

УДК 621.383

В

Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потєбні
Запорізького національного університету

Верьовкін Л.Л., Світанько М.В.

ОПТОЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ТА СИСТЕМИ

Методичні рекомендації до практичних занять
для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня
за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної
програми «Мікро- та наносистемна техніка»

Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потєбні
Запорізького національного університету

Верьовкін Л.Л., Світанько М.В.

ОПТОЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ТА СИСТЕМИ

Методичні рекомендації до практичних занять
для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня
за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної
програми «Мікро- та наносистемна техніка»

Затверджено
Вченою
радою ЗНУ
Протокол №
від

Запоріжжя
2021

УДК 621.383

В

Верьовкін Л.Л., Світанько М.В. Оптоелектронні компоненти та системи. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньо-професійної програми «Мікро- та наносистемна техніка». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 30 с.

Методичні рекомендації до практичних занять з дисципліни «Оптоелектронні компоненти та системи» розроблено для студентів денної та заочної форм навчання інженерно-технічних спеціальностей та освітньо-професійних програм Інженерного навчально-наукового інституту. Запропоновані приклади розв'язання завдань по фізичним основам роботи, конструкції, технології виготовлення та основним параметрам оптоелектронних приладів та цифрових логічних систем.

Рецензент

Коваленко В.Л., доктор технічних наук, професор кафедри електротехніки та енергоефективності

Відповідальний за випуск

Т.В. Критська, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мікроелектронних та електронних інформаційних систем.

Зміст

Вступ	4
Зміст самостійної роботи	6
1 Властивості і характеристики оптичного випромінювання	6
Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю	8
Практичні завдання	8
2 Елементна база оптоелектронної схемотехніки	9
Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю	14
Практичні завдання	14
3 Схеми на оптоелектронних світловипромінюючих компонентах	15
Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю	17
Практичні завдання	17
4 Схеми на оптоелектронних фотоприймальних компонентах	17
Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю	19
Практичні завдання	19
5 Застосування оптоелектронних компонентів для виконання логічних функцій	19
Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю	21
Практичні завдання	21
6 Моделювання цифрових схем комбінаційного типу на оптоелектронних логічних компонентах	21
Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю	25
Практичні завдання	25
7 Оптичні пристрої відображення інформації	25
Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю	28
Практичні завдання	28
8 Питання для повторення та актуалізації знань	28
ЛІТЕРАТУРА	29

Вступ

Метою викладання навчальної дисципліни «Оптоелектронні компоненти та системи» є формування знань і навичок використання принципів функціонування електронних схем на оптоелектронних випромінюючих та фотоприймальних компонентах цифрової схемотехніки.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «Оптоелектронні компоненти та системи» є: отримання знань із фізичних основ роботи, конструкції та технології виготовлення, основних параметрів оптоелектронних приладів; набуття уміння провести моделювання електронних процесів, які відбуваються при роботі вузлів оптоелектронних систем; отримання навичок із застосування приладів мікро- та наноелектроніки в оптоелектронних системах.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути таких результатів навчання (знання, уміння тощо) та компетентностей:

- здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, що характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, під час професійної діяльності у галузі мікро- та наносистемної техніки, або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів автоматизації та електроніки;

- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

- здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки;

- здатність розв'язувати інженерні задачі в галузі мікро- та наносистемної техніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації;

- здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів мікро- та наносистемної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв, мікропроцесорних систем.

- здатність розуміти та застосовувати технологічні принципи виробництва, випробування, експлуатації та ремонту мікро- та наносистемної техніки та біомедичного обладнання;

- здатність використовувати знання з оптичної аналогової та цифрової схемотехніки, оптоелектроніки, фотовольтаїки та геліоелектроніки.

Сучасні оптоелектронні компоненти та системи як науково-технічний напрям характеризують такі основні риси.

1. Фізичну основу оптоелектронних компонентів складають явища, методи та засоби, для яких принциповим є поєднання та нерозривність оптичних та електричних процесів. В математичних моделях оптоелектронних приладів використовуються функції, аргументами яких виступають оптичні та електричні величини.

2. Технічну основу оптоелектронних компонентів визначають: мініатюризація елементів; інтеграція елементів та функцій; орієнтація на спеціальні надчисті матеріали; використання методів групової обробки, таких як епітаксія, фотолітографія, дифузія, іонна імплантація, нанесення тонких плівок та ін.

3. Функціональне призначення оптоелектронних систем полягає у вирішенні задач інформатики: формування інформації шляхом перетворення різних зовнішніх впливів у відповідні оптичні та електричні сигнали; передача та перетворення інформації; зберігання інформації, яке включає такі процеси як запис, безпосереднє зберігання, зчитування, стирання; відображення інформації, яке полягає у перетворенні вихідних сигналів інформаційної системи до вигляду, придатного для сприйняття людським оком.

Як матеріальні об'єкти інформаційних процесів в оптоелектроніці виступають електрони, вільні або такі, що входять до складу атомів, молекул або твердих тіл, а також фотони, які взаємодіють з відповідним середовищем. Взаємодія між фотонами, атомами і електронами відбувається шляхом поглинання одних і випускання інших фотонів. Електрон-фотонне перетворення засноване на випромінюванні квантів світла атомними системами при переході їх із збуджених станів в стани з більш низькою енергією. В основі фотоелектронного перетворення лежить явище фотоефекту, при якому електрон переходить із зв'язаного стану у вільний (в вакуум при зовнішньому і в зону провідності при внутрішньому фотоефекті).

Виконання кожного практичного завдання складається з двох етапів.

1. Вивчення теоретичного матеріалу, аналіз приведених прикладів розв'язання задач.

2. Виконання розрахунків практичних задач, їхній аналіз, оформлення звіту з практичної роботи.

У процесі підготовки до практичного заняття студент повинен чітко усвідомити собі кінцеву мету згідно з вивчає мою темою, виконати необхідні розрахунки.

Звіт, підготовлений до практичного заняття, повинний містити назву і мету заняття, розрахунки.

Оформлення результатів рішення контрольних завдань виконується відповідно до вимог ЄСКД до текстових документів.

Перед виконанням кожного практичного завдання викладач, опитує студентів згідно з матеріалами та уявами розглядає мої теми. Непідготовлені студенти не допускаються до виконання практичного завдання, а вивчають в лабораторії не засвоєний ними матеріал по літературі, яка рекомендується.

Зміст самостійної роботи

1 Властивості і характеристики оптичного випромінювання

Метою вивчення теми є засвоєння механізму оптичного випромінювання у вигляді фотонів при переході електронів між енергетичними рівнями.

Ключові терміни та поняття: електромагнітна хвиля, видиме світло, інфрачервоне випромінювання, ультрафіолетове випромінювання.

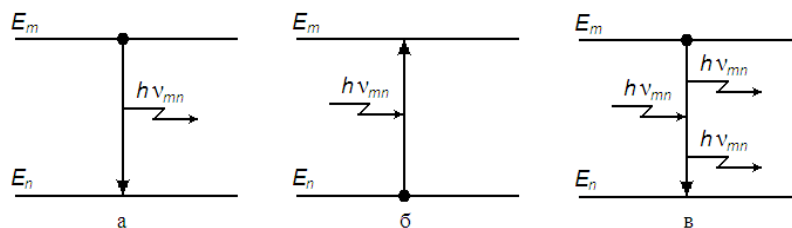
План самостійного опрацювання теми.

1. Засвоїти квантові переходи валентних (пов'язаних) електронів.
2. Засвоїти принцип дії електромагнітного випромінювання оптичного діапазону.
3. Засвоїти поняття «оптоелектронний компонент».
4. Засвоїти використання простих і спеціальних видів оптопар.

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань.

Оптичне випромінювання - електромагнітне випромінювання оптичного діапазону. Випромінювання і поглинання відбувається окремими порціями, квантами - фотонами. При випускненні фотона енергія атома зменшується, а при поглинанні фотона - збільшується.

Електрон при випромінюванні фотона переходить донизу на більш низький рівень, а при поглинанні фотона електрон переходить вгору на більш високий рівень (рис. 1.1).



а – спонтанний перехід;

б – вимушений перехід з поглинанням;

в - вимушений перехід з випромінюванням.

Рисунок 1.1 – Квантові переходи

Квантові переходи валентних (пов'язаних) електронів з одного рівня на інший супроводжуються випромінюванням або поглинанням електромагнітної енергії, частота якої задовольняє співвідношенню

$$h\nu_{mn} = E_m - E_n, \quad (1.1)$$

де h – стала Планка, ν_{mn} - частота випромінювання (поглинання) при квантовому переході електрона з рівня E_m на рівень E_n , ($E_m > E_n$).

Переходи при взаємодії з фотонами можуть бути спонтанними (мимовільними) і вимушеними (індукованими). Випромінювання фотона при спонтанному переході не залежить від зовнішніх факторів. Тут напрямок випромінювання і поляризація фотонів можуть бути будь-якими.

Вимушені квантові переходи відбуваються під впливом зовнішнього випромінювання частоти ν . Вони генерують фотони. Фотон - копія має напрямок випромінювання і поляризацію такі ж, як і у фотона стимулюючого посилення електромагнітного випромінювання. При цьому частота вилученого електрона збігається з частотою вимушеного випромінювання.

Оптоелектронний компонент (ОЕК) - це прилад, який випромінює або перетворює електромагнітне випромінювання. Він може бути чутливим до електромагнітного випромінювання в інфрачервоній, видимій і (або) ультрафіолетовій областях спектра. У оптопарах і в деяких елементах інтегральної оптики зазначені явища можуть використовуватися для внутрішніх взаємодій їх елементів.

Всі відомі оптоелектронні прилади в даний період можна умовно класифікувати на наступні групи:

- лазери - квантові підсилувачі і генератори на напівпровідникові (газові, твердотільні на діелектриках і рідинні);
- напівпровідникові випромінювачі;
- приймачі випромінювання;
- оптрони;
- оптопари;
- елементи інтегральної оптики.

Напівпровідникові випромінювачі - це оптоелектронні напівпровідникові прилади, що перетворюють електричну енергію в енергію електромагнітних хвиль в інфрачервоній, видимій або ультрафіолетовій області спектра.

Багато з випромінювачів у видимій області спектра і інфрачервоні випромінюючі світлодіоди (ІЧ-світлодіоди) можуть випромінювати тільки некогерентні електромагнітні хвилі.

До випромінювачів видимій області спектра відносять світловипромінюючі діоди (СВД) і електролюмінесцентні осередки - прилади відображення інформації (порошкові і плівкові випромінювачі).

СВД малої випромінюваної потужності забезпечують генерацію світлових імпульсів малої тривалості, а великої потужності - можуть бути джерелом потужного світла і навіть елементами вуличного світлофора або використовуватися замість галогенних ламп автомобіля.

Приймач випромінювання - це оптоелектронний напівпровідниковий або вакуумний прилад, який чутливий до електромагнітного випромінювання інфрачервоній, видимій та/або ультрафіолетовій частини спектру. Деякі з них можуть і безпосередньо перетворювати енергію електромагнітного випромінювання в електричну.

Інтегральна оптика - це розділ оптоелектроніки, в якому вивчаються оптичні явища в тонких шарах напівпровідників і діелектриків, а також розробляються інтегрально оптичні елементи.

Оптоелектронні компоненти та системи (ОЕКС) - це прилади, принцип дії яких побудований на використанні електромагнітного випромінювання оптичного діапазону. До основних груп оптоелектронних компонентів та систем відносять наступні:

- джерела випромінювання (світловипромінюючі діоди і лазери);
- приймачі випромінювання (фоторезистори і фотоприймачі з р-п переходом);
- прилади для керування випромінюванням (модулятори, дефлектори);
- прилади для відображення інформації (індикатори);
- прилади для електричної ізоляції - оптрони;
- оптичні канали зв'язку та оптичні запам'ятовуючі пристрої;
- волоконно-оптичні лінії зв'язку;
- оптоелектронні інтегральні схеми.

Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю.

1. Поняття - оптоелектроніка.
2. Оптичне випромінювання.
3. Оптоелектронний компонент.
4. Групи оптоелектронних приладів.
5. Напівпровідникові випромінювачі.
6. Приймач випромінювання.
7. Інтегральна оптика.

Практичні завдання.

1. Електромагнітне випромінювання оптичного діапазону.
 - а) випромінювання і поглинання окремими порціями, квантами - фотонами;
 - б) квантові переходи валентних (пов'язаних) електронів;
 - в) використання фотонів як гальванічної розв'язки;
 - г) переходи при взаємодії з фотонами;
 - д) вимушені квантові переходи.
2. Оптоелектронні компоненти:
 - а) напівпровідникові випромінювачі;
 - б) оптоелектронні лазери;
 - в) приймачі випромінювання;
 - г) оптрони та оптопари;
 - д) елементи інтегральної оптики.
3. Оптоелектронні компоненти та системи:
 - а) джерела випромінювання (світловипромінюючі діоди і лазери);
 - б) приймачі випромінювання (фоторезистори і фотоприймачі з р-п переходом);
 - в) прилади для відображення інформації (індикатори);
 - г) волоконно-оптичні лінії зв'язку;
 - д) оптоелектронні інтегральні схеми.
4. Оптоелектронні логічні елементи:
 - а) встановлення зв'язків між вхідними і вихідними сигналами;
 - б) елементарні оптоелектронні схеми;
 - в) реалізація логічних (простих або складних) операцій;
 - г) запам'ятовувальні оптоелектронні елементи;
 - д) допоміжні оптоелектронні елементи.

2 Елементна база оптоелектронної схемотехніки

Метою вивчення теми є засвоєння конструктивних особливостей та параметрів приладів оптоелектронної схемотехніки.

Ключові терміни та поняття: світловипромінювач, напівпровідник, домішка, фотоприймач, оптопара, інтегральна оптика.

План самостійного опрацювання теми.

1. Засвоїти конструктивні особливості та параметричні характеристики оптоелектронних компонентів.

2. Засвоїти принципи розрахунку електричних характеристик оптоелектронних компонентів.

3. конструктивні особливості та параметричні характеристики оптронів і оптопар.

4. Засвоїти схемні рішення інтегральної оптики.

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань.

1) Світлодіод (з англійської LED - Light emission diode) є напівпровідниковим приладом, активна частина якого називається “чіп” або “кристал”, який складається, як і звичайний діод, з двох типів напівпровідника - з провідністю електронною (n-типу) і дірковою (p-типу). На кордоні напівпровідників різного типу в світло діоді, на відміну ж від звичайного діода, існує певний енергетичний бар'єр, який перешкоджає рекомбінації електронно-діркових переходах. Щоб подолати даний бар'єр, потрібно прикласти електричне поле до кристалу в результаті чого відбувається рекомбінація (анігіляція) переходу з випромінюванням кванта світла. Довжина хвилі світла, яке випромінюється визначається величиною енергетичного бар'єру, що залежить, у свою чергу, від структури та матеріалу напівпровідника, та присутніх домішок.

При протіканні через діод прямого струму відбувається інжекція електронів. Процес самовільної рекомбінації інжектованих електронів, що відбувається, як в базовій області, так і в самому p-n переході, супроводжується їхнім переходом з високого енергетичного рівня на нижчий. Електрон після рекомбінації знаходиться у дуже нестабільному стані, оскільки він має зайву енергію, в такому стані електрон довго перебувати не може. Він перейде на стаціонарну орбіту з нижчим енергетичним рівнем і випромінить квант світла (рис. 2.1).

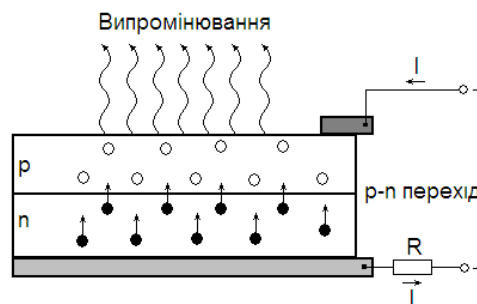


Рисунок 2.1 – Принцип роботи світлодіода

Для того, щоб кванти енергії (фотони), які вивільнились при рекомбінації відповідали квантам видимого світла, збільшують кількість p-n переходів. Не

всі напівпровідникові матеріали ефективно випромінюють світло при рекомбінації. Матеріали для світлодіодів повинні мати ширину забороненої зони більше 1,7 еВ.

Характеристики світлодіодів:

- світловий потік - даний параметр вимірюється в люменах (Лм) і показує кількість світла, яке видає світлодіод, чим більший даний показник, тим яскравіше буде світити поточний елемент;

- потужність споживання - дана величина вимірюється у Вт, чим менший даний параметр, тим відбувається менша витрата електроенергії;

- світловіддача - її одиницею виміру вважається Лм/Вт, вона є головним параметром в роботі та ефективності світлодіода;

- діаграма напрямку випромінювання - параметр кривої сили світла, завдяки якому розподіляються потоки, що випромінюються діодами;

- колірна температура (відтінки білого світла) - вимірюється в градусах Кельвіна в діапазоні, що допустимий, від 2700 до 7000 К, найсприятливішим для очей відтінок “теплого білого” кольору вважається той, який коливається біля 4000 К, а всі показники, що вище, прийнято позначати, як “холодний білий” - найчастіше світильники з “теплим світлом” коштують набагато дорожче, ніж з “холодним світлом”, так як це напряму пов’язано з особливостями при їх виробництві;

- індекс передачі кольору - дана величина показує, наскільки природно буде відображений колір предмета, який освітлюється поточним світло діодом, чим цей параметр вищий, тим правдивіше передається відтінок освітлювального предмета;

- продуктивність приладів освітлення - найбільш правильним рішенням є вибір брендів заводів-виготовлювачів, оскільки такі компанії можуть надати більш точні технічні характеристики світлодіодів, завдяки чому прилад прослужить заявлений час роботи.

Основними параметрами світлодіодів є: яскравість - відношення сили світла до площини поверхні, яка світиться ($10 \dots 1000$ Кд на см^2); постійна пряма напруга (2 - 3 В); колір світіння та довжина хвилі, які відповідають максимальному світловому потоку; максимальний постійний прямий струм (1 - 10 мА); діапазон температур навколишнього середовища, при яких світлодіод може нормально працювати ($-60 \dots +70^\circ\text{C}$); швидкодія (10^{-8} с).

Якщо припустити, що в розподілі інжектованих носіїв усередині енергетичної зони найбільший внесок у випромінювання світлодіодів вносять носії в енергетичній смузі шириною $3kT$, тоді повна ширина спектральної смуги на пів висоті буде мати вигляд:

$$\Delta\lambda = \frac{3kT}{hc} \lambda^2, \quad (2.1)$$

де h – постійна Планка, k – постійна Больцмана, T – абсолютна температура.

На рисунку 2.2 показана залежність між шириною спектральної смуги і довжиною хвилі випромінювання, при цьому суцільною лінією зображена крива, розрахована за формулою 2.1.

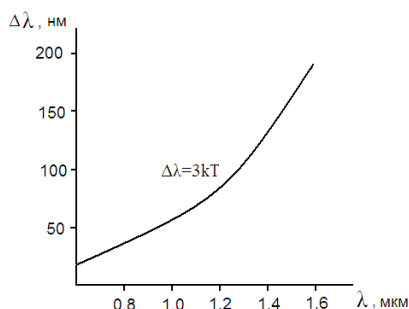


Рисунок 2.2 - Залежність ширини спектральної смуги $\Delta\lambda$ на пів висоті від довжини хвилі λ

Для GaInAsP світлодіода на довжині хвилі 1,3 мкм λ складає 100...110 нм, а для AlGaAs світлодіода на довжині хвилі 0,85 мкм $\Delta\lambda$ складає 30...45 нм.

Основним джерелом когерентного випромінювання, яке широко застосовується в системах оптичного зв'язку, оптоелектронних пристроях обробки та зберігання даних, є напівпровідниковий інжекційний лазер.

2) Напівпровідниковий інжекційний лазерний діод являє собою діодну структуру на основі р-п-переходу, інжекція носіїв заряду в якій викликає генерацію вимушеного випромінювання.

Умовою виникнення когерентного випромінювання є вимушені переходи електронів з вищих енергетичних рівнів на нижчі. Такі переходи пов'язані з дією зовнішнього випромінювання. При цьому усі активні атоми випромінюють майже одночасно, взаємозв'язано і так, що випромінювані ними фотони не відрізняються від тих, які їх утворили. Поряд з процесом вимушеного випромінювання фотона електроном, що знаходиться на верхньому енергетичному рівні, відбувається процес поглинання такого самого фотона електроном, що знаходиться на нижньому енергетичному рівні. Оскільки імовірності обох процесів однакові, для генерації випромінювання необхідно, щоб кількість збуджених електронів була більшою за кількість електронів, що перебувають у стані теплової рівноваги. Лише при цій умові процес утворення нових фотонів буде переважати над процесом їх поглинання, тобто буде мати місце так зване оптичне підсилення.

Для того, щоб розглянутий оптичний підсилювач перетворився в лазер – генератор випромінювання, необхідно ввести позитивний зворотний зв'язок. Необхідний для генерації зворотний зв'язок здійснюється розміщенням активного середовища в оптичному резонаторі, в якому можуть збуджуватися стоячі електромагнітні хвилі. Такий резонатор утворюється двома паралельними дзеркалами, одне з яких є напівпрозорим для виведення випромінювання. У якійсь точці резонатора неминуче відбувається спонтанний перехід електрона активного середовища з верхнього рівня на нижній, тобто мимовільно випускається фотон. Якщо резонатор налаштований на частоту цього фотона, то фотон не

виходить з резонатора, а, багаторазово відбиваючись від його стінок, породжує безліч собі подібних фотонів, що, у свою чергу, впливають на активну речовину, викликаючи все нові акти вимушеного випромінювання таких самих фотонів. У результаті такого "розмноження" фотонів у резонаторі накопичується енергія, частина якої виводиться назовні через напівпрозоре дзеркало. Якщо в якийсь момент потужність змущеного випромінювання перевищує потужність втрат енергії на нагрівання стінок резонатора, розсіювання випромінювання і т.п., а також на корисне випромінювання в зовнішній простір, то в резонаторі виникають незатухаючі коливання, тобто збуджується генерація.

3) Приймачем оптичного випромінювання (фотоприймачем) називається оптоелектронний прилад, призначений для перетворення енергії оптичного випромінювання в електричну енергію.

В залежності від фізичних явищ, покладених в основу роботи, та особливостей конструктивного виконання усі приймачі оптичного випромінювання можуть бути поділені на три групи: фотоелектричні, фотоелектронні та теплові.

Фотоелектричні приймачі випромінювання основані на використанні змін електрофізичних параметрів напівпровідникового приладу, що обумовлені утворенням додаткових носіїв заряду у напівпровіднику під дією оптичного випромінювання (внутрішній фотоэффект).

У загальному випадку необхідно враховувати 6 механізмів поглинання оптичного випромінювання:

- 1 – фотогенерація електронно-діркових пар (власне поглинання);
- 2 – домішкове поглинання;
- 3 – внутрішньоцентрове поглинання;
- 4 – поглинання екситону;
- 5 - електронне поглинання, що викликає збільшення енергії електронів без збільшення їх концентрації;
- 6 – фононне поглинання, тобто поглинання кристалічною решіткою.

Сонячні фотоперетворювачі - напівпровідникові фотодіоди, що оптимізовані для прямого перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію. Їх функціональне призначення не відповідає визначенню оптоелектроніки, однак історично склалось так, що стало загальноприйнятим відносити сонячні батареї до оптоелектронних приладів. Ці прилади основані на фотовольтаїчному ефекті у напівпровідниках. Визначальний напрям їх конструктивно-технологічної реалізації - створення великої фоточутливої площі, досягнення високого ККД і малої вартості.

4) Оптроном називається оптоелектронний прилад, який містить джерело і приймач випромінювання, які оптично і конструктивно пов'язані між собою.

Джерелами випромінювання можуть бути лампи розжарювання, неонові лампи, електролюмінісцентні випромінювачі, але найчастіше використовуються світлодіоди.

Приймачі – фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори, фототиристри.

Середовище оптичного каналу – повітря, скло, пластмаса або інша прозора речовина.

Елементарний оптрон містить 1 джерело і 1 приймач, тому носить назву оптопара, складніші оптрони, об'єднані в інтегральну мікросхему з одним або декількома пристроями, які погоджують або підсилюють, називають оптоелектронними інтегральними мікросхемами.

Особливість оптронів полягає в подвійному перетворенні енергії, зазвичай електричної в оптичну і назад з електричним входом і виходом (рис. 2.3).

Для узгодження параметрів оптронів з іншими елементами електронних схем використовуються додаткові вхідні і вихідні пристрої.

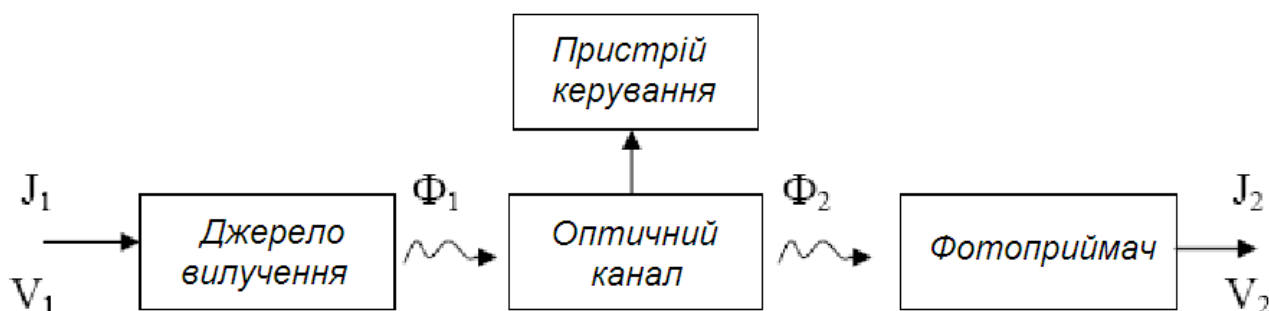


Рисунок 2.3 - Схема оптрона з електричним входом і виходом

Якщо джерело і приймач електрично не сполучені, то реалізується гальванічна розв'язка входу і виходу. Введення електричного і (або) оптичного зворотного зв'язку істотно розширює можливості генерування, посилення оптичних і електричних сигналів, запам'ятовуючих пристроїв і ін.

Перевагами оптронів є: висока перешкодозахисна і однонаправлена передача сигналів; широка частотна смуга пропускання (можливість передачі як імпульсних, так і постійних сигналів); сумісність з іншими виробами мікроелектроніки.

До недоліків приладів відносяться: низький ККД, пов'язаний з подвійним перетворенням енергії; чутливість параметрів до зміни температури; високий рівень власних шумів; гібридна технологія.

Використовується 3 варіанти оптичних середовищ: полімерні оптичні клеї, лаки, в'язкі речовини (незасихаючі силіконові склади), деякі марки скла (наприклад, халькогенідні).

Елементарний оптрон, що містить одне джерело і один приймач, називається оптопарою. Більш складні оптрони, об'єднані в інтегральних мікросхемах з одним або декількома погоджувальними та підсилювальними пристроями, називають оптоелектронними інтегральними мікросхемами.

Як елемент електричної схеми оптрон характеризується не випромінювачем, а типом використаного фотоприймача. Відповідно, розрізняють оптопари резисторного, діодного, транзисторного і тиристорного типів.

Швидкодія оптопари обмежується параметрами фотоприймача. Елементарним оптроном є чотирьохполюсний прилад, тому має 3 основних характеристики – вхідну, передавальну і вихідну.

Вхідна характеристика є вольтамперною характеристикою випромінювача. Вихідна – відповідна характеристика фотоприймача (при заданому струмі на вході оптрона).

Передавальна характеристика – залежність струму на виході від струму на вході (у загальному випадку нелінійна).

5. Оптоелектронні мікросхеми можуть включати безкорпусні випромінюючі діоди, безкорпусні оптрони і ІМС. Позначення оптронів: 1-а буква або цифра - матеріал випромінювача (А або 3 – GaAs або GaAlAs); 2-я буква - О – оптрони; 3-я буква - тип фотоприймача: Д - фотодіод, Т – фототранзистор, У – фототиристор; цифри – місце у відповідній групі (по параметрах).

Оптична пам'ять основана на запам'ятовуючих пристроях (ЗП), в яких на носій записується інформація, яка представлена в оптичній формі. Висока щільність запису обумовлює перспективність цих пристроїв в архівних ЗП ЕОМ та інформаційно-пошукових системах, до яких багаторазово звертається велика кількість користувачів. Додаткова перевага оптичної пам'яті - великий термін збереження інформації, підвищена швидкість інформаційного обміну, можливість запису аналогової інформації і двовимірних образів. Фізичною основою оптичної пам'яті є теплова дія на речовину лазерного променя. Досліджуються ЗП з паралельним записом масивів інформації на фотопластинках у вигляді голограм. Промисловістю випускаються оптичні дискові накопичувачі з послідовним (побітовим) записом інформації на поверхню диску, що обертається, гостро сфокусованим променем лазера.

Оптична обчислювальна техніка - комплекс оптоелектронних апаратурних засобів, що дозволяють ефективно здійснювати математичні і логічні операції з інформацією, яка представлена в оптичній формі. Алгоритмічна основа цього напрямку зв'язана зі здібністю лінійних оптичних систем здійснювати деякі аналогові математичні перетворення (двомірне інтегральне перетворення Фур'є та операцію згортки), а також паралельну обробку великих масивів цифрової інформації. Принциповим конструктивно-технологічним досягненням є інтегральна оптика, на основі якої створюються прилади і пристрої на базі тонкоплівкових плоских діелектричних хвилеводів.

Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю.

1. Наведіть класифікацію джерел випромінювання.
2. Наведіть класифікацію фотоприладів.
3. Наведіть визначення оптрона.
4. Наведіть класифікацію оптронів.
5. Наведіть умовні позначення оптопар.
6. Схемні рішення інтегральної оптики.

Практичні завдання.

1. Дослідити принципи роботи та характеристики світлодіодів.
2. Дослідити принципи роботи та характеристики напівпровідникових інжекційних лазерних діодів.
3. Дослідити принципи роботи та характеристики фотоелектричних приймачів випромінювання.
4. Дослідити принципи роботи та характеристики оптронів.

5. Дослідити принципи роботи та характеристики елементів оптичної електроніки.

3 Схеми на оптоелектронних світло випромінюючих компонентах

Метою вивчення теми є засвоєння принципів ввімкнення світлодіодів у каскадах оптоелектронних логічних елементів.

Ключові терміни та поняття: максимальна потужність, глибина модуляції, частота перемикачів, режим вмикання, передача даних.

План самостійного опрацювання теми.

1. Схемотехніка включення світлодіодів у цифрових (ключових) схемах.
2. Схеми пристроїв оптичної передачі даних.
3. Схема керування напівпровідниковим інжекційним лазером.

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань.

Схемотехніка включення світлодіодів у цифрових (ключових) схемах повинна задовольняти такі основні вимоги:

- максимальна потужність випромінювання світлодіода;
- глибина модуляції світлового потоку 100%;
- максимальна частота перемикачів до 1 ГГц.

Варіанти ввімкнення світлодіодів у вихідних каскадах оптоелектронних логічних елементів мають свої переваги і недоліки.

Пристрої оптичної передачі даних призначаються для перетворення електричних сигналів в оптичні та подальшої передачі їх у лінію зв'язку.

Виходячи зі свого функціонального призначення, подібний пристрій має електричний вхід та оптичний вихід, параметри яких повинні бути узгодженими з джерелом електричних сигналів, з одного боку, і з джерелом випромінювання та оптичною лінією зв'язку, з другого.

Крім джерела оптичного випромінювання оптичний передавач повинен містити електричну схему (підсилювач, кодер, модулятор, формувач), яка керує джерелом оптичного випромінювання і узгоджує його вхідні електричні параметри з вихідними параметрами електронної схеми, якою формується електричний сигнал, призначений для передачі.

При розробці електронних схем керування джерелом випромінювання для пристроїв оптичної передачі цифрових сигналів необхідно задовольнити ряд вимог:

- узгодження рівнів вхідних сигналів із ТТЛ і МОН, тобто рівнями інтегральних мікросхем на біполярних і МОН-транзисторах;
- стабільність роботи випромінювальних діодів при впливі різних експлуатаційних факторів наприклад, підвищеної температури навколишнього середовища);
- швидке вмикання і вимикання випромінювальних діодів при дії сигналів керування;
- підвищення завадостійкості вхідних кіл передавального кінцевого пристрою.

Схема типового цифрового передавального пристрою передачі логічних сигналів сумісних з ТТЛ (транзисторно-транзисторна логіка, $U^0=0.4$ В; $U^1=2.4$ В) (рис. 3.1).

Такий пристрій виготовляється в інтегральному виконанні і за своєю структурою є аналогічним до стандартного інвертора ТТЛ. Зовнішніми компонентами схеми є резистор R5 та світлодіод VD1.

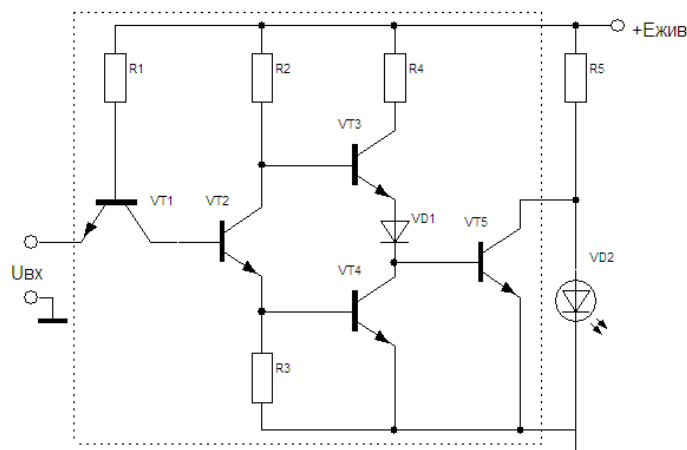


Рисунок 3.1 - Електрична схема цифрового передавального пристрою

Для надійного захисту входних кіл цифрових передавальних пристроїв від зовнішніх перешкод передавальна характеристика передавального пристрою повинна мати гістерезис, тобто напруги, при яких відбуваються перемикання пристрою з відкритого стану у закритий та із закритого у відкритий повинні бути різними. При цьому ширина гістерезису (різниця між напругами перемикання) повинна бути більшою за максимальну перешкоду, що спостерігається на фоні сигналу. Типовою схемою, передавальна характеристика якої має гістерезис, є тригер Шміта.

Одним із схмотехнічних шляхів зниження часу затримки вмикання є спосіб форсованого заряду бар'єрної ємності світлодіода, завдяки використанню форсувального RC-кола в колі передавального пристрою.

Іншим способом зменшення часу затримки вмикання є спосіб попереднього заряду бар'єрної ємності світлодіода до значення, близького до граничної напруги його вмикання.

Температурна стабілізація потужності оптичного випромінювання напівпровідникового лазерного діода може бути досягнута кількома схмотехнічними рішеннями. Основними з них є такі, що забезпечують збільшення струму накачки лазерного діода при підвищенні температури.

В іншому способі стабілізація вихідної оптичної потужності досягається за рахунок використання кремнієвих діодів, які вмикаються у входне коло підсилювального каскаду, який керує інжекційним лазером.

У волоконно-оптичних лініях передача інформації здійснюється за допомогою оптичних сигналів по волоконних оптичних хвилеводах з малими втратами. До складу ліній входять також джерело випромінювання, що перетворює електричні сигнали в оптичні, і фотоприймач, що здійснює зворотне перетво-

рення. Вони знаходять широке застосування в системах зв'язку і передачі інформації, а також у волоконно-оптичних датчиках.

Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю

1. Основні схеми ввімкнення світлодіодів.
2. Схеми з прямим та інверсним оптичними виходами.
3. Варіанти схемотехнічної реалізації оптичної передачі даних.
4. Особливості схемотехнічного використання напівпровідникових інжекційних лазерів.

Практичні завдання

1. Дослідити варіанти ввімкнення світлодіодів у вихідних каскадах оптоелектронних логічних елементів.
2. Дослідити схеми оптичної передачі даних.
3. Дослідити варіанти підключення світлодіодів до різних типів інтегральних схем.
4. Дослідити варіанти схем оптичної передачі даних.
5. Дослідити схеми керування напівпровідниковим інжекційним лазером.

4 Схеми на оптоелектронних фотоприймальних компонентах

Метою вивчення теми є засвоєння методів реєстрації та попередньої обробки оптичних сигналів, оснований на використанні напівпровідникових дискретних фотоприймачів: фоторезисторів, фотодіодів та фототранзисторів.

Ключові терміни та поняття: фотодетектор, фоторезистор, фотодіод, фототранзистор, операційний підсилювач, двополіусник.

План самостійного опрацювання теми.

1. Схемотехнічне використання фоторезисторів.
2. Схемотехнічне використання фотодіодів.
3. Схемотехнічне використання фототранзисторів.
4. Корекція температурної нестабільності фотоприймача.

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань

Оптоелектронні пристрої, в яких використовуються фотоприймачі, призначаються для формування електричного сигналу із заданими параметрами відповідно до заданого керуючого впливу, що поданий оптичним сигналом.

Фотоприймальний пристрій (фотодетектор або оптоелектронний перетворювач) має оптичний вхід та електричний вихід, параметри яких повинні бути узгодженими з джерелом випромінювання та оптичною лінією зв'язку, з одного боку, та з електричним навантаженням, з іншого.

В основі фотоприймального пристрою лежить фотоприймач, в якому безпосередньо здійснюється перетворення оптичного сигналу в електричний. Для того, щоб вихідний сигнал фотоприймача набув вигляду, придатного для його подальшого використання як вимірювальний, інформаційний або керуючий сигнал, фотоприймальний пристрій повинен містити будь-який перетворювач електричних сигналів: підсилювач, декодер, формувач та ін.

Основними схемами вмикання фоторезисторів є: схема, що являє собою послідовне з'єднання фотоприймача та опору навантаження, мостова та диференціальна схеми. Останні дві, як правило, використовуються за наявності двох фоторезисторів, один з яких є робочим, а другий служить для порівняння та вмикання в опорний оптичний канал пристрою.

З появою операційних підсилювачів значною мірою усунуті такі традиційні недоліки напівпровідникових приладів як температурна нестабільність та розкид параметрів. Похибка передання сигналу операційним підсилювачем у першу чергу залежить від елементів, увімкнених у вхідні кола та коло зворотного зв'язку підсилювача, і меншою мірою від власних параметрів підсилювача (напруги зміщення нуля, різниці вхідних струмів, величини та нестабільності коефіцієнта підсилення, вхідного опору).

Фотодіоди ефективно використовуються для приймання модульованого випромінювання як з фоновим засвічуванням, так і без нього.

Щоб вхідний опір активного елемента (фотодіода) не шунтував опір навантаження фотоприймального пристрою, який може бути досить високим, у схемі узгодження використовують польові транзистори.

Для усунення впливу зовнішньої температури на параметри схем фотоприймальних модулів, використовують схеми температурної корекції. Найпростіша корекція здійснюється за допомогою термокомпенсуючих елементів. Зазвичай використовують терморезистори з додатним коефіцієнтом опору або однотипні фотодіоди, які працюють у темновому режимі.

У багатьох випадках крім температурної нестабільності приходиться боротися із фоновим засвічуванням фоточутливого елемента. Хороші результати при прийманні модульованого випромінювання за умов значного фонового засвічування дає використання вибіркових кіл.

Перетворення потужності світлового потоку в частоту мінного електричного сигналу здійснюють за допомогою релаксаційних генераторів, у часозадальне коло яких включають фотоприймач.

Якщо інтенсивність оптичного сигналу є малою, вихідний сигнал фотодіода також виявляється занадто малим. При таких умовах краще використовувати фототранзистори, які мають значно більший вихідний струм ніж фотодіоди при порівнянних умовах освітлення. Слід пам'ятати, що підсилення фотоструму у фототранзисторі лише покращує їх властивість детектування дуже малих рівнів освітлення і ніяк не впливає на такий параметр як чутливість, поріг якої визначається темновим струмом. Зазначимо також, що за порівнянням з фотодіодами фототранзистори характеризуються меншою швидкодією.

Основною схемою вмикання фототранзистора є схема із загальним емітером, оскільки вона дозволяє отримати найбільше підсилення. Розрізняють два основних способи ввімкнення фототранзисторів: з від'єднаною базою та з приєднаною.

При першому способі, який є найпростіший, фототранзистор використовується як двополусник. Фотоприймач характеризується при цьому найбільшим підсиленням, але невисокою швидкодією та температурною стабільністю.

Вмикання фототранзистора з приєднаною базою дозволяє керувати положенням робочої точки, зменшити темновий струм через колекторний перехід, підвищити граничну частоту. Крім того, фототранзистор може функціонувати як фотодіод. Для цього, зазвичай, з'єднують базовий та емітерні електроди і використовують перехід колектор-база, площа якого більша за площу емітерного переходу.

Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю

1. Варіанти схемного використання фоторезисторів.
2. Варіанти схемного використання фотодіодів.
3. Варіанти схемного використання фототранзисторів.
4. Схемна реалізація фототригера.

Практичні завдання

1. Дослідити варіанти схемотехнічного використання фоторезисторів.
2. Дослідити варіанти ввімкнення фотодіодів у підсилювальні каскади на основі біполярних та польових транзисторів.
3. Дослідити варіанти ввімкнення фотодіодів у кола операційних підсилювачів.
4. Дослідити варіанти ввімкнення фототранзисторів.

5 Застосування оптоелектронних компонентів для виконання логічних функцій

Метою вивчення теми є засвоєння принципів побудови, функціонування та характеристик схемних моделей функціональних логічних елементів на оптоелектронних компонентах.

Ключові терміни та поняття:

Логіка, інверсія, схемна модель, логічний елемент, каскад, функція, логічне множення, кон'юнкція, логічне додавання, диз'юнкція,.

План самостійного опрацювання теми.

1. Логічні основи цифрової схемотехніки.
2. Логічні операції цифрової схемотехніки.
3. Схемна модель операції інверсії.
4. Схемна модель операції логічного додавання.
5. Схемна модель операції логічного множення.

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань.

Застосування оптоелектронних елементів – один із шляхів створення багатофункціональних однорідних обчислювальних середовищ, швидкодія яких була б порядку $10^{-9} \dots 10^{-10}$ с. Для підтримання однорідності при побудові пристроїв керування різноманітних оптоелектронних операційних систем обробітки інформації необхідні оптоелектронні логічні схеми.

В оптоелектронних функціональних пристроях керування може здійснюватися як оптичними, так і електричними сигналами. Оскільки електричний сигнал може бути легко перетворений в оптичний за допомогою світлодіода, то оптоелектронні логічні елементи з електричним та оптичним керуванням будуть розрізнятися тільки вхідним колом: логічні вентиля з електричним керу-

ванням будуть містити на вході світлодіод, оптично зв'язаний оптично керованим комутуючим елементом, наприклад з фото транзистором.

На рисунку 5.1 зображені оптоелектронні елементи, які дозволяють реалізувати основні логічні функції в цифрових оптоелектронних пристроях.

У схемі, яка реалізує операцію логічне І (рис.5.1а) вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ буде мати високий рівень, близький до напруги живлення $E_{\text{жив}}$, тільки якщо обидва фототранзистори будуть увімкнені, тобто тоді, коли потужність оптичного випромінювання на обох входах буде відрізнятися від нуля. У схемі яка реалізує операцію логічне АБО (рис. 5.1 б) вихідна напруга буде за рівнем близькою до $E_{\text{жив}}$, якщо освітлюється хоча б один з фототранзисторів.

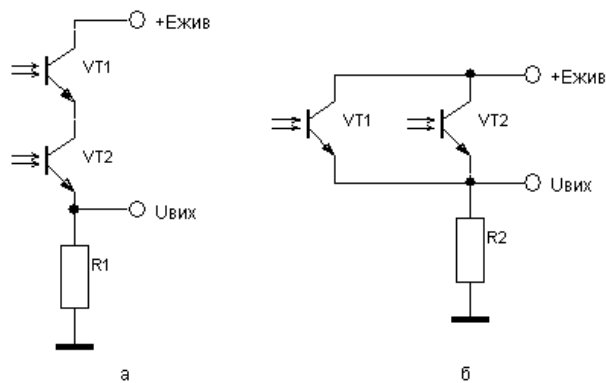


Рисунок 5.1 - Логічні оптоелектронні елементи: а – елемент І; б – елемент АБО

Логічна операція НІ може бути реалізована елементами, зображеними на рисунку 5.2.

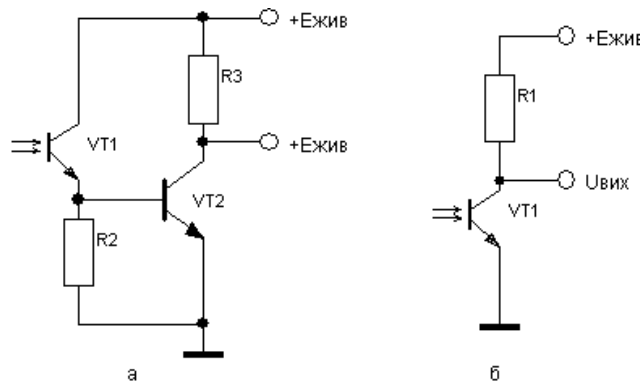


Рисунок 5.2 - Оптоелектронний елемент НІ

Схема на рисунку 5.2 а складається з двох каскадів. Перший каскад на фототранзисторі $VT1$ виконує функції повторювача – напруга на резисторі $R1$ має високий рівень при наявності вхідного оптичного сигналу і низький рівень при його відсутності. Другий каскад, зібраний на транзисторі $VT2$, є інвертуючим. При високому рівні напруги на базі транзистора $VT2$ (на резисторі $R2$), транзистор є відкритим і вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ є близькою до нуля. Коли напруга на базі $VT2$ буде приблизно дорівнювати нулю, транзистор $VT2$ буде закритий і вихідна напруга буде за рівнем близькою до $E_{\text{жив}}$.

Для реалізації інвертора можна використовувати один інвертуючий каскад, зібраний на фототранзисторі (рис. 5.2 б).

Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю

1. Логічні операції цифрової схемотехніки.

1. Наведіть можливу схему оптоелектронного елемента І. Поясніть як вона працює.
2. Наведіть можливу схему оптоелектронного елемента АБО. Поясніть як вона працює.
3. Наведіть можливі схеми оптоелектронного елемента НІ. Поясніть як вони працюють.
4. Логічні функції цифрової схемотехніки, та операції з ними.

Практичні завдання

1. На оптоелектронних логічних елементах побудувати схему, яка реалізує операцію АБО-НІ
2. На оптоелектронних логічних елементах побудувати схему, яка реалізує операцію І-НІ
3. На оптоелектронних логічних елементах побудувати схему, яка реалізує операцію «Виключаюче АБО».
4. На оптоелектронних логічних елементах побудувати схему яка реалізує операцію «Виключаюче АБО»-НІ

6 Моделювання цифрових схем комбінаційного типу на оптоелектронних логічних компонентах

Метою вивчення теми є засвоєння принципів побудови цифрових схем комбінаційного типу на оптоелектронних логічних компонентах.

Ключові терміни та поняття: інтегральна мікросхема, логічна функція, логічна операція, комутатор, штрих Шеффера, стрілка Пірса.

План самостійного опрацювання теми.

1. Застосування оптоелектронних інтегральних мікросхем.
2. Класифікація та види оптопар.
3. Оптоелектронні аналогові мікросхеми.
4. Оптоелектронні цифрові мікросхеми.

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань.

Оптоелектронна інтегральна мікросхема (ОІМС) складається з однієї або кількох оптопар та електрично з'єднаних з ними одного або кількох узгоджувальних або підсилювальних пристроїв. В залежності від області застосування ОІМС поділяють на цифрові, призначені для високошвидкісної передачі цифрової інформації по електрично ізольованих колах, і аналогові, які використовуються для обробки неперервних сигналів (рис. 6.1).

Спеціальні оптрони відрізняються від інших приладів побудовою оптичного каналу. В оптронах з гнучким світловодом випромінювання передається оптичним кабелем, в результаті чого джерело та фотоприймач стають віддаленими один від одного на значну відстань. Оптрони з відкритим і керованим оптичним каналом використовуються як основа для побудови різноманітних давачів і схем, що перемикаються, наприклад, оптоелектронних безконтактних кнопок.

Промисловістю освоєний випуск різних оптопар: резисторних, діодних, транзисторних, тиристорних, із складеним фототранзистором, реле (рис. 6.2).

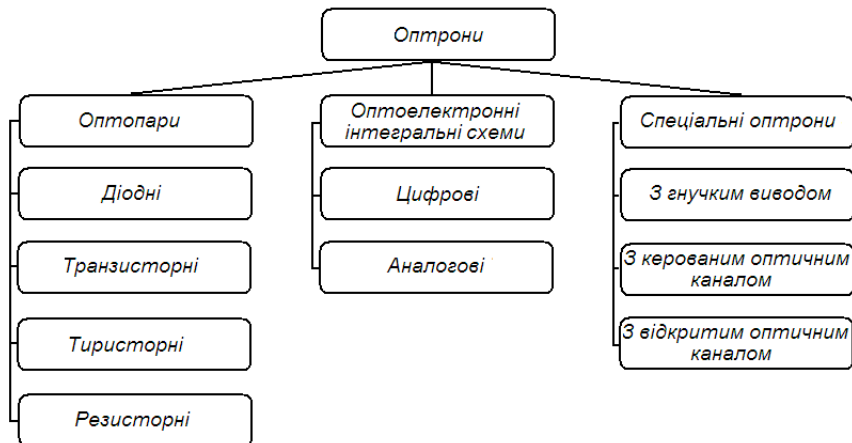


Рисунок 6.1 – Класифікація оптронів

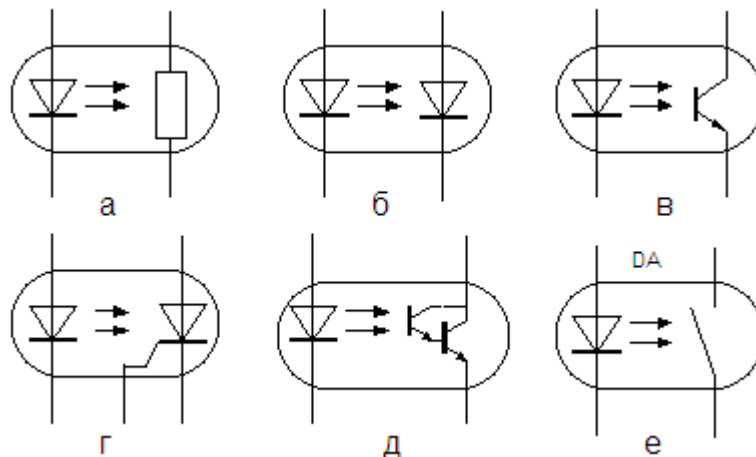


Рисунок 6.2 – Види оптопар

Оптоелектронна інтегральна мікросхема – це один з найбільш перспективних типів елементів інформаційних систем. Їх переваги визначаються повною електричною і конструктивною сумісністю з традиційними мікросхемами і більш широкими функціональними можливостями. Перші успіхи в розвитку ОІМС були пов'язані зі створенням перемикаючих схем, які забезпечують гальванічну розв'язку електричних кіл. В типовій мікросхемі цього класу в одному корпусі об'єднані діодна оптопара і стандартна ключова електронна схема, в якій замість вхідного багатомірного транзистора в базове коло транзистора під'єднаний фотодіод (рис. 6.3).

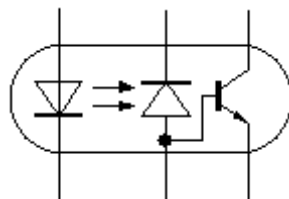


Рисунок 6.3 – Діодно-транзисторна оптопара

Вихідна напруга такої схеми відповідає типовим для цифрових приладів значенням, що забезпечує повну сумісність ОІМС з іншими мікроелектронними приладами.

Оптоелектронні мікросхеми можуть бути використані для комутації аналогових сигналів. В ОІМС серії К249КН1, схема якої наведена на рисунку 6.4, оптопар VD1 і VD2 працюють в фотовентильному режимі і виконують функції імпульсного трансформатора. Дві оптопар, під'єднані послідовно, при подачі вхідного сигналу генерують ЕРС, достатню для відмикання вихідних транзисторів VT1, VT2.

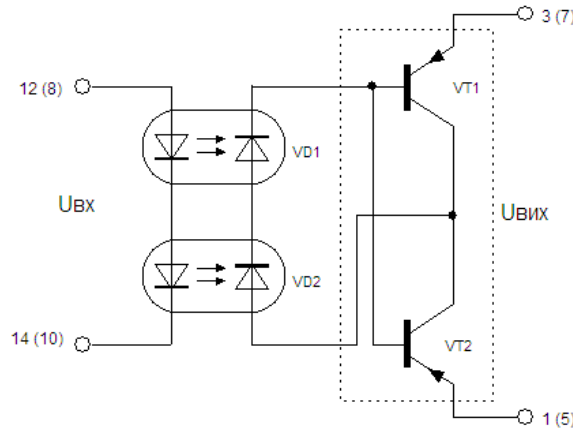


Рисунок 6.4 – Оптоелектронний комутатор аналогових сигналів К249КН1

На основі оптронів реалізуються основні логічні операції: кон'юнкція, диз'юнкція, штрих Шеффера, стрілка Пірса і ін. (рис. 6.5).

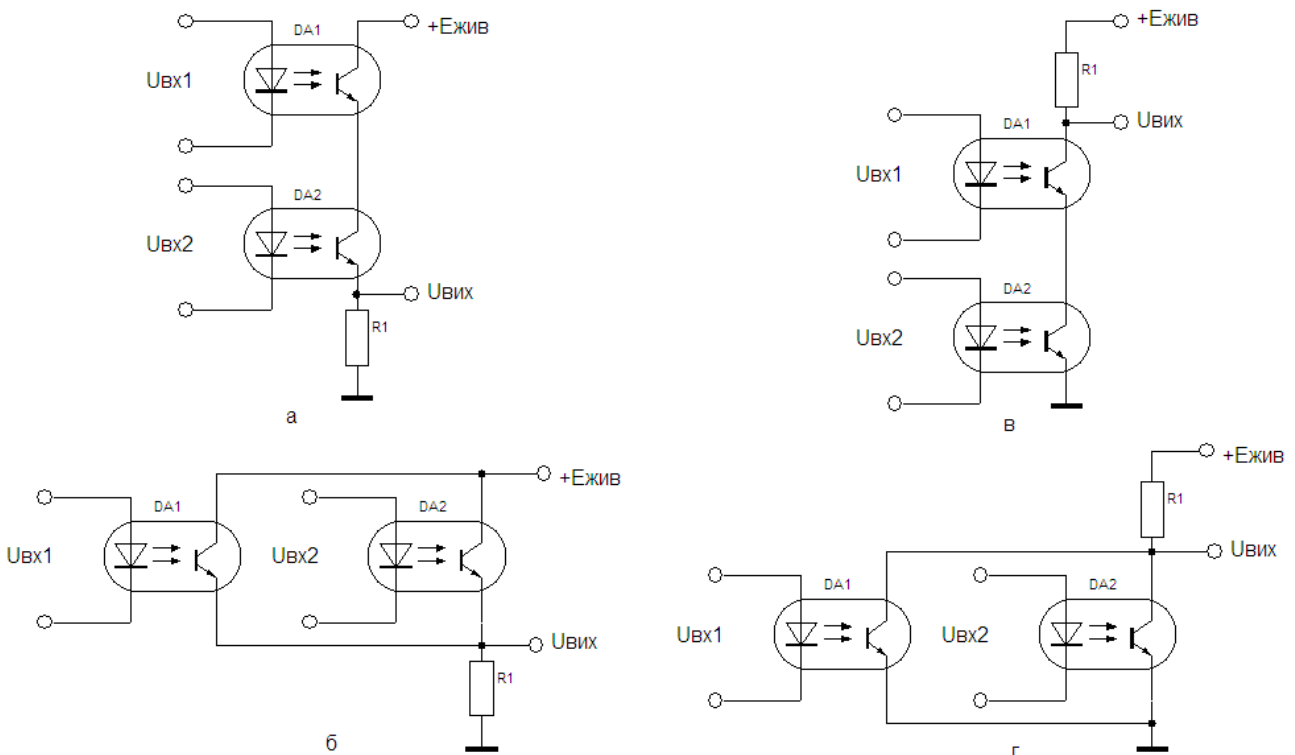


Рисунок 6.5 - Оптоелектронні елементи, які реалізують логічні функції кон'юнкції (а) і диз'юнкції (б), штрих Шеффера (в) і стрілка Пірса (г)

В оптоелектронній схемі, яка виконує функцію логічного множення (рис. 6.4 а), одиничний вихідний сигнал встановлюється в тому випадку, якщо на обидві оптопари надходять одиничні вхідні сигнали, які викликають насичення обох фототранзисторів.

Для реалізації логічного додавання дві оптопари під'єднуються паралельно (рис. 6.5 б). В цій схемі вихідна напруга, близька до напруги живлення (що відповідає лог. 1), встановлюється при засвіченні хоча б одного з фототранзисторів.

Оптоелектронна схема, наведена на рисунку 6.2 в, реалізує операцію І-НІ (штрих Шеффера). З аналізу її роботи очевидно, що близька до нуля напруга на виході, тобто лог. 0, можлива лише при одночасному насиченні фототранзисторів оптопар DA1 і DA2.

Логічну функцію АБО-НІ (стрілка Пірса) виконує оптоелектронна схема (рис. 6.5 г), яка містить дві паралельно під'єднані оптопари і опір навантаження R_n . За наявності хоча б одного одиничного вхідного сигналу насичений фототранзистор (DA1 або DA2) знизить напругу на виході до значення, відповідного лог. 0.

Використання оптронів дозволяє здійснювати оптичне управління роботою імпульсних пристроїв, таких як блокінг-генератор, очікувальні мультивібратори, тригери.

Введення оптичних зв'язків дозволяє вирішити проблеми електричного стикування різнотипних електронних приладів і пристроїв. Так, для узгодження цифрових елементів на основі транзисторно-транзисторної логіки (ТТЛ) з інтегральними мікросхемами на базі МДП-транзисторів можна використати транзисторну оптопару. На схемі (рис. 6.6), оптрон забезпечує надійне передавання сигналу, хоча напруга живлення каскадів відрізняється як за значенням, так і за знаком ($E1=E2=+5V$, $E3= -15V$).

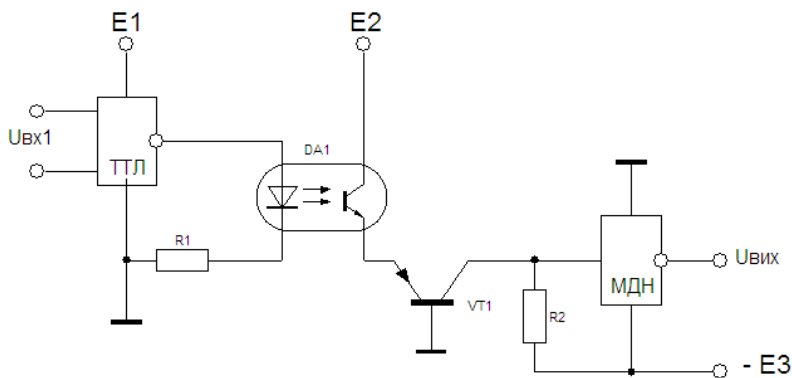


Рисунок 6.6 - Схема узгодження ТТЛ-елемента з інтегральною МДП-мікросхемою

Врахування переваг і недоліків оптронів і оптоелектронних мікросхем дозволяє визначити такі основні області застосування цих елементів: передавання інформації між пристроями, що не мають електричних зв'язків; отримання і відображення інформації; зберігання, перетворення і передавання інформації; контроль технологічних процесів; заміну електромеханічних виробів (трансфор-

маторів, потенціометрів, реле); створення гальванічно розв'язаних кіл живлення.

Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю.

1. Сфери застосування оптоелектронних аналогових і цифрових інтегральних мікросхем.
2. Сучасні оптоелектронні аналогові мікросхеми.
3. Сучасні оптоелектронні цифрові мікросхеми.
4. Узгодження мікросхем різних технологій виготовлення.

Практичні завдання.

1. Побудувати оптоелектронну схему мажоритарного елемента 2 з 3.
2. Побудувати оптоелектронну схему заданого перетворювача коду.
3. Побудувати оптоелектронну схему напівсуматора.
4. Побудувати оптоелектронну схему задану логічною функцією.

7 Оптичні пристрої відображення інформації

Метою вивчення теми є засвоєння принципів функціонування пристроїв відображення інформації та моделювання схем управління індикаторами.

Ключові терміни та поняття:

індикатор, інформація, вилучення, сегмент, електрична схема, знак, генератор, елемент.

План самостійного опрацювання теми.

1. Принцип побудови та функціонування можливості індикаторів.
2. Принципи функціонування напівпровідникових індикаторів.
3. Принципи функціонування рідкокристалічних індикаторів.
4. Методи моделювання схем управління оптоелектронними індикаторами.

Методичні вказівки до вивчення питань та виконання завдань.

Для відображення цифрової інформації в мікропроцесорних пристроях застосовуються різні індикатори. У основі принципів дії індикаторів лежать різні фізичні явища, такі як низьковольтна катодолюмінесценція, інжекційна і передпробійна електролюмінесценція, випромінювання газового розряду, різні електрооптичні ефекти і т. п. Індикатори розрізняються функціональними можливостями і призначенням, конструктивним і технологічним виконанням.

Найбільшого поширення набули світлодіодні і рідкокристалічні індикатори завдяки низькій напрузі і слабким струмам в робочому режимі. Вживання подібних індикаторних елементів полегшується завдяки наявності безлічі інтегральних драйверів.

Літеро-цифрові індикатори призначені для відображення інформації у вигляді цифр, літер і різних символів. Розрізняють наступні види літеро-цифрових індикаторів: накульні; газорозрядні; світлодіодні; вакуумні електролюмінесцентні; рідкокристалічні. Накульні і газорозрядні індикатори в даний час практично не застосовуються. Приведемо деякі інші типи індикаторів, що не увійшли до перерахованих вище типів: накульні індикатори – лампи; накульні вакуумні індикатори; накульні індикатори на флуоресціюючих стеклах; газорозрядні не-

онові лампи; газові електронно-світлові індикатори; тиратрони тліючого розряду; газорозрядні знакові індикатори; газорозрядні індикаторні панелі; електронно-променеві індикатори; термоіндикатори і т. д.

Багатоелементні напівпровідникові знаковитезуючі індикатори призначені для представлення інформації у вигляді знаків і організованих в один або декілька розрядів. В даний час випускається декілька сотень типів багатоелементних напівпровідникових індикаторів, у тому числі знакові, модулі шкали, модулі екрану. Вони розрізняються числом, розмірами і конфігурацією світловилучаючих елементів, кольором свічення, конструктивними рішеннями.

По числу елементів і їх взаємному розташуванню в межах поля одного розряду розрізняють чотири типи знакових індикаторів: семисегментний, дев'яти сегментний, 32 сегментний напівпровідниковий знаковитезуючий індикатор, п'яти сегментний різних виглядів (рис. 7.1).

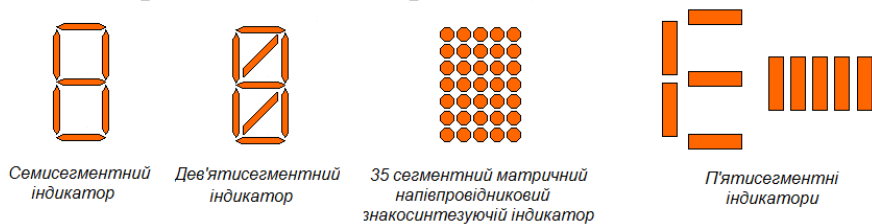


Рисунок 7.1 – Типи знакових індикаторів

На робочому полі може одночасно відображатися одне знакомісце (однорозрядний індикатор) або декілька знакомісць (багаторозрядний).

Семисегментні світлодіодні індикатори призначені для відображення інформації у вигляді цифр і включають в свій склад вісім світлодіодів, сім з яких мають форму сегментів, а один, восьмий - крапка (рис. 7.2).

Семисегментні індикатори випускаються двох видів – з об'єднаним анодом або з об'єднаним катодом, для зменшення числа контактних виводів індикатора.

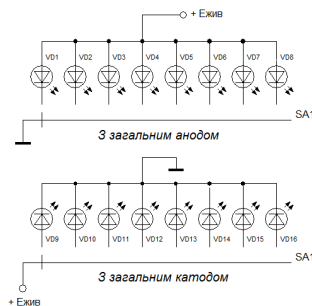


Рисунок 7.2 – Семисегментний світлодіодний індикатор

Для активації 5, 7 або 9 сегментного індикатора при структурі із загальним анодом досить на об'єднаний анод всіх діодів подати позитивну напругу (близько 2 В). На катода потрібних діодів подається потенціал землі. Вибрані діоди запалюються за рахунок прямого струму, що протікає скрізь них. Катоди невживаних діодів можна підключити до позитивної напруги або залишити не підключеними. Для структури із загальним катодом на об'єднаний катод подається потенціал землі. На аноди потрібних діодів подається позитивна напруга.

Стилізоване зображення цифр (та деякого набору літер) складають із семи лінійних сегментів, розташованих у вигляді цифри вісім (рис. 7.3).

Дев'ятисегментний індикатор дозволяє поліпшити форму цифр і навіть літер за рахунок правильнішого зображення знаків (рис. 7.4)

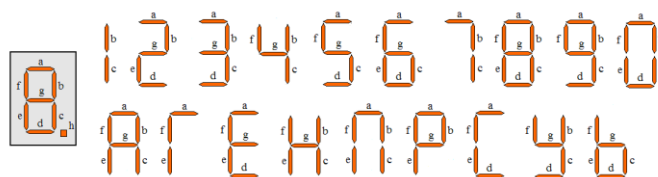


Рисунок 7.3 – Зображення знаків на семисегментному індикаторі



Рисунок 7.4 – Індикація цифр на дев'ятисегментному індикаторі

Рідкокристалічні індикатори (РКІ) являються пасивними індикаторами, що перетворюють падаюче на них світло.

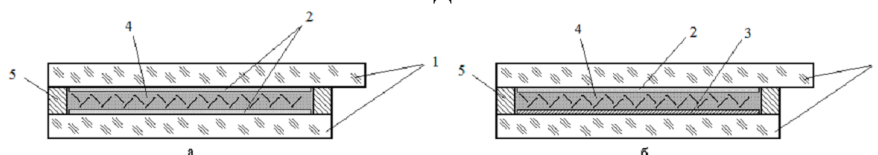
До переваг РКІ індикаторів слід віднести: малу споживану потужність; низьку робочу напругу і гарну сумісність з КМОП-мікросхемами; зручне конструктивне виконання - плоска форма екрану і обмежена товщина індикатора; можливість ефективної індикації в умовах сильного зовнішнього засвічення; велику довговічність.

Основні недоліки - порівняно низька швидкодія, обмежений кут огляду і необхідність зовнішнього освітлення.

Рідкі кристали (РК) називають також анізотропними рідинами, електричні і оптичні властивості яких залежать від напрямку їх спостереження. Щільність РК близька до щільності води і коефіцієнт відношення їх щільності трохи відрізняється від одиниці. Рідкі кристали: діамагнітний матеріал; виштовхуються з магнітного поля; відносяться до діелектриків; питомий опір складає $10^6 \dots 10^{10}$ Ом·см і залежить від наявності і концентрації провідних домішок. Теплопровідність РК в напрямі уздовж молекул відрізняється від теплопровідності в поперечному по відношенню до молекул напрямі.

Унаслідок анізотропії електричних і оптичних властивостей в РК спостерігаються різні електрооптичні ефекти.

Конструктивні схеми рідкокристалічних індикаторів показані на рисунку 7.5. **Увага! Істочник ссилки не найден..**



1 – скляні пластини; 2 – прозорі електроди; 3 – електрод, що віддзеркалює; 4 – рідкий кристал; 5 - герметик

Рисунок 7.5 – Конструкції рідкокристалічних індикаторів: а – що працюють на просвіт; б – що працюють на віддзеркалення

Питання для закріплення вивченого матеріалу та самоконтролю

1. Світлодіодні напівпровідникові знаковосинтезуючі індикатори.
2. Рідкокристалічні індикатори.
3. Шкальні індикатори.
4. Світлодіодні екрани.

Практичне завдання

Розрахувати, побудувати та провести аналіз функціонування пристрою відображення двійково-десятькової інформації чотирьохрозрядного коду 8-4-2-1 (ДСВА), у десятиковому коді на двох семисегментних індикаторах.

8 Питання для повторення та актуалізації знань

1. Поняття - оптоелектроніка.
2. Оптичне випромінювання.
3. Оптоелектронний компонент.
4. Групи оптоелектронних приладів.
5. Напівпровідникові випромінювачі.
6. Приймач випромінювання.
7. Інтегральна оптика.
8. Наведіть класифікацію джерел випромінювання.
9. Наведіть класифікацію фотоприладів.
10. Наведіть визначення оптрона.
11. Наведіть класифікацію оптронів.
12. Наведіть умовні позначення оптопар.
13. Схемні рішення інтегральної оптики.
14. Основні схеми ввімкнення світлодіодів.
15. Схеми з прямим та інверсним оптичними виходами.
16. Варіанти схемотехнічної реалізації оптичної передачі даних.
17. Використання напівпровідникових інжекційних лазерів.
18. Варіанти схемного використання фоторезисторів.
19. Варіанти схемного використання фотодіодів.
20. Варіанти схемного використання фототранзисторів.
21. Схемна реалізація фототригера.
22. Логічні операції цифрової схемотехніки.
23. Схеми оптоелектронного елемента І.
24. Схеми оптоелектронного елемента АБО.
25. Схеми оптоелектронного елемента НІ.
26. Логічні функції цифрової схемотехніки, та операції з ними.
27. Сфери застосування оптоелектронних інтегральних мікросхем.
28. Сучасні оптоелектронні аналогові мікросхеми.
29. Сучасні оптоелектронні цифрові мікросхеми.
30. Узгодження мікросхем різних технологій виготовлення.
31. Світлодіодні напівпровідникові знаковосинтезуючі індикатори.
32. Рідкокристалічні індикатори.
33. Шкальні індикатори.

ЛІТЕРАТУРА

Рекомендована

1. Рябенський В.М., Жуйков В.Я., Гулий В.Д.. Цифрова схемотехніка: Навчальний посібник. Львів : "Новий Світ-2000", 2019. 736 с. ISBN 978-966-418-067-9.

2. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6

3. Готра З.Ю., Стахіра, І.І. Гельжинський П.Й Перспективи використання органічних нанорозмірних світловипромінюючих структур для систем освітлення. Шістнадцята щорічна відкрита науково-технічна конференція Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки з проблем електроніки та інфокомунікаційних. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. С. 29-34.

4. Черняков Е.І., Мачехін Ю.П., Кухтін М.П., Кухтін С.М. Оптоелектроніка. Частина 2. Прилади та пристрої : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2016. 292 с.

5. Світанько М.В., Верьовкін Л.Л., Хрипко С.Л Лазерна техніка та технології. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 40 с.

Використана

1. Дмитрієва Л. Б., Дмитрієв В. С. Оптоелектроніка. Конспект лекцій для студентів ЗДІА, що навчаються за напрямком «Мікро- та наноелектроніка» денної та заочної форм. Запоріжжя : ЗДІА, 2013. 51 с.

2. Кожем'яко В. П., Павлов С. В., Тарновський М. Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 189 с.