



Автоматика және ақпараттық технологиялар институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Жартылай өткізгіш диодтар

*PhD докторы ЭТжҒТ кафедрасының
қауымдастырылған профессоры
Хабай Анар
Email: a.khabay@satbayev.university*

Алматы қаласы, 2025 ж.

Дәріс №12. Жартылай өткізгіш диодтар

Дәрістің мақсаты:

Жартылай өткізгіш диодтың құрылымын және жұмыс режимдерін түсіндіру;

Тура және кері ығысудағы р-п өткелінің қасиеттерін қарастыру;

Диодтың ток-кернеу сипаттамасын зерттеу;

Диодтардың эквивалентті схемаларын меңгеру;

Арнайы диодтардың (Шоттки, туннель, варикап, жарықдиод, фотодиод, зенер диод) жұмыс принципін түсіндіру;

Айнымалы тоқты түзету схемаларын (жартылай толқынды, көпірлі, сүзгімен) талдау.

P-N ӨТКЕЛІНІҢ ҚҰРЫЛУЫ ЖӘНЕ РЕЖИМДЕРІ

p-n өткелінің құрылуы:

- Әртүрлі типтегі (р және n) жартылай өткізгіш материалдардың контактілі қосылуынан кейін контакт аймағында электрондар мен саңылаулардың рекомбинациясы жүреді.
- Бұл процесс концентрациясы жоғары аймақтан төмен аймаққа қарай заряд тасымалдаушылардың диффузиясымен басталады.
- Нәтижесінде, p- және n-аймақтарының шекарасында жылжымалы тасымалдаушылардың концентрациясы күрт төмендеген таусылған қабат пайда болады.
- Бұл кеңістік зарядтарының қос электрлік қабаты потенциалдық кедергі жасайды.

Жұмыс режимдері:

1. Ығысу кернеуі жоқ ($U=0$): Диод тепе-теңдік күйде.
2. Тура ығысу ($U>0$): Сыртқы оң кернеу қосылғанда, потенциалдық кедергі өтеледі. Көпшілік тасымалдаушылар кедергіден өту арқылы диффузияланады, бұл инъекция процесін тудырады. Диод ашық күйге өтеді.
3. Кері ығысу ($U<0$): Сыртқы теріс кернеу қосылғанда, сыртқы электр өрісі меншікті өріске қосылып, потенциалдық кедергі артады. Диод жабық күйінде қалады және азшылық тасымалдаушылардың диффузиялық тогынан туындаған қанығу тогы (I_s) өтеді.

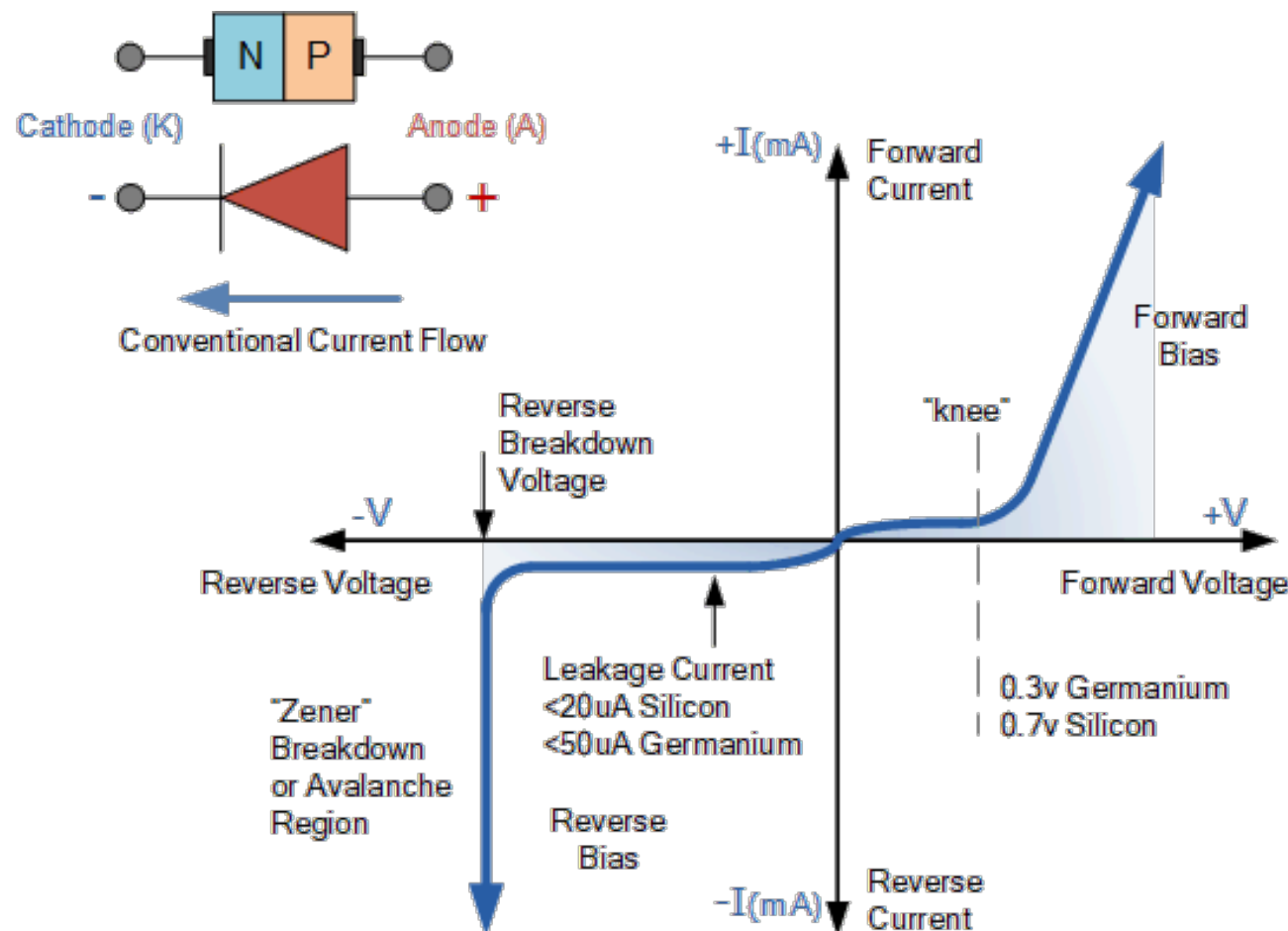
ОК-КЕРНЕУ СИПАТТАМАСЫ (CVC)

Сипаттаманың құрылымы:

- Ток-кернеу сипаттамасы (CVC) – диод арқылы өтетін токтың ондағы кернеуге тәуелділігін көрсетеді. Ол сызықты емес және екі негізгі аймақтан тұрады.
- Тура кернеу аймағы: Диод белгілі бір шекті кернеуде (U_p) ашылады. Кремний диоды үшін бұл кернеу 0,6–0,7 В, ал германий диоды үшін 0,2–0,4 В құрайды.
- Кері кернеу аймағы: Диод жабық күйде жұмыс істейді және шамамен I_s қанығу тогына тең шағын кері ток өтеді.

Бұзылу кернеуі:

- Кері кернеу диодтың бұзылу кернеуімен шектеледі.
- Көшкіннің бұзылуы кезінде ток күрт артады, ал кернеу өзгеріссіз қалады. Бұл қасиет кернеуді тұрақтандыру үшін қолданылады.
- Егер бұзылу қайтымды болса, кернеу жойылғаннан кейін жартылай өткізгіштің қасиеттері қалпына келеді.



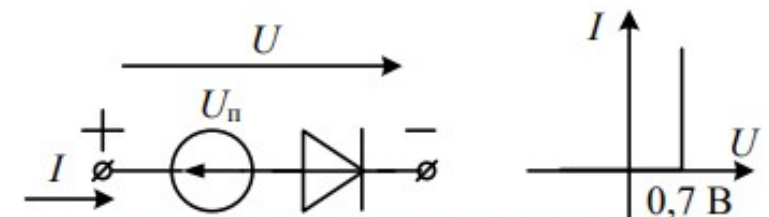
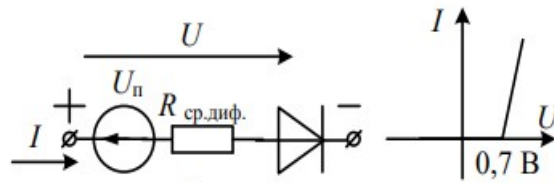
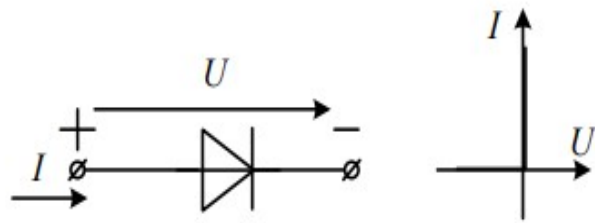
ЭКВИВАЛЕНТТІ СХЕМАЛАР ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ

Модельдеу қажеттілігі:

- Диодтардың CVC-сы сызықты емес, сондықтан дәл есептеулер графикалық әдістермен немесе компьютерлік модельдеу бағдарламаларымен (мысалы, TINA) орындалады.
- Мәселенің дәлдігіне байланысты әртүрлі эквивалентті схемалар қолданылады.

Қарапайым эквивалентті схемалар:

- Идеалды диод: Ең қарапайым үлгі; теріс кернеуде жабық, оң кернеуде толық ашық деп саналады.
- Оңайлатылған эквивалентті схема: Қосулы күйдегі диод бойынша шекті кернеудің төмендеуі ескеріледі ($U_p \approx 0,7 \text{ V}$), бірақ дифференциалды кедергі нөлге тең деп алынады.
- Орташа дифференциалды кедергімен модельдеу: CVC-ның шағын сызықтық қимасын сызықтық модельмен кедергі ($R_{\text{диф}}$) ескеріледі.



АРНАЙЫ ДИОДТАР ТҮРЛЕРІ

Шоттки Диодтары:

- Металл мен жартылай өткізгіш (Si, GaAs) арасындағы түйіспеге негізделген.
- Негізгі емес тасымалдаушылардың әсері аз болғандықтан, олар төмен инерциямен және жоғары жиілікте (20 ГГц-ке дейін) жұмыс істеу қабілетімен ерекшеленеді.

Туннель Диодтары:

- P-n өткелінің құлыптау қабатының қалыңдығы өте аз.
- Жұмысы туннель әсеріне (электрондардың тар потенциалды тосқауыл арқылы өтуіне) негізделген.
- SVC-да теріс дифференциалды кедергінің құлаған аймағы пайда болады. Олар жоғары жиілікті генераторларда қолданылады (10 ГГц-ке дейін).

Варикаптар:

- Кері қосылған электронды-тесік өткелінің сыйымдылығы сызықтық емес түрде басқару кернеуіне тәуелді болатын диод.
- Жоғары жиілікті генераторларды конфигурациялау және автоматты жиілікті реттеу құрылғыларында қолданылады.

Жарықдиодтар (Светодиодтар, LED):

- Тура ток өткен кезде оптикалық сәулелену тудыратын диодтар (электролюминесценция процесі).
- Қазіргі уақытта қыздыру шамдарын алмастыратын жарықтандыру диодтары ретінде кеңінен қолданылады.

Фотодиодтар:

- Жұмысы кері кернеу аймағында пайда болатын, жарық сезімтал құрылғы.
- Түсетін жарық энергиясының қарқындылығына пропорционалды бос электрондар санын тудырады.

ШЕКТЕГІШТЕР ЖӘНЕ ТҰРАҚТАНДЫРҒЫШТАР

Диодты шектегіштер:

- Көптеген электронды тізбектерде кіріс кернеуін шектеу үшін қолданылады.
- Тізбекті шектегіш: Диод жүктемемен қатар қосылады және шығыс кернеуі белгілі бір тұрақты кернеу деңгейінен жоғары немесе төмен кесіледі.
- Параллель шектегіш: Диодтар кері бағыттағы ығысу кернеулерімен қосылып, кіріс сигналының екі жағынан да ($+U$ және $-U$) шектелуін қамтамасыз етеді.
- Бұл схемалар құрылғыларды артық кернеуден қорғауға және сигнал пішінін түрлендіруге мүмкіндік береді.

Зенер Диодтары:

- Зенер диоды кері кернеу аймағындағы көшкіннің бұзылуын пайдаланады.
- Бұл диод тұрақтандыру кернеуінде (мысалы, 6,2 В) жұмыс істейді және ток өзгерген кезде кернеуді тұрақты деңгейде ұстап тұрады.
- Олар негізінен кернеу тұрақтандырғыштарының тізбектерінде қолданылады.

Қорытынды

- ✓ Жартылай өткізгіш диодтар – қазіргі электрониканың негізгі тасы. Олардың жұмысы p-n өткелінің ерекше қасиетіне негізделген: бір бағытта еркін ток өткізу және кері бағытта токты бөгеу. Бұл ерекшелік диодтарды тұрмыстық техникадан бастап, күрделі байланыс жүйелеріне дейінгі барлық жерде қолданылатын әмбебап құрылғыға айналдырды.
- ✓ Диодтардың негізгі қолданылуы айнымалы токты тұрақты токқа түрлендіру (түзету) болып табылады, бұл үшін жартылай толқынды және тиімді көпірлік схемалар пайдаланылады. Түзетілген кернеудің сапасын арттыру үшін сыйымдылық сүзгілері мен басқа да жиіліктік сүзгілер қолданылып, пульсация азаяды. Арнайы диодтар (Шоттки, Туннель, Варикап, Зенер) қазіргі заманғы электрондық жүйелердің жоғары жиіліктегі жылдамдығын, сигналды басқаруын және кернеуді тұрақтандыруын қамтамасыз етеді. Диодтардың дұрыс таңдалуы және қолданылуы кез келген электрондық құрылғының сенімділігі мен тиімділігін арттыруда шешуші рөл атқарады.

Қайталау сұрақтары

Жалпы сұрақтар

1. Жартылай өткізгіш диод дегеніміз не? Оның негізгі элементі қайсы?
2. Анод пен катод дегеніміз не және олардың айырмашылығы қандай?
3. Диффузия және дрейф құбылыстарының физикалық мәнін түсіндіріңіз.
4. Кеңістік заряд аймағы дегеніміз не? Оның рөлі қандай?
5. Диодтың тұра және кері ығысудағы жұмыс режимдерін сипаттаңыз.

Ток-кернеу сипаттамасы және эквивалентті модельдер

6. Диодтың ток-кернеу сипаттамасы (ВАХ) қалай анықталады?
7. Кремний және германий диодтарының шекті кернеулері қандай?
8. Диодтың статикалық және дифференциалды кедергілерінің айырмашылығын түсіндіріңіз.
9. Диодтың эквивалентті схемаларын атаңыз.
10. Неліктен идеал диод үлгісі есептеулерде жиі қолданылады?

Арнайы диодтар

11. Шоттки диодының p-n диодынан айырмашылығы неде?
12. Туннель диодының ерекше қасиеті қандай және ол қайда қолданылады?
13. Варикап дегеніміз не және ол қайда қолданылады?
14. Жарықдиодтағы электролюминесценция құбылысы қалай түсіндіріледі?
15. Фотодиод қалай жұмыс істейді және қай салаларда қолданылады?
16. Зенер диодының негізгі қызметін атаңыз.

Қолдану салалары

17. Айнымалы токты түзету үшін диодтар қалай қолданылады?
18. Жартылай толқынды және көпірлі түзеткіштердің айырмашылығы қандай?
19. Конденсаторлық сүзгі түзетілген кернеуді қандай мақсатта қолданады?
20. Диодты шектегіш және кернеу ұстағыш тізбектердің атқаратын қызметін түсіндіріңіз.

Назарларыңызға рақмет!