

1.4. Напівпровідникові діоди

Напівпровідникові діоди – це НП прилади, виготовлені на основі двошарових НП структур і які використовують властивості $p-n$ переходу.

Умове позначення діодів на схемах – VD .

Широкого розповсюдження отримали випрямні діоди, дія яких базується на використанні вентильних властивостей $p-n$ переходу.

Структура та умове позначення діода, а також ВАХ потужного випрямного діода наведені на рис. 1.7. Такі діоди призначені для випрямлення змінного струму низької частоти.

Виготовляються випрямні діоди переважно із кремнію (у перспективі – із арсеніду галію, як більш термостійкого).

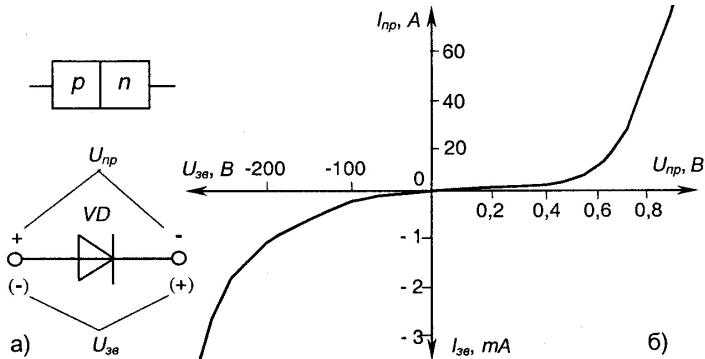


Рис. 1.7 – Структура та умове позначення (а) і ВАХ (б) випрямного діода

Основними параметрами випрямних діодів є:

- граничний прямий струм діода I_{np} – максимально допустиме середнє значення струму через діод у прямому напрямку за визначених умов охолодження, для сучасних діодів $I_{np} = (0,1 \div 2200)$ А;

- максимально–допустимий прямий струм діода (імпульсний) $I_{np\ max}$, становить $(10\div 50) I_{np}$;
- прямий спад напруги U_{np} , тобто середнє значення напруги на діоді при граничному прямому струмі I_{np} , для діодів з кремнію становить $(0,6\div 0,8)\text{В}$;
- максимально допустима зворотна напруга $U_{зв.\ max}$, що дорівнює максимально допустимому амплітудному значенню зворотної напруги, яка не призводить до виходу з ладу приладу за визначених умов охолодження, $U_{зв.\ max} = (50\div 3000)\text{В}$.

НП діод, на якому напруга в зоні електричного пробою майже не залежить від струму, називається стабілітроном.

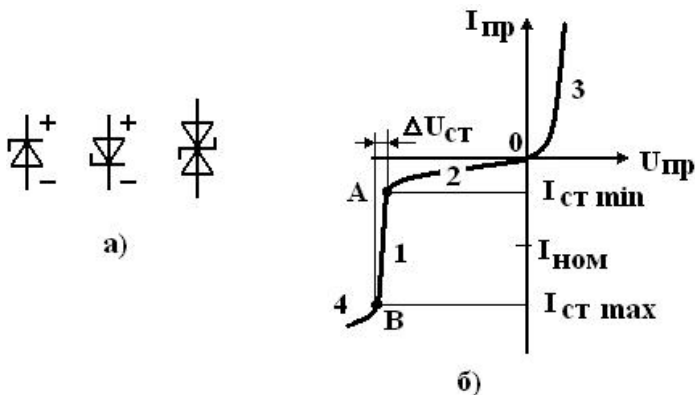


Рис. 1.8 – Умовне позначення а) та ВАХ б) стабілітрона

Як видно з ВАХ, наведеної на рис. 1.8, у зоні пробою напруга на стабілітроні майже не залежить від струму через нього $I_{ст}$. Стабілітрони використовують для стабілізації напруги. Щоб запобігти тепловому пробою, їх конструкція забезпечує ефективне відведення тепла від кристалу напівпровідника.

Основними параметрами стабілітрона є:

- мінімальний струм стабілізації $I_{cm \min}$ – мінімальний струм, за якого прилад гарантовано знаходиться в режимі стабілізації – складає одиниці міліампер;

- максимальний струм стабілізації $I_{cm \max}$ – максимально допустимий струм, що може проходити через прилад, досягає (0,02 ÷ 1,5) А;

- напруга стабілізації U_{cm} що становить від 1 до 1000 В;

- динамічний опір на ділянці стабілізації:

$$R_o = \frac{dU_{cm}}{dI_{cm}} . \tag{1.15}$$

Найпростіша схема стабілізації наведена на рис. 1.9.

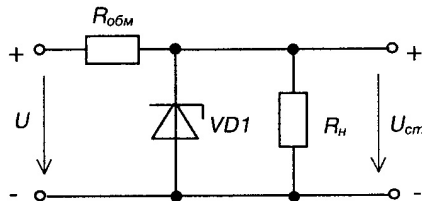


Рис. 1.9 – Схема елементарного стабілізатора напруги

Тунельний діод – це НП прилад, у якого специфічний тунельний ефект призводить до появи на ВАХ за прямої напруги ділянки негативної провідності – штрихова лінія на рис. 1.10 (там же наведено умовне позначення приладу). Як робоча використовується пряма гілка ВАХ.

Основними параметрами тунельного діода є:

- струм піку I_n , що складає (0,1 ÷ 100) мА;

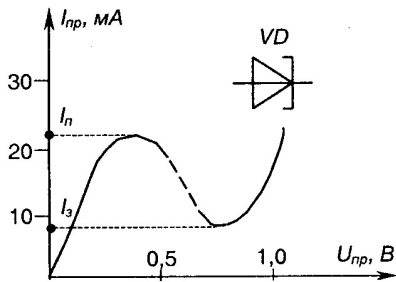


Рис. 1.10 – Умовне позначення та ВАХ тунельного діода

- відношення струму піку I_n до струму западини I_z :

$$\frac{I_n}{I_z} = (5 \div 20).$$

Тунельні діоди – швидкодіючі НП прилади, що застосовуються в генераторах високочастотних коливань та швидкодіючих імпульсних перемикачах.

Для роботи у високочастотних та імпульсних пристроях призначені також відповідно високочастотні та імпульсні діоди, що мають малу ємність – мінімальну тривалість перехідних процесів під час вмикання та вимикання.

Фотодіоди – фотоелектричні прилади з внутрішнім фотоелектричним ефектом, який полягає у тому, що під дією світлової енергії відбувається іонізація атомів основної речовини та домішки. Як наслідок – струм за зворотного вмикання зростає.

Умовне позначення фотодіода наведено на рисунку 1.11, а.

Фотодіоди можуть працювати в одному з двох режимів:

- 1) без зовнішнього джерела електричної енергії (режим фотогенератора, або режим неробочого ходу);
- 2) з зовнішнім джерелом електроенергії (режим фотоперетворювача, або режим короткого замикання).

У першому режимі використовується фотогальванічний ефект – різновид внутрішнього фотоелектричного ефекту, який пов'язаний з утворенням різниці потенціалів (фото-е.р.с.). Для цього режиму характерна логарифмічна залежність вихідної напруги від освітлення, причому

вихідна напруга не перевищує деякого певного значення за будь-якої освітленості (для кремнієвих фотодіодів $U_{НХ} \leq 0,7В$).

Режим фотоперетворювача відповідає поданій напрузі на фотодіод у зазірному напрямку.

На рис. 1.10 наведено ВАХ фотодіода. На характеристиці т. а відповідає струму $I_{КЗ}$, а т. б – напрузі $U_{НХ}$.

Фотодіоди, виготовляють із германію, кремнію, селену, арсеніду галію, арсеніду індію, сульфіді кадмію та інших НП матеріалів.

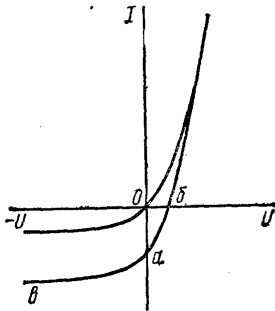


Рис. 1.10 – ВАХ фотодіода

- темновий струм I_T ;
- постійна часу τ .

Умовне позначення фотодіода складається з букв ФД і порядкового номера розробки.

Світлодіоди – перетворюють енергію електричного поля в нетеплове оптичне випромінювання.

Умовне позначення світлодіода наведено на рисунку 1.11, б.

Під час протікання струму через діод з арсеніду галію рекомбінація носіїв заряду супроводжується не тільки виділенням тепла, як, наприклад, у кремнієвого діода, а ще й квантів світла.

Фотодіоди широко використовують як приймачі оптичного випромінювання.

Основними характеристиками фотодіодів є:

- діапазон довжини хвиль випромінювання, що приймається $\Delta\lambda$;
- інтегральна чутливість S_i ;

Зазвичай таке випромінювання є резонансним і лежить у вузькому діапазоні частот.

Для виготовлення світлодіодів використовують фосфід галію, арсенід галію, карбід кремнію та ін. Для світлодіодів видимого випромінювання часто використовують фосфід–арсенід галію. Для зміни довжини хвилі випромінювання потрібно змінити матеріал, з якого виготовлено світлодіод, або змінити струм. Так спектр зеленого випромінювання спостерігатиметься за довжини хвилі 0,5 мкм, червоного – 0,7 мкм, інфрачервоного – 1 мкм.

Існують світлодіоди, які мають почерговий колір свічення з двома світловипромінюючими переходами, один з яких має максимум спектральної характеристики в червоній частині спектру, а другий – у зеленій. Колір свічення такого світлодіоду залежить від співвідношення струмів через переходи.

Основними параметрами світлодіодів є:

- сила світла, що вимірюється в канделах і вказується для певного значення прямого струму;
- яркість, що рівна відношенню сили світла до площі поверхні, яка світиться;
- постійна пряма напруга;
- колір свічення і довжина хвилі, що відповідає максимальному світловому потоку;
- максимально-допустимий постійний прямий струм;
- максимально-допустима зворотна напруга;
- робочий діапазон температури оточуючого середовища.

Основними характеристиками світлодіодів є:

- яркісна характеристика, що являє собою залежність яркості від прямого струму;

- світлова характеристика, що являє собою залежність сили світла від прямого струму;

- ВАХ, що являє собою залежність струму від напруги така ж сама, як і у звичайного випрямного діода.

Конструктивно світлодіоди виготовляються в металічних корпусах з лінзою, що забезпечує направлене випромінювання, або в прозорих пластмасових корпусах, що створюють розсіяне випромінювання. Виготовляються також безкорпусні світлодіоди.

Варікап – НП діод, в якому використовується залежність ємності $p-n$ переходу від зворотної напруги і який призначений для застосування в якості елемента з електрично-керованою ємністю.

В якості напівпровідникового матеріалу для виготовлення варікапів використовують Si .

Основними параметрами варікапа є:

- початкова ємність C_0 , яка фіксується за невеликої зворотної напруги $U_{ze} = (2 \div 5)В$;

- коефіцієнт перекриття за ємністю $K_C = \frac{C_{max}}{C_{min}}$;

- добротність $Q_C = \frac{Q}{P}$, (відношення реактивної потужності варікапа до активної). Добротність варікапа може бути досить високою, так як вона шунтується достатньо високим опором діода за зворотного підключення.

Умовне позначення варікапа складається з 5 елементів, де другий елемент B означає – варікап.

Варікапи застосовують для автоматичного налаштування контурів радіоприймача або телевізора на потрібну станцію чи канал.

Умовні позначення фото-, світлодіода та варікапа наведені на рис. 1.11.

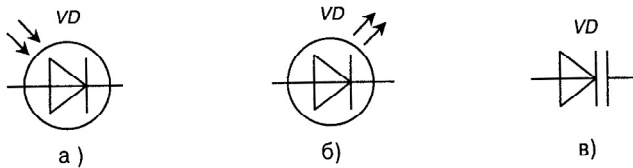


Рис. 1.11 - Умовні позначення фотодіода (а), світлодіода (б), варікапа (в)

Використовуються у пристроях промислової електроніки також і спеціальні типи НП діодів. Деякі з них розглянуті нижче.

Зворотний діод – це НП діод з критичною концентрацією домішок, в якому електрична провідність при зворотній напрузі внаслідок тунельного ефекту значно вища, ніж за прямої напруги.

Зворотний діод є різновидом тунельного діоду в якому струм піку рівний 0.

Магнітодіод – це НП діод, в якому використовується зміна ВАХ під дією магнітного поля.

Тензодіод – це НП діод, в якому використовується зміна ВАХ під дією механічної деформації.

Інжекційний лазер – це світлодіод з монохроматичним випромінюванням. Когерентне монохроматичне випромінювання забезпечується стимульованою фотонною рекомбінацією, яка виникає під час інжекції носіїв заряду за певного значення сили струму. Мінімальний струм, за якого забезпечується стимулююча фотонна рекомбінація називається пороговим. При збільшенні струму вище

порогового значення відбувається погіршення монохроматичного випромінювання.