

Лекція 7 Оптосхемотехніка світловипромінюваних приладів

Оптосхемотехніка – науково-технічний напрям, пов'язаний з вивченням ефектів взаємодії між електромагнітними хвилями оптичного діапазону та електронами твердого тіла та створенням оптоелектронних приладів, в яких ці ефекти використовуються для формування, передачі, обробки, зберігання та відображення інформації.

Фізичну основу оптосхемотехніки 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.

Технічну основу оптосхемотехніки 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.

Функціональне призначення оптосхемотехніки 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.

Для вирішення зазначених задач в оптоелектронних пристроях використовуються як оптичні, так і електричні сигнали. При цьому визначальними є саме оптичні, чим і досягається те якісне нове, що і відрізняє оптоелектроніку від електроніки.

Світловипромінювачі – прилади, які перетворюють електричну енергію в енергію оптичного випромінювання заданого спектрального складу і просторового розподілення; світловипромінювачі є основою практично будь-якої оптоелектронної системи; за характером випромінюваних світлових потоків

світловипромінювачі бувають когерентні і некогерентні (відповідно до цього розділяють когерентну і некогерентну оптоелектроніку). Когерентними світловипромінювачами є оптичні квантові генератори (лазери), а некогерентними – світлодіоди.

Некогерентним випромінюванням є потік квантів $h\nu$, кожний з яких має будь-які фазу і напрям руху. Некогерентне випромінювання уподібнене шуму і тому не є коливанням.

Когерентним випромінюванням є потік квантів $h\nu$, фаза і напрям руху кожного з яких упорядковані. Тому когерентне випромінювання є коливанням. Його можна обробляти, наприклад, модулювати з метою передавання сигналів.

7.1 Світлодіоди

Світлодіод - це діод, який перетворює електричну енергію на енергію некогерентного світлового випромінювання. Світлодіоди працюють як у діапазоні видимого світла, так і в інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазонах.

Частота випромінювання ν кванта $h\nu$ пов'язана з шириною забороненої зони ΔW співвідношенням

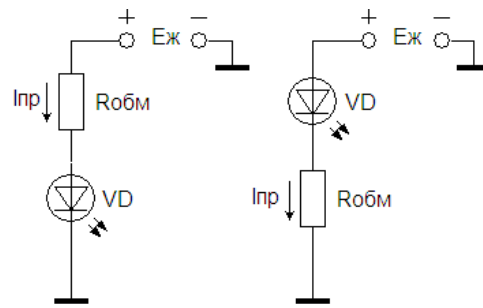
$$\Delta W = h\nu, \quad (7.1)$$

де h - стала Планка.

Для випромінювання видимого світла ширина забороненої зони має становити $1,8 \text{ eV} < \Delta W < 3,2 \text{ eV}$. Такі властивості мають арсенід галію GaAs, фосфід галію GaP, карбід кремнію SiC та ін.

В основу роботи світлодіода покладено випромінювання кванта $h\nu$ при рекомбінації електрона та дірки. Щоб відбулася рекомбінація, необхідно одночасне знаходження і електронів, і дірок. Таким місцем одночасного їхнього знаходження є р-п перехід під прямою напругою, тобто світлодіод має живитися прямою напругою.

Умовне позначення та основні схеми включення світлодіода наведені на рисунку 7.1.



3

Рисунок 7.1 – Схеми включення світлодіода

Під прямим струмом $I_{пр}$ р-п перехід світлодіода збагачується електронами та дірками. При рекомбінації кожна пара “електрон-дірка” випромінює квант $h\nu$, тобто випромінює світло.

Резистор $R_{обм}$ необхідний для регулювання яскравості світіння і зберігає світлодіод від перегорання. Чим менше опір $R_{обм}$, тим більший прямий струм $I_{пр}$, і тим яскравіше світіння.

Світлодіоди використовують для світлової сигналізації та індикації станів цифрових пристроїв.

7.2 Напівпровідникові інжекційні лазери

Лазер - це випромінювальний прилад, який перетворює електричну енергію на когерентне світлове випромінювання. Через це лазерні системи зв'язку сьогодні набувають усе більшого застосування.

Одним із самих розповсюджених лазерів є напівпровідниковий. Основними його перевагами є простота конструкції (лише один р-п перехід), малі габарити (частка мм^3) та простота живлення (постійний струм). На рисунку 7.2 наведена схематична конструкція напівпровідникового інжекційного лазера.

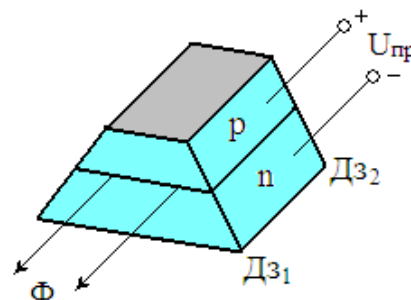


Рисунок 7.2 – Конструкція напівпровідникового інжекційного лазера

Передня та задня грані паралельні, поліровані і створюють дзеркала Дз₁ та Дз₂, які відбивають кванти світла. Для виводу випромінювання дзеркала виконані напівпрозорими. Бокові грані скошені, щоб в їхньому напрямі не було випромінювання. Лазер випромінює потік когерентних квантів світла Φ . Дзеркала Дз₁ та Дз₂ створюють додатковий зворотний зв'язок, без якого не може працювати жоден генератор.

В основу роботи лазера покладено випромінювання кванта світла $h\nu$ (фотона) при переході електрона із зони провідності у валентну зону. Дійсно, якщо для переведення електрона з валентної зони в зону провідності треба затратити фотон $h\nu$, то при зворотному переході електрона у валентну зону цей фотон випромінюється.

Знаходження електронів у зоні провідності створює інверсну населеність. Речовина з інверсною населеністю називається активним середовищем і здатна тільки випромінювати фотони без їхнього поглинання. Інверсна населеність, тобто активне середовище створюється живленням.

Напівпровідниковий інжекційний лазер живиться прямою напругою, завдяки чому активне середовище створюється в р-п переході (рис. 7.3).

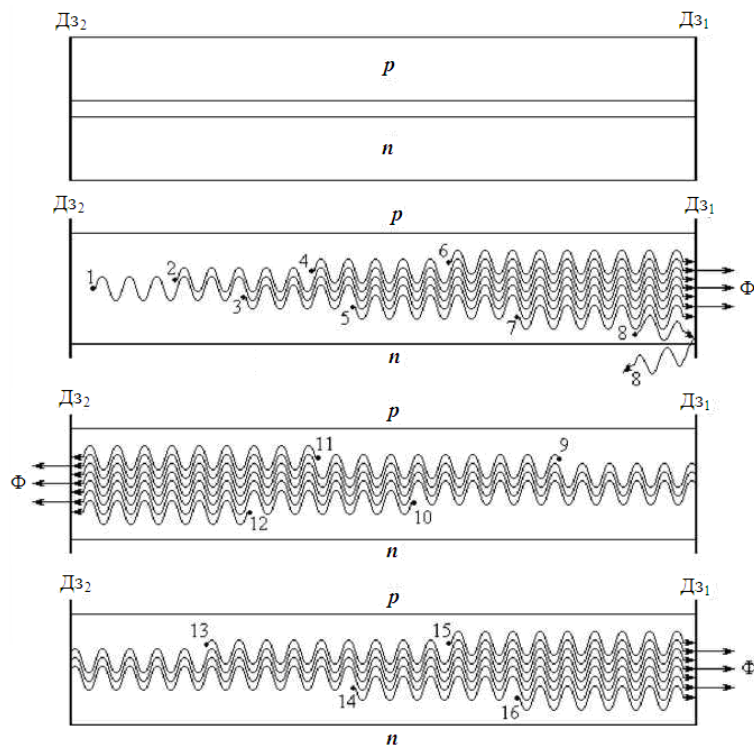


Рисунок 7.2 – Інжекційний лазер

1...16 - електрони в зоні провідності, які створюють інверсну населеність – активне середовище. Випромінювання фотонів електронами в зоні провідності може бути двояким: спонтанним (випадковим) або вимушеним.

Спонтанне випромінювання не когерентне. Кожний фотон має свої випадкові фазу та напрям руху. Спонтанне випромінювання не є коливанням. Воно уподібнене шуму.

Вимушене випромінювання спостерігається тільки при опроміненні електрона в зоні провідності фотоном. При цьому випромінений фотон має такі ж фазу та напрям руху, як і первинний фотон, який опромінює. Тому вимушене випромінювання когерентне і є коливанням. Його можна обробляти, наприклад, модулювати з метою передавання сигналів. Через високу частоту світлового випромінювання (10^{15} Гц) його інформаційна місткість дуже висока. Тому сьогодні лазерні системи зв'язку витискують металеві кабелі. Роботу інжекційного лазера (рис. 7.2) пояснює його подовжній перетин, який наведений на (рис. 7.3).

Генерація (випромінювання когерентного світла) починається з спонтанного випромінювання. При цьому напрям руху випроміненого фотону випадковий і може бути перпендикулярним до поверхні дзеркал D_1 , D_2 .

Якщо, наприклад, електрон 1, переходячи у валентну зону, випромінює фотон з напрямом руху, перпендикулярним до поверхні дзеркал, то він на своєму шляху опромінює інші електрони 2...7 і вони випромінюють відповідні фотони вимушено. Тому всі фотони типу 1...7 синфазні і рухаються перпендикулярно до поверхні дзеркала D_1 . На своєму шляху випромінені фотони у свою чергу опромінюють інші електрони і т.д. Виникає лавина когерентних фотонів, якщо первинний фотон рухається перпендикулярно до поверхні дзеркал.

Доходячи поверхні дзеркала D_1 через його напівпрозорість, частка фотонів проникає назовні. Це і є випромінюванням лазера Φ . Інша частка фотонів, відбиваючись від D_1 , повертається назад в активне середовище, тобто в p-n перехід, де продовжує вимушувати випромінювання фотонів 9...12 таких,

як і вони самі.

На поверхні дзеркала Дз₂ процес повторюється. Частка фотонів випромінюється (потік світла Φ), а інші фотони, відбиваючись від дзеркала Дз₂, повертаються назад в активне середовище, тобто в р-п перехід, де продовжують вимушувати випромінювання фотонів 13...16 таких, як і вони самі.

Повернення частки фотонів назад в активне середовище є зворотним зв'язком. Оскільки повернені фотони викликають появу синфазних фотонів, а не протифазних, то зворотний зв'язок є додатним. Так, дзеркала Дз₁ та Дз₂ створюють додатний зворотний зв'язок для фотонів, напрям руху яких перпендикулярний до поверхні дзеркал.

Якщо в активному середовищі виникне фотон типу 8 з напрямом руху, не перпендикулярним до поверхні дзеркала, то через рівність кутів падіння та відбивання він, відбиваючись від дзеркала Дз₁, не повертається в активне середовище. Для таких фотонів, які мають напрям руху, не перпендикулярний до поверхні дзеркал, додатного зворотного зв'язку немає, через що такі фотони лазер не генерує.

Лазер генерує тільки ті фотони, які рухаються перпендикулярно до поверхні дзеркал. Цим зумовлена висока направленість лазерного випромінювання.

7.3 Схемотехніка включення світлодіодів

Схемотехніка включення світлодіодів повинна задовольняти таким основним вимогам:

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

На рисунку 7.3 зображені варіанти включення світлодіодів. Схеми передбачають використання не форсованих режимів вмикання світлодіодів за струмом.

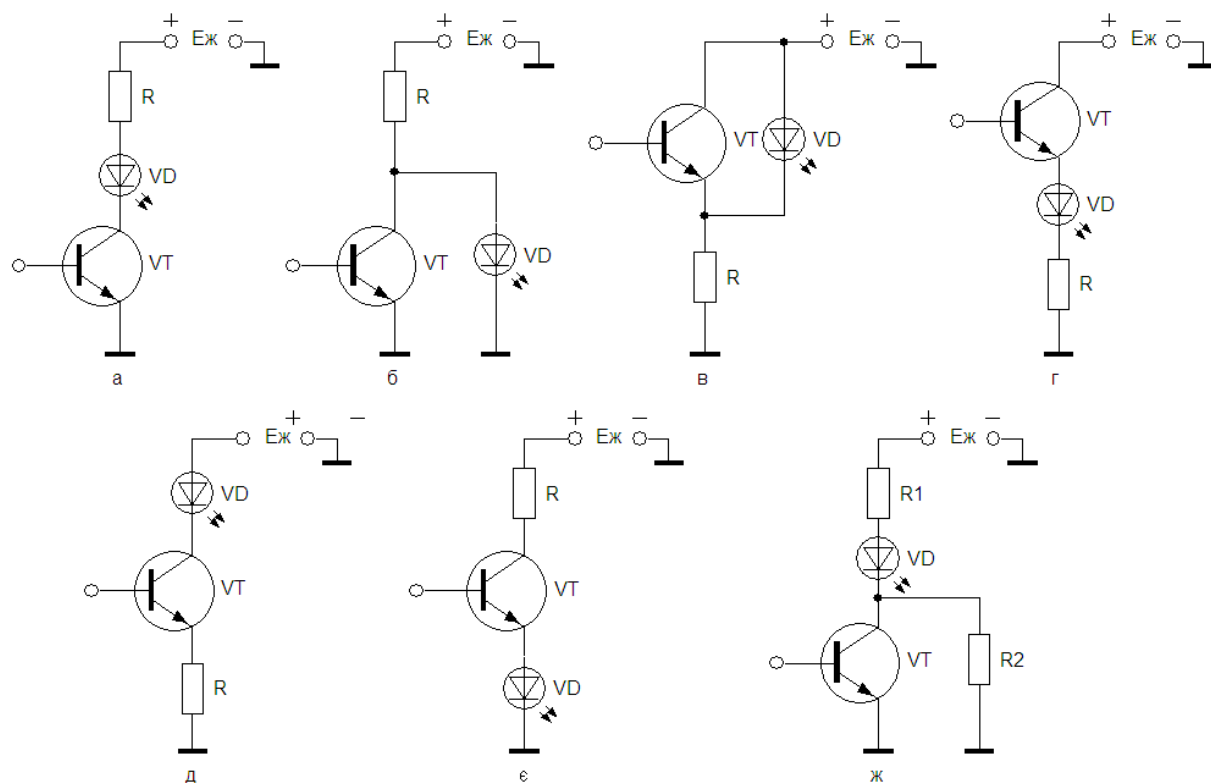


Рисунок 7.3 – Варіанти включення світлодіодів у вихідних каскадах оптоелектронних схем

Опір резистора R в схемах на рисунках 7.3 а,г,д,е вибирається відповідно до нерівності

$$R \geq \frac{E_{\text{жс}} - U_{\text{КЕ.Н}} - U_{\text{VD}}}{I_{\text{VD}}}, \quad (7.1)$$

де $E_{\text{жс}}$ – напруга живлення; $U_{\text{КЕ.Н}}$ – напруга між колектором та емітером насиченого транзистора; U_{VD} – прямий спад напруги на світлодіоді; I_{VD} – прямий струм через світлодіод.

В схемах на рисунках 7.3 б,в опір резистора R повинен задовольняти двом нерівностям:

$$\begin{cases} R \geq \frac{E_{\text{жс}} - U_{\text{VD}}}{I_{\text{VD}}} \\ R > \frac{E_{\text{жс}} - U_{\text{КЕ.Н}}}{I_{\text{К.Н}}} \end{cases}, \quad (7.2)$$

де $I_{\text{К.Н}}$ – колекторний струм насиченого транзистора.

Порівнюючи нерівності (можна зробити висновок, що до схем на рису-

нках 7.3 б,в висуваються більш жорсткі вимоги у порівнянні з схемами на рисунках 7.3 а,г,д,є. Напряга $U_{KE.H}$ повинна бути меншою за напругу збудження світлодіода, а струм $I_{K.H}$, повинен перевищувати I_{VD} для того, щоб виконувалася нерівність $U_{KE.H} < U_{VD}$. Крім того, споживана схемами на рисунках 7.3 а,г,д,є середня потужність

$$P_{CP} = \frac{EI_{VD}}{2},$$

у той час як середня потужність, споживана схемами на рисунках 7.3 б,в

$$P_{CP} = \frac{E(I_{VD} + I_{K.H})}{2},$$

а з огляду на те, що $I_{K.H} > I_{VD}$, одержимо $P_{CP} > EI_{VD}$.

Таким чином, при одних і тих же робочих режимах світлодіода середнє споживання потужності схемами на рисунках 7.3 б,в перевищує більше ніж у 2 рази енергоспоживання схемами на рисунках 7.3 а,г,д,є.

У схемах на рисунках 7.3 а,б рівень напруги відмикання транзистора U_{BX} визначається контактною різницею потенціалів переходу база-емітер U_{BE} , тоді як для відмикання транзистора в схемі на рисунку 7.3 в треба прикласти напругу $U_{BX} > |E_{жс} - U_{VD}| + U_K$. Для збудження світлодіода у схемі рисунку 7.3 г на її вхід треба подати напругу $U_{BX} > U_{VD} + I_{0VD} \cdot R1$, де I_{0VD} – струм, при якому світлодіод починає випромінювати.

При неправильно вибраному резисторі в схемі на рисунку 7.3 в глибина модуляції світлового потоку не досягає 100%. У схемі на рисунку 7.3 а існує зона нечутливості, яка призводить до затримки фронту. Цей недолік усувається резистором $R2$ в схемі на рисунку 7.3 ж, опір якого визначається, виходячи із заданого початкового струму світлодіода

$$I_{0VD} - R_2 = \frac{E - U_{0VD} - R_1 \cdot I_{0VD}}{I_{0VD}},$$

де U_{0VD} - напруга на світлодіоді при початковому струмі I_{0VD} .

Резистор $R1$ вибирають з умови (7.1). У цьому випадку ємність випромінювального діода підзаряджається, отже, зменшується час вмикання схеми.

Крім того, після закривання транзистора, ємність світлодіода розряджається не через закритий транзистор, як у схемі на рисунку 7.3 а, а через резистор $R2$, який має значно менший опір. У результаті істотно зменшується час розряду ємності діода.

Схеми на рисунках 7.3 г-є мають ті ж недоліки щодо відношення роботи світлодіода, що і схема на рисунку 7.3 а. На відміну від описаних схем в схемах, які зображені на рисунках 7.3 б,в, сигнал на світлодіоді змінюється протифазно вхідному сигналу (схема виконує функцію інверсії за світловим потоком відносно входу). Крім того, для цих схем початковий струм крізь світлодіод, відрізняється від нуля, тому зони нечутливості в цих схемах немає.

Особливість схем на рисунках 7.3 г,є - високий вхідний опір (транзистор ввімкнений за схемою емітерного повторювача).

Можливий випадок, коли потужності випромінювання одного світлодіода недостатньо, тому необхідно використовувати кілька світлодіодів, які працюють синфазно. Тут можливі два способи: кілька світлодіодів вмикаються або послідовно, або паралельно. В обох випадках потужність випромінювання зростає у n разів (n – кількість використовуваних світлодіодів). Проте, при послідовному ввімкненні швидкодія схеми зменшується, оскільки у цьому випадку зростає постійна часу схеми. Крім того, при великому n необхідно підвищувати значення напруги живлення.

При паралельному вмиканні підвищувати напругу живлення не треба, проте, треба вибирати більш потужний транзистор, оскільки через нього повинен протікати сумарний струм світлодіодів: $I_T = n \cdot I_{VD}$, де I_T – колекторний або емітерний струм транзистора; I_{VD} – струм світлодіода.

При необхідності мати на виході прямий і інверсний світлові потоки використовується схема, зображена на рисунку 7.4.

При подачі на вхід схеми напруги високого рівня транзистор $VT1$ відкривається. Струм через резистор $R1$ збільшується, а потенціал колектора зменшується. Транзистор $VT2$ закривається, струм через $R2$ зменшується.

10

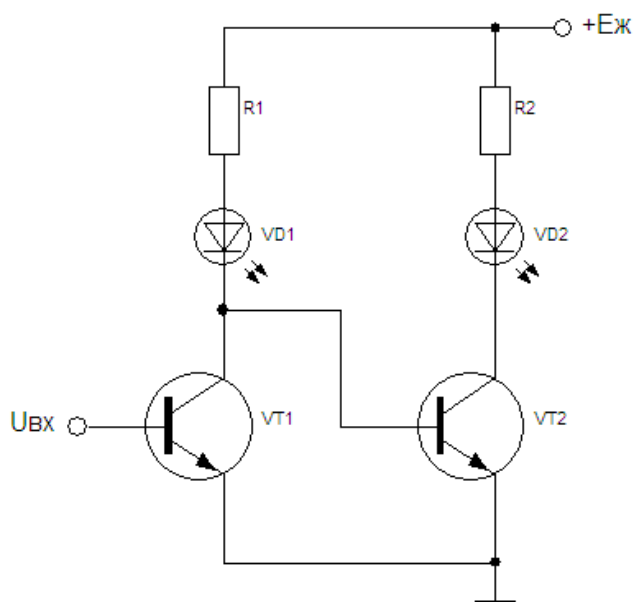


Рисунок 7.4 – Схема з прямим та інверсним оптичними виходами

При виконанні умови

$$I_{VDnop} R1 + U_{VD1} = E - U_{KE},$$

де

$$I_{VDnop} \leq I_{VD1}$$

граничне значення струму світлодіода $VD1$, світлодіод $VD1$ засвічується – збуджується прямий оптичний вихід. Світлодіод $VD2$ не світиться.

Якщо на вхід схеми подана напруга близька до нуля, транзистор $VT1$ закривається, струм через резистор $R1$ зменшується. У результаті потенціал колектора підвищується, транзистор $VT2$ відривається. Внаслідок цього світлодіод $VD1$ гаситься, а світлодіод $VD2$ засвічується. Оптичний сигнал з'являється на інверсному оптичному виході.

Значення опорів резисторів визначаються із системи рівнянь

$$\begin{cases} R1 \geq \frac{E - U_{VD1} - U_{KE.H}}{I_{VD1}} \\ R2 \geq \frac{E - U_{VD2} - U_{KE.H}}{I_{VD2}} \end{cases},$$

де U_{VD1} , U_{VD2} – напруги, при яких починає випромінювати відповідно перший та другий світлодіоди; $U_{KE.H}$ – напруга насичення транзисторів; I_{VD1} , I_{VD2} – струм відповідно першого і другого світлодіода.

Для формування кольорового зображення використовують RGB колірну модель, яка полягає в тому, що змішуючи в певній пропорції основні кольори: червоний, зелений та синій, можна сформувати будь-який проміжний колір. Для дослідження даного ефекту використовують RGB світлодіоди, в корпусі яких знаходиться одразу три світлодіода різних кольорів: червоний, зелений та синій (рис. 7.5). Для зручності використання RGB світлодіодів часто їх встановлюють на окремих платах разом з обмежувальними резисторами.

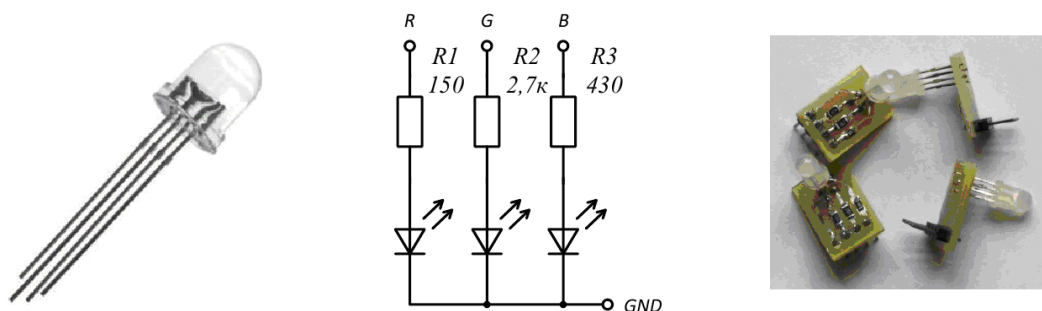


Рисунок 7.5 - RGB світлодіод

Для отримання основних кольорів (червоного, зеленого та синього) достатньо подати напругу +5 В на відповідний вивід, за умови, що спільний вивід підключено до GND. Одночасно подаючи напругу +5 В на декілька виводів можна отримати ще 3 додаткові кольори та білий колір, якщо одночасно подати напругу на всі три світлодіоди.

В цілому, RGB колірна модель передбачає зміну впливу яскравості кожного з основних кольорів на сумарний колір в діапазоні від 0 до 256 градаций яскравості. Одночасно регулюючи середнє значення напруги на кожному світлодіоді теоретично можна отримати $256^3 = 16777216$ кольорів.

7.4 Схеми оптичної передачі даних

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.

В основі пристрою оптичної передачі лежить джерело оптичного випромінювання (звичайно це світлодіод або напівпровідниковий лазер), в якому безпосередньо здійснюється перетворення електричного сигналу в оптичний.¹² За порівнянням з лазерами світлодіоди відрізняються великим строком служби, меншою чутливістю до деградації, більш слабкою температурною залежністю потужності випромінювання, нижчою вартістю та простішою експлуатацією. Проте вони програють лазерам за такими параметрами як ширина спектра випромінювання, ефективність введення випромінювання у волокно, вихідна потужність випромінювання та швидкодія.

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 управління джерелом випромінювання для пристроїв оптичної передачі цифрових сигналів необхідно задовольнити ряд вимог:

- узгодження рівнів вхідних сигналів з 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 її сигналів управління;
- підвищення завадостійкості вхідних кіл передавального кінцевого пристрою.

Варіанти підключення світлодіодів до різних типів інтегральних схем зображені на рисунку 7.6.

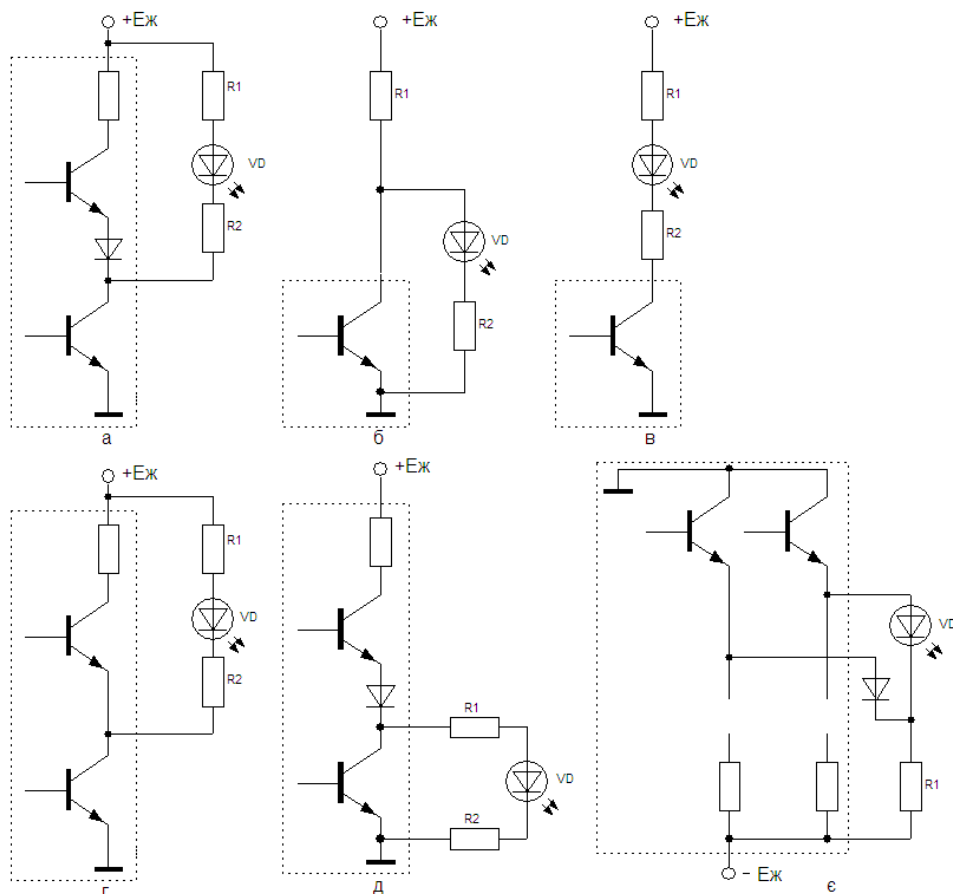


Рисунок 7.6 – Схеми можливого підключення світлодіодів до виходів стандартних інтегральних схем

Враховуючи те, що світлодіоди з точки зору способу збудження генерації випромінювання мало чим відрізняються від напівпровідникових лазерних діодів, схеми оптичної передачі даних можуть бути у тому чи іншому ступені пристосовані для управління інжекційними лазерами. Проте, для того, щоб повною мірою реалізувати усі переваги, які надає використання джерел когерентного випромінювання, необхідно враховувати певні особливості останніх. Інкєкційні лазерні діоди, на відміну від світлодіодів, мають значну залежність потужності генерованого випромінювання від температури. Крім того, перехід в активний режим відбувається з певною затримкою, значення якої може виявитися занадто великим в деяких практичних застосуваннях.

Температурна стабілізація потужності оптичного випромінювання напівпровідникового лазерного діода може бути досягнута кількома схемотех-

нічними рішеннями. Основними з них є такі, що забезпечують збільшення струму накачки лазерного діода при підвищенні температури. Завдяки цьому зменшення потужності оптичного випромінювання, пов'язане з підвищенням температури, буде компенсуватися її збільшенням за рахунок зростання прямого струму лазерного діода. Досягти зазначеного ефекту можливо, наприклад, при вмиканні фотоприймача у коло зворотного зв'язку підсилювального каскаду, який керує лазерним діодом. При цьому спосіб частини випромінювання лазерного діода спрямовується на фотоприймач. Зниження потужності вихідного оптичного сигналу буде призводити до зменшення значення вихідного електричного параметра фотоприймача. Через коло зворотного зв'язку це зменшення надходить на вхід підсилювального каскаду, викликаючи збільшення його вихідного струму. Перевагою такого рішення є те, що інформативним параметром, на підставі якого виконується управляючий вплив, є потужність випромінювання лазерного діода, чим досягається висока ефективність стабілізації. Основний недолік – використання додаткових елементів для розділення вихідного оптичного сигналу.

В іншому способі, схемотехнічна реалізація якого наведена на рисунку 7.7, стабілізація вихідної оптичної потужності досягається за рахунок використання кремнієвих діодів, які вмикаються у вхідне коло підсилювального каскаду, який управляє інжекційним лазером.

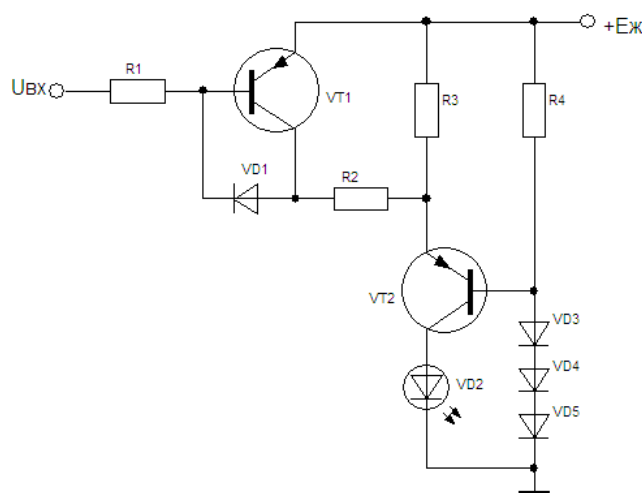


Рисунок 7.7 – Схема управління напівпровідниковим інжекційним лазером

При зміні температури відбувається перерозподіл напруги між діодами $VD3...VD5$ та резистором $R4$. Підвищення температури викликає зменшення напруги на діодах і збільшення напруги на резисторі. У результаті транзистор $VT2$ відкривається сильніше. Його колекторний струм, який є струмом накачки лазера, зростає і підтримує потужність оптичного випромінювання лазера на попередньому рівні.

Ступінь залежності колекторного струму транзистора $VT2$ (струму накачки лазерного діода) від температури визначається кількістю використовуваних діодів $VD3...VD5$. При правильному виборі кількості діодів вдається досягти майже повної стабільності у значеннях потужності при коливаннях температури.

Для управління інжекційним лазером сигнал з попереднього каскаду подається через резистор $R1$ на базу транзистора $VT1$. При високому рівні цього сигналу (близькому до $+E_{жс}$) транзистори $VT1$ та $VT2$ закриті і діод не випромінює.

При зменшенні напруги $U_{вх}$ транзистор $VT1$ відкривається. Якщо при цьому опір резистора $R2$ у колі відкритого транзистора $VT1$ буде меншим за опір резистора $R3$, емітерний, а значить і колекторний струм транзистора $VT2$ зросте і діод $VD2$ перейде в активний режим.

Діод $VD1$ прискорює процес перемикання транзистора $VT1$ з відкритого стану у закритий, що зменшує тривалість заднього фронту формованого сигналу. Цей діод підбирається так, щоб прямий спад напруги на ньому був меншим, ніж прямий спад напруги на колекторному переході транзистора $VT1$. У результаті насичення транзистора $VT1$ буде неповним. У відкритому стані він буде знаходитися на межі активної області та області насичення. Завдяки цьому знижується накопичення зарядів у базі транзистора і, як наслідок, прискорюється їх розсмоктування при перемиканні транзистора у закритий стан.

При певному співвідношенні опорів резисторів $R3$ та $R4$ можна досягти того, що у неактивному режимі транзистор $VT2$ буде закритий не повністю і

його колекторний струм буде трохи меншим, за пороговий струм лазерного діода. Це забезпечить значне зменшення часу переходу лазера в режим генерації випромінювання.

Основним недоліком розглянутого способу термокомпенсації потужності лазерного випромінювання є те, що він слабо враховує зменшення потужності за рахунок власного розігрівання кристала діода. При розміщенні діодів, які входять до кола термокомпенсації, поблизу лазерного діода цей недолік значною мірою може бути усунений.

7.5 Світлодіодні джерела освітлення

Існує два основних типи освітлювальних світлодіодів: високої яскравості (НВ) та високої потужності (НР).

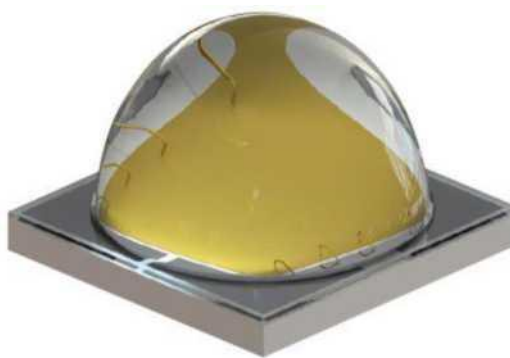
Світлодіоди високої яскравості можуть бути виготовлені в стандартному корпусі з виводами або в корпусі для поверхневого монтажу (SMD-світлодіоди) (рис. 7.8).

Надяскаві світлодіоди широко використовуються в усіх сферах життя: світлова реклама, дорожні світлофори і вказівники, автомобільна світлотехніка, екрани, мобільні телефони і т. п.



Рисунок 7.8 – Монокриштальний НВ світлодіод і плата з світлодіодами поверхневого монтажу

Світлодіоди великої потужності - це надійні потужні пристрої, які здатні забезпечити потрібний рівень освітленості і мають світловий потік, який рівний або перевищує світловий потік традиційних джерел світла (рис. 7.9).



17

Рисунок 7.9 - Монокристалльний HP світлодіод GREE XQ-E потужністю 3 Вт із світловим потоком 334 Лм

Вони виготовляються з напівпровідникових кристалів розмірами 1×1 мм або $1,5 \times 1,5$ мм. Споживана потужність в номінальному режимі при струмі 350 мА складає порядку 1 Вт. Можлива експлуатація і при струмах 500...700 мА. Світлодіод, при пропусканні через нього електричного струму випромінює некогерентне світло. Випромінюване світло традиційних світлодіодів лежить у вузькій ділянці спектру, а його колір залежить від хімічного складу використаного у світлодіоді напівпровідника. Сучасні світлодіоди можуть випромінювати світло від інфрачервоної ділянки спектру до ультрафіолетової. Існують методи розширення смуги випромінювання і створення білих світлодіодів.

Не всі напівпровідникові матеріали ефективно випромінюють світло при рекомбінації. Добрими випромінювачами, як правило, є прямозонні напівпровідники типу $A_{III}B_V$ (наприклад, GaAs або InP) і $A_{II}B_{VI}$ (наприклад, ZnSe або CdTe). Варіюючи склад напівпровідників, можна створювати світлодіоди різних довжин хвиль, - від ультрафіолету (GaN) до середнього інфрачервоного діапазону (PbS).

В даний час напівпровідникових структур, які б випромінювали біле світло не існує. Випромінюване світло традиційних світлодіодів лежить у вузькій ділянці спектру, а його колір залежить від хімічного складу використаного у світлодіоді напівпровідника. Основою світлодіодів білого кольору свічення є структури на основі GaN, які випромінюють на частоті 470нм (синій

колір) і нанесений зверху на неї люмінофор. Він випромінює в широкому діапазоні видимого спектру і має максимум в жовтій частині. Частково, випромінювання світлодіода потрапляє на люмінофор, формуючи вторинне випромінювання в жовто-помаранчевій області. Накладення двох випромінювань¹⁸ формує біле світло, колірна температура якого залежить від балансу між первинним і вторинним випромінюваннями. Однак люмінофор погіршує теплові характеристики світлодіода, тому його термін експлуатації скорочується.

Зовсім недавно на ринку світлотехніки з'явилися нові ефективні і економні джерела світла - світлодіодні матриці (рис. 7.10).



Рисунок 7.10 – Матриця нового покоління XLашр СМА

Буквально за декілька років вони знайшли широке застосування в сфері зовнішнього освітлення та освітлення приміщень. Матриці надзвичайно економні і мають великий термін експлуатації. Наноструктурні технології, які використовуються для формування матриць, дозволяють отримувати потужні напівпровідникові джерела світла з рекордними характеристиками по світло-віддачі. Фактично світ стоїть на порозі революційного перевороту в області світлотехніки, коли потужні білі світлодіодні матриці витіснять з області загального освітлення спочатку теплові джерела світла, а потім і люмінесцентні лампи.

В порівнянні з традиційними джерелами світла світлодіодні матриці мають наступні переваги.

- Високу світлову віддачу. Сучасні світлодіоди зрівнялися за цим пара-

метром з натрієвими газорозрядними і металогалогенними лампами, досягнувши 146 лм/Вт.

- Високу механічну міцність, вібростійкість (відсутність нитки розжарювання та інших чутливих складових).

- Тривалий термін служби - від 30000 до 100000 годин (при роботі 8 годин на день - 34 роки). Але і він не безмежний - при тривалій роботі або неякісному охолодженні відбувається «деградація» кристала і поступове падіння яскравості.

- Кількість циклів включення-виключення не чинять істотного впливу на термін служби світлодіодів (на відміну від традиційних джерел світла - ламп розжарювання, газорозрядних ламп).

- Спектр сучасних білих світлодіодів буває різним - від теплого білого з колірною температурою 2700 К до холодного білого – 6500 К. Спектральна чистота, досягається не фільтрами, а принципом дії приладу.

- Відсутність інерційності - вмикається відразу на повну яскравість, в той час як у ртутно-фосфорних ламп час включення від 1 с до 1 хв., а яскравість збільшується від 30% до 100% за 3-10 хвилин, в залежності від температури навколишнього середовища.

- Різний кут випромінювання - від 15 до 180 градусів.

- Низьку вартість індикаторних світлодіодів.

- Безпеку в користуванні - не потрібні високі напруги.

- Низьку температуру поверхні світлодіода, зазвичай не вище 60°C.

- Нечутливість до низьких і дуже низьких температур. Однак, високі температури протипоказані світлодіоду, як і будь-яким іншому напівпровідниковому приладу.

- Екологічність - відсутність ртуті, фосфору і ультрафіолетового випромінювання на відміну від люмінесцентних ламп.

Світлодіодні матриці являють собою збірки з декількох кристалів в одному блоці (рис. 7.11).

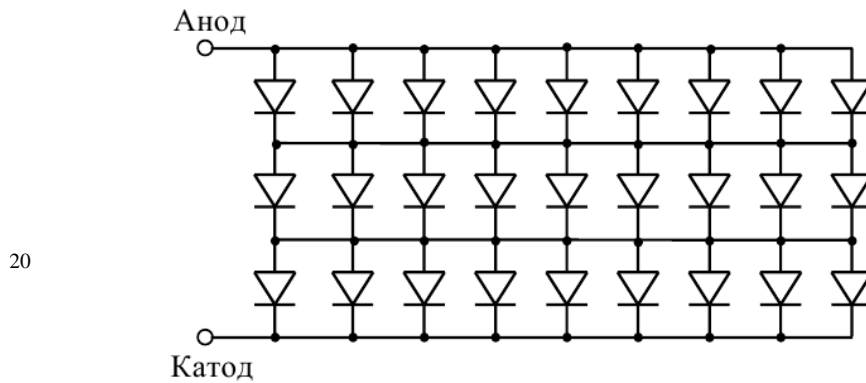


Рисунок 7.11 - Послідовно-паралельне з'єднання світлодіодів в світлодіодній матриці

Кристали покриті люмінофором, і для оптимізації споживаних струмів з'єднані послідовно-паралельно. Плоска поверхня блоку являє собою прозоре пластикове покриття, яке дозволяє встановити додаткову оптику для створення необхідної діаграми розсіювання світла. Матриці забезпечуються товстою мідною або алюмінієвою підкладкою з кріпильними отворами для монтажу блоку на тепловідвід. Гладка поверхня підкладки забезпечує надійний тепловий контакт блоку з тепловідводом. Матриці випускаються на різну номінальну потужність (до 300 ват і більше). Принципово немає обмежень на розмір матриць. Усереднене значення робочої напруги для одного кристалу складає близько 3.4 вольт, а сила струму близько 350 міліампер.

Якщо обмежити струм через кристал до 320 міліампер, світловий потік зменшиться на 3-5%, але при цьому тривалість життя світлодіодного кристала збільшується на порядок. Сучасні світлодіодні матриці мають ККД близький до 25-30%.

7.6 Драйвери освітлювальних пристроїв на світлодіодах

Драйвер світлодіодів - пристрій перетворення змінної мережевої напруги в струм, який протікає через світлодіоди

Драйвер - обов'язковий елемент конструкції LED-стрічок та інших освітлювальних приладів на світлодіодах, саме його дані визначають, наскільки пристрій буде стійким до перепадів напруги і як довго він зможе про-

працювати. Драйвер являє собою електронну плату, на якій присутні обов'язкові складові - конденсатори, резистори, діодний міст і інші компоненти, набір яких визначає тип драйвера (рис. 7.12).

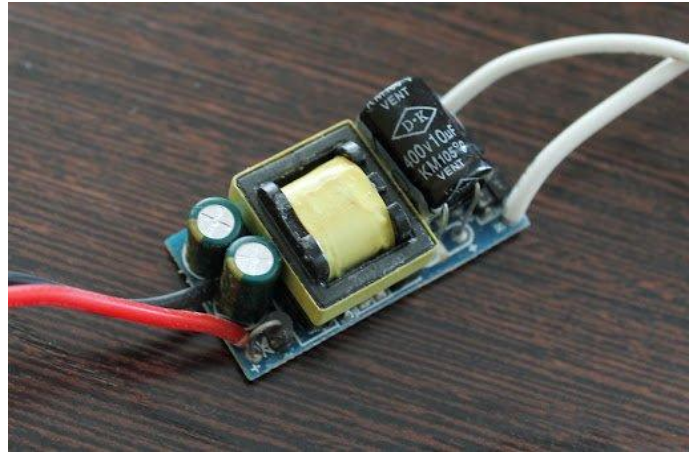


Рисунок 7.12 - Драйвер освітлювальних приладів на світлодіодах

Ідеальний драйвер світлодіодів - це драйвер, який підтримує незмінне значення струму, який протікає через світлодіоди. В цьому випадку величина падіння прямої напруги на світлодіодах не має суттєвого значення, що виключає процес відбору світлодіодів по величині падіння напруги, а, крім того, виключає вплив температурного коефіцієнта прямого падіння напруги. Драйвери світлодіодів можуть бути створені як на базі всіляких імпульсних перетворювачів, так і лінійних стабілізаторів струму.

За принципом роботи і конструктивними особливостями розрізняють такі види перетворювачів, як Linear (лінійний), Linear IC (лінійний з простою інтегральною мікросхемою) і IC (багатокомпонентний з інтегральною мікросхемою в основі).

Також драйвери можна розділити на умовні категорії в залежності від типу пристрою.

1. Linear - Використовується в світлодіодних конструкціях невисокої потужності.

2. Linear IC - Недороге рішення для оснащення світлодіодних світильників, їх застосування не обмежене типами ламп, тому Linear IC може бути

встановлений в будь-який з них.

3. ІС - Більш габаритний і дорогий, але може використовуватися в світлодіодних світильниках будь-якої конструкції.

Електронні драйвери оснащуються транзистором, щоб розвантажити мікросхему і конденсатор, що дозволяє згладити пульсацію світлодіодів. Ідеально, якщо конденсатора два - один запобігає пульсуванню світла, що позитивно позначається на сприйнятті такого світильника оком, а другий знижує перешкоди діапазону високих частот. Якщо другий конденсатор не буде встановлено, то в одну розетку не можна буде вставити і світлодіодну лампу, і пристрій, робота якого заснована на прийом-передачу частот (роутер, радіоприймач, телевізійний тюнер та ін.). Електронні драйвери - найдорожчі, але якісні. Їх застосовують в потужних пристроях для зовнішнього освітлення вулиць, в освітлювальних конструкціях автомобілів і побутової техніки.

Конденсаторні драйвери менш затребувані, оскільки мають не такі гарні характеристики. Вони встановлюються в дешеві лампи, мають високий рівень пульсації і низьку електричну безпеку. З позитивних моментів - високий рівень ККД.

Світлорегулюючі пристрої диммери, вбудовані в драйвер надають можливість зміни показників споживаного струму. Це дозволяє управляти яскравістю світіння світлодіодним конструкції. В залежності від типу регулювання розрізняють плавне і імпульсне диммирування. У першому випадку яскравість наростає і знижується плавно, що підвищує термін служби світлодіодів. У другому імпульси подаються за допомогою імпульсного генератора або мікроконтролера.

За способом монтажу розрізняють: варіант, коли частина компонентів драйвера або всі вони розміщуються на платі зі світлодіодами (дешево у виконанні, але так елементи відчувають перегрів); варіант, коли компоненти напаяні на окремій від світлодіодів платі (монтаж дорожче, але так елементи не перегріваються). Ізольовані драйвери використовуються в світлодіодних освітлювальних приладах для меблів, для зовнішньої установки (з вологоне-

проникним корпусом), а також в філаментних світильниках.

Схема драйвера складається з 3 основних блоків (рис. 7.13).

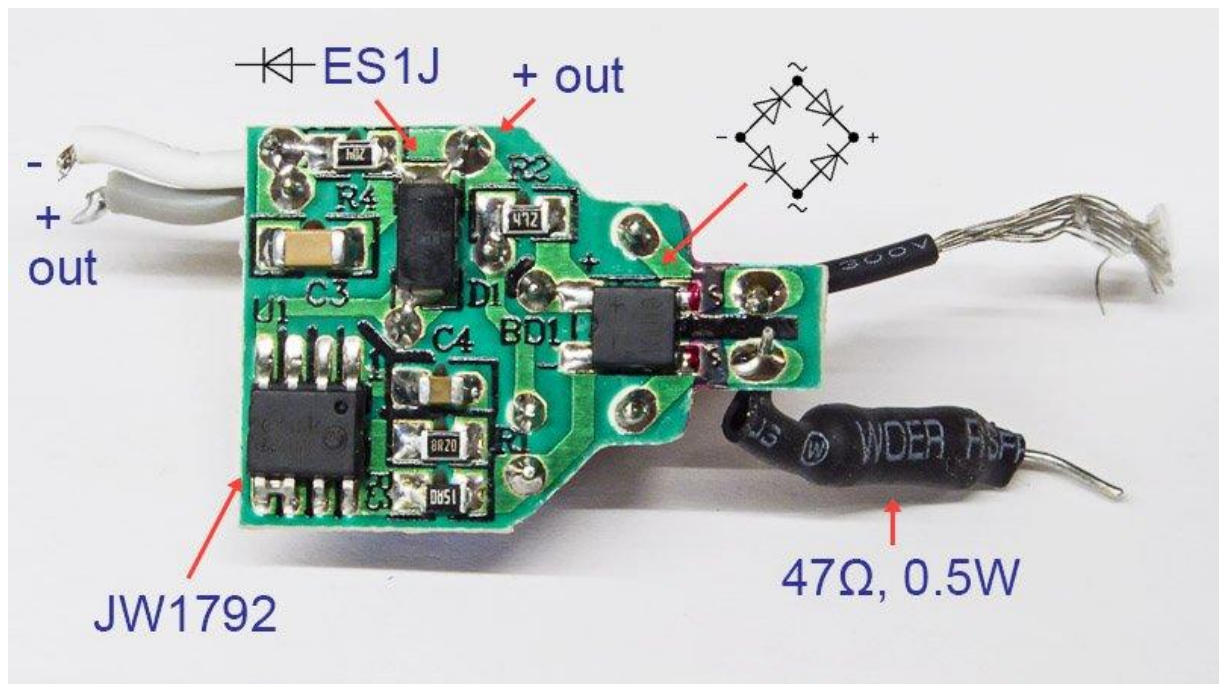


Рисунок 7.13 - Схема драйвера

1. Роздільник напруги, який відповідає за прийом змінного струму і його перетворення.

2. Випрямляч.

3. Елементи, які стабілізують напругу.

Третій блок не впливає на роботу всієї схеми, він відповідає за зарядку інертного компонента.

Приклад. Освітлювальний прилад з 6-ю світловими діодами. LED-елемент споживає струм, сила якого дорівнює 300 мА і працює при напрузі 3 В.

При послідовному колі світлових діодів їх потрібно живити з блоку перетворення напругою 18 В і відповідною силою струму. Переваги такого варіанту підключення: при проходженні струму рівної сили світіння кожного світлового діода буде однаково яскравим.

При паралельному приєднанні блоку перетворення спостерігається різниця в яскравості: кілька кіл елементів не зможуть світитися рівномірно від-

носно один одного, оскільки будуть відрізнятися характеристики світлодіодів, що обумовлено нерівномірній силі струму в колах. І хоча при такому методі досить перетворюючого пристрою на 9 В, сила струму повинна в два рази перевищувати показник LED-елементів.

²⁴ Ще один варіант підключення - послідовно по два елементи, причому не можна варіювати кількістю елементів в групі. При спробі підключити три і більше елементів в одній групі легко пошкодити все коло світлодіодів. Так через окремий елемент може проходити струм з більшою силою, ніж це допустимо.

Можна відзначити, що показники перетворюючого пристрою можуть бути такими ж, як і при паралельному монтажі, але світлові діоди вже будуть світитися однаково яскраво. Різниця в характеристиках і в цьому методі має негативні наслідки - в результаті підключення до джерела напруги світлові діоди можуть загорятися несинхронно, що призведе до подачі струму з подвоєною силою і пошкодження елемента. Практично всі LED-лампи побутового призначення передбачають такі коливання, якщо вони короткочасні, але все одно такий попарний метод залишається дуже популярним.