

1. Будова, класифікація і основні параметри напівпровідникових діодів

1.1. Класифікація і умовні позначення напівпровідникових діодів.

Напівпровідниковим діодом називається пристрій, який складається з кристалу напівпровідника, який містить зазвичай один $p-n$ -перехід і має два виводи.

Класифікація діодів здійснюється за наступними ознаками:

<i>За конструкцією</i>	<i>За потужністю</i>	<i>За частотою</i>	<i>За функціональним призначенням</i>
площинні діоди	малопотужні	низькочастотні діоди	випрямні діоди
точкові діоди	середньої потужності	високочастотні діоди	імпульсні діоди
мікросплавні діоди	потужні	НВЧ діоди	стабілітрони
			варикапи
			світлодіоди
			фотодіоди
			тунельні діоди
			діоди Шотткі

Умовне позначення діодів поділяється на два види:

- маркування діодів;
- умовне графічне позначення (УГП) – позначення на принципіальних електричних схемах.

Новий ГОСТ на маркування діодів складається з 4 позначень (рис. 3.1):

К	С	-156	А	I – показує матеріал напівпровідника: Г – германій, К – кремній. А – арсенід галію.
Г	Д	-507	Б	
І	ІІ	ІІІ	ІV	ІІ – тип напівпровідникового діода: Д – випрямні, ВЧ та імпульсні діоди, А – діоди НВЧ, С – стабілітрони, В – варикапи, І – тунельні діоди, Ф – фотодіоди, Л – світлодіоди, Ц – випрямні стовпи і блоки.

Рис. 3.1. Маркування діодів.

ІІІ – три цифри – група діодів за своїми електричними параметрами:

$$Д \begin{cases} 101 \div 399 \text{ випрямні} \\ 401 \div 499 \text{ ВЧ діоди} \\ 501 \div 599 \text{ імпульсні} \end{cases}$$

IV – модифікація діодів в даній (третій) групі.

Умовні позначення діодів наведені на рис. 3.2.

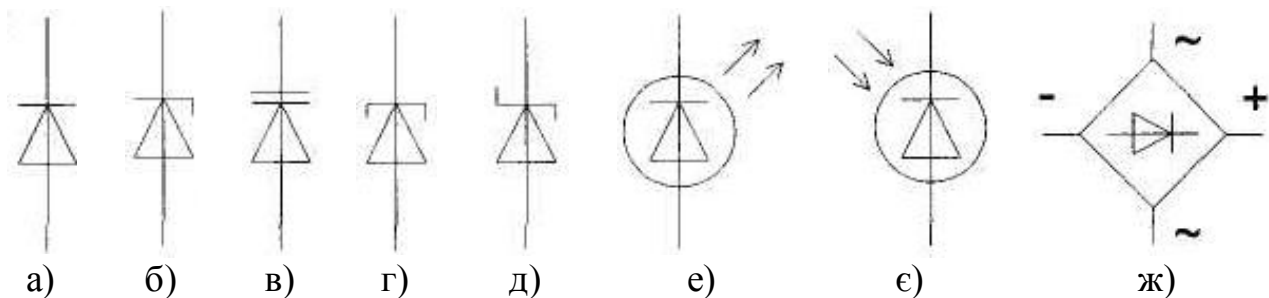


Рис. 3.2. Умовні позначення діодів:

а) випрямні, високочастотні, НВЧ, імпульсні діоди і діоди Ганна; б) стабілітрони; в) варикапи; г) тунельні діоди; д) діоди Шотткі; е) світлодіоди; є) фотодіоди; ж) випрямні блоки.

1.2. Конструкція напівпровідникових діодів.

Основою площинних і точкових діодів є кристал напівпровідника *n*-типу провідності, який називається базою транзистора (рис. 3.3). База припаюється до металічної пластинки, яка називається кристалотримачем. Для площинного діода на базу накладається матеріал акцепторної домішки і у вакуумній печі при високій температурі (порядку 500°C) відбувається дифузія акцепторної домішки в базу діода, в результаті чого утворюється область *p*-типу провідності і *p*–*n*-перехід великої площі.

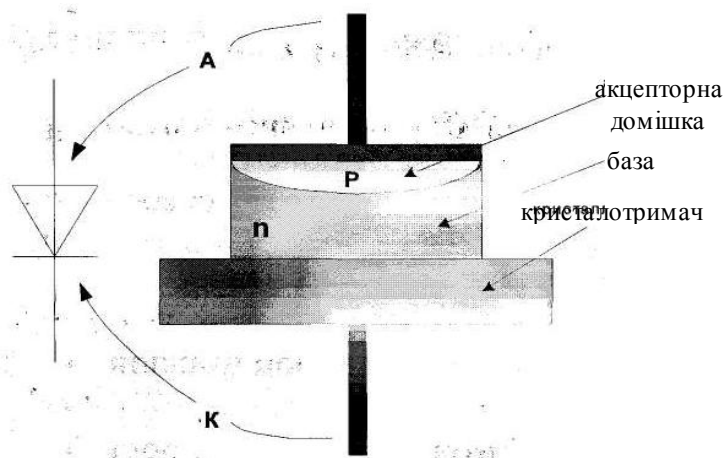


Рис. 3.3. Конструкція площинного діода.

Вивід від *p*-області називається анодом, а вивід від *n*-області – катодом.

Велика площа *p*–*n*-переходу площинних діодів дозволяє їм працювати при великих прямих струмах, але за рахунок великої бар'єрної ємності вони будуть низькочастотними.

Конструкція точкового діода подана на рис. 3.4 а. Для його виготовлення до його бази підводять вольфрамову дротину, леговану атомами акцепторної домішки, і через неї пропускають імпульси струму силою до 1 А. У точці розігрівання атоми акцепторної домішки переходять в базу, утворюючи p -область (рис. 3.4, б). Отримується p – n -перехід дуже малої площі. За рахунок цього точкові діоди будуть високочастотними, але можуть працювати лише на малих прямих струмах (десятки міліампер).

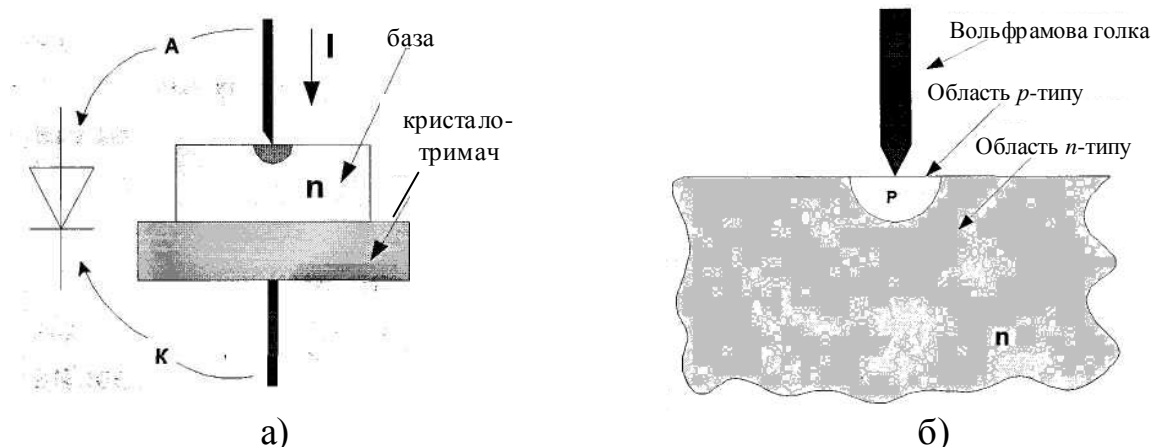


Рис. 3.4. Конструкція точкового діода (а) та його виготовлення (б).

Мікросплавні діоди отримують сплавленням мікрокристалів напівпровідників p - і n -типу провідності. За своїм характером мікросплавні діоди будуть площинні, а за своїми параметрами – точкові.

1.3. ВАХ і основні параметри напівпровідникових діодів.

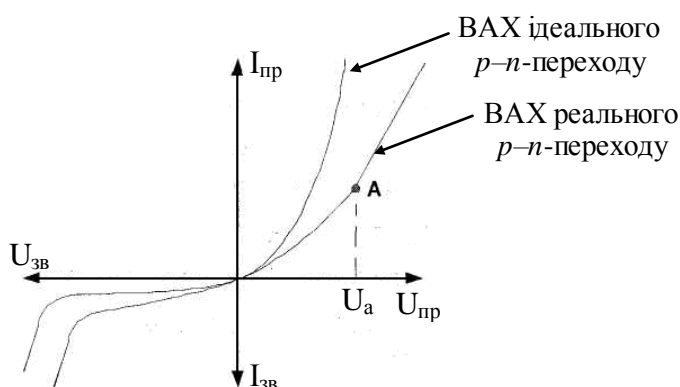


Рис. 3.5. Відмінність ВАХ ідеального та реального p – n переходів.

ВАХ реального діоду проходить нижче, ніж в ідеального p – n -переходу: дається взнаки опір бази (рис. 3.5). Після точки A ВАХ буде являти собою пряму лінію, так як при напрузі U_a потенціальний бар'єр повністю компенсується зовнішнім полем.

Крива зворотного струму ВАХ має нахил, так як за рахунок збільшення зворотної напруги збільшується генерація власних носіїв заряду.

До основних параметрів напівпровідникових діодів можна віднести (позначення на рис. 3.6):

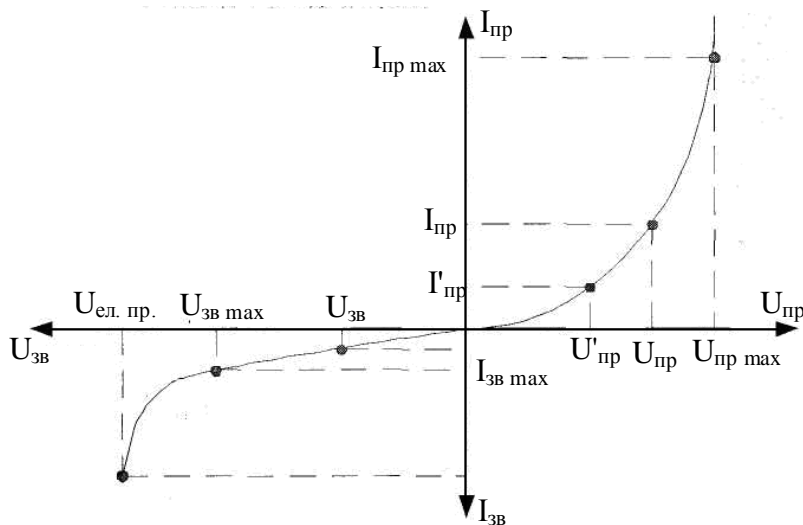


Рис. 3.6. До пояснення основних параметрів напівпровідникового діода.

- максимально допустимий прямий струм — $I_{пр\ max}$;

- прямий спад напруги на діоді при максимально прямому струмі — $U_{пр\ max}$;

- максимально допустима зворотна напруга —

$$U_{зв\ max} = \left(\frac{2}{3} \div \frac{3}{4} \right) \cdot U_{ел.\ проб.} ;$$

- зворотний струм при максимально допустимій зворотній напрузі — $I_{зв\ max}$;

- прямий і зворотний статичний опір діода при заданій прямій і зворотній напругах — $R_{ст.\ пр} = \frac{U_{пр}}{I_{пр}}$, $R_{ст.\ зв} = \frac{U_{зв}}{I_{зв}}$;

- прямий і зворотний динамічний опір діода — $R_{д.\ пр} = \frac{\Delta U_{пр}}{\Delta I_{пр}} = \frac{U_{пр} - U'_{пр}}{I_{пр} - I'_{пр}}$,

$$R_{д.\ зв} = \frac{\Delta U_{зв}}{\Delta I_{зв}} = \frac{U_{зв} - U'_{зв}}{I_{зв} - I'_{зв}} .$$

- найбільша допустима потужність розсіювання $P_{розс.\ макс.}$ — допустиме значення розсіюваної потужності, при якій забезпечується задана надійність при тривалій роботі.

- діапазон частот Δf — смуга частот, в межах якої випрямлений струм діода не зменшується нижче деякого рівня.

2. Випрямні діоди

2.1. Загальна характеристика випрямних діодів.

Випрямним діодом називається напівпровідниковий діод, призначений для перетворення змінного струму в постійний в силових колах, тобто в джерелах живлення. Випрямні діоди завжди є площинними, вони можуть бути германієві або кремнієві. Германієві діоди кращі за кремнієві тим, що мають менший прямий спад напруги. Кремнієві діоди переважають германієві за діапазоном робочих температур, за максимально допустимою зворотною напругою, а також мають менший зворотний струм.

Якщо випрямний струм більший максимально допустимого прямого струму діода, то в цьому випадку допускається паралельне включення діодів (рис. 3/7).

Додаткові опори R_d величиною від одиниць до десятків Ω включаються з метою вирівнювання струмів в кожній з віток.

Якщо напруга в колі перевищує максимально допустиму зворотну напругу діода, то в цьому випадку допускається послідовне ввімкнення діодів (рис. 3.8).

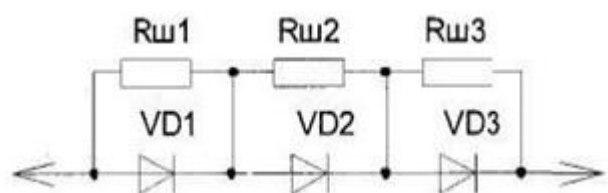
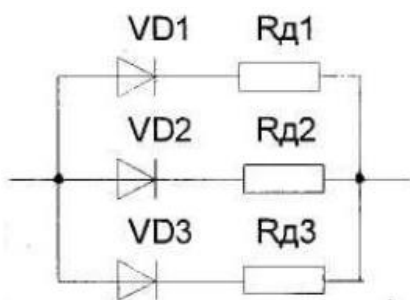


Рис. 3.7. Паралельне включення діодів. Рис. 3.8. Послідовне включення діодів.

Шунтуючі опори величиною декілька сот $\kappa\Omega$ вмикають для вирівнювання спаду напруги на кожному з діодів.

2.2. Включення випрямних діодів у схемах випрямлячів.

Діоди в схемах випрямлячів включаються по одно- і двохпівперіодній схемах. Якщо взяти один діод, то струм при навантаженні буде протікати за

одну половину періоду, тому такий випрямляч називається однопівперіодним (рис. 3.9). Його недоліком є низький ККД.

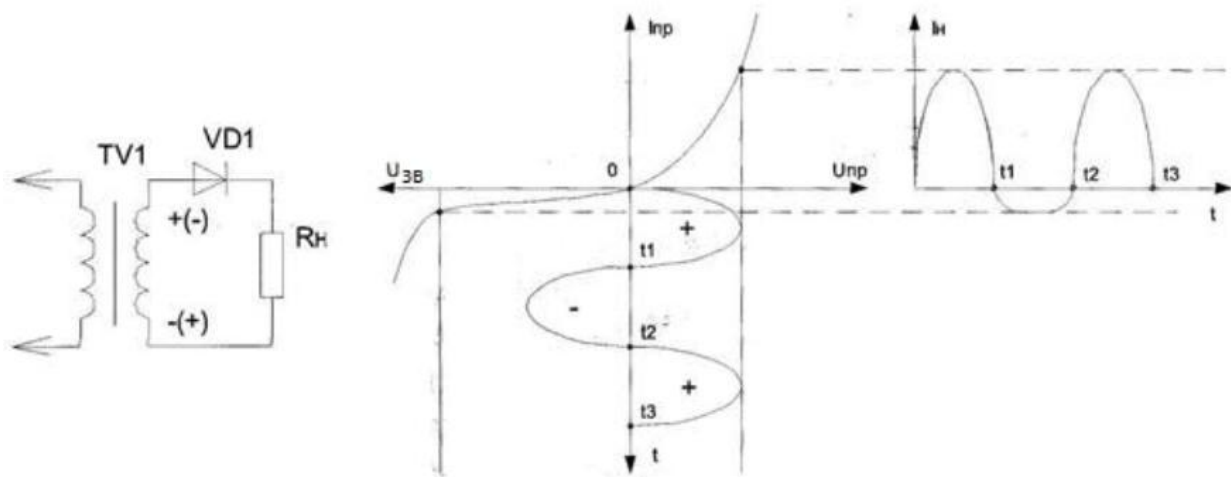


Рис. 3.9. Схема та режим роботи однопівперіодного випрямляча.

Значно частіше використовуються двохпівперіодні діоди (рис. 3.10). Протягом додатного півперіоду напруги U_a (+) діоди VD1 і VD4 відкриті, а VD2 і VD3 – закриті. Струм буде протікати по шляху: верхня вітка (+), діод VD1, навантаження, діод VD4, нижня вітка (-).

Протягом від'ємного півперіоду напруги U_a діоди VD1 і VD4 закриваються, а діоди VD2 і VD3 відкриваються. Струм буде протікати від (+), нижня вітка, діод VD3, навантаження, діод VD2, верхня вітка (-).

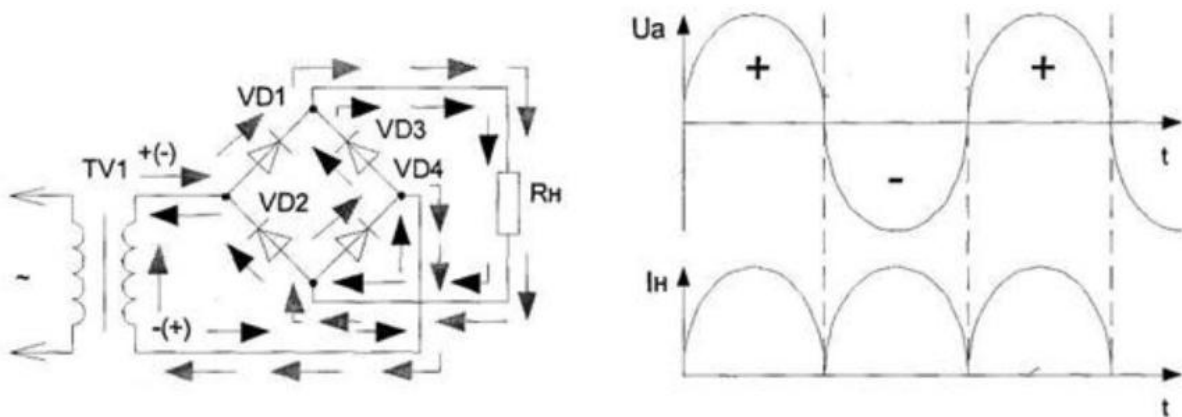


Рис. 3.10. Схема та режим роботи двохпівперіодного випрямляча.

Таким чином, струм буде протікати в одному і тому ж напрямі за обидва півперіоди. Схема випрямляча називається двохпівперіодною.

Якщо понижаючий трансформатор має середню точку, тобто існує вивід від середини вторинної обмотки, то двохпівперіодний випрямляч може бути виконаний на двох діодах (рис. 3.11).

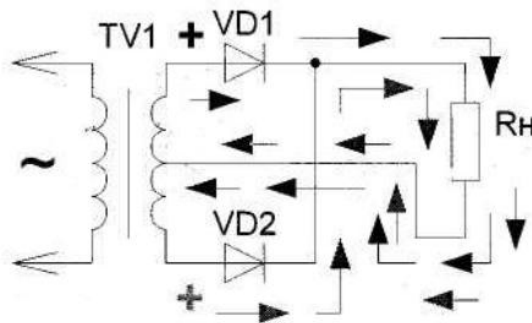


Рис. 3.11. Схема двохпівперіодного випрямляча із виводом від середини вторинної обмотки трансформатора.

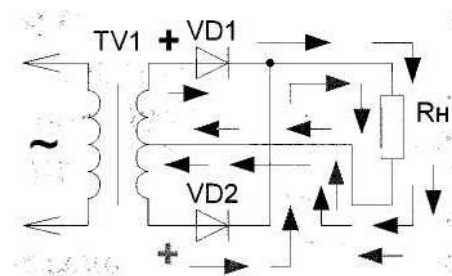


Рис. 12.

3. Стабілітрони

Стабілітроном називається напівпровідниковий діод, призначений для стабілізації рівня постійної напруги. Стабілізація – це підтримання якого-небудь рівня незмінним. За конструкцією стабілітрони завжди площинні і кремнієві (вони, на відміну від германієвих, володіють більш високою температурною стабільністю). Принцип дії стабілітрона базується на тому, що на його ВАХ є ділянка, на якій напруга практично не залежить від величини протікаючого струму (рис. 3.12, а). Такою ділянкою є ділянка електричного пробоя, а за рахунок легуючих добавок в напівпровідник струм електричного пробоя може змінюватися в широкому діапазоні, не переходячи в тепловий пробій. Оскільки ділянка електричного пробоя – це зворотна напруга, то стабілітрон вмикається зворотнім увімкненням (рис. 3.12, б). Резистор R_0 задає струм через стабілітрон таким чином, щоб величина струму була близька до середнього значення між $I_{ст. min}$ і $I_{ст. max}$. Таке значення струму називається номінальним струмом стабілізації.

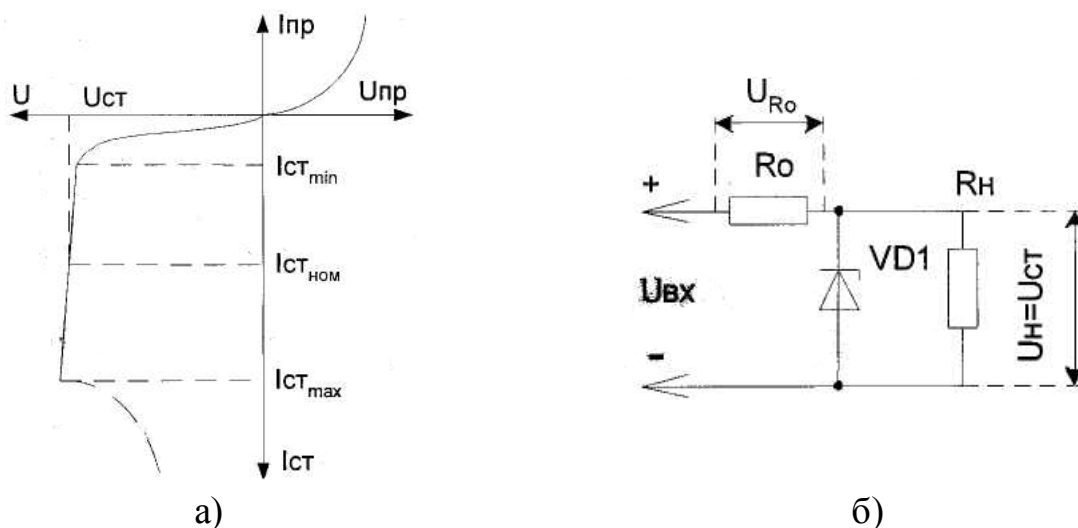


Рис. 3.12. ВАХ стабілітрона (а) та схема його увімкнення(б).

Принцип дії. При зменшенні вхідної напруги струм через стабілітрон і спад напруги на опорі R_0 може зменшуватися, а напруга на стабілітроні чи на навантаженні залишаються постійними, виходячи з ВАХ. При збільшенні вхідної

напруги струм через стабілітрон і напруга U_{R_0} збільшуються, а напруга на навантаженні все рівно залишається постійною і рівною напрузі стабілізації.

Висновок: стабілітрон підтримує постійність напруги при зміні струму через нього від $I_{ст. \min}$ до $I_{ст. \max}$.

Основні параметри стабілітронів (рис. 3.13):

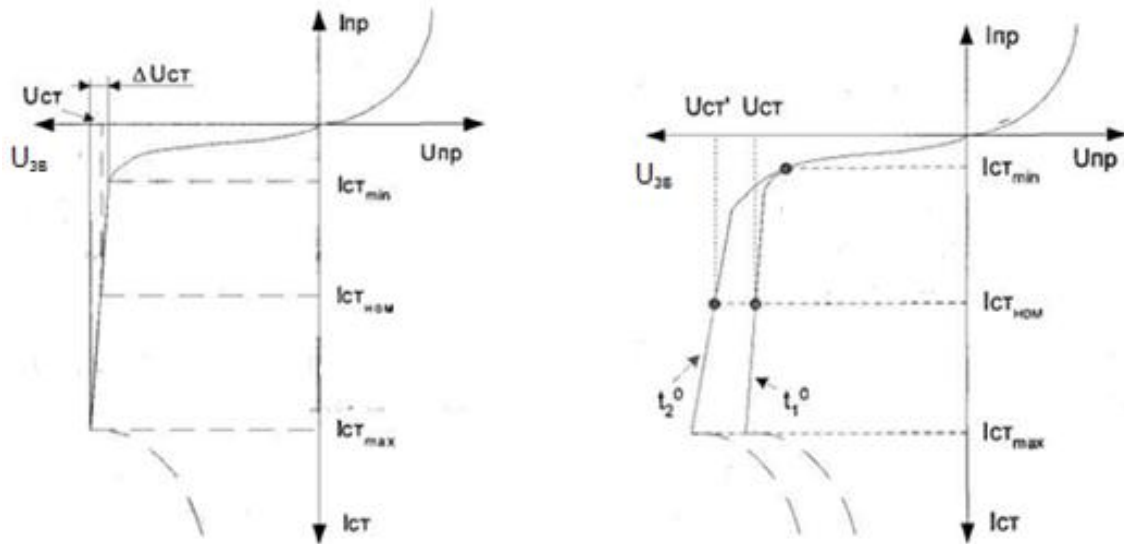


Рис. 3.13. До пояснення основних параметрів стабілітрона.

- напруга стабілізації $U_{ст}$ – спад напруги на стабілітроні в області стабілізації при номінальному значенні струму $I_{ст. ном}$;
- мінімальний струм стабілізації $I_{ст. \min}$ – таке значення струму через стабілітрон, при якому виникає стійкий пробій;
- максимальний струм стабілізації $I_{ст. \max}$ – найбільше значення струму через стабілітрон, при якому потужність, яка розсіюється на ньому, не перевищує допустимого значення.

• зміна напруги стабілізації – $\Delta U_{ст}$;

• диференціальний опір на ділянці стабілізації –

$$R_{д.ст} = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}} = \frac{\Delta U_{ст}}{I_{ст. \max} - I_{ст. \min}}. \text{ Ця величина характеризує ступінь стабільності}$$

напруги стабілізації при зміні струму пробою;

- максимальна потужність розсіювання $P_{\text{ст. макс.}}$ – найбільша потужність, яка виділяється в p – n -переході, при якій не виникає тепловий пробій переходу;

- температурний коефіцієнт напруги стабілізації – $\alpha_{cm} = \frac{\Delta U_{cm}}{U_{cm} \Delta t} \cdot 100\%$,

$$\Delta U_{cm} = U'_{cm} - U_{cn}, \Delta t = t_2^0 - t_1^0.$$

Стабілітрони, призначені для стабілізації малих напруг (менше 3 В), називаються стабісторами. У них використовується пряма вітка ВАХ (рис. 3.14). Стабістори застосовуються в прямому ввімкненні.

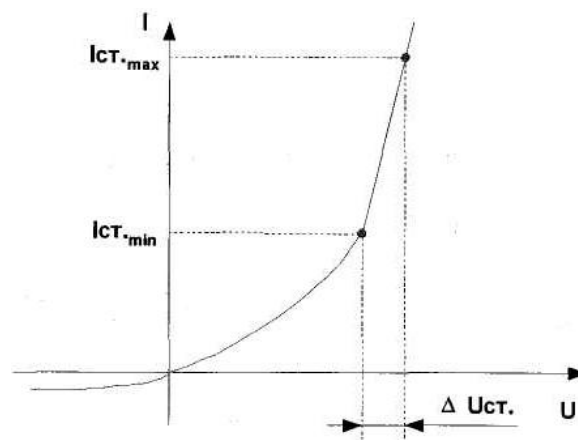


Рис. 3.14. До пояснення роботи стабістора.

За призначенням кремнієві стабілітрони можна класифікувати на наступні основні групи:

- 1) для стабілізації постійної і змінної напруг;
- 2) для обмеження і формування імпульсів;
- 3) для роботи в схемах підсилювачів;
- 4) для роботи в схемах перемикання і релейних схемах;
- 5) для захисту від перевантажень.

4. Варикапи

Варикапом називається напівпровідниковий діод, в якого як основний параметр використовується бар'єрна ємність, величина якої змінюється при зміні зворотної напруги. Отже, варикап застосовується як конденсатор змінної ємності, який керується напругою.

Принцип дії. Якщо до p - n -переходу прикласти зворотну напругу, то ширина потенціального бар'єру збільшується (рис. 3.15, а):

$$C_{\phi} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S_{p-n}}{\Delta X}.$$

При підключенні зворотної напруги ширина переходу ΔX збільшується, відповідно, бар'єрна ємність буде зменшуватися. Основною характеристикою варикапів є вольт-фарадна характеристика $C = f(U_{\text{зв}})$ (рис. 3.15, б).

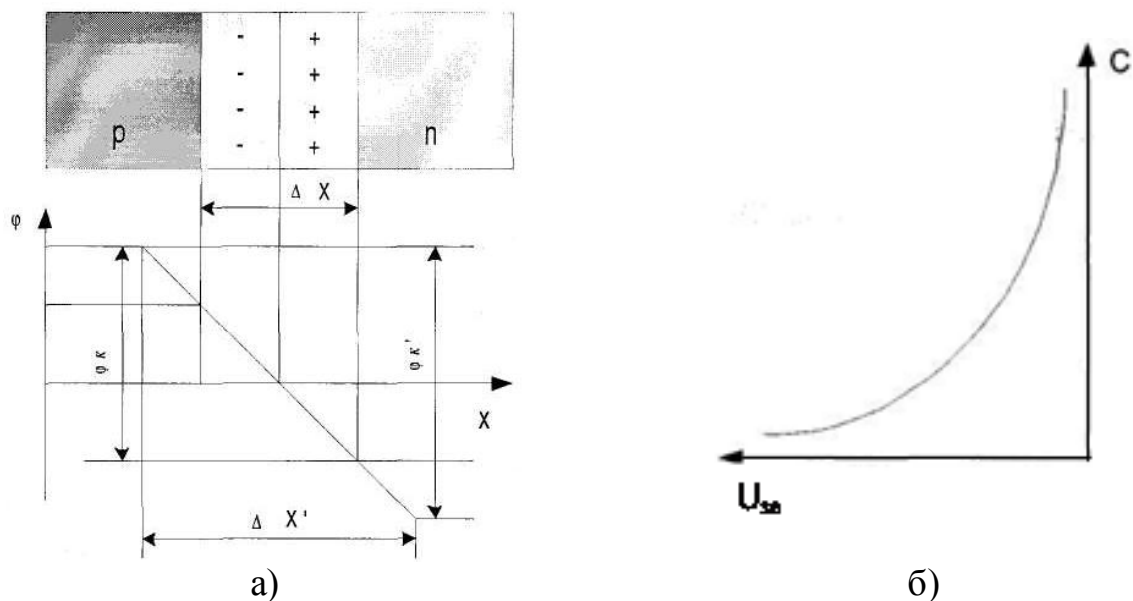


Рис. 3.15. Принцип дії варикапа (а) та його вольт-фарадна характеристика (б).

Основні параметри варикапів:

- номінальна ємність варикапа $C_{\text{ном}}$ – ємність між виводами варикапа при номінальній напрузі зміщення (як правило $U_{\text{зм}} = 4 \text{ В}$);
- максимальна ємність варикапа $C_{\text{макс}}$ – ємність варикапа при заданій мінімальній напрузі зміщення;

- мінімальна ємність варикапа $C_{\text{макс}}$ – ємність варикапа при заданій максимальній напрузі зміщення;

- коефіцієнт перекриття за ємністю $K_c = \frac{C_{\text{max}}}{C_{\text{min}}}$ – відношення максимальної ємності варикапа до мінімальної ($K_c = 5 \div 20$);

- загальна ємність C_v при $U_{zv} = 5 \div 20$ В ($C_v = 10 \div 500$ пФ);

- максимальна допустима робоча напруга варикапа $U_{\text{макс}}$ – максимальне миттєве значення змінної напруги, яке забезпечує задану надійність при тривалій роботі;

- добротність Q – відношення реактивного опору варикапа до повного опору втрат, виміряне на номінальній частоті при 20°C;

- температурний коефіцієнт ємності (ТКЄ) – відношення відносної зміни ємності при заданій напрузі до абсолютної зміни температури навколишнього середовища, яка викликала зміну ємності.

- максимально допустима потужність $P_{\text{макс}}$ – максимальне значення потужності, яка розсіюється на варикапі, при якій забезпечується задана надійність при тривалій роботі.

Основне призначення варикапа – електронне налаштування коливальних контурів.

5. Тунельні діоди, обернені діоди

Тунельний діод – це діод на основі виродженого напівпровідника, в якому тунельний ефект приводить до появи на вольт-амперних характеристиках при прямій напрузі ділянки з від’ємною диференціальною електричною провідністю (рис. 3.16). Виродженим називається напівпровідник з високою концентрацією носіїв заряду, властивості якого схожі на властивості металу. У тунельному діоді застосовується сильно легований p – n -перехід (вміст домішок до 10^{21} см^{-3}) малої товщини (порядку 0,01 мкм), крізь який носії заряду можуть тунелювати за умови рівності енергій донорних рівнів електронів в n -області та акцепторних рівнів дірок в p -області.

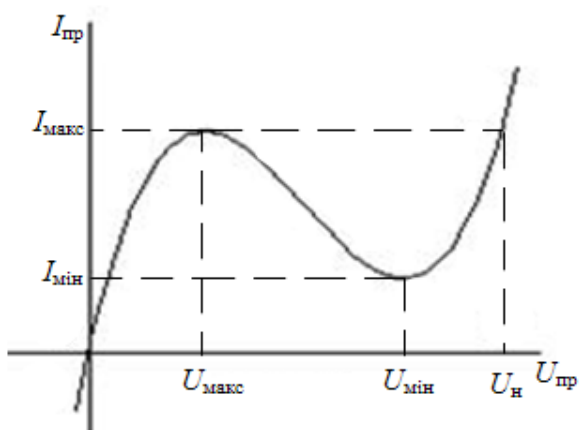


Рис. 3.16. ВАХ тунельного діода.

Для його виготовлення викорис-
товується германій, арсенід і антимонід
гелію. Найбільше поширення отримали
германієві діоди ,які володіють високою
надійністю і великою стабільністю
параметрів.

Основні параметри тунельного

діода:

1. Струм піку $I_{\text{макс}}$ – прямий струм в точці максимуму ВАХ;
2. Струм впадини $I_{\text{мін}}$ – прямий струм в точці мінімуму ВАХ;
3. Напруга піку $U_{\text{макс}}$ – пряма напруга, яка відповідає струму піку;
4. Напруга впадини $U_{\text{мін}}$ – пряма напруга, яка відповідає струму впадини;
5. Напруга розчину $U_{\text{н}}$ – пряма напруга на другій висхідній вітці при струмі, який рівний піковому.
6. Ємність діода $C_{\text{д}}$ – сумарна ємність переходу і корпусу діоду при заданій напрузі зміщення.
7. Відношення струму піку до струму впадини $I_{\text{макс}}/I_{\text{мін}}$.

Існування режиму з від'ємним диференціальним опором є дуже цікавою властивістю тунельного діода, яка обумовлює можливість його використання для генерації високочастотних коливань.

За призначенням тунельні діоди поділяються на такі основні групи:

- 1) підсилювальні;
- 2) генераторні;
- 3) перемикаючі.

Варіантом тунельного діода є так званий обернений діод – діод на основі напівпровідника з критичною концентрацією домішок, в якому електрична провідність при зворотній напрузі внаслідок тунельного ефекту значно більша, ніж при прямій напрузі. У даному діоді немонотонність ходу ВАХ при прямій полярності зведена до нуля (рис. 3.17). Його ВАХ нагадує вольтамперну характеристику звичайного діода, але повернуту навколо початку координат на 180° . Відкритою полярністю для нього є зворотна, а закритою – пряма.

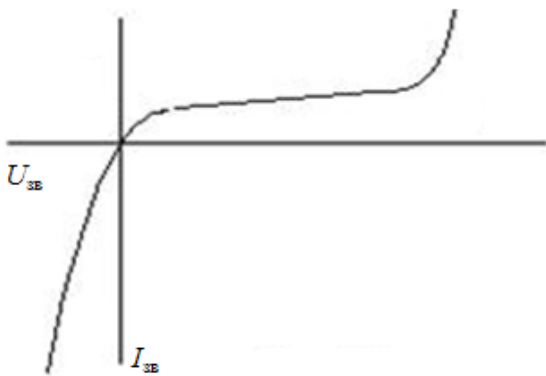


Рис. 3.17. ВАХ оберненого діода.

Якщо до оберненого діода прикласти пряму напругу $U_{пр} = 0,3 \text{ В}$, то прямий струм діода $I_{пр} = 0$. Проте, навіть при невеликій зворотній напрузі (десятки мілівольт) зворотній струм досягає декількох міліампер внаслідок тунельного пробою. Таким чином, обернений

діод характеризується вентильними властивостями при прямих напругах якраз в тій області, де звичайні випрямляючі діоди цими якостями не характеризуються. При цьому напрямком найбільшої провідності є напрямок, що відповідає зворотному струму.

Обернені діоди застосовують в імпульсних пристроях, як перетворювачі сигналів (змішувачі та детектори) в радіотехнічних пристроях, а також у техніці надвисоких частот.

6. Фотодіоди, світлодіоди

Фотодіодом називається фотогальванічний приймач випромінювання, світлочутливий елемент якого представляє структуру напівпровідникового діода без внутрішнього підсилення (рис. 3.18).

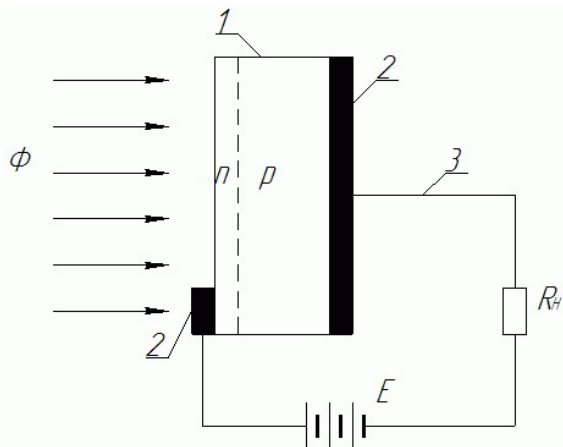


Рис. 3.18. Структурна схема фотодіода: 1 – кристал напівпровідника; 2 – контакти; 3 – виводи; Φ – потік світла; E – джерело постійного струму; R_H – опір навантаження.

Принцип дії. При опроміненні напівпровідника світловим потоком Φ збільшується фотогенерація власних носіїв заряду, що приводить до збільшення кількості як основних, так і неосновних носіїв заряду. Проте фотогенерація в значній мірі буде впливати на зворотний струм, так як неосновних носіїв заряду значно менше, ніж основних. Для фотодіодів I_{36} – це фотострум.

Фотодіод може працювати у двох режимах:

- фотогальванічний – без зовнішньої напруги;
- фотодіодний – із зовнішньою зворотною напругою.

Особливості:

- простота технології виготовлення и структури;
- поєднання високої фото чутливості та швидкодії;
- малий опір бази;
- мала інерційність.

Основні характеристики фотодіода:

1) вольт-амперна характеристика $I = f U$ (рис. 3.19);

2) світлова характеристика – це залежність струму фотодіоду від величини світлового потоку при постійній напрузі на фотодіоді: $I_d = f(\Phi)$ при $U_d = \text{const}$. У широкому діапазоні змін світлового потоку світлова характеристика фотодіоду є лінійною (рис. 3.20). Це пов'язано з тим, що

товщина бази фотодіода значно менша дифузійної довжини неосновних носіїв заряду, тобто практично всі неосновні носії, що виникли в базі, приймають участь у створенні фотоструму;

3) спектральна характеристика – це залежність фотоструму від довжини хвилі світлового випромінювання $I_\phi = f \lambda$ (рис. 3.21).

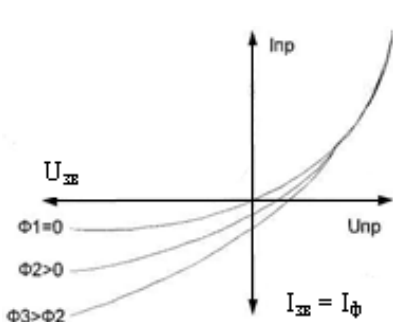


Рис. 3.19. ВАХ фотодіода.

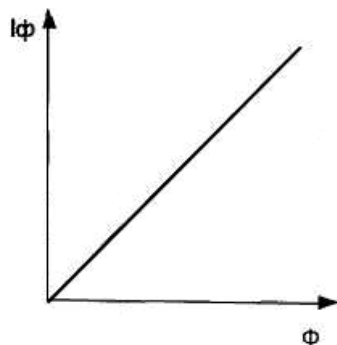


Рис. 3.20. Світлова характеристика фотодіода.

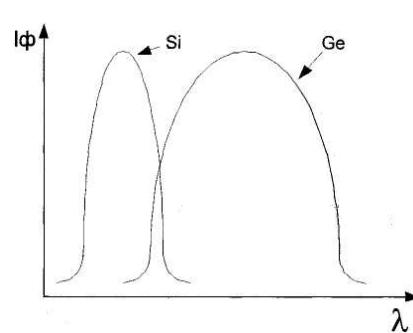


Рис. 3.21. Спектральна характеристика фотодіода.

Параметри фотодіодів.

1) інтегральна чутливість – це відношення фотоструму до світлового потоку $S = \frac{I_\phi}{\Phi}$.

2) робоча напруга – це зворотна напруга, яка подається на фотодіод, при якій всі параметри фотодіода будуть оптимальними.

3) темновий струм – це струм через фотодіод при відсутності світлового потоку і при заданій робочій напрузі (Ge – 10 ÷ 20 мкА, Si – 1 ÷ 2 мкА).

4) довговічність – мінімальний термін роботи при нормальних умовах експлуатації.

5) постійна часу – час, впродовж якого фотострум фотодіода змінюється після освітлення чи після затемнення фотодіода в e раз (на 63 %) по відношенню до встановленого значення.

6) інерційність.

Фотодіоди застосовуються у всіх випадках, де працюють джерела променевої енергії інших типів (фотоелементи, фоторезистори, фотопомножувачі).

Світлодіодом називається напівпровідниковий пристрій, в якому відбувається безпосереднє перетворення електричної енергії в енергію світлового випромінювання. 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 близької до ультрафіолету. Існують методи розширення смуги випромінювання і створення білих світлодіодів. На відміну від ламп розжарювання, які випромінюють світловий потік широкого спектру, рівномірно у всіх напрямках, звичайні світлодіоди випромінюють світло певної довжини хвилі і в певному напрямі. Світлодіоди були удосконалені до лазерних діодів, які працюють на тому ж принципі, але можуть напрямлено випромінювати когерентне світло.

Принцип дії. 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 (рис. 3.22). Електрон після рекомбінації знаходиться у дуже нестабільному стані, оскільки він має зайву енергію ($E_{\text{вх}}$). У такому стані електрон довго перебувати не може. Він перейде на стаціонарну орбіту з нижчим енергетичним рівнем ($E_{\text{ст}}$) і випромінить квант світла. Тому $E_{\text{кв св}} = E_{\text{надл}}$, $E_{\text{надл}} = E_{\text{вх}} - E_{\text{ст}}$. Щоб кванти енергії (фотони), які вивільнились при рекомбінації відповідали квантам видимого світла, збільшують кількість p - n -переходів.

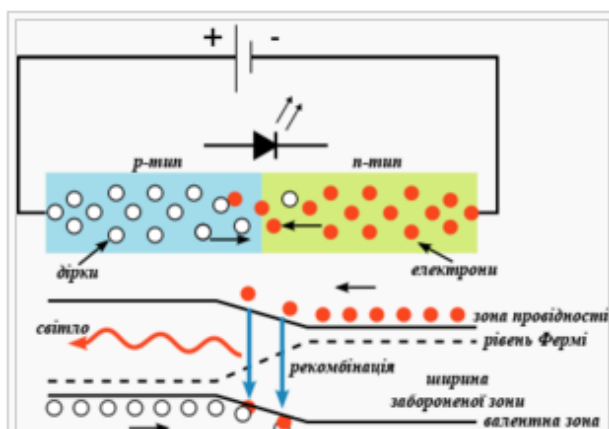


Рис. 3.22. Схематична діаграма принципу дії світлодіода.

Не всі напівпровідникові матеріали ефективно випромінюють світло при рекомбінації. Для більшості напівпровідникових матеріалів це теплова енергія. Гарними випромінювачами є, як правило, 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).

Діоди, виготовлені з непрямозонних напівпровідників (наприклад, кремнієвий Si або германієвий Ge діоди, а також сплави SiGe, SiC), світло практично не випромінюють. Утім, у зв'язку з розвиненістю кремнієвої технології, роботи зі створення світлодіодів на основі кремнію активно ведуться.

Чи буде випромінюватися енергія у вигляді тепла чи у вигляді світла залежить від ширини забороненої зони напівпровідника $\lambda = hc/\Delta W$.

При зворотному включенні через p – n -перехід переходять неосновні носії в область, де вони стають основними. Рекомбінація і свічення світлодіода відсутні.

Основні характеристики світло діода:

1) вольт-амперна характеристика – це залежність струму через світлодіод від прикладеної напруги $I_{np} = f U_{np}$ (рис. 3.23).

2) яскравісна характеристика – це залежність потужності випромінювання від прямого струму $P_u = f I_{np}$ (рис. 3.24).

3) спектральна характеристика – це залежність потужності випромінювання від довжини хвилі $P_u = f \lambda$ (рис. 3.25).

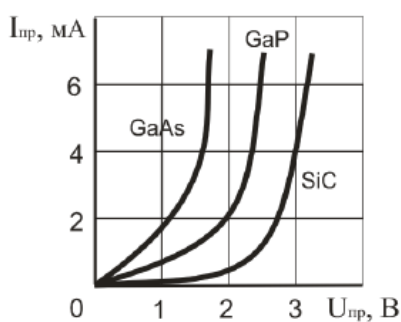


Рис. 3.23. ВАХ світлодіода.

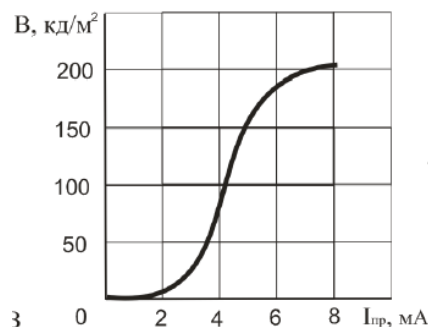


Рис. 3.24. Яскравісна характеристика світлодіода.

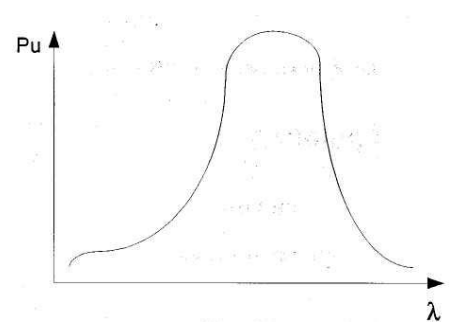


Рис. 3.25. Спектральна характеристика світлодіода.

Основні параметри:

- 1) яскравість випромінювання B ($B = 10 \div 150$ кд/м²).
- 2) постійна пряма напруга $U_{\text{пр}}$ ($U_{\text{пр}} = 2 \div 4$ В).
- 3) колір свічення і довжина хвилі.
- 4) максимальний допустимий прямий струм $I_{\text{пр макс}}$ ($I_{\text{пр макс}} = 5 \div 20$ мА).
- 5) максимальна допустима постійна зворотна напруга $U_{\text{зв макс}}$ (одиниці вольт).

- 6) термін експлуатації T ($T = 10 \div 100$ тис. год).

при максимальному струмі, повна потужність випромінювання $P_{\text{и макс}}$.

Світлодіоди застосовують в індикаційній техніці, при побудові світлодіодних джерел світла (інформаційні табло, світлофори, ліхтарики, гірлянди тощо).