

Група	<u>М182</u>
Дата	<u>05.05.2020</u>

Тема заняття:

Тема 2.4 Тиристори

Тема 2.5 Фотоелектричні прилади

План заняття:

1. Тиристори
2. Фотоелектричні прилади.
 - 2.1 Загальні відомості про види фотоефектів.
 - 2.2 Фотоелектричні напівпровідникові прилади.
 - 2.3 Оптоелектронні напівпровідникові прилади.

Джерела інформації:

Навчальний посібник

Левченко Т.В., Хоменко В.В., Оверчук М.П., Стефанішен М.В.

ЗАГАЛЬНА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА З ОСНОВАМИ АВТОМАТИКИ

с.176-189

Викладення матеріалу (методичні рекомендації) для опрацювання:

1. Тиристори

Тиристором називається напівпровідниковий прилад з трьома (або більше) р-п переходами, які можуть знаходитися у двох станах: відкритому або закритому, У відкритому стані опір тиристора невеликий і він добре проводить електричний струм, у закритому навпаки – опір тиристора великий і він електричний струм не проводить.

Тиристори бувають з двома виводами і мають назву діодні тиристори, або **диністори**, з трьома виводами – тріодні тиристори, або **триністори**.

Тиристори застосовуються у керованих випрямлячах змінного струму, у різних пристроях автоматики.

На рисунку 1 наведено будову та умовне графічне позначення диністора (а,б) і на рисунку 2 - триністора з керуванням по аноду (а) та катоду (б). На електричних схемах тиристор позначається літерами VS.

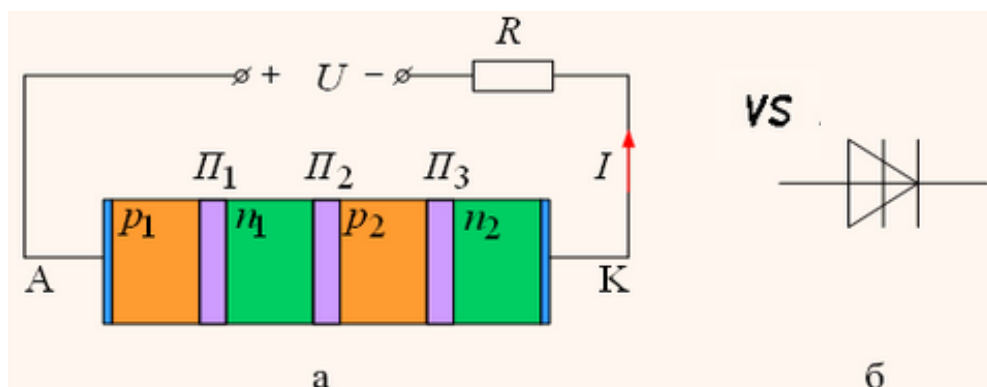


Рисунок 1 – Будова та умовне графічне позначення диністора

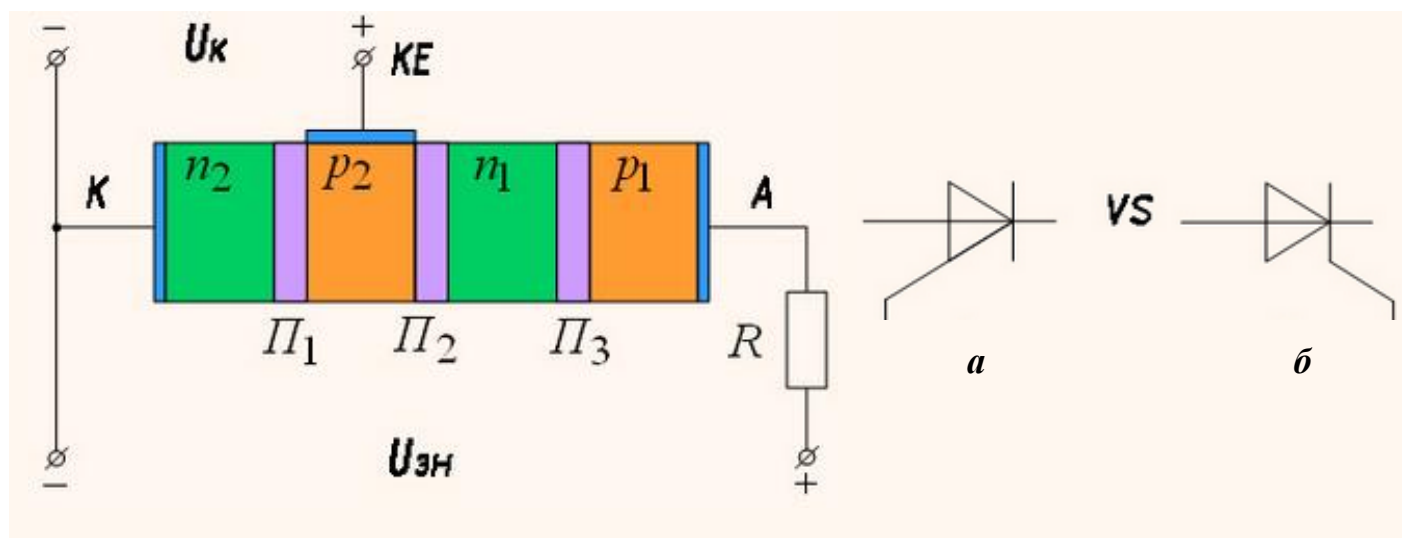


Рисунок 2 – Будова та умовне графічне позначення триністора

Будова тиристорів. Тиристори виготовляються з кремнію і мають чотири ділянки, електропровідність яких p і n чергуються. Крайня p -ділянка, яка з'єднана з позитивним полюсом джерела, називається **анодом А**, а інша крайня n -ділянка яка з'єднана з негативним полюсом, називається **катодом К**. Внутрішні p - і n - ділянки називаються **базами**.

Принцип дії тиристора. Якщо анод $p1$ з'єднати з позитивним полюсом джерела напруги, а катод $p2$ – з негативним, то p - n -переходи $\Pi1$ і $\Pi3$ будуть підключені у прямому напрямі і відкриті, а p - n -перехід $\Pi2$ підключений у зворотному напрямі і він буде закритий. Оскільки p - n -переходи з'єднані послідовно, то опір тиристора визначається опором закритого p - n -переходу $\Pi2$. Опір тиристора настільки великий, що електричне коло можна вважати розімкненим.

Збільшуючи напругу на тиристорі, можна досягнути такого значення, коли почнеться процес ударної іонізації атомів у p - n переході $\Pi2$, тобто під дією сильного електричного поля електрони дістануть кінетичну енергію, достатню для того, щоб струм через p - n -перехід $\Pi2$ різко збільшився, опір його різко впав і тиристор відкрився. Напруга на тиристорі, під дією якої починається процес ударної іонізації, називається напругою перемикавання.

Якщо до ділянки $n1$ (керування по аноду) або до ділянки $p2$ (керування по катоду) прикласти напругу за допомогою керуючого електрода, то ударна іонізація почнеться з меншої напруги перемикавання. Отже, процесом перемикавання тиристора із закритого стану у відкритий можна керувати за допомогою короткого імпульсу струму, який слід подати на керівний електрод.

Вольт-амперні характеристики, тобто залежності струму через тиристор від напруги на тиристорі $I=f(U)$ з різними значеннями струму керування.

Некеровані тиристори -диністори, мають два виводи, як у діода. Їх вольт-амперна-характеристика є постійною.

Керовані тиристори – триністори, мають три виводи - два силових і один керуючий електрод. При протіканні через керуючий електрод струму, варіюючи його можна змінювати вольт-амперну характеристику тиристора. Чим більше струм управління I_u через керуючий електрод, тим менше стає напруга перемикавання тиристора $U_{пер}$. Тиристори можна включати в коло тільки на пряму напругу, при зворотному підключенні він може вийти з ладу.

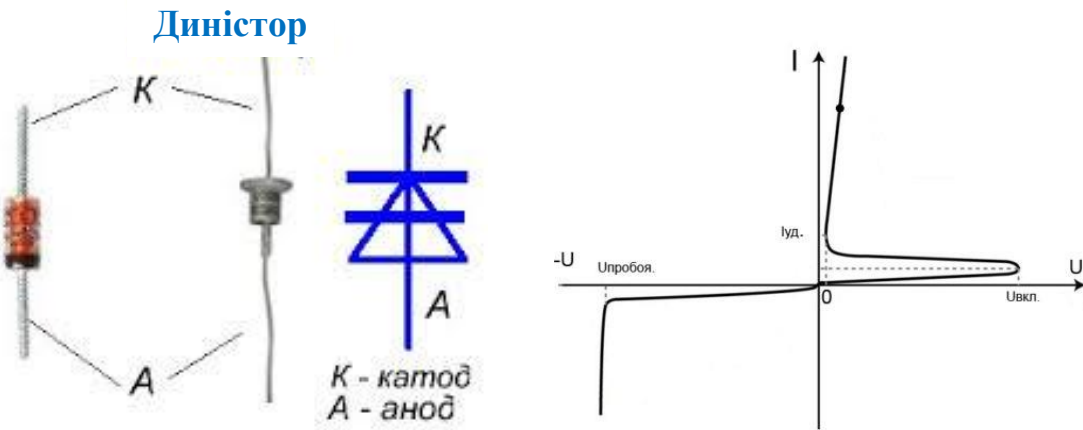


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд, умовне позначення і вольт-амперна характеристика диністора

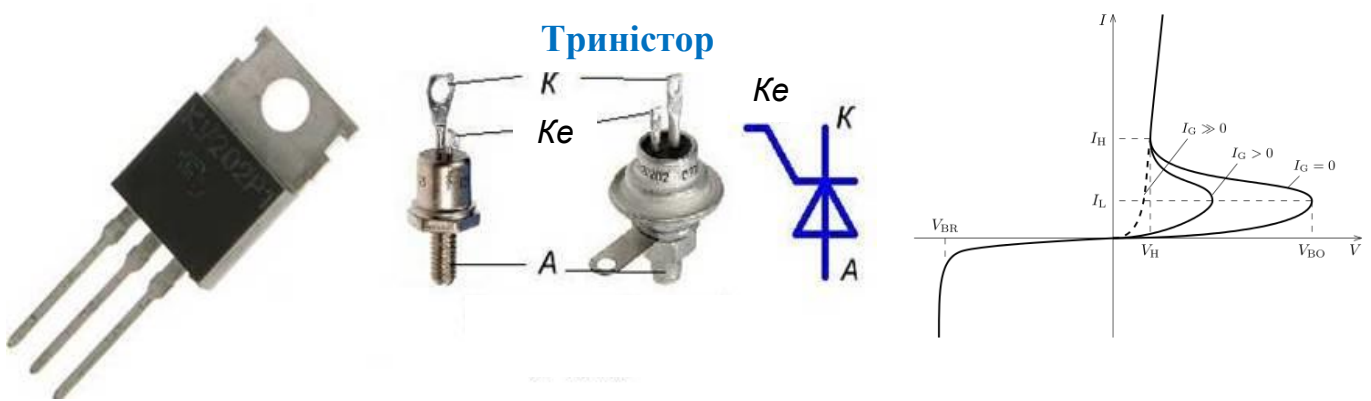


Рисунок 4 – Зовнішній вигляд, умовне позначення і вольт-амперна характеристика триністора

Основні параметри тиристорів

1. Напруга пермикання $U_{ПЕР}$
2. Напруга у відкритому стані U_{BC} – падіння напруги на тиристорі у відкритому стані ($U_{BC}=1...3$ В).
3. Струм у відкритому стані I_{BC} – максимальне значення струму відкритого тиристора.
4. Струм утримання – мінімальний струм тиристора, коли тиристор ще знаходиться у відкритому стані.
5. Відкриваючий струм керування I_{BK} – мінімальний струм керівного електрода, необхідний для увімкнення тиристора.

2. Фотоелектричні прилади

2.1. Загальні відомості про види фотоефектів

Фотоелектронними приладами називають перетворювачі променистої енергії, завдяки якій змінюються електричні властивості речовини, що утворює даний прилад.

Ці прилади діляться на два типи: із зовнішнім і внутрішнім фотоефектом.

Суть **зовнішнього фотоефекта** полягає в тому, що при опроміненні фотокатода світлом виникає явище фотоелектронної емісії. При цьому струм фотоemisії прямо пропорційний світловому потоку (закон Столетова):

$$I_{\Phi} = k \cdot \Phi$$

де I_{Φ} - струм фотоemisії, мкА;

Φ - світловий потік, лм;

k - інтегральна чутливість фотокатода.

Інтегральна чутливість дорівнює значенню фотоструму, викликаного світловим потоком стандартного джерела білого світла в 1 лм.

Суть **внутрішнього фотоефекта** полягає в тому, що в напівпровіднику під дією світлової енергії виникають рухливі носії зарядів - пари електронів і дірок. При цьому енергія фотона йде на переміщення електрона з валентної зони в зону провідності й опір напівпровідника зменшується.

2.2. Фотоелектричні напівпровідникові прилади

Фотодіод – це напівпровідниковий фотоелектричний прилад з одним $p-n$ -переходом, призначений для перетворення енергії оптичного випромінювання на електричну енергію. Найпростіший фотодіод являє собою звичайний напівпровідниковий діод, в якому забезпечується можливість впливу оптичного випромінювання на $p-n$ -перехід. Принцип дії фотодіода заснований на **внутрішньому фотоефекті** в напівпровіднику, суть якого полягає в збільшенні кількості електронів у зоні провідності і дірок у валентній зоні під час опромінювання напівпровідникового матеріалу. Дія фотонів спричинює помітне зростання зворотного струму через діод і виникнення **фотогальванічного (вентильного) ефекту** на $p-n$ -переході. Дрейфовий струм фотоносіїв називається **фотострумом**.

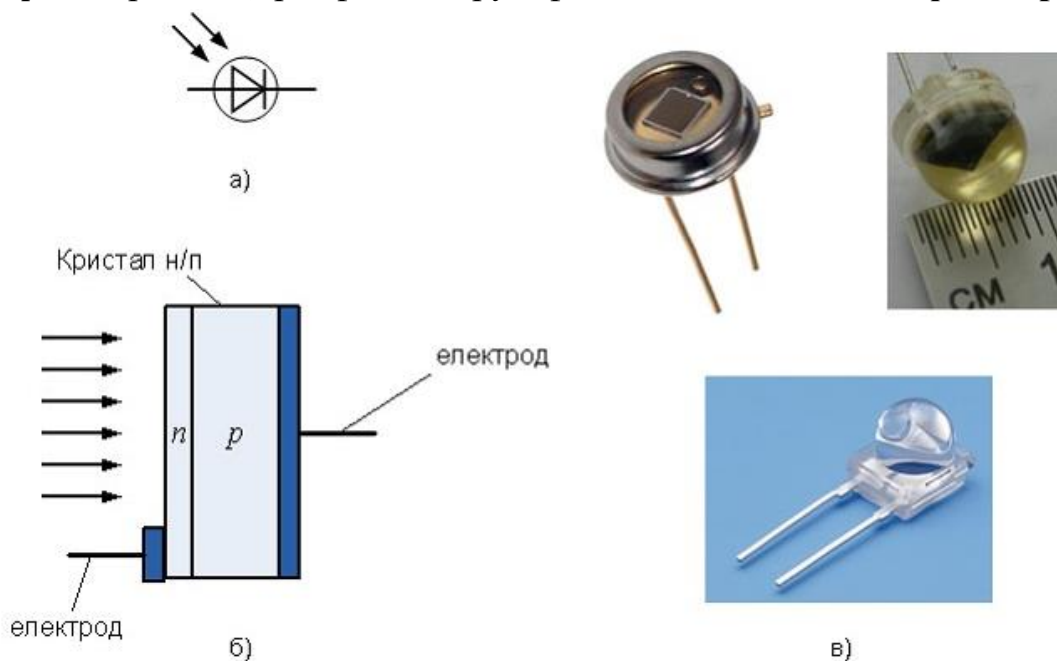


Рисунок 5 – Фотодіоди: умовне позначення (а), структура (б), промислові зразки (в)

Фотоносії - дірки заряджають p -область позитивно щодо n -області, а фотоносії - електрони - n -область негативно по відношенню до p -області. Виникає різниця потенціалів, яка називається **фото ЕРС Еф**. Генерований струм в фотодіоді тим більше, чим більше освітленість.

Фотодіоди можуть працювати в одному з **двох режимів** - без зовнішнього джерела електричної енергії (режим фотогенератора) або з зовнішнім джерелом електричної енергії (режим фотоперетворювача).

Фотодіоди, що працюють в **режимі фотогенератора**, часто застосовують в якості джерел живлення, що перетворюють енергію сонячного випромінювання в електричну. Вони називаються **фотоелементами** і входять до складу сонячних батареї.

Внаслідок фотогальванічного ефекту діркова область кристалу фотодіода заряджається додатно, а n-область від'ємно. Між зовнішніми електродами з'являється різниця потенціалів. Значення фото-ЕРС визначається інтенсивністю світлового потоку і нелінійно збільшується зі збільшення освітлення. Якщо до виводів фотодіода приєднати навантаження R_H , у зовнішньому замкненому колі буде проходити електричний фотострум I_Φ .

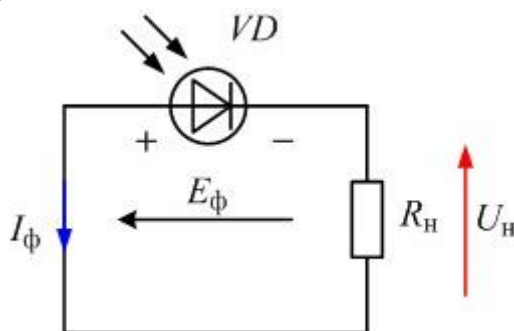


Рисунок 6 – Схема вмикання фотодіода в режимі фотогенератора

Перші вентильні елементи із закису міді були розроблені у 1926 році. Потім широкого розповсюдження набули селенові фотоелементи. На сьогодні превалюють кремнієві фотоелементи, кожний з яких може забезпечити фото-ЕРС $E_\Phi = (0,4 \dots 0,5)$ В. Такі фотоелементи з'єднують послідовно і паралельно у сонячні батареї, які працюють з ККД до 20%, а у плівкових сонячних елементів він може мати значно

Отже, сонячні батареї – це сукупність електрично з'єднаних фотодіодів для перетворення частини електромагнітної енергії сонячних променів на постійний електричний струм.

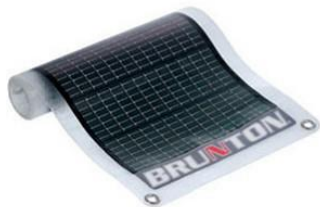
Виробництво сонячних батарей розвивається швидкими темпами у різних напрямках. Сонячні батареї бувають різних розмірів і технологій виготовлення: від гігантських полів на електростанціях до маленьких, що вбудовані у калькулятори.



а)



б)



в)



г)



д)

Рисунок 7 – Сонячні батареї: на електростанціях (а), для електропостачання будинків (б), новітні розробки гнучких батарей solarroll (в), телефон Samsung (г), ліхтар на сонячній батареї (д)

Сонячні кремнієві батареї – це основні джерела живлення космічних супутників і станцій, автоматичних метеостанцій та інших пристроїв і систем, що працюють в автономному режимі. В останні роки застосування сонячних батарей стало широко використовуватись на електростанціях, для електропостачання окремих житлових будівель; для зарядки акумуляторів різної побутової техніки, мобільних телефонів, ноутбуків, електромобілів та багато іншого.

При роботі фотодіода в фотоперетворювальному режимі джерело живлення E вмикається в коло в зворотньому напрямку (рис. 8, а). Використовуються зворотні гілки ВАХ фотодіода при різних освітленостях (рис. 8, б).

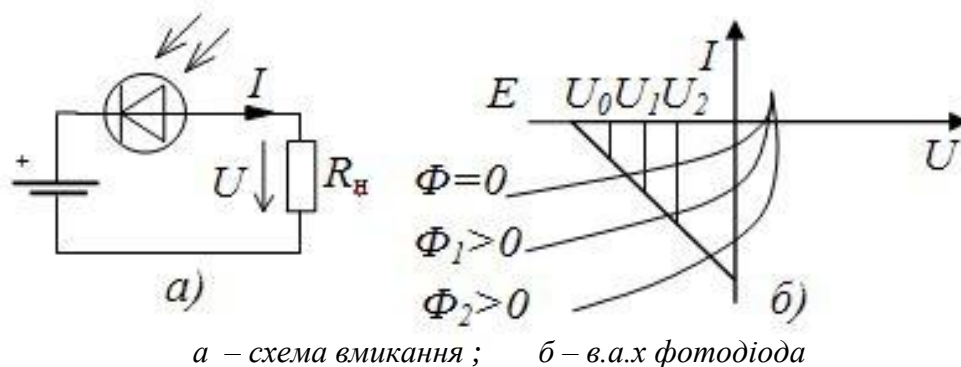
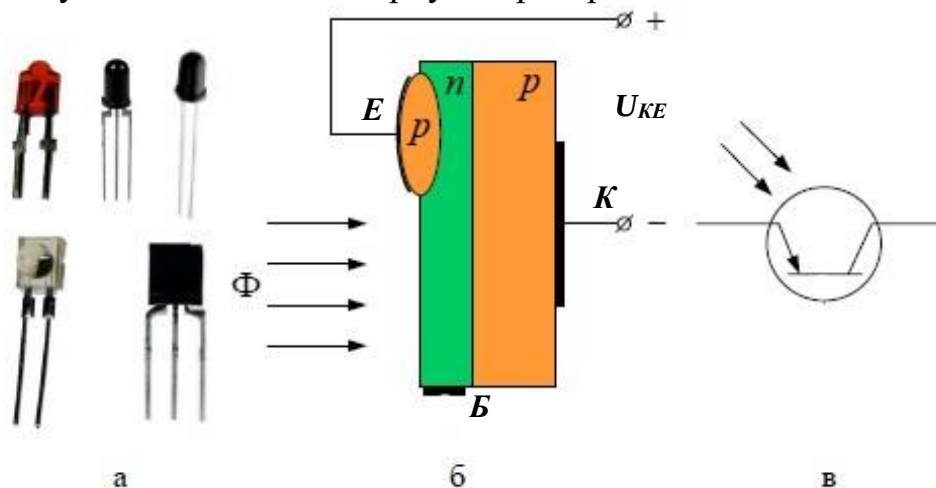


Рисунок 8 – Схема вмикання фотодіода в фотоперетворювальному режимі

При відсутності освітленості фотодіод працює в режимі звичайного діода. Темновий струм у германієвих фотодіодів дорівнює 10 - 30 мкА, у кремнієвих 1 - 3 мкА.

Фототранзистор являє собою монокристалічну напівпровідникову пластину з германію або кремнію, в якій за допомогою особливих технологічних прийомів створено три області, які мають назву, як і у звичайному транзисторі — емітер, колектор і база, причому база, на відміну від транзистора, як правило, виводу не має. Кристал вмонтовується в захисний корпус з прозорим входним вікном.



а – промислові зразки ; б – структура; в – умовне графічне позначення

Рисунок 9 – Фототранзистор

Включення фототранзистора у зовнішнє електричне коло виконується подібно включенню біполярного транзистора за схемою зі спільним емітером і нульовим струмом бази. При попаданні світла на базу (або колектор), на ній утворюються парні носії зарядів (електрони і дірки), які розділяються електричним полем колекторного переходу. В результаті чого у базовій області накопичуються основні носії, що призводить до зниження потенціального бар'єру емітерного переходу і збільшення

(посилення) струму через фототранзистор в порівнянні зі струмом, обумовленим перенесенням лише тих носіїв, які утворилися безпосередньо під дією світла.

Високі надійність, чутливість і стабільність параметрів фототранзистора, а також його малі габарити і відносна простота конструкції дозволяють широко використовувати їх у системах контролю і автоматики — як датчики освітленості, елементи гальванічної розв'язки і т. д.

Фоторезистор представляє собою напівпровідниковий резистор, опір якого змінюється під дією випромінювання. Будова фоторезистора пояснюється на рис.10а. На діелектричну платівку 1 нанесено тонкий шар напівпровідника 2 з контактами 3 по краях. Схема включення фоторезистора наведена на рис.10 б. Полярність джерела живлення не грає ролі.

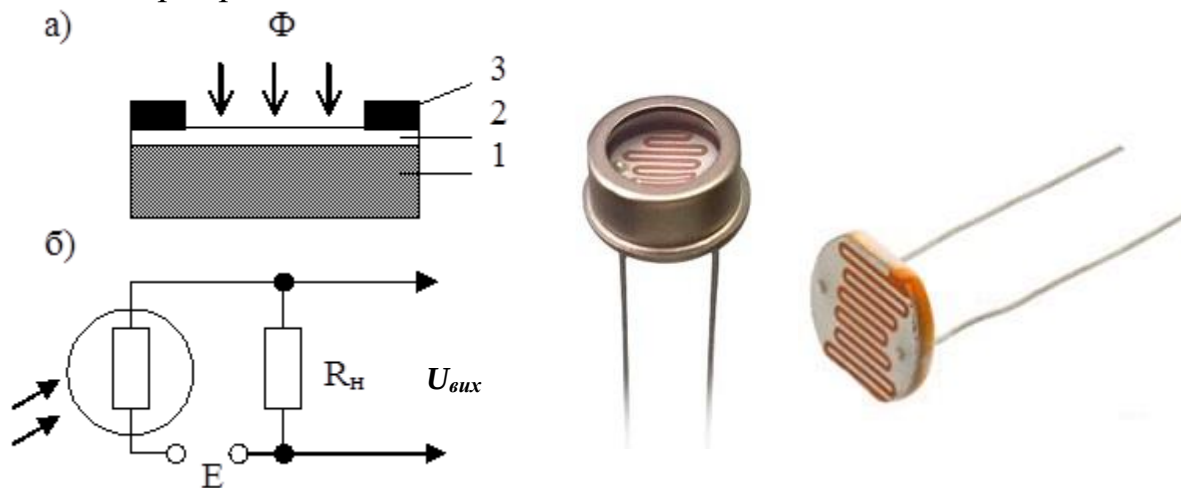


Рисунок 10 – Будова, промислові зразки і схема включення фоторезистора

Якщо опромінення немає, то фоторезистор має деякий великий опір R_T , який називається *темновим*. Він є одним з параметрів фоторезистора. Відповідно струм через фоторезистор називається темновим струмом. При дії випромінювання з достатньою енергією фотонів на фоторезистор в ньому відбувається генерація пар рухливих носіїв заряду (електронів і дірок) і його опір зменшується.

Для фоторезисторів застосовуються різні напівпровідники, які мають потрібні властивості. Так, наприклад, сірчистий свинець найбільш чутливий до інфрачервоних, а сірчистий кадмій - до видимих променів.

Фоторезистори мають чутливість, яка змінюється з довжиною хвилі світла. Вони використовуються в багатьох пристроях, хоча поступаються за своєю популярністю фотодіодам і фототранзисторам. Деякі країни з міркувань екологічної безпеки заборонили фоторезистори через те, що в них міститься свинець або кадмій.

2.3. Оптиелектронні напівпровідникові прилади

Електронні пристрої та системи, в яких використовують разом із традиційними електричними ефектами неелектричні, лежать в основі нового напрямку в електроніці — оптиелектроніки.

Оптиелектроніка — це галузь електроніки, в якій вивчаються як оптичні, так і електронні явища в кристалах, а також розглядаються питання перетворення оптичних сигналів у електричні й навпаки.

До оптоелектронних приладів належать різноманітні джерела світла, фотоприймачі, індикатори, лінії зв'язку, оптрони тощо. Усі ці прилади широко застосовуються в галузі промислової електроніки.

Світлодіоди – це напівпровідникові прилади, які, за рахунок процесів що відбуваються в p - n переході при протіканні через нього прямого струму, генерують оптичне випромінювання.

Випромінюване світло традиційних світлодіодів лежить у вузькій ділянці спектру, а його колір залежить від хімічного складу використаного у світлодіоді напівпровідника.

Для сучасних світлодіодів застосовують головним чином фосфід галія GaP та карбід кремнію SiC, а також тверді розчини -GaAlAs, GaAsP. Внесення в напівпровідник фосфору дозволяє одержувати світіння різних кольорів.

Крім світлодіодів, які дають видиме світіння, випускаються світлодіоди інфрачервоного випромінювання (ІЧВ) із арсеніду галія GaAs. Їх застосовують у фотореле, різноманітних сенсорах, вони входять до складу оптронів.

Світлодіоди – це малоінерційні напівпровідникові джерела випромінювання, які працюють при прямій напрузі.

Як і в звичайному напівпровідниковому діоді, в світлодіоді є p - n -перехід. При пропусканні електричного струму в прямому напрямі, носії заряду-електрони і дірки рекомбінують з випромінюванням фотонів.

Розрізняють світлодіоди лампового типу, форма яких нагадує мініатюрну лампу з двома виводами, і площинні світлодіоди для монтажу на поверхні плати. З метою ізоляції напівпровідникових кристалів від механічних ушкоджень і впливу зовнішнього середовища діоди захищають прозорою герметичною полімерною лінзою. Висвітлювання може бути направленим або розсіяним.

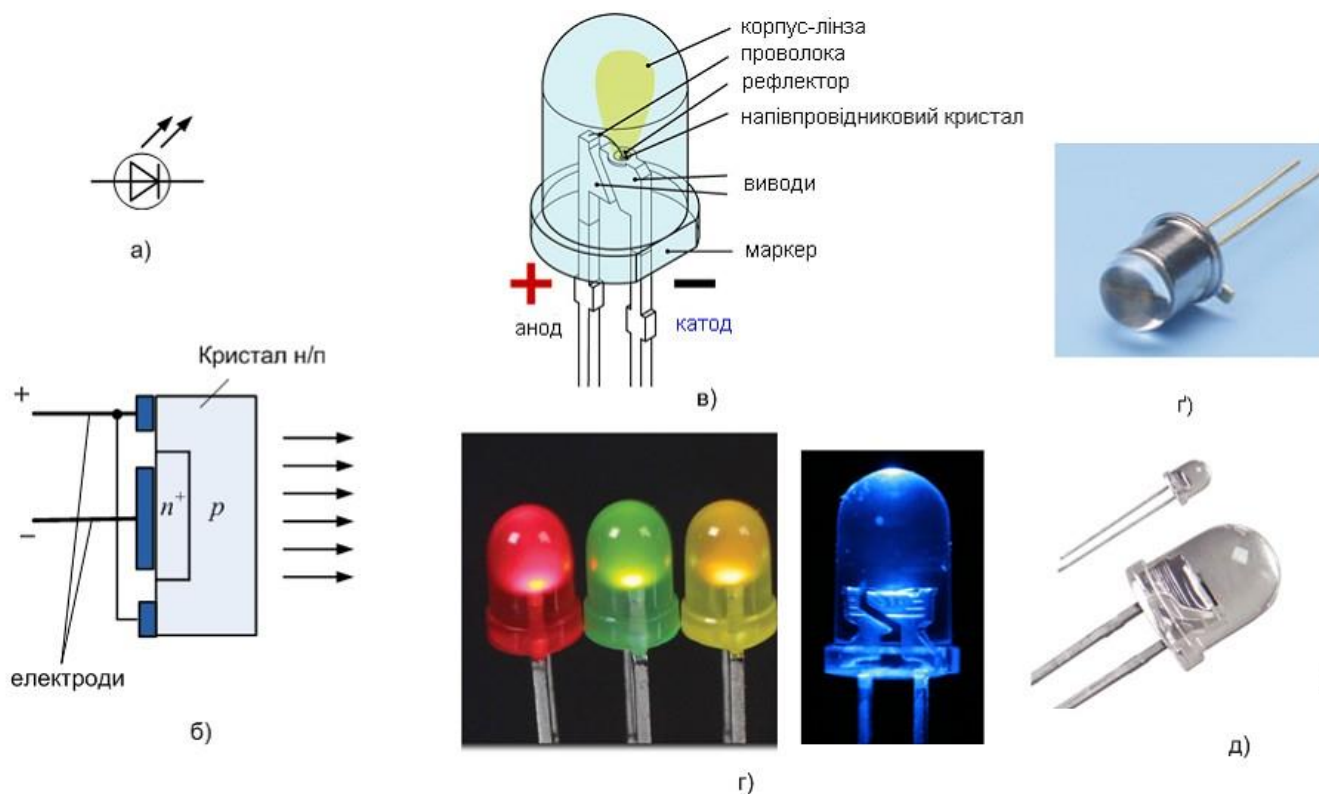


Рисунок 11 – Випромінювальні діоди: умовне зображення (а); структура p - n -переходу (б); світлодіоди лампового типу – структура (в), зразки (г); ІЧ-діоди – L2791-02 (г), SFH13 (д)

Оптрон - напівпровідниковий прилад, в якому конструктивно об'єднані джерело та приймач випромінювання, пов'язані між собою оптичним зв'язком. У джерелі випромінювання електричні сигнали перетворюються в світлові, які діють на фотоприймач та створюють у ньому знову ж електричні сигнали. Якщо оптрон має тільки один випромінювач та один приймач випромінювання, то його називають **оптопарою** або елементарним оптроном.

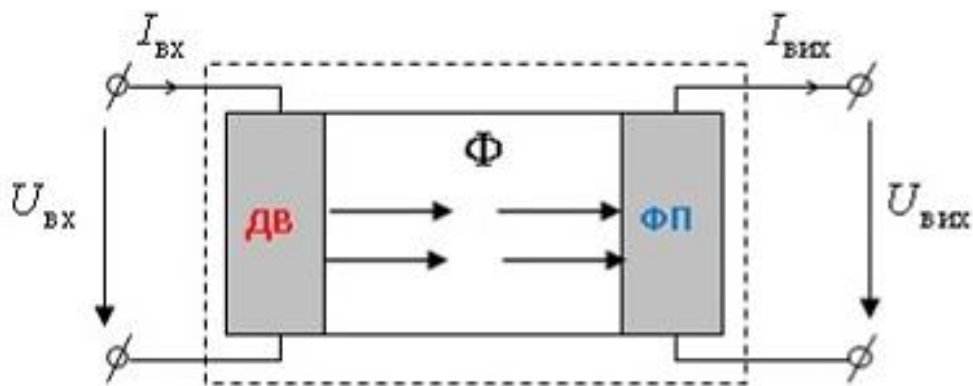


Рисунок 12 – Принцип будови оптопари

Наявність номінальної прямої напруги $U_{вх}$ на вході висвітлювального діода ДВ спричинює проходження струму $I_{вх}$ й випромінювання з області $p-n$ -переходу потоку світлової енергії Φ . Керована яскравість висвітлювання слугує входним сигналом для фотоприймача ФП, який працює в режимі фотоперетворювача. Вихідні напруга $U_{вих}$ і струм $I_{вих}$ ФП визначають вихідні сигнали оптрона. Таким чином, через оптрон передається інформативний сигнал за відсутності гальванічного зв'язку між входним і вихідним електричними колами. Носіями інформації в оптичному каналі є електрично нейтральні фотони, тому на цей канал практично не впливають різного роду завади, спричинені електричними і магнітними полями. Оптрони дають змогу легко узгоджувати між собою електричні кола з різними входними і вихідними опорами. У діодних оптопарах фотодіод часто працює у фотогенераторному режимі. Це означає, що з надходженням керуючого сигналу на вхід оптопари на виході формується фото-ЕРС.

Функцію перетворювача електричних сигналів на випромінювання в оптронах виконують ГЧ-діоди, світлодіоди, лазерні діоди. Ширше розповсюджені ГЧ-діоди, що пояснюється простотою їх структури і вищими ККД. У ролі перетворювачів випромінювання на електричні сигнали знаходять застосування фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори і фототиристри, опори яких змінюються зі зміною освітленості. Залежно від типу фотоприймача розрізняють резисторні, діодні (з максимальною швидкодією), транзисторні (з біполярним фототранзистором, з польовим фототранзистором) та тиристорні оптрони. У конструкціях оптронів з закритим каналом випромінювач і фотоприймач вміщуються у корпус таким чином, щоб світлочутливий майданчик фотодіода розташовувалася навпроти випромінюючого майданчика світлодіода, і заливають оптично прозорим компаундом (клеєм) на основі полімерів або халькогенідного скла. Конструкції оптронів з відкритим каналом мають зазор, в якому може переміщуватися об'єкт, що контролюється, або в іншому варіанті світловий потік відбивається від об'єкта, а потім потрапляє на фотоприймач.

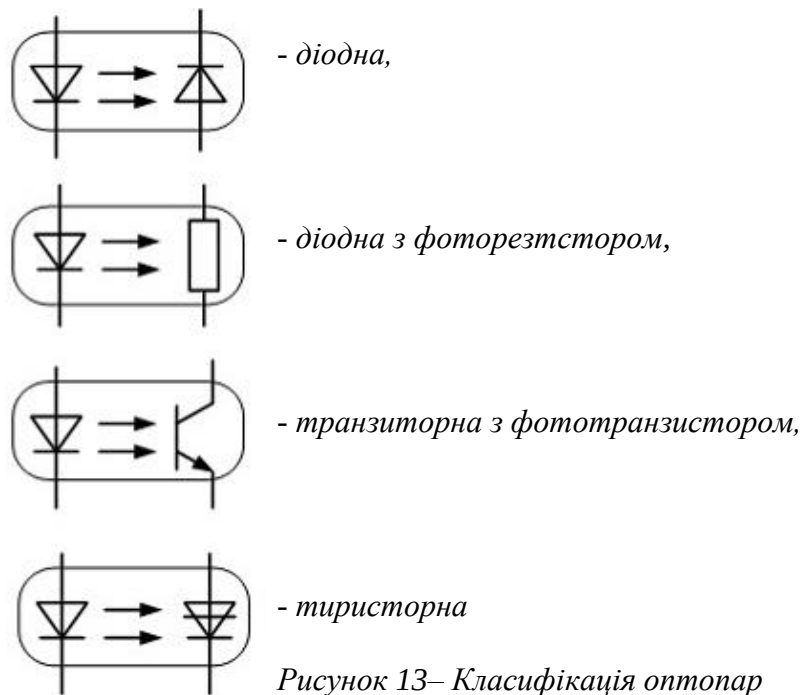
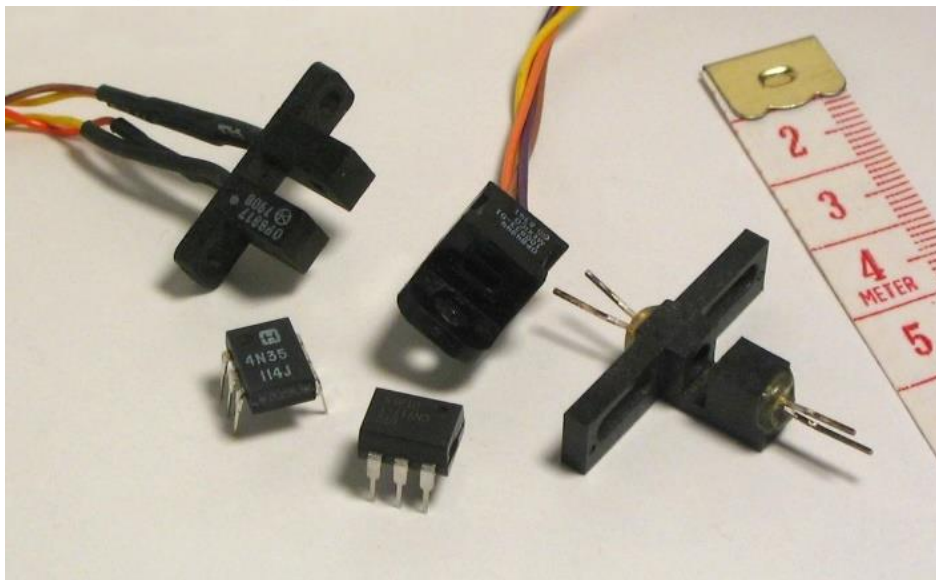


Рисунок 13– Класифікація оптопар



Досить часто оптопари використовують для передачі інформації.

Ще одним важливим застосуванням оптронів вважається безконтактне управління колами з високою напругою і сильними струмами. В цій якості оптрони перевершують за параметрами надійності і довговічності будь-які електромагнітні аналоги.

Основними перевагами оптронів є безшумне замикання необмежену кількість разів, тривалий термін експлуатації, висока надійність, відсутність чутливості до вібрації, ударних впливів і просторовому положенню під час монтажу.

За допомогою оптопари здійснюється безпечне управління сильними струмами за допомогою слабких струмів включення.

Підвищення ефективності та надійності пристроїв автоматики, електрозв'язку, радіотехніки й електроніки здійснюється шляхом заміни електромеханічних деталей на швидкодіючі вироби оптроніки.

МЕТОДИЧНІ РЕОМЕНДАЦІЇ СТУДЕНТАМ ПО НАПИСАННЮ КОНСПЕКТУ ЛЕКЦІЇ:

1. **По першому** записати у конспект:
 - Що називається тиристором, які бувають тиристори
 - Будова тиристора
 - Принцип дії тиристора
 - Умовні позначення та вольт-амперні характеристики тиристорів
2. **По другому питанню пункт 2.1** записати у конспект:
 - Що таке фотоелектронні прилади
 - Суть зовнішнього і внутрішнього фотоефекту
3. **По другому питанню пункт 2.2** записати у конспект:
 - Фотодіод – будова, принцип дії, умовні позначення
 - Фототранзистор – будова, принцип дії, умовні позначення
 - Фоторезистор – будова, принцип дії, умовні позначення
4. **По другому питанню пункт 2.3** записати у конспект:
 - Світлодіод – будова, принцип дії, умовні позначення
 - Оптрони – будова, принцип дії, умовні позначення

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ:

1. Пояснити роботу тиристора.
2. Назвати способи керування тиристорами
3. У чому полягає відмінність між: фотодіодом і світлодіодом?
4. Поясніть суть зовнішнього та внутрішнього фотоефектів.
5. Яку структуру має тиристор?
6. Які прилади називаються оптоелектронними?

Студенти повинні опрацювати представлений матеріал, зробити конспект, виконати завдання і переслати його викладачу для перевірки

Виконані завдання відправляйте
на електронну адресу:
Luda251252@ gmail.com