

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Құттыбай Н.Б.

Электроника негіздері

«Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар», «Өндірістік электроника және басқару жүйелері» мамандықтары бойынша білім алушы студенттерге арналған

Алматы

6 Дәріс

Тақырыбы: Жартылай өткізгіш диодтар. Түзеткіш диодтар. Диодтарды қолдану. Диодтардың вольт-амперлік сипаттамалары

Дәрістің мақсаты мен міндеттері:

Дәрістің мақсаты: Жартылай өткізгіш диодтардың құрылымы мен жұмыс істеу принципін түсіндіру, олардың вольт-амперлік сипаттамаларын талдау және диодтардың негізгі түрлерін, әсіресе түзеткіш диодтардың қолданылу салаларын меңгеру.

Міндеттері:

1. Жартылай өткізгіш диодтардың құрылымы мен жұмыс істеу принципін түсіндіру.

2. Диодтардың тура және кері қосылу режимдерін, тосқауыл қабатын және вольт-амперлік сипаттамасын зерттеу.

3. Түзеткіш диодтардың түрлерін, жұмысын және қолдану салаларын меңгеру.

Түйінді ұғымдар мен терминдер:

- Жартылай өткізгіш диод (Semiconductor diode)
- P-n өткел (P-N junction)
- Анод және катод (Anode, Cathode)
- Тура қосу (Forward bias)
- Кері қосу (Reverse bias)
- Тосқауылдық потенциал (Barrier potential)
- Вольт-амперлік сипаттама (Voltage-Current Characteristic, V-I characteristic)
- Қанығу тогы (Saturation current)
- Түзеткіш диодтар (Rectifier diodes)
- Бір жарты толқынды түзеткіш (Half-wave rectifier)
- Толық толқынды түзеткіш (Full-wave rectifier)
- Көпірлі түзеткіш (Bridge rectifier)

Дәріс жоспары

1. Жартылай өткізгіш диод
2. Диодтың жұмыс істеу принципі
3. Диодтардың вольт-амперлік сипаттамасы (BAC)
4. Түзеткіш диодтар (Rectifier diodes)
5. Диодтарды қолдану салалары

Білімді бекітуге арналған сұрақтар

Қорытынды

Әдебиеттер тізімі

1. Жартылай өткізгіш диод

Жартылай өткізгіш диод — бұл екі терминалдан (анод пен катод) тұратын пассивті электрондық құрылғы, ол электр тогын тек бір бағытта өткізіп, кері бағытта оны өткізбейді немесе өте әлсіз өткізеді. Бұл қасиет оны түзеткіш ретінде қолдануға мүмкіндік береді.



Жартылай өткізгіш негізі:

Диод жартылай өткізгіш материалдардан — кремний (Si) немесе германий (Ge) негізінде жасалады. Бұл материалдардың ерекше қасиеті — оларды легирлеу арқылы (қоспалар қосу) өткізгіштігін өзгертуге болады.

P-n өткелі:

Диодтың негізгі бөлігі — p-n өткелі. Бұл әртүрлі өткізгіштікке ие екі аймақтың (p және n) бір-бірімен қосылған жері.

❖ P-аймақ (positive) — артық кемтіктері (тесіктер) бар аймақ. Бұл аймақ акцепторлық қоспалармен (мысалы, бор) легирленеді. Тесіктер — валенттік аймақта бос орынды білдіреді, яғни электрон жетіспейтін орын.

❖ N-аймақ (negative) — артық электрондары бар аймақ. Бұл аймақ донорлық қоспалармен (мысалы, фосфор) легирленеді. Донорлар кристал торына қосымша электрон береді.

P-n өткелінің түзілу процесі:

P және N аймақтары бір-бірімен қосылғанда, диффузия процесі жүреді — N-аймақтағы артық электрондар P-аймаққа өтеді, ал P-аймақтағы тесіктер N-аймаққа өтеді. Осы қозғалыстың нәтижесінде p-n өткелі пайда болады.

Бұл өткелде:

❖ Электрондар мен тесіктер бір-бірімен рекомбинацияланады.
❖ Нәтижесінде зарядталған иондар қабаты пайда болып, тосқауылдық потенциал (барьерлік қабат) түзіледі.

❖ Бұл қабат электр өрісін қалыптастырып, токтың еркін ағып кетуіне жол бермейді.

Диодтың екі терминалы:

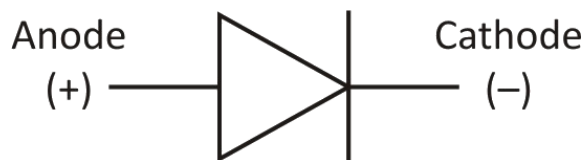
❖ Анод — диодтың оң терминалы (p-аймаққа қосылады)

❖ Катод — диодтың теріс терминалы (n-аймаққа қосылады)

Диодтың негізгі қасиеті:

❖ Тек бір бағытта ток өткізеді (анодтан катодқа).

❖ Кері бағытта қосылғанда — ток өткізбейді (немесе тек аздаған кері ағып жатқан ток болады).



2. Диодтың жұмыс істеу принципі

Жартылай өткізгіш диодтың негізгі қызметі — токты тек бір бағытта өткізу. Бұл қасиет оның тура және кері қосылу жағдайларына байланысты.

2.1. Тура қосу (Forward bias)

Тура қосу — бұл диодтың анодына оң кернеу, ал катодына теріс кернеу берілген жағдай.

Не болады:

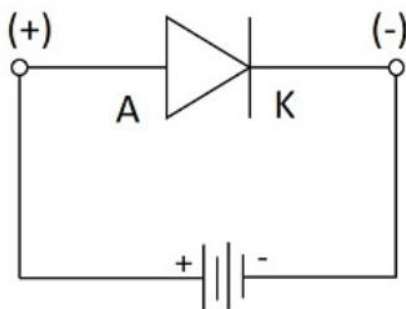
- ❖ Сыртқы кернеу р-п өткеліндегі тосқауылдық қабатты (барьерді) азайтады.

- ❖ Бұл тосқауыл потенциалы, мысалы, кремний диоды үшін ≈ 0.7 В, германий диоды үшін ≈ 0.3 В.

- ❖ Сыртқы көзден түсетін кернеу тосқауылды жеңіп өткенде, заряд тасымалдаушылар (электрондар мен кемтіктер) қайтадан қозғала бастайды.

- ❖ Электрондар п-аймақтан р-аймаққа, ал кемтіктер р-аймақтан п-аймаққа қарай ағады.

- ❖ Осылайша, ток тізбек арқылы ағады — диод ашылады.



2.2. Кері қосу (Reverse bias)

Кері қосу — бұл диодтың анодына теріс, ал катодына оң кернеу берілген жағдай.

Не болады:

- ❖ Бұл жағдайда сыртқы кернеу тосқауылдық қабатты ұлғайтады.

- ❖ Рекомбинацияланған аймақтағы иондардың саны артып, р-п өткел кеңейеді.

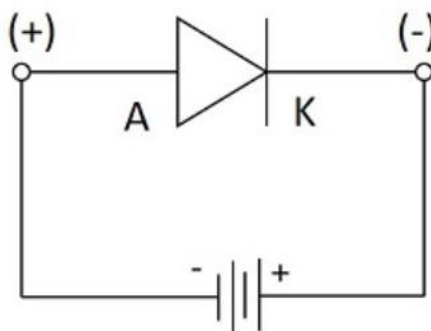
- ❖ Бұл аймақта ток өте әлсіз (кері ток) болады, ол тек аздаған азат тасымалдаушылардың есебінен ағады.

- ❖ Сондықтан, диод токты өткізбейді — жабық күйде қалады.

Ерекше жағдай — ақау:

- ❖ Егер кері кернеу белгілі бір шектен (пробой кернеуі) асып кетсе, тосқауыл қабат бұзылып, күшті кері ток пайда болады.

- ❖ Бұл жағдай диодты зақымдауы мүмкін (егер арнайы Zener диод болмаса).



3. Диодтардың вольт-амперлік сипаттамасы (ВАС)

Вольт-амперлік сипаттама (ВАС) — бұл диодтың кернеу (U) мен ток (I) арасындағы тәуелділігін сипаттайтын график немесе функционалдық кривая. Ол диодтың қандай режимде жұмыс істейтінін анықтауға көмектеседі: тура қосу режимінде ме, әлде кері қосу режимінде ме.

ВАС-тың екі негізгі аймағы:

1. Тура ток аймағы (*Forward Bias Region*)

Бұл аймақта диодқа анод арқылы оң кернеу, ал катод арқылы теріс кернеу беріледі.

Қасиеттері:

- ❖ Кішкене кернеулер кезінде ($\approx 0 \dots 0.5$ В) ток өте аз болады, себебі р-п өткелдегі тосқауылдық қабат әлі толық жойылмаған.

- ❖ Тосқауылдық потенциал жойылғаннан кейін (мысалы, кремний диоды үшін ≈ 0.7 В, германий диоды үшін ≈ 0.3 В) диод ашыла бастайды.

- ❖ Осы шектен асқаннан кейін ток экспоненциалды түрде өседі.

Тура ток жуық түрде мына теңдеумен беріледі (идеалды жағдайда):

$$I = I_0(e^{(qU)/(kT)} - 1)$$

Мұндағы:

- ❖ I — диодтағы ток
- ❖ I_0 — қанығу тогы (өте кіші, кері ток)
- ❖ q — электрон заряды
- ❖ U — диодқа түсірілген кернеу
- ❖ k — Больцман тұрақтысы
- ❖ T — температура (Кельвинмен)

2. Кері ток аймағы (*Reverse Bias Region*)

Бұл аймақта диодқа анод арқылы теріс кернеу, ал катод арқылы оң кернеу беріледі.

Қасиеттері:

- ❖ Диод жабық күйде болады.
- ❖ Бірақ кері ток деген ұғым бар — бұл аздаған ток, ол аз мөлшерде бар болатын азат заряд тасымалдаушылар есебінен жүреді.

- ❖ Бұл ток өте әлсіз (наноампер, микроампер деңгейінде), тұрақты және температураға тәуелді.

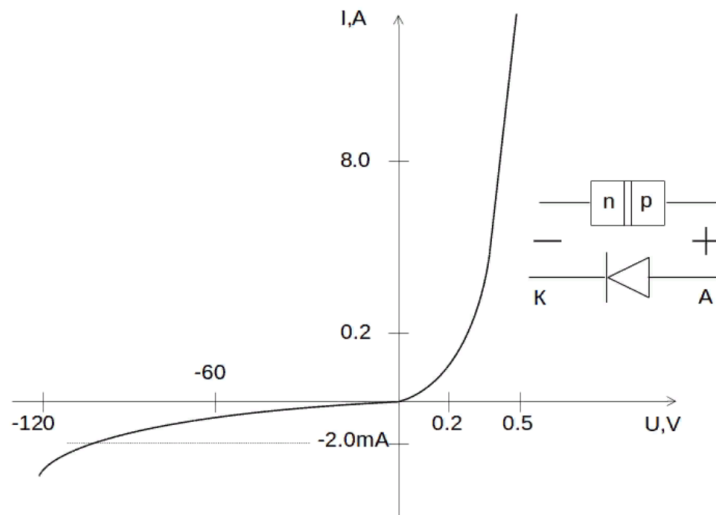
Ақау құбылысы:

❖ Егер диодқа түсірілген кері кернеу өте үлкен болса және белгілі бір пробой кернеуінен (мысалы, 50 В, 100 В, диод түріне қарай) асып кетсе, диодтағы тосқауыл қабат бұзылады.

❖ Бұл кезде күшті кері ток пайда болады — пробой режимі.

❖ Егер диод қарапайым диод болса, мұндай ток диодты зақымдауы мүмкін.

❖ Арнайы стабилитрон (Zener диод) кері пробой режимінде жұмыс істеуге арналып жасалады.



4. Түзеткіш диодтар (Rectifier diodes)

Түзеткіш диодтар — бұл диодтардың айрықша түрі, олар айнымалы токты (AC) тұрақты токқа (DC) түрлендіру үшін қолданылады. Бұл процесс түзету (ректификация) деп аталады. Түзеткіш диодтар жоғары токқа және кернеуге төтеп бере алатындай етіп жасалады, сол себепті олар қуатты электр тізбектерінде кеңінен қолданылады.

Негізгі қызметі

Айнымалы токтың бағыты үзіліссіз өзгеріп отырады, ал көптеген электрондық құрылғылар тек тұрақты токпен (DC) жұмыс істейді. Түзеткіш диодтар осындай жағдайда айнымалы токтың тек бір бағытын өткізеді, ал екінші бағытын бөгейді. Осылайша, олар айнымалы токты тұрақты токқа түрлендіруде маңызды рөл атқарады.

Түзеткіш диодтардың түрлері

1. *Бір жарты толқынды түзеткіш (Half-wave rectifier)*

❖ Бұл схема бір ғана диодтан тұрады.

❖ Айнымалы токтың тек оң жарты толқынын өткізеді, ал теріс жартысы бөгеліп қалады.

❖ Шығыс кернеуінде жарты толқындардан тұратын импульстік сигнал пайда болады.

Артықшылықтары:

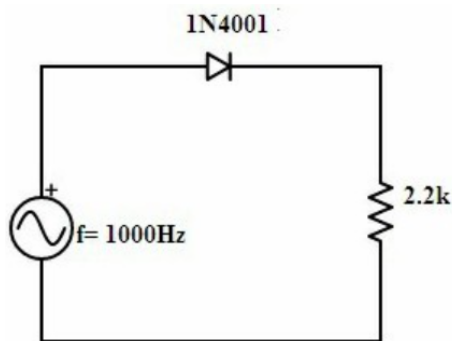
❖ Қарапайым құрылым.

❖ Аз шығын.

Кемшіліктері:

❖ Пайдалы қуат төмен.

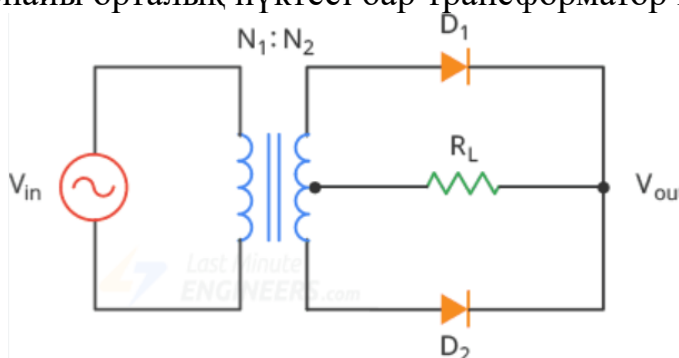
❖ Сигналда көп пульсация (тегістелмеген ток).



2. Толық толқынды түзеткіш (Full-wave rectifier)

Екі диодты схема (орталық нүктелі трансформатормен):

- ❖ Айнымалы токтың екі жарты толқыны да пайдаланылады.
- ❖ Әрбір жарты толқынды өз диоды өткізеді.
- ❖ Бұл үшін арнайы орталық нүктесі бар трансформатор қолданылады.



Көпірлі түзеткіш (Bridge rectifier):

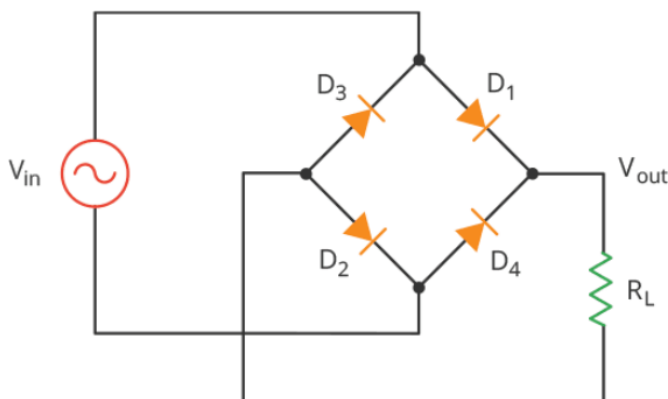
- ❖ 4 диодтан тұратын түзеткіш.
- ❖ Екі жарты толқын да толық пайдаланылып, тұрақты токқа айналады.
- ❖ Трансформатордың орталық нүктесі қажет емес.

Артықшылықтары:

- ❖ Токтың екі жарты толқынын да пайдаланады → тиімділік жоғары.
- ❖ Шығыс кернеуі тұрақтырақ.

Кемшіліктері:

- ❖ Схема күрделірек.
- ❖ Диодтардың саны көп болғандықтан, кернеудің біршама бөлігі диодтарда жоғалуы мүмкін.



5. Диодтарды қолдану салалары

Түзеткіш диодтар айнымалы токты тұрақты токқа түрлендіру үшін пайдаланылады. Айнымалы ток электр қуатын таратуда кеңінен қолданылады,

алайда көптеген электронды құрылғылар тек тұрақты токпен жұмыс істейді. Осы себепті түзеткіш диодтар айнымалы токты тұрақты токқа түрлендіру үшін өте маңызды.

Диодтардың негізгі ерекшелігі — олар тек бір бағытта ток өткізеді. Сондықтан оларды кері токтың ағуын болдырмау үшін қолданады.

Импульстік сигналдар көбінесе диодтар арқылы қалыптастырылады. Бұл үшін диодтар импульстік схемаларда кеңінен қолданылады.

Диодтар радиоқабылдағыштарда сигналдарды детекциялау үшін кеңінен қолданылады.

Білімді бекітуге арналған сұрақтар:

1. Жартылай өткізгіш диодтың негізгі құрылымдық элементтері қандай?
2. P-n өткел қалай түзіледі және оның физикалық мәні неде?
3. Диодтың тура қосылу кезінде токтың өту механизмі қандай?
4. Кері қосылу кезінде диод не себепті ток өткізбейді?
5. Вольт-амперлік сипаттама (BAC) не үшін қажет және ол қалай көрінеді?
6. Қандай жағдайларда диод пробой режиміне өтеді?
7. Бір жарты толқынды және толық толқынды түзеткіштің айырмашылығы неде?
8. Көпірлі түзеткіштің артықшылығы мен кемшіліктері қандай?
9. Түзеткіш диодтар қай салаларда қолданылады?
10. Тосқауылдық потенциал және қанығу тогы дегеніміз не?

Қорытынды:

Диодтар — токты тек бір бағытта өткізуге арналған негізгі жартылай өткізгіш құрылғылар. Олар түзеткіш, қорғаныс, сигнал өңдеу, кернеу тұрақтандыру сияқты көптеген салаларда кеңінен қолданылады. Диодтың жұмысы p-n өткелінің қасиеттеріне негізделген және оның вольт-амперлік сипаттамасы ток пен кернеудің байланысын көрсетеді.

Электроникада диодтар — қарапайым әрі маңызды элемент, онсыз көптеген электрондық құрылғылардың жұмысын елестету қиын.

Әдебиеттер тізімі:

1. Гольдштейн Ю.А., Коровкин Н.К. Электроника: Учебник для вузов. — М.: Академия, 2018.
2. Седра А., Смит К. Микроэлектронные схемы. — М.: Вильямс, 2020.
3. Бояринов И.Н. Основы электроники и электротехники. — СПб.: Питер, 2019.
4. Филиппов В.А. Электроника и схемотехника. — М.: Форум, 2021.
5. Малюков Ю.И. Полупроводниковые приборы и их применение. — М.: Энергоатомиздат, 2017.
6. Millman J., Halkias C. Electronic Devices and Circuits. — McGraw-Hill, 2009.
7. Boylestad R.L., Nashelsky L. Electronic Devices and Circuit Theory. — Pearson, 2020.