

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

12 Дәріс

Тақырыбы: Фоторезисторлар, фототранзисторлар және фототиристорлар. Жұмыс жасау қағидалары

Дәрістің мақсаты мен міндеттері:

Дәрістің мақсаты: Фоторезисторлар, фототранзисторлар және фототиристорлар сияқты жарыққа сезімтал жартылай өткізгіш құрылғылардың құрылымы, жұмыс істеу принципі және қолданылу салаларымен танысу. Жарықтың электрондық компоненттерге әсерін түсіндіріп, бұл элементтердің автоматтандыру, басқару және сенсорлық жүйелердегі рөлін көру.

Міндеттері:

1. Фоторезисторлар, фототранзисторлар және фототиристорлардың құрылымын, жұмыс істеу принципін және ерекшеліктерін түсіндіру.
2. Жарыққа сезімтал жартылай өткізгіш құрылғылардың қолданылу салаларын қарастыру.
3. Студенттерге жарық сигналын электрлік сигналға түрлендіру жолдарын түсіндіру және осы элементтердің автоматтандыру мен сенсорлық жүйелердегі рөлін көрсету.

Түйінді ұғымдар мен терминдер:

- Фоторезистор (LDR – Light Dependent Resistor)
- Фототранзистор (phototransistor)
- Фототиристор (photothyristor, SCR)
- Жарыққа сезімтал жартылай өткізгіш материалдар: CdS, CdSe, PbS
- Ішкі фотоефект, электрон-тесік жұптары
- Коллектор, эмиттер, база
- PNPN құрылым, анод, катод
- Қараңғылық тогы (dark current), ток күшейту коэффициенті (hFE)
- Оптопарлар, IR датчиктер, фотоимпульс, фотовольтаикалық басқару

Дәріс жоспары

Кіріспе

1. Фоторезистор
2. Фототранзистор
3. Фототиристор

Білімді бекітуге арналған сұрақтар

Қорытынды

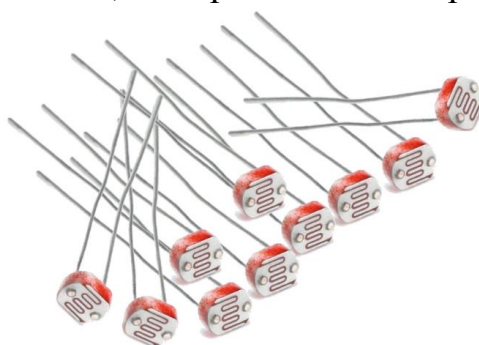
Әдебиеттер тізімі

Кіріспе

Светке сезімтал элементтер – автоматикада, робототехникада, қауіпсіздік жүйелерінде, тұрмыстық техникада, күн сәулесін бақылау құрылғыларында және басқа да көптеген салаларда кеңінен қолданылады. Бұл лекцияда біз жарық ағынын электрлік сигналға түрлендіретін үш негізгі жарыққа сезімтал элементтерді қарастырамыз: фоторезистор, фототранзистор және фототиристор.

1. Фоторезистор

Фоторезистор (басқа атауы – фотосезімтал резистор немесе LDR – Light Dependent Resistor) – жарық ағынының қарқындылығына байланысты өзінің электрлік кедергісін өзгертіп отыратын пассивті электрондық компонент. Яғни, жарық көп болса – кедергі азаяды, ал қараңғыда – кедергі күшейеді.



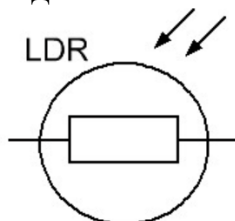
Құрылымы:

Фоторезистор – жарық сезгіш қабатпен қапталған, екі электродпен жалғанған жартылай өткізгіш материалдан тұрады. Бұл жарық сезгіш материалдар көбінесе:

- ❖ Кадмий сульфиді (CdS)
- ❖ Кадмий селениді (CdSe)
- ❖ Кейде қорғасын сульфиді (PbS) сияқты материалдар болады.

Құрылғының корпусы мөлдір пластиктен немесе әйнектен жасалады, осылайша жарық фоторезистор бетіне еркін түседі.

Электродтар материалдың екі шетіне жалғанған және олар арқылы сыртқы электр тізбегімен байланысады.



Жұмыс істеу қағидасы:

Фоторезистордың жұмысы фотоэффект құбылысына негізделген, нақтырақ айтсақ, ішкі фотоэффект:

1) Қараңғыда:

❖ Жартылай өткізгіш материалда электрондар жеткіліксіз, сондықтан кедергі жоғары болады (әдетте бірнеше мегаОмға дейін).

❖ Электрондар валенттік аймақта қалады, өткізгіштік аймаққа өте алмайды.

2) Жарық түскенде:

❖ Фотондар жартылай өткізгішке сіңіп, электрон-тесік жұптарын тудырады.

❖ Бұл электрондар өткізгіштік аймаққа өтіп, ток ағынына мүмкіндік береді.

❖ Нәтижесінде фоторезистордың кедергісі азаяды (бірнеше жүз Омға дейін).

Қарапайым тілмен айтқанда: жарық неғұрлым көп түссе – фоторезистор соғұрлым «жақсы өткізеді».

Фоторезистордың сипаттамалары:

❖ Жауап беру уақыты:

• Кейбір фоторезисторларда жарыққа реакция бірнеше миллисекундтан бастап ондаған секундқа дейін созылуы мүмкін.

❖ Спектрлік сезімталдық:

• Әр материал жарықтың тек белгілі бір толқын ұзындығына сезімтал.

• CdS негізіндегі фоторезисторлар көбіне көрінетін жарық диапазонында (400–700 нм) жұмыс істейді.

❖ Температураға тәуелділігі:

• Қоршаған ортаның температурасы кедергіге әсер етуі мүмкін, бұл кейбір қосымшаларда қосымша калибрлеуді қажет етеді.

Қолданылуы:

Фоторезисторлар жарық деңгейін өлшеу немесе бақылау қажет кез келген жүйеде қолданылады. Негізгі қолдану салалары:

1) Жарық датчиктері (күн/түн детекторлары)

❖ Көшедегі шамдарды автоматты түрде қосу немесе өшіру.

❖ Автокөліктердегі автоматты шам басқару жүйелері.

2) Автоматты жарықтандыру жүйелері

❖ Үй немесе кеңседегі жарық қарқындылығына қарай жарықтандыруды басқару.

3) Фотоқосқыштар (photo switch)

❖ Қозғалыс детекторларында жарық көзінің жанасуын бақылау.

❖ Оптикалық қауіпсіздік жүйелерінде объектінің болуын анықтау.

4) Камералар мен ұялы телефондардағы жарық сенсорлары

❖ Экран жарықтығын автоматты реттеу үшін.

5) Электронды ойыншықтар мен білім беру құрылғыларында

❖ Қарапайым жарыққа реакция беретін интерактивті жүйелер.

6) Өндірістік жүйелерде

❖ Қаптамаларды, өнімдерді санау және сапа бақылау процестерінде.

2. Фототранзистор

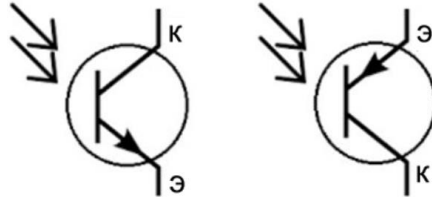
Фототранзистор – бұл жарық энергиясын электрлік сигналға түрлендіретін жартылай өткізгіштік құрылғы, оның жұмысы транзистордың базасына жарық түсуімен басқарылады. Яғни, фототранзистор – бұл кәдімгі биполярлы транзистордың арнайы түрі, ол базалық токтың орнына жарық сигналын пайдаланады.



Қарапайым сөзбен айтсақ: фототранзистор – жарықты «сезіп», соған қарай токты күшейтетін құрал.

Құрылымы:

Фототранзистордың құрылымы кәдімгі биполярлы транзисторға ұқсас және NPN немесе PNP типінде жасалады. Бірақ айырмашылығы – базасы ашық немесе мөлдір болып келеді және оған жарық тікелей түседі.



Құрылым элементтері:

- ❖ Эмиттер (Е)
- ❖ Коллектор (С)
- ❖ База (В) – сыртқы сыммен жалғанбаған, оның орнына фотондар әсер етеді.

❖ Жарық өткізгіш қабықша немесе линза – жарықты базалық аймаққа бағыттайды.

Кейбір фототранзисторларда базаға сыртқы сигнал да берілуі мүмкін, бірақ ол міндетті емес. Негізгі әсерді жарық ағыны жасайды.

Жұмыс істеу қазғидасы:

Фототранзистордың жұмыс істеуі ішкі фотоефект пен транзисторлық күшейтудің үйлесуіне негізделген:

- 1) Жарық фотондары базалық аймаққа түскен кезде электрон-тесік жұптарын тудырады.
- 2) Бұл жұптар базалық ток рөлін атқарады – яғни, олар транзистордың ашылуына әсер етеді.
- 3) Нәтижесінде коллектор-эмиттер арасында ток ағып өтеді.
- 4) Жарық қарқындылығы артқан сайын, тудырылған жұптар саны көбейеді → ток күшейеді.

Яғни, фототранзистор – бұл жарыққа тәуелді күшейткіш элемент. Ол кішігірім жарық сигналды алып, үлкен электр тогына айналдырады.

Фототранзистордың сипаттамалары:

- ❖ Жауап уақыты - Көп жағдайда фоторезисторларға карағанда тезірек (микросекунд деңгейінде);
- ❖ Қараңғылық тогы (dark current) - Жарықсыз жағдайда да аздаған ток өтеді;
- ❖ Күшейту коэффициенті (hFE) - Кәдімгі транзистор сияқты, токты күшейте алады;

❖ Жарыққа сезімталдық - Әдетте көрінетін немесе инфрақызыл диапазонға бапталған;

❖ Қоректену кернеуі - 3–15 В аралығында (сұлбаға байланысты).

Қолданылуы:

Фототранзисторлар жарық сигналдарын анықтау, бақылау және түрлендіру қажет болатын түрлі электрондық жүйелерде қолданылады:

1) Фотоқабылдағыштар

❖ Жарық сәулесін қабылдап, оны электр сигналына айналдырады (мысалы, пульт қабылдағыштары, оптикалық байланыс жүйелері).

2) Оптопарлар (оптроны)

❖ Бір электр тізбегінен екіншісіне жарық арқылы оқшауланған сигнал беру.

❖ Мұнда фототранзистор жарықдиодпен бірге бір корпуста орналасады.

3) Қозғалыс детекторлары мен санақ жүйелері

❖ Белгілі бір объект жарықты бөгегенде немесе шағылдырғанда өзгеріс тіркеледі (мысалы, эскалаторлар, адамдар санау жүйелері).

4) Инфрақызыл (IR) датчиктер

❖ Қарапайым қашықтық өлшеу жүйелерінде, кедергіні анықтау құрылғыларында.

5) Электрондық оқшаулау жүйелері

❖ Жоғары кернеулі жүйелерді төмен кернеулі басқару схемаларынан қорғау.

6) Кеңсе техникасы (принтерлер, сканерлер)

❖ Қағаз өтуін бақылау, шет анықтау, сканерлеу басының орны.

3. Фототиристор

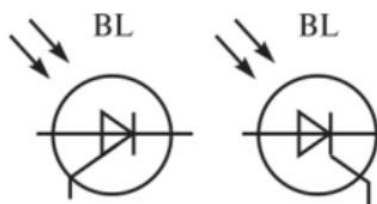
Фототиристор — бұл жарық энергиясының әсерінен ашылатын, яғни жұмысқа қосылатын, төрт қабатты (PNPN) құрылымға ие жартылай өткізгіштік құрылғы. Ол жарық сигналымен іске қосылып, электр тогын өткізуге мүмкіндік береді. Ашылғаннан кейін, фототиристор жарық тоқтаса да, тоқты өткізе береді — ток тек жүктеме тізбегі тоқтаған кезде үзіледі.



Қарапайым тілмен айтсақ: фототиристор — жарық түссе, “іске қосылып” ток өткізетін электрондық “жарықпен басқарылатын қосқыш”.

Құрылымы:

Фототиристордың құрылымы кәдімгі тиристордың (немесе SCR – *Silicon Controlled Rectifier*) құрылымымен ұқсас, бірақ оған жарыққа сезімтал аймақ қосылған. Бұл жарық түсетін аймақ тиристордың “жарықпен басқарылатын триггері” ретінде жұмыс істейді.



Негізгі құрылым элементтері:

- ❖ PNPN қабаттары (төрт қабатты құрылым): P-N-P-N
- ❖ Анод (А) – оң кернеу беріледі
- ❖ Катод (К) – теріс кернеу немесе жерге жалғанады
- ❖ Жарыққа сезімтал аймақ – арнайы өңделген базалық аймақ, оған жарық түссе, құрылғы іске қосылады

Кейбір фототиристорларда бақылау электроды (gate) болмайды – оның орнына жарық сигналымен іске қосылады.

Жұмыс істеу қағидасы:

Фототиристордың жұмыс істеу принципі ішкі фотогенерация және тиристорлық эффектке негізделеді:

1) Жарық фотондары жартылай өткізгіш құрылымға түскенде, электрон-тесік жұбын тудырады.

2) Бұл заряд тасымалдаушылар PNPN құрылымындағы кернеуді теңестіріп, “регениративті” процесті іске қосады.

3) Осылайша, құрылғы “ашылады”, яғни анод-катод арасында ток аға бастайды.

4) Құрылғы ашылғаннан кейін жарық тоқтаған күннің өзінде ток жалғасады – бұл тиристордың “есте сақтау” қасиеті.

5) Токты үзу үшін жүктеме тізбегіндегі ток нөлге түсуі керек немесе тізбек толықтай үзілуі қажет.

Қолданылуы:

Фототиристорлар жоғары кернеу мен қуатты басқару қажет болатын, бірақ электрлік оқшаулау немесе оптикалық іске қосу талап етілетін жүйелерде кеңінен қолданылады:

1) Импульстік қуатты басқару құрылғылары

❖ Мысалы: жоғары қуатты жарық импульстарын басқару, лазерлер мен ксенон шамдарын басқару.

2) Оптикалық басқару жүйелері

❖ Электр тізбектерін механикалық түйісусіз, жарық арқылы қосу/өшіру, мысалы: фотоимпульс арқылы моторды іске қосу.

3) Жоғары кернеулі оқшауланған жүйелер

❖ Басқарушы тізбекті басқарылатын тізбектен оптикалық түрде оқшаулау қажет болғанда (мысалы, қауіпсіздік үшін).

4) Лазерлік құрылғылар

❖ Лазерлік импульстарды дәл және жылдам іске қосу үшін (лазерлік гравировка, медицина, әскери жүйелер).

5) Фотовольтаикалық басқару жүйелері

❖ Күн панельдерінің қуатын басқару, жарыққа байланысты жүктемені автоматты түрде қосу/өшіру.

Білімді бекітуге арналған сұрақтар:

1. Фоторезистордың жұмыс принципі қандай физикалық құбылыстарға негізделген?
2. Фоторезистор жарыққа қалай жауап береді және оның кедергісі қалай өзгереді?
3. Фототранзистор мен фоторезистор арасындағы негізгі айырмашылықтар қандай?
4. Фототранзистордың ток күшейтуші қасиеті қалай жүзеге асады?
5. Фототиристордың PNPN құрылымы қандай жұмыс ерекшеліктерін береді?
6. Фототиристор жарық тоқтағаннан кейін токты неге өткізуді жалғастырады?
7. Фоторезисторларды күн/түн детекторлары мен автоматты жарықтандыру жүйелерінде қалай қолдануға болады?
8. Фототранзисторлар оптопарларда және IR датчиктерінде қандай рөл атқарады?
9. Жоғары кернеулі жүйелерде фототиристорларды қолданудың артықшылықтары қандай?
10. Жарыққа сезімтал элементтерді таңдау кезінде спектрлік сезімталдық, жауап беру уақыты және қоректену кернеуі сияқты параметрлерді қалай ескеру қажет?

Қорытынды:

Фоторезисторлар, фототранзисторлар және фототиристорлар — жарыққа сезімтал жартылай өткізгіш құрылғылар. Олар жарықтың әсерінен өздерінің электрлік қасиеттерін өзгертеді және әртүрлі автоматтандырылған жүйелерде қолданылады.

Фоторезисторлар жарыққа байланысты кедергісін өзгертеді және қарапайым жарық датчиктері ретінде қолданылады. Фототранзисторлар жарық сигналын күшейтіп, дәл және сезімтал бақылау жүйелерінде пайдаланылады. Фототиристорлар жарық арқылы қуатты тізбектерді басқаруға мүмкіндік береді.

Бұл элементтер сенсорлық, бақылау және басқару жүйелерінде кеңінен қолданылады және жарық сигналдарын тиімді өңдеуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі:

1. Борисов В. И. "Электроника и микроэлектроника" — Москва: Высшая школа, 2010.
2. Титце У., Шенк Х. "Полупроводниковая схемотехника" — Москва: Мир, 2007.
3. Мурашев А. М., Рябов В. Г. "Основы электроники" — Санкт-Петербург: Питер, 2015.
4. Седра А., Смит К. "Микроэлектронные схемы" — Москва: Вильямс, 2012.

5. Гусев В. Е. "Электронные приборы и устройства" — Москва: Академия, 2011.
6. Horowitz P., Hill W. "The Art of Electronics" — Cambridge University Press, 2015.
7. Малиновский А. Ф. "Справочник по элементной базе автоматики" — Москва: Энергия, 2008.
8. Sedra A., Smith K. C. "Microelectronic Circuits", 7th edition — Oxford University Press, 2014.