

МГц дейін) жоғары және кедергілері қосулы күйде төмен ( $10^{-3}$  Ом дейін) болады.

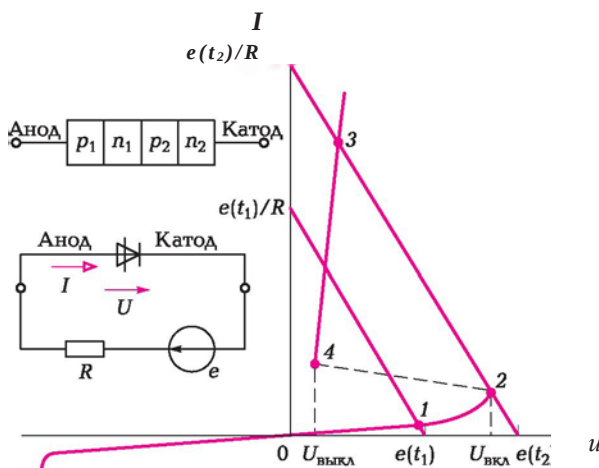
Төмен басқару қуаты энергетикалық электроника үшін бір кристалда күш элементтері орналастырылатын, толық басқарылатын транзисторлық кілттер, оларды қосу, ажырату және қорғау схемаларын, сондай-ақ жүктемені тексеру, басқару және реттеу схемаларын жасауға мүмкіндік береді. Мұндай транзисторлық кілттер *зерделі кілттер* (IPM— intelligent power module) деп аталады.

### 13.7. ТИРИСТОРЛАР

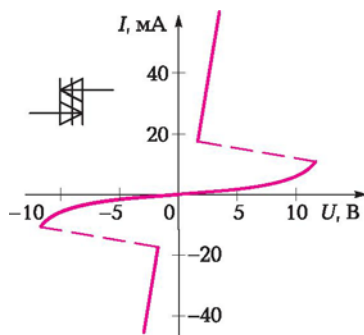
*Тиристор* — екі тұрақты күйі және жабық күйден ашық күйге, сондай-ақ керісінше ауыса алатын үш не одан көп тізбектей қосылған  $p$ - $n$ -өткелдері жартылай өткізгіш аспап. Тиристордың  $p$ -және  $n$ -типті жартылай өткізгіштердің кезек-кезек төрт қабаты бар құрылымы ең кең таралған (13.29-сурет).

Тиристорлар басқарылатын не триодтық және басқарылмайтын не диодтық болып бөлінеді.

*Диодтық тиристордың* екі шықпасы болады — анодтық және катодтық. Оны айнымалы ток тізбегінде бір тұрақты күйден екіншісіне ауыстыру жүктемелік сипаттама әдісімен анықталады (2.32-суретті қараңыз). Осы жерде және одан әрі тиристорлардың



13.29-сурет



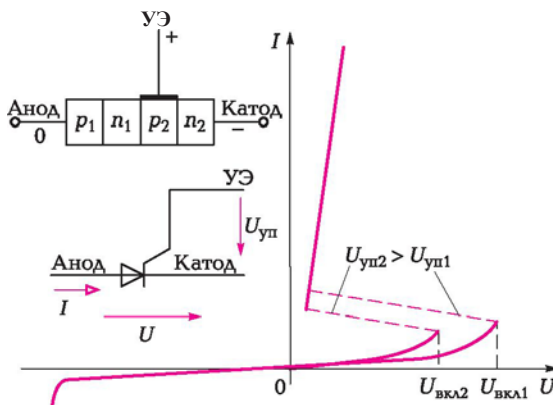
13.30-сурет

ВАС-ы бейинерциалды, яғни  $I(U) = i(u)$  деп аламыз.  $e = E_m \sin \omega t$  ЭҚК нөлдік мәнен біркелкі ұлғайған кезде диодтық тиристор әуелі жабық болады және тізбектегі ток аз болады (ВАС-тағы 1-нүкте, 13.29-суретті қараңыз). Диодтық тиристордың ВАС-ындағы 2-нүктеде кернеу  $U = U_{\text{кос}}$  қосу кернеуіне жетеді.  $e$  ЭҚК-н одан әрі тіпті біраз ғана ұлғаюы тізбектің жұмыс режимінің күрт өзгеруіне (ВАС-тағы 3-нүкте), яғни диодтық тиристордың қосылуына

әкеледі.  $e$  ЭҚК азайған кезде тізбектегі процестер кері тәртіпте жүреді. ВАС 4-нүктесінде кернеу ажырату кернеуіне жетеді.  $e$  ЭҚК-н одан әрі азаюы диодтық тиристордың ажырауына әкеледі.

Симметриялық диодтық тиристорлар да қолданылады, олардың шартты белгісі мен ВАС-ы 13.30-суретте келтірілген.

*Триодтық тиристорда* (тиристор) анодтық және катодтық шықпалардан басқа басқарушы электрод (БЭ) шықпасы да болады, ол не катодқа жақын  $p$ -аймаққа, не анодқа жақын  $n$ -аймаққа қосылады. Осыған сәйкес тиристорды катодтық және анодтық басқару болады. Біріншісі ең көп таралған түрі болып табылады. Катодтық басқарылатын тиристордың құрылымы, шартты белгісі және ВАС-ы 13.31-суретте келтірілген.



13.31-сурет

$U_{\text{бас}}$  басқару кернеуі өзгерген кезде тиристорды  $U_{\text{кос}}$  қосу кернеуі де өзгереді. Сәйкесінше, оны басқарылатын кілт ретінде пайдалануға болады.

Триодтық тиристорды ажырату үшін оның тогын нөлге дейін азайтып, одан кейін біраз уақыттың ішінде  $U < 0$  кернеуін қосу қажет.

Триодтық тиристорлардың негізгі кемшілігі –  $U_{\text{бас}}$  басқару кернеуі болмаған жағдайда, сондай-ақ анод пен катодтың арасындағы кернеудің ұлғаю жылдамдығы  $dU/dt > 0$  жоғары болған жағдайда, өздігінен қосылу мүмкіндігі.

Бұл  $p$ - $n$ -өткелдерінің токтар арқылы ұлғаюымен түсіндіріледі.

Триодтық тиристордың өздігінен қосылуы ол заряд тасушыларының термогенерациялану нәтижесінде қызған кезде де орын алуы мүмкін (13.3-суретті қараңыз).

Жабылмалы триодтық тиристорлар басқарылатын тиристорлардың бір түрі болып табылады, оларда жабу ұзақтығы жағынан қысқа, кері полярлылықты  $U_{\text{бас}}$  кернеуі импульстарының есебінен де болуы мүмкін.

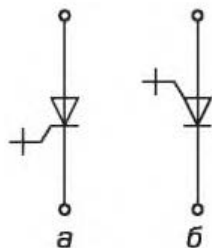
Олардың шартты белгісі катодтық және анодтық басқару үшін сәйкесінше 13.32, *а* және *б* суреттерінде келтірілген.

Тек басқарылмалы қосылатын тиристорлар *бір операциялық* деп аталады; ал басқарылмалы қосылатын және ажыратылатын тиристорлар *екі операциялық* деп аталады.

Жабылмалы тиристорлар (IGCT — Integrated Gate Commutated Thyristors) 4500 А дейінгі токтарға, 6000 В дейінгі коммутацияланатын кернеулерге және 20 кГц дейінгі коммутация жиілігіне арналып шығарылады.

Жабылмалы тиристорлардың негізгі артықшылығы оқшауланған бекітпелі биполярлық транзисторлармен салыстырғанда (13.6-бөлімшені қараңыз) – коммутацияланатын токтар мен кернеулердің жоғары мәндері және төмен статикалық шығындар қуаты.

Жабылмалы тиристорлар жоғары қуатты электр жетектер мен тұрақты токтағы беріліс желілеріне арналған электр энергиясын түрлендіру құрылғыларында басқарылатын кілттер ретінде қолданылады.



13.32-сурет

### 13.8. ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШ РЕЗИСТОРЛАР, КОНДЕНСАТОРЛАР, ОПТОЭЛЕКТРОНДЫҚ АСПАПТАР

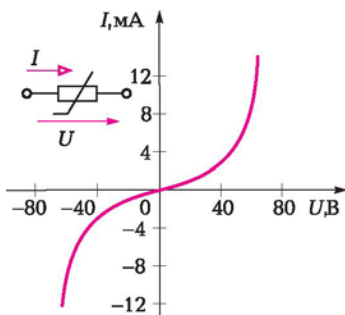
Жартылай өткізгіштердің негізінде тұрақты кедергілі резисторлар, сондай-ақ сызықтық емес ВАС-ты резисторлар дайындайды. Соңғысына *варистор* жатады. Оның типтік ВАС-ы мен шартты белгісі 13.33-суретте келтірілген. Варисторлар, мысалы тірек диод сияқты стабилизаторлар мен кернеу шектегіштерде қолданылады.

*Терморезисторлар* — кедергісі сыртқы ортаның температурасына тәуелді болатын жартылай өткізгіш резисторлар. Терморезисторлар оң және теріс температуралық коэффициентті кедергімен болады.

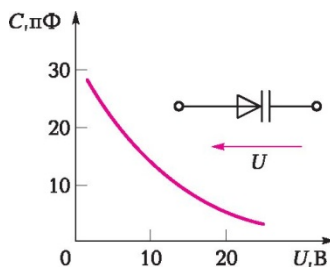
*Варикаптар* —  $p$ - $n$ -өткелі сыйымдылығының қосылған кернеуге тәуелділігі пайдаланылатын жартылай өткізгіштер негізіндегі конденсаторлар. Варикаптың шартты белгісі мен типтік сипаттамасы 13.34-суретте келтірілген.

*Оптоэлектрондық* аспаптарға толқындар ұзындығының оптикалық диапазоны  $\lambda = 0,2\text{—}50$  мкм болатын электромагниттік сәуле көздері (жарық шығарушы диодтар) мен қабылдағыштары (фоторезисторлар, фотодиодтар, фототранзисторлар, фототиристорлар) ретінде жұмыс жасауға қабілетті жартылай өткізгіш аспаптар жатады.

Шартты белгісі мен конструкциясы 13.35, *a* және *б* суреттерінде келтірілген *жарық шығарушы диодтың* жұмысы жарық кванттарының —  $p$ - $n$ -өткелде заряд тасушылардың еркін рекомбинациясындағы, тура бағытта жылжыған фотондардың сәулеленуіне негізделген. Зарядтардың рекомбинациясы олардың

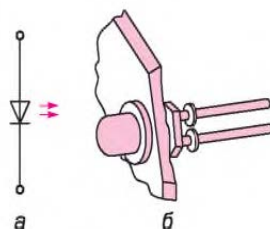


13.33-сурет



13.34-сурет

жоғары энергетикалық деңгейден төмен деңгейге өтуімен қатар жүреді. Бұл ретте артық энергия жарық квантының сәулеленуі арқылы бөлінеді. Көзге көрінетін жарық толқынының ұзындықтар диапазоны 0,45-0,68 мкм құрайды. Жарық шығарушы диодтарда жартылай өткізгіш материалдар қолданылады: галий фосфаты (GaP), кремний карбиді (SiC) және т.б. Активаторларды қосу диод сәулесінің түсін өзгертуі мүмкін. Мысалы, мырышпен,



13.35-сурет

оттектен не азотпен қоспаланған галий фосфатының негізінде жасыл, сары және қызыл жылтырақ түсті диодтар алынады.

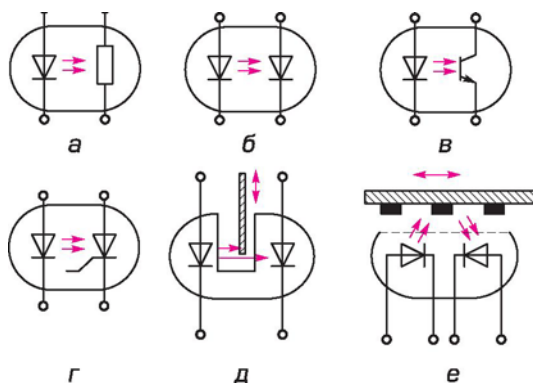
*Инфрақызыл сәуле шығарушы диод* жарық шығарушы диодтан айырмашылығы – көзге көрінбейтін инфрақызыл спектр аймағында электромагниттік энергия шығарады.

Фоторезисторлардың, фотодиодтардың, фототранзисторлар мен фототиристорлардың жұмысы ішкі фотоэффект құбылысына, яғни жартылай өткізгіштерде сәуленің әсерімен заряд тасушылардың – электрондар мен кемтіктердің артық жұптарының генерациясына негізделген.

*Фоторезисторларда* бұл жартылай өткізгіштің жарықтану кезінде электрлік өткізгіштігінің өзгеруіне әкеледі.

*Фотодиодтарда* артық бос электрондар мен кемтіктер  $p$ - $n$ -өткелдің электр өрісімен бөлінеді және  $p$ -аймақты оң және  $n$ -аймақты теріс зарядтармен зарядтайды. Нәтижесінде фотодиодтың ажыратылған тізбегінің шықпаларының арасында *фотоЭҚК*-ке тең (0,7-0,8 В) кернеу (13.3) пайда болады. Фотодиодтың генераторлық және фотодиодтық жұмыс режимдері болады. *Генераторлық* режимде фотоЭҚК фотодиод тізбегіндегі электр энергиясының көзі ретінде пайдаланылады. *Фотодиодтық* режимде фотодиодка фотоЭҚК-ке кері кернеу қосылады. Бұл ретте сәулемен генерацияланатын электрондар мен кемтіктер кері тоқты ұлғайтады, оның мәні сәулелену қарқындылығына пропорционал ұлғаяды.

*Фототранзистор* кремний негізіндегі әдеттегі  $n$ - $p$ - $n$  биполярлық транзистор құрылымында болады. Фототранзистор тізбегіндегі ток коллектор мен эмиттер шықпаларының арасындағы кернеуге ғана емес, сондай-ақ оның жарықтылығына да тәуелді болады. Коллектор мен эмиттердің арасындағы кернеу 5 В болған жағдайда коллектор тогының типтік мәні фототранзистордың жарықтылығы жоқ (бар) болған кезде 0,1 мкА-ны құрайды (1 мА дейін). Жұмыс температура-



13.36-сурет

ларының диапазоны 40-85 °С-ты құрайды.

Үш  $p$ - $n$ -өткелді *фоторезистордың* да екі шықпасы болады – анодтық және катодтық. Оның ВАС-ы триодтық тиристордың (13.31-суретті қараңыз) ВАС-ына  $U_{\text{кос}}$  қосу кернеуі фототиристордың жарықтылығына тәуелді болуы бойынша ұқсайды.

*Оптожұптар* бір корпуста бір-бірімен өзара әрекеттесетін жарық шығарушы диоды мен фотоқабылдағышы бар оптоэлектрондық аспап болып есептеледі. Фоторезистор, фотодиод, фототранзистор және фототиристор түріндегі фотоқабылдағыштары бар оптожұптардың шартты белгілері 13.36, а, б, в және г суреттерінде келтірілген. Олардың негізгі артықшылықтары – оларда сәуле шығарғыш пен фотоқабылдағыштың электр тізбектерінің арасында гальваникалық және кері байланыстың болмауы және оптикалық арналардың бөгеуілден қорғанушылығы.

Саңылаулы (13.36-сурет д) шағылыс типті (13.36-сурет, е) ашық оптикалық арналы оптожұптар позициялық-сезімтал датчиктер ретінде пайдаланылады.

### 13.9. ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШ АСПАПТАРДЫ ТАҢБАЛАУ

Жартылай өткізгіш аспаптардың міндеті, негізгі электрлік параметрлері, бастапқы материалының типі, конструктивтік-технологиялық ерекшеліктері туралы ақпарат әріптік-цифрлық код негізіндегі шартты белгілер жүйесіне – таңбалауға енгізіледі.

**13.5-кесте. Биполярлық және далалық транзисторлардың міндеттерін таңбалау кезінде белгілеу**

| Транзистордың қуаты<br>$P_{K \max}$ , Вт | Токтың бірлік беріліс жиілігі $f_1$ , МГц |                 |                        |
|------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|------------------------|
|                                          | төмен (3-ке дейін)                        | орташа (3 — 30) | жоғары (30-дан жоғары) |
| Төмен (0,3-ке дейін)                     | 1                                         | 2               | 3                      |
| Орташа (0,3—1,5)                         | 4                                         | 5               | 6                      |
| Жоғары (1,5-тен жоғары)                  | 7                                         | 8               | 9                      |

1964 жылдан бастап отандық жартылай өткізгіш аспаптарды таңбалау әріптік-цифрлық кодтан тұрады.

Бірінші элемент — бастапқы материал: германий — Г, кремний — К, галий қосылысы, мысалы галлий арсениді — А, индий қосылысы — И.

Екінші элемент — аспаптар тобы: диодтар — Д, транзисторлар — Т, далалық (полевые) транзисторлар — П, стабилитрондар — С, сәуле шығарушы оптрондық аспаптар — Л, оптожұптар — О, варисторлар — В.

Үшінші элемент — аспаптың міндеті. Мысалы, биполярлық және далалық транзисторлардың қуаты мен жиілігі (13.5-сурет), стабилитрондардың шығын қуаты және тұрақтандыру кернеуі (13.6-кесте).

**13.6-кесте. Стабилитрондардың міндетін таңбалау кезінде белгілеу**

| Стабилитрон қуаты<br>$P_{шгн \max}$ , Вт | $U_{ст.ном}$ токты тұрақтандыру кернеуі, В |        |                |
|------------------------------------------|--------------------------------------------|--------|----------------|
|                                          | 10-ға дейін                                | 10—100 | 100-ден жоғары |
| Төмен ( 0,3 дейін)                       | 1                                          | 2      | 3              |
| Орташа (0,3—5)                           | 4                                          | 5      | 6              |
| Жоғары (5—10)                            | 7                                          | 8      | 9              |

Төртінші, бесінші және алтыншы элементтер әзірлеменің реттік нөмірін білдіреді және 1-ден 999-ға дейінгі цифрлармен белгіленеді.

Стабилитрондар үшін төртінші және бесінші элементтер тұрақтандыру кернеуін, алтыншы элемент А-дан бастап Я-ға дейінгі әріптік белгілермен әзірлеменің реттілігін білдіреді.

Жетінші элемент – З, О және Ч-дан басқа, жазылуы жағынан ұқсас А-дан Я-ға дейінгі әріптер бірыңғай технология бойынша дайындалған аспаптардың параметрлері бойынша сыныптаманы білдіреді. Мысалы, жалпы өнеркәсіптік немесе арнайы мақсаттағы.

Мысалы: КТ7315А — кремний негізді, жоғары қуатты, төмен жиілікті биполярлық транзистор; КС107 — кремний негізді, төмен қуатты, тұрақтандыру кернеуі 7 В стабилитрон.

Егер аспаптардың габариттік өлшемдері әріптік не цифрлық белгілерді пайдалануға мүмкіндік бермесе, онда корпусына түрлі-түсті таңба (нүкте немесе түрлі-түсті жолақтар) салынады, оның мәні техникалық шарттарда түсіндіріледі.

## БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

---

1. Жартылай өткізгіш диодтар электрлік тізбектегі функционалдық міндеті бойынша қандай типтерге бөлінеді?
2. Транзисторлардың әрекет ету принципі бойынша қандай типтері бар?
3. Электр тізбегіндегі элемент ретінде транзистордың екі негізгі жұмыс режимін атаңыз.
4. Қандай жартылай өткізгіш аспаптар басқарылатын кілттер ретінде пайдаланылады?
5. Оптожұптардың электрлік байланысты аспаптарға қарағанда басымдығы неде?

## ӨЗІНДІК ШЫҒАРУҒА АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕР

---

1. Жартылай өткізгіш аспаптың таңбасы – КТ352А. Аспаптың типі мен негізгі параметрлерін анықтаңыз.  
*Жауабы:* кремний негізді, төмен қуатты, жоғары жиілікті биполярлық транзистор.
2. Жартылай өткізгіш аспаптың таңбасы – КС433А. Аспаптың типі мен негізгі параметрлерін анықтаңыз.  
*Жауабы:* кремний негізді, орташа қуатты, тұрақтандыру кернеуі 3,3 В стабилитрон.