГТА, 2010, 151с.
28. Юшин А.М. Цифровые микросхемы для электронных устройств.: Справочник. – М.: Высш. Школа, 1993, 176с.
29. Пухальский Г.И., Новосельцева Т.Я. Проектирование дискретных устройств на интегральных микросхемах: Справочник. – М.: Радио и связь, 1990, 304с.
30. Тарабрин Б.В. и др. Интегральные микросхемы: Справочник. – М.: Радио и связь, 1984, 328с.
31. Корякин-Черняк С.Л. Зарубежные микросхемы, транзисторы, диоды 0...9: Справочник. – СПб.: Наука и Техника, 2001, 688с.
32. Mehta V.K., Mehta Rohit. Principles of electronics. S. Chand & Company, 7361, Ram Nagar, New Delhi-110 055. Thoroughly Revised Eleventh Edition 2008, 778p.

MÜNDƏRİCAT	
Ön söz	5
Əsas ixtisarlarm siyahısı	7
Giriş	8
Fəsil 1. ELEKTRON QURĞULARININ TƏKMİLLƏŞMƏSİ XRONOLOGİYASI VƏ ONLARIN MÜASİR TƏSNİFATI	11
1.1. Elektron qurğularının inkişaf mərhələləri	12
1.2. Elektron qurğularının təsnifatı.	13
1.2.1. Analoq elektron qurğuları (AEQ).....	14
1.2.2. Diskret elektron qurğular (DEQ).....	15
1.2.3. İmpuls elektron qurğuları (İEQ).....	17
1.2.4. Rele elektron qurğuları (RLEQ).....	19
1.2.5. Rəqəm elektron qurğuları (REQ).....	19
1.3. Elektron qurğularının elementləri və onların qrafiki işarələnməsi.	20
1.3.1. Birləşmələr.....	21
1.3.2. Dəyişdirici (Çevirici) açarlar.....	22
1.3.3. Rezistorlar.....	23
1.3.4. Kondensatorlar.....	24
1.3.5. Sarğacalar.....	25
1.3.6. Transformatorlar.....	26
Fəsil 2. ELEKTROVAKUUM CİHAZLARI	30
2.1. Ümumi məlumatlar.	30
2.2. Elektron - idarə olunan lampaların işinin fiziki əsasları	30
2.2.1. Elektron emissiyasının fiziki təbiəti.....	30
2.2.2. Termoelektron katodlar.....	31
2.2.3. Elektron lampalarının iş prinsipi.....	32
2.2.4. Triod və onun xarakteristikaları.....	34
2.2.5. Güclü elektron lampalarının xüsusiyyətləri.....	37
2.3. Elektron-şüa boruları (EŞB)	38
2.3.1. Elektrostatik idarəli EŞB.....	39
2.3.2. Elektromaqnit idarəli EŞB.....	40
2.3.3. Kineskoplar.....	42
2.4. Qaz boşalmalı cihazlar	43
2.4.1. Qaz boşalmalı cihazların işinin fiziki əsasları.....	43

2.4.2. Qaz boşalmalı cihazların tipləri və onların fərqli xüsusiyyətləri.....	45
2.5. Elektrovakuum cihazlarının markalanması.....	47
2.5.1. Qəbuledici-gücləndirici elektron lampalarının markalanması.....	47
2.5.2. Elektron – şüa borularının markalanması.....	48
2.5.3. Qaz boşalmalı cihazların markalanması.....	49
2.6. İfrat yüksək tezlik diapazonlu elektrovakuum cihazları.....	49
2.7. İYT diapazonlu xüsusi növ elektron cihazları.....	52
2.7.1. Uçuş klistronları.....	53
2.7.2. Əksetdirici klistronlar.....	55
2.7.3. Maqnetronlar.....	56
2.7.4. Qaçan dalğa lampaları.....	58
2.7.5. Əks dalğa lampaları (ƏDL).....	60
2.8. Fotoelektron emissiyası cihazları.....	62
2.8.1. Fotoelektron emissiyası hadisəsi.....	62
2.8.2. Elektrovakuum fotoelementləri.....	64
2.8.3. Fotoelektron vurucular.....	66
Fəsil 3. YARIMKEÇİRİCİ CİHAZLAR	69
3.1. Yarımkəçirici materiallar haqqında ümumi məlumat.....	69
3.2. Yarımkəçirici cihazlar və onların işarələnməsi sistemləri.....	75
3.2.1. Rusiya Federasiyasının standartı.....	75
3.2.2. ABŞ standartı EİA-JEDEC.....	75
3.2.3. Avropa sistemi (standartı) PRO ELECTRON – İnternational Pro Electron..	75
3.2.4. Yaponiya standartı JİS.....	76
3.3. Yarımkəçirici diodlar.....	77
3.4. Yarımkəçirici diodların təsnifatı və işarələnmə sistemi.....	79
3.4.1. Düzləndirici yarımkəçirici diodlar.....	79
3.4.2. Stabilizatorlar.....	84
3.4.3. Tunel diodları.....	86
3.4.4. Varikap.....	87
3.4.5. Çevrilmiş diodlar.....	88
3.4.6. İnjeksiyalı – uçma diodları.....	89
3.4.7. Şottki diodları.....	89
3.4.8. Selvari-uçuş diodları.....	90
3.4.9. Qann diodları.....	90
3.5. Yarımkəçirici triodlar (Tranzistorlar).....	94
3.5.1. Bipolyar tranzistorların quruluşu.....	95
3.5.2. Bipolyar tranzistorların diod modeli və konstruksiyası.....	96

3.5.3. Bipolyar tranzistorun əsas parametrləri və iş rejimləri.....	98
3.6. Sahə tranzistorları.....	102
3.6.1. İdarəolunan p-n-keçidli sahə tranzistorları.....	102
3.6.2. İzolə olunmuş rəzəli sahə tranzistorları.....	104
3.7. Çoxtəbəqəli yarımkeçirici cihazlar.....	107
3.8. İntegral mikrosxemlər.....	109
3.8.1. İntegral sxemlərin növləri və hazırlanma texnologiyaları.....	109
3.8.2. İntegral sxemlərin istehsalı və markalanması.....	114
3.9. Yarımkeçirici vericilər.....	117
3.9.1. Yarımkeçirici temperatur vericiləri.....	118
3.9.2. Varistorlar.....	120
3.9.3. Maqnit yarımkeçirici cihazlar.....	121
3.9.4. Yük əlaqəli cihazlar.....	122
3.10. Güc yarımkeçirici cihazları.....	126
3.10.1. Güc bipolyar tranzistorları.....	126
3.10.2. Güc sahə tranzistorları.....	130
3.10.3. Rəzəsi təcrid edilmiş bipolyar tranzistor (RTBT).....	133
3.10.4. Statik induksiya tranzistor.....	135
Fəsil 4. OPTOELEKTRON CİHAZLAR.....	138
4.1. Optik diapazonlu dalğaların informasiya daşıyıcısı kimi istifadə olunma sahələri.....	138
4.1.1. Elektromaqnit dalğalar vasitəsilə informasiyanın ötürülməsi prinsipləri.....	138
4.1.2. Optik diapazonlu şüalanmaların xüsusiyyətləri və informasiya ötürülməsində tətbiqi.....	141
4.2. Optoelektron cihazların ümumi xarakteristikası və element bazasının müasir vəziyyəti.....	148
4.3. Optoelektron şüalanma mənbələri.....	149
4.3.1. İstilik təbiətli şüalanma mənbələri.....	149
4.3.2. Lüminessensiyalı şüalanma mənbələri.....	152
4.3.3. Optik kvant generatorları. Mazerlər və lazerlər.....	153
4.3.4. Molekulyar generatorlar. Mazerlər.....	155
4.3.5. Lazer qurğuları.....	157
4.3.6. Optik işıqlanmanın modulyasiyası və optik modulyatorlar.....	158
4.3.7. Şüalandırıcı diodlar.....	161
4.4. Şüalanma qəbulediciləri.....	165
4.4.1. Şüalanma qəbuledicilərinin xarakteristikaları və parametrləri.....	165
4.4.2. Fotorezistorlar.....	168

4.4.3. Fotodiodlar.....	171
4.4.4. Fototranzistorlar.....	180
4.4.5. Fototiristorlar.....	184
4.4.6. Təsvirlərin elektrik siqnallarına çevrilməsi qurğuları.....	185
4.4.7. Yük əlaqəli fotoqəbuledicilər.....	186
4.5. Optronlar, optocütlər və optoelektron mikrosxemlər.....	188
4.5.1. Optronların quruluşu və iş prinsipi.....	188
4.5.2. Optronların növləri və parametrləri.....	193
4.5.3. Optocütlər.....	194
4.5.4. Optronun elektrik modeli.....	195
4.5.5. Lifli optik rabitə elementləri.....	197
4.6. İndikatorlar.....	199
4.6.1. Hərf-rəqəm indikatorları.....	200
4.6.2. Matrisli indikatorlar.....	201
4.6.3. Vakuumlu elektrolüminessent indikatorlar.....	201
4.6.4. Mayekristallı indikatorlar.....	202
Fəsil 5. NANOELEKTRONİKA ELEMENTLƏRİ.....	203
5.1. Nanoelektronika haqqında ümumi məlumat.....	203
5.2. Kvantlama prinsipləri, kvant ölçülü effektlərin müşahidə olunması şərtləri və kvant strukturları.....	204
5.2.1. İkiölçülü elektron qaz strukturlar.....	206
5.2.2. Birölçülü elektron qaz strukturları (kvant sapları).....	206
5.2.3. Sıfır ölçülü elektron qaz strukturları (kvant nöqtələri).....	207
5.2.4. Şaquli köçürməli strukturlar.....	207
5.3. Nanotexnologiya və onun əsas istiqamətləri.....	208
5.3.1. Nanotexnologiyanın xüsusiyyətləri.....	208
5.3.2. Nanotexnologiyanın ən vacib istiqamətləri.....	209
5.3.3. Nanotexnologiyanın elementləri.....	210
5.3.4. Kvant ölçülü strukturların texnologiyası.....	212
5.4. Nanoelektronika cihazları və onlarda kvant ölçülü strukturların tətbiqi.....	213
5.4.1. Kvant çuxurları və nöqtələri əsasında lazerlər.....	213
5.4.2. Birelektronlu tranzistor.....	214
5.4.3. Kvant çuxurları əsasında fotoqəbuledicilər.....	215
5.4.4. Kvant-nöqtə qəfəsli (dama) avtomat və məftilsiz elektron məntiqi.....	218
5.4.5. Tunelləmə cihazları.....	221
5.4.6. İnformasiya sistemlərinin nanoelektron elementləri.....	222

5.5. Nanotexnologiyanın və nanoelektronikanın inkişafını təmin edən elm sahələri.....	223
Fəsil 6. AVIASİYA TEXNİKASI AVADANLIQLARINDA TƏTBİQ OLUNAN ELEKTRON CİHAZLARININ XÜSUSİYYƏTLƏRİ	225
6.1. Hava gəmilərinin bort avadanlıqlarında yarımkeçirici cihazların tətbiq xüsusiyyətləri.....	225
6.1.1. Bort avadanlığında istifadə olunan diodların tipik qoşulma sxemləri.....	226
6.1.2. Bort avadanlığında tranzistorların tətbiqi sxemləri.....	228
6.1.3. Yarımkeçirici vericilər və onların tətbiqinə misallar.....	229
6.1.4. İnteqral mikrosxemlərin tətbiq sxemləri.....	233
6.2. Aviasiya texnikasında istifadə olunan indikator və displeylər.....	234
6.3. Optik müşahidə cihazlarının və qurğularının mülki aviasiyada tətbiqi perspektivləri.....	236
ƏLAVƏLƏR.....	238
Əlavə 1. Elementlərin şərti-qrafiki işarələri.....	238
Əlavə 2. Geniş yayılmış yarımkeçirici cihazların parametrləri, istismar şərtləri və tətbiq sahələri.....	247
2.1. Yarımkeçirici diodların parametrləri, istismar şərtləri və tətbiq sahələrinə nümunələr.....	247
2.1.1. Diodların parametrlərinin təsnifatı.....	247
2.1.2. Universal təyinatlı diodlar, düzləndirici diodlar.....	259
2.1.3. Universal təyinatlı azgüclü yüksək tezlikli diodlar.....	259
2.1.4. Stabiltronlar.....	260
2.1.5. Varikaplar.....	261
2.1.6. Işıq diodları və yarımkeçirici rəqəm indikatorları.....	262
2.2. Tranzistorların parametrləri, istismar şərtləri və tətbiq sahələri.....	266
2.2.1. Tranzistorların təsnifatı və işarələnmə sistemləri.....	266
2.2.2. Tranzistorların əsas parametrləri və ən geniş yayılmış tranzistor markaları	267
2.3. Tiristor və simistorlar.....	277
2.4. Analox mikrosxemləri.....	279
2.4.1. Siqnal gücləndiriciləri.....	279
2.4.2. Əməliyyat gücləndiricilərinin növləri və tətbiq sahələri.....	281
2.5. Rəqəm mikrosxemləri.....	285

2.5.1. Məntiq elementləri və onların strukturları.....	285
2.5.2. Geniş yayılmış məntiq mikrosxemlərinin seriyaları və onların İTX-ları.....	287
Əlavə 3. Yarımkəçirici elektron cihazlarının parametrlərinin və qoşulma sxemlərinin təhlili və hesablanması üçün misallar.....	293
3.1. Yarımkəçirici diodların qoşulma sxemləri və parametrləri.....	293
3.2. Tranzistorların qoşulma sxemləri və parametrləri.....	297
3.3. İnteqral sxemlərin, optoelektron cihazların və optocütlərin qoşulma sxemləri və parametrləri.....	301
XÜLASƏ.....	303
ƏDƏBİYYAT.....	304



Arif Mir Cəlal oğlu Paşayev, f.-r.e.d., AMEA-nın həqiqi üzvü, Milli Aviasiya Akademiyasının (MAA) rektoru. 1957-ci ildə Odessa Elektrotexnika Rabitə İnstitutunu bitirib. 1959-cu ildən AMEA-nın Fizika İnstitutunda elmi fəaliyyətə başlamış, həmin vaxtdan o, yarımkeçirici materialların elektrofiziki parametrlərini kontaktsız ölçmək üçün cihazlar, qurğular, mikrominiatur dəqiq çeviricilər işləyib yaratmışdır. 1966-cı ildə namizədlik, 1978-ci ildə doktorluq dissertasiyasını müdafiə etmişdir. 400-dən çox elmi əsərin, 20-dən artıq kitabın və monoqrafiyanın, 40-dan çox ixtiranın və patentin müəllifidir. A.M. Paşayev Dövlət mükafatına, "SSRİ-nin ixtiraçısı" medalına, akademik Y.Məmmədaliyev adına medala və İngiltərə Beynəlxalq Bioqrafiya Mərkəzinin qızıl

medalına və "Şöhrət ordeni"nə layiq görülmüş, "XXI əsrin tanınmış alimi" beynəlxalq diplomu ilə təltif edilmişdir. 1971-ci ildən 1996-cı ilədək AMEA-nın Fizika İnstitutunun "Zədəsiz ölçmə və nəzarətin fiziki üsulları" ETL-nə rəhbərlik etmiş, 1996-cı ildən indiyədək MAA-nın rektorudur. Onun rəhbərliyi altında MAA-nın elmi fəaliyyəti çox şaxəli istiqamətlərə yönəlmiş, MAA **Dövlətlərarası Aviasiya Komitəsinin** qərarı ilə "Mülki Aviasiya ali təhsil müəssisəsi" sertifikatına layiq görülmüş və Beynəlxalq Mülki Aviasiya Təşkilatının ali təhsil müəssisələrinin siyahısına daxil edilmişdir.

Bir sıra akademiyaalarının akademiki olan Arif Paşayevin elmi axtarırlarının əsas istiqaməti yarımkeçiricilər fizikası və texnikasıdır.



Afif Rəşid oğlu Həsənov, t.e.d., professor, AMEA-nın müxbir üzvü, MAA-nın elmi işlər üzrə prorektoru, eyni zamanda "Aviasiya radiotexnikası və elektronikasi" (hal-hazırda "Radioelektronika") kafedrasının müdiri. 1974-cü ildə Leninqrad Elektrotexniki Rabitə İnstitutunu bitirib. 1974-1993-cü illərdə müxtəlif təyinatlı müəssisələrdə mühəndis, aparıcı mühəndis, b.e.i. vəzifələrində çalışmış, HHİE AS-lərinin işlənməsində iştirak etmişdir. 1993-cü ildə namizədlik, 2003-cü ildə doktorluq dissertasiyasını müdafiə edib. Uzun müddət AMEA Fizika İnstitutunda laboratoriya müdiri vəzifəsində çalışmış və Az.TU-da pedaqoji fəaliyyət ilə məşğul olmuşdur. Siqnalın işlənməsi üçün yeni tipli akusto-optik metodların və

vasitələrin yaradılması problemləri üzərində çalışır. 150-dən çox elmi əsərin, 7 ixtira və 4 patentin, 4 monoqrafiyanın, 3 dərsliyin, 4 dərs vəsaitinin və 9 tədris-metodik işin müəllifidir.

1996-cı ildən MAA-da kafedra müdiri, 2005-ci ildən elmi işlər üzrə prorektor vəzifələrində çalışır. Kafedra nəzdindəki «Radioelektron sistemlərin işlənməsi və təbiiqi» problem laboratoriyasının rəhbəridir. Müxtəlif mövzulu Elmi tədqiqat (ETİ) və Təcrübə konstruktor (TKİ) işlərinin elmi rəhbəri olmuşdur. MAA-da fəaliyyət göstərən İxtisaslaşdırılmış Dissertasiya Şurasının həmsədridir.

Maraq dairəsi: radioelektronika, akustooptika və məsafədən video müşahidə sahələridir. Əlaqə tel: (+994 12) 497 27 54, 497 26 00 (20-60 -kafedra) –Email: hasanov@naa.edu.az



İslam Əsəd oğlu İsgəndərov, f.-r.e.n., dosent, MAA-nın "Avionika" kafedrasının müdiri. 1985-ci ildə Sevastopol Cihazqayırma İnstitutunu bitirib. 1985-1991-ci illərdə Fotoelektronika ETİ-də (AMEA Fizika İnstitutunun bir bölməsi), 1991-1995-ci illərdə Az.MİU-nun "Metal və ərintilər fizikası" ETL-də mühəndis, elmi işçi vəzifələrində çalışmış, həmin dövrlərdə mürəkkəb birləşmələrin xassələrinin tədqiqi üçün eksperimental qurğuların işlənilməsi hazırlanması və onların tədqiqi ilə məşğul olmuşdur.

1995-ci ildən MAA-nın ETAİ-də b.e.i., şöbə müdiri, laboratoriya müdiri, 1999-cu ildən "Aviasiya radiotexnikası və elektronikasi" kafedrasında müəllim, baş müəllim, dosent, 2005-2011-ci illərdə həmin kafedranın müdiri vəzifəsində işləmişdir.

2002-ci ildə 01.04.01 ixtisası üzrə namizədlik dissertasiyasını müdafiə etmişdir. 70-dən çox elmi-metodiki işin, o cümlədən, 6 patentin, 2 dərs vəsaitinin və 3 metodik vəsaitin müəllifidir. 1999-cu ildə MAA-da, 2004-cü ildə Xarkovda, 2007-ci ildə "AZAL" – da və 2008-ci ildə Almaniyada aviasiya texnikası üzrə kurslar keçmişdir. 2014-cü ildə Alma-Ata şəhərində QRMAA-da "Aviasiya texnikası avadanlıqlarının istismarı" ixtisası üzrə magistrantlara iki həftəlik xüsusi kursların tədrisini həyata keçirmişdir. Bir sıra ETİ və TKİ-lərdə məsul icraçı və rəhbər olmuşdur. Təyyarələrin yüklənməsinə və uçuşlara nəzarət sistemlərinin və bort elektron sistemlərinin mükəmməlləşdirilməsi istiqamətində elmi-tədqiqat işləri aparır. 2011-ci ildən yeni açılmış "Avionika" kafedrasının müdiri vəzifəsində çalışır.

Maraq dairəsi: avionika, radioelektronika və sxemotexnika sahələridir. Əlaqə telefonu: (+994 12) 497 26 00 (24-26). 055 717 32 77; 050 281 29 39. Email: islam.nus@mail.ru



Fikrət Abdulla oğlu Abdurəhimov, t.e.n., 1968-ci ildə Azərbaycan Neft və Kimya institutunu bitirmişdir. 1968-1970-ci illərdə zabit kimi hərbi qulluqda olmuş və tank batalyonunun rabitə rəisi, 1970-1973-cü illərdə "Neftkimyaavtomat" ETLİ-də mühəndis, 1973-1978-ci illərdə "Mikroelektronika" XKB-də baş mühəndis vəzifəsində işləmişdir.

1978-ci ildən Azərbaycan Texniki Universitetinin "Radiotexnika" kafedrasında çalışır. 05.11.16 - "İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri" ixtisası üzrə namizədlik dissertasiyasını müdafiə etmişdir.

70-dən çox elmi məqalənin, o cümlədən 5 müəlliflik şəhadətnaməsinin, 1 dərsliyin, 1 dərs vəsaitinin, 3 metodik vəsaitin müəllifidir.

1998-ci ildən başlayaraq, fasilələrlə MAA-nın "Aviasiya radiotexnikası və elektronikasi" kafedrasında saat hesabı və yarımştat olaraq əvəzçi müəllim vəzifələrində çalışıb. Hal-hazırda həmin kafedrada 0,5 ştat baş müəllim kimi dərs aparır.

Maraq dairəsi – İnformasiyanın qəbulu, emalı və ötürülməsi sahəsidir

A.M. Paşayev, A.R. Həsənov
İ.Ə.İsgəndərov, F.A.Abdurəhimov

ELEKTRON QURĞULARININ ƏSASLARI

Cild 1. ELEKTRON QURĞULARININ ELEMENT BAZASI

Dərslik “Mülki Aviasiya” redaksiy
Heyəti tərəfindən baxılmış və çapına
icazə verilmişdir
Çapa hazırlanmışdır 10.09.14

Korrektor Əliyeva O.V.

Dərslik “Azərbaycan Hava Yolları”
Qapalı Səhmdar Cəmiyyəti
Milli Aviasiya Akademiyasının
Poliqrafiya Mərkəzində şap edilmişdir.
Tirajı 100 nüsxə