

The image features a central, glowing blue microchip mounted on a complex circuit board. The chip is square with a grid of fine lines on its surface and a dense array of pins along its bottom edge. The surrounding circuit board is filled with intricate patterns of glowing blue lines and small components, creating a sense of depth and technological complexity. The overall color palette is dominated by various shades of blue, from deep navy to bright cyan, with some white highlights on the circuit traces.

Тема: *Напівпровідникові діоди*

План

1. Принципи роботи р-п переходу
2. Класифікація і умовні позначення напівпровідникових діодів.
3. Конструкція напівпровідникових діодів.
4. Вольт-амперна характеристика і основні параметри напівпровідникових діодів.
5. Стабілітрони.
6. Варикапи.
7. Світлодіоди.
8. Фотодіоди.
9. Високочастотні діоди - СРС
10. Діод Шоткі – СРС
11. Тунельний діод - СРС

1. Принципи роботи р-п переходу

р-п перехід (електронно-дірковий перехід) — область контакту напівпровідників р-та п-типу всередині монокристала напівпровідника, в якій відбувається перехід від одного типу провідності до іншого. Ця область характеризується одностороннім пропусканням електричного струму. На властивостях р-п переходів ґрунтується робота напівпровідникових діодів, транзисторів та інших електронних елементів з нелінійною вольт-амперною характеристикою. р-п перехід це тонка область, яка утворюється в тому місці, де контактують дві напівпровідника різного типу провідності. Кожен з цих напівпровідників електрично нейтральний. Основною умовою є те що в одному напівпровіднику основні носії заряду це електрони а в іншому дірки.

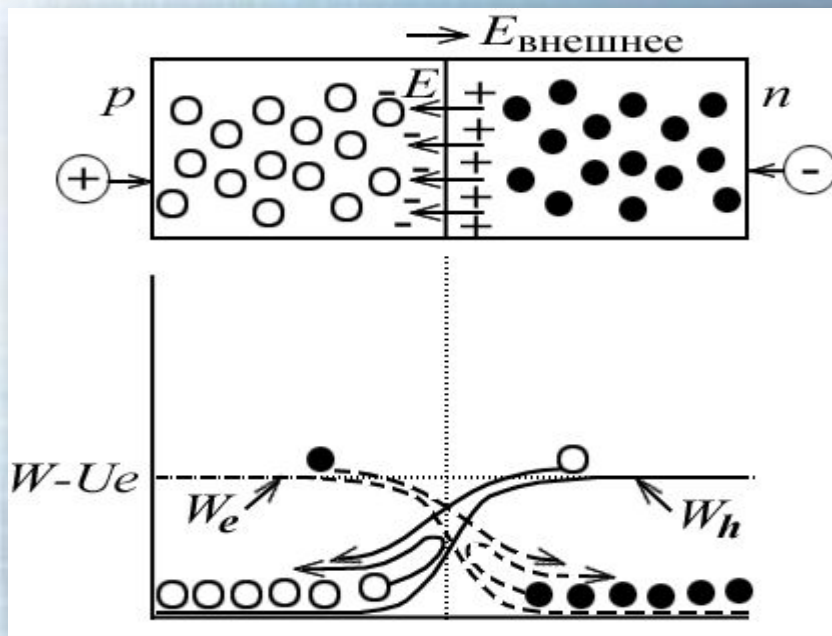
При контакті таких напівпровідників в результаті дифузії зарядів дірка з р області потрапляє в п область. Вона тут же рекомбінує з одним з електронів в цій області. У результаті цього в п області з'являється надлишковий позитивний заряд. А в р області надлишковий негативний заряд.

Таким же чином один з електронів з п області потрапляє в р область, де рекомбінує з найближчою діркою. Наслідком цього також є утворення надлишкових зарядів. Позитивного в п області і негативного в р області.

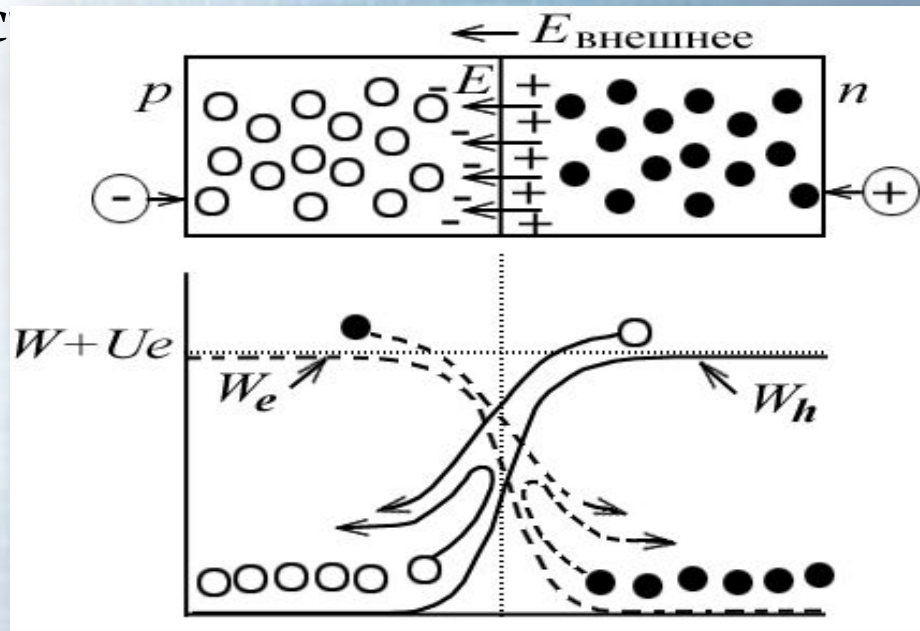
У результаті дифузії гранична область наповнюється зарядами, які створюють електричне поле. Воно буде направлено таким чином, що буде відштовхувати дірки знаходяться в області р від кордону розділу. І електрони з області п також будуть відштовхуватися від цього кордону. На межі розділу двох напівпровідників утворюється енергетичний бар'єр. Щоб його подолати електрон з області п повинен володіти енергією більше ніж енергія бар'єру. Як і дірка з р області. Поряд з рухом основних носіїв зарядів в такому переході існує і рух неосновних носіїв зарядів. Це дірки з області п і електрони з області р. Вони також рухаються в протилежну область через перехід. Хоча цьому сприяє поле що утворилося, але струм виходить, мізерно малий. Так як кількість неосновних носіїв зарядів дуже мало.

1. Принципи роботи р-n переходу

Якщо до р-n переходу підключити зовнішню різницю потенціалів в прямому напрямку, тобто до області р підвести високий потенціал, а до області n низький, то зовнішнє поле призведе до зменшення внутрішнього. Таким чином, зменшиться енергія бар'єру і основні носії заряду зможуть легко переміщатися з напівпровідників. Інакше кажучи, і дірки з області р і електрони з області n будуть рухатися до межі розділу. Посилиться процес рекомбінації і збільшиться струм основних носіїв заряду.



Якщо різницю потенціалів підключити у зворотному напрямку, тобто до області p низький потенціал, а до області n високий, то зовнішнє електричне поле складеться з внутрішнім. Відповідно збільшиться енергія бар'єру, що дає переміщатися основним носіям зарядів через перехід. Іншими словами електрони з області n і дірки з області p будуть рухатися від переходу до зовнішніх сторін напівпровідників. І в зоні p - n переходу попросту не залишиться основних носіїв заряду, які забезпечують с



2. Класифікація і умовні позначення напівпровідникових діодів.

Напівпровідниковим діодом називається пристрій, що складається із кристала напівпровідника, що містить один р-п перехід і має два виводи.

Класифікація діодів здійснюється за наступними ознаками:

- *За конструкцією:* площинні діоди, точкові діоди, мікросплавні діоди;
- *За потужністю:* малопотужні, середньої потужності, потужні;
- *За частотою:* низькочастотні, високочастотні, НВЧ;
- *За функціональним призначенням:* випрямляючі діоди; імпульсні діоди; стабілітрони; варикапи; світлодіоди, фотодіоди, тунельні діоди.

Відповідно до діючої системи маркування напівпровідникові діоди позначають чотирма елементами.

Першим елементом (буквою або цифрою) позначають вихідний матеріал: Г або 1 - германій; К або 2 - кремній; А або 3 - арсенід галію.

Другим елементом (буквою) позначають тип напівпровідникового діода:

Д - випрямляючі, універсальні, імпульсні діоди; Ц - випрямляючі стовпи і блоки; А - надвисокочастотні діоди; С - стабілітрони; И - тунельні діоди; В - варикапи; Ф - фотодіоди; Л - світло діоди.

Третій елемент - число, що вказує на призначення та електричні властивості діода:

а) діоди низькоїчастоти: випрямляючі - від 101 до 399; універсальні - від 401 до 499; імпульсні - від 501 до 599; варикапи - від 101 до 999;

б) надвисокочастотні діоди - від 101 до 699; фотодіоди - від 101 до 199;

в) тунельні діоди: підсилювальні - від 101 до 199; генераторні - від 201 до 299; перемикаючі - від 301 до 399;

г) стабілітрони - від 101 до 999.

Четвертим елементом (буквою) позначають різновиди типів з даної групи приладів. Для напівпровідникових діодів, які не мають різновидів типу, четвертого елемента немає.

Приклади маркування:

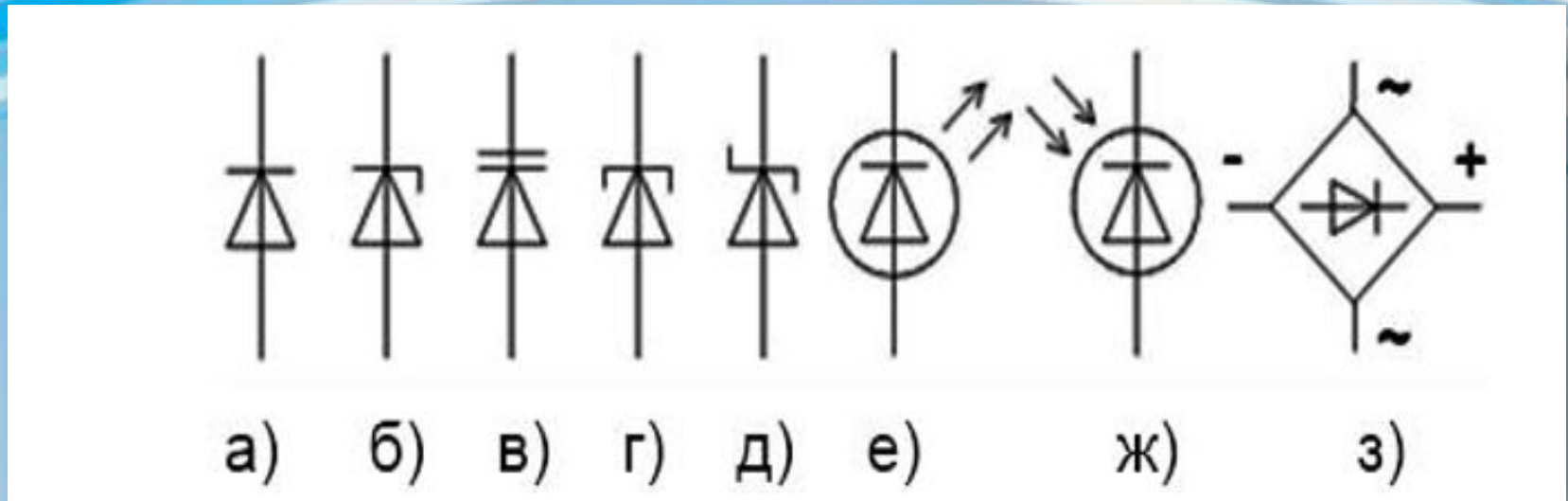
К	С	156	А
2	Д	503	Б
1	И	302	В
I	II	III	IV

КС156А - кремнієвий стабілітрон, різновидність типу А;

2Д503Б - кремнієвий імпульсний діод, різновидність типу Б;

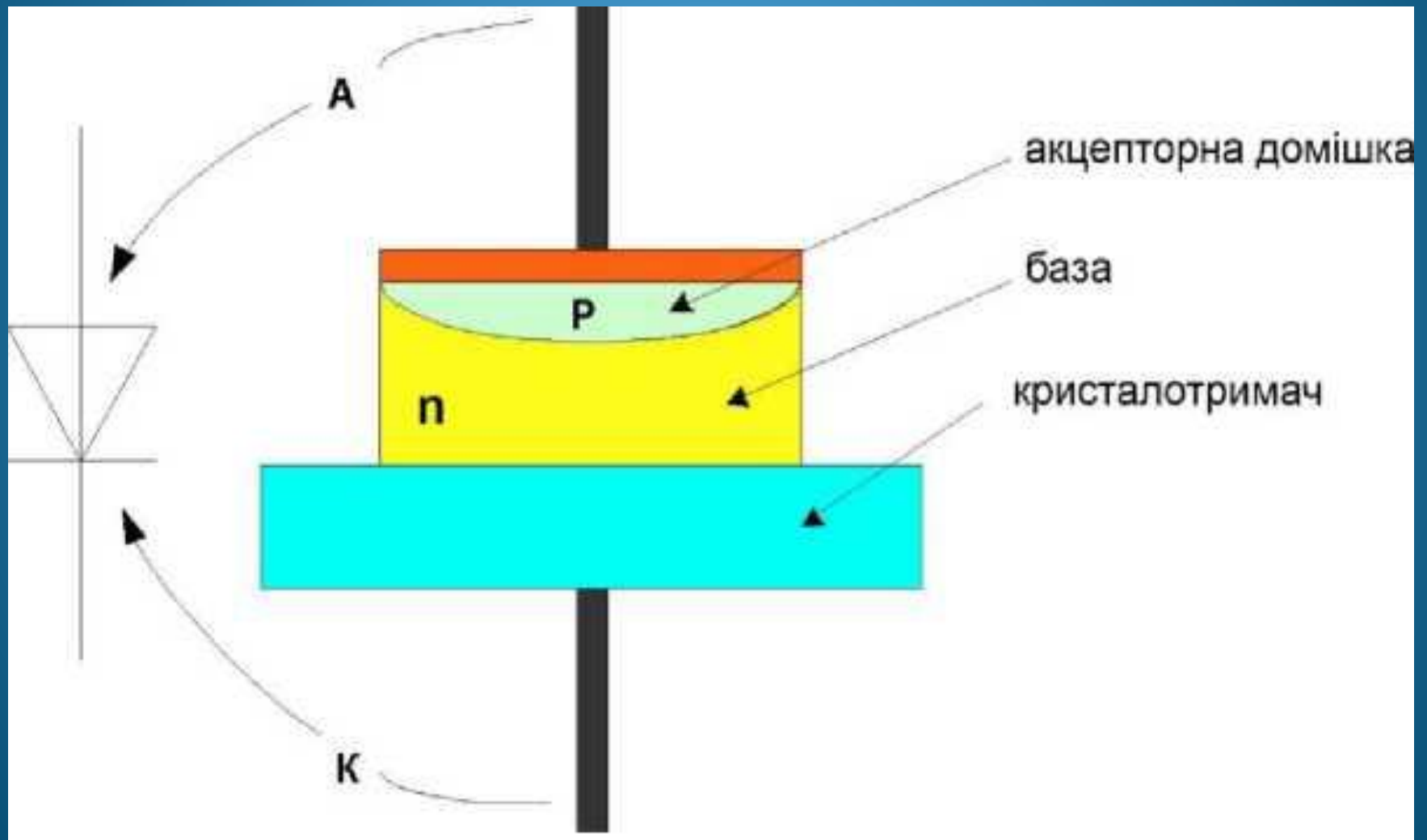
1И302В - германієвий тунельний діод, різновидність типу Г.

Умовне графічне позначення діодів на принципових електричних схемах

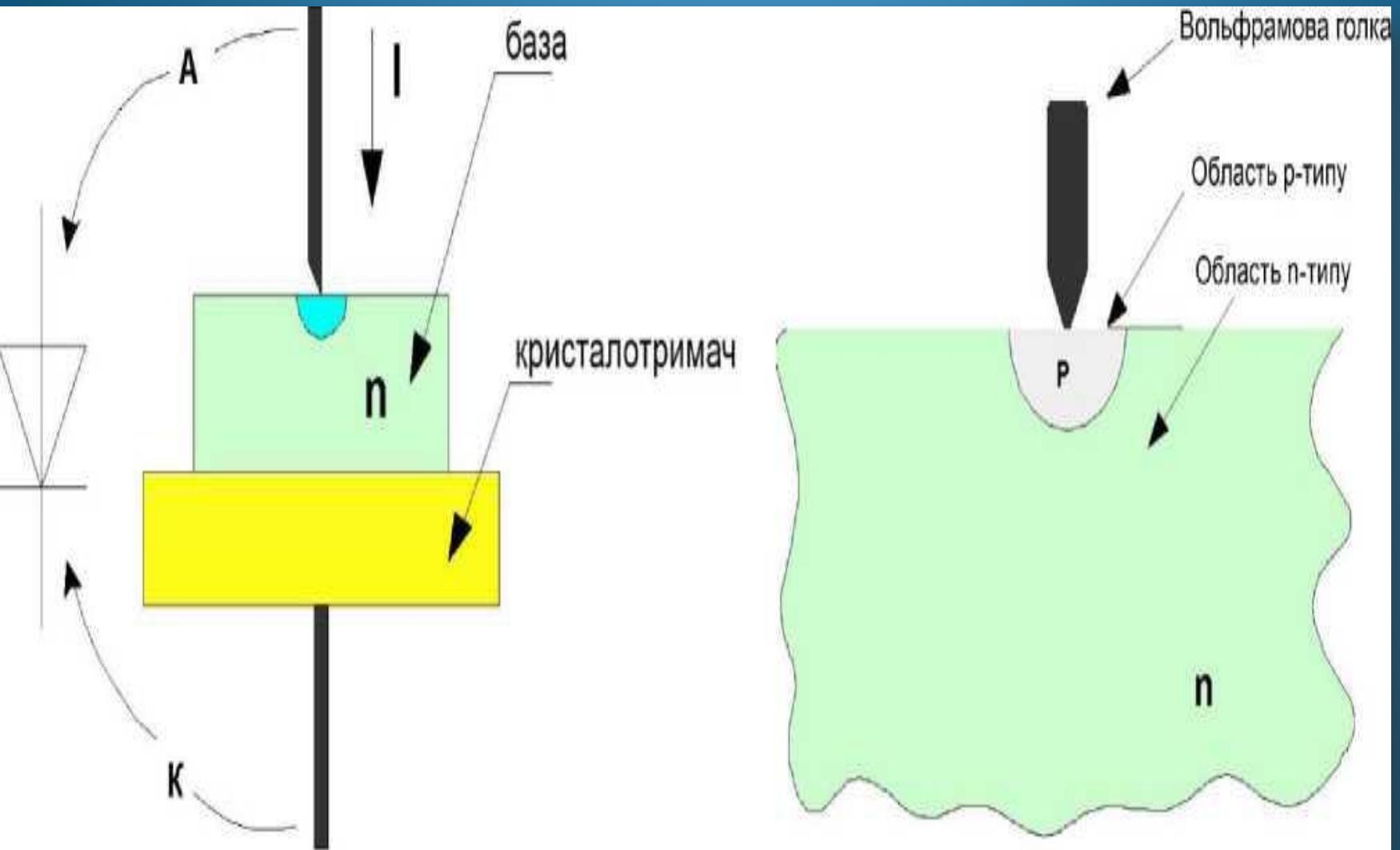


- а)** випрямляючі, високочастотні, НВЧ, імпульсні й діоди Гана;
- б)** стабілітрони;
- в)** варикапи;

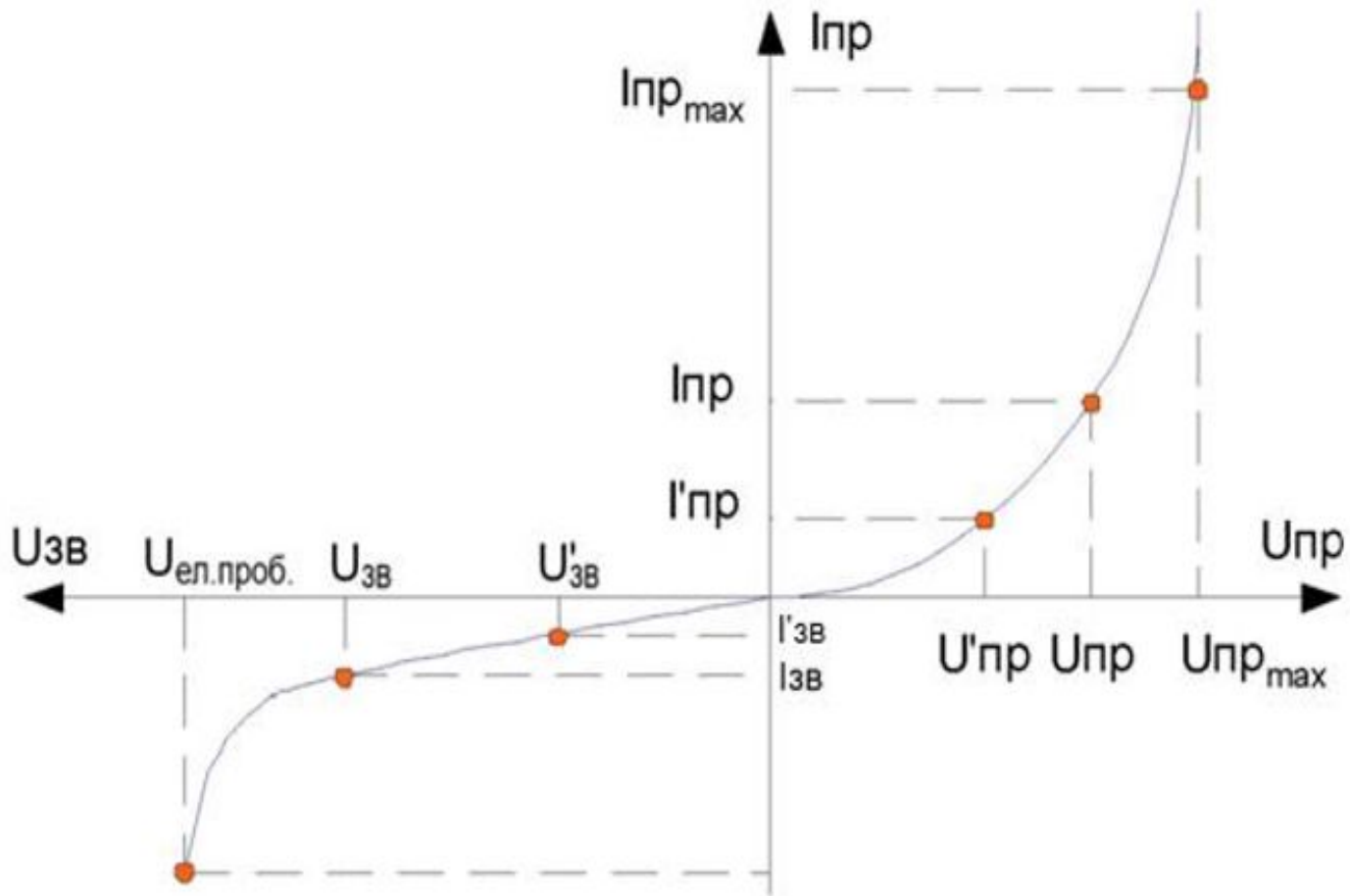
Конструкція площинного діода



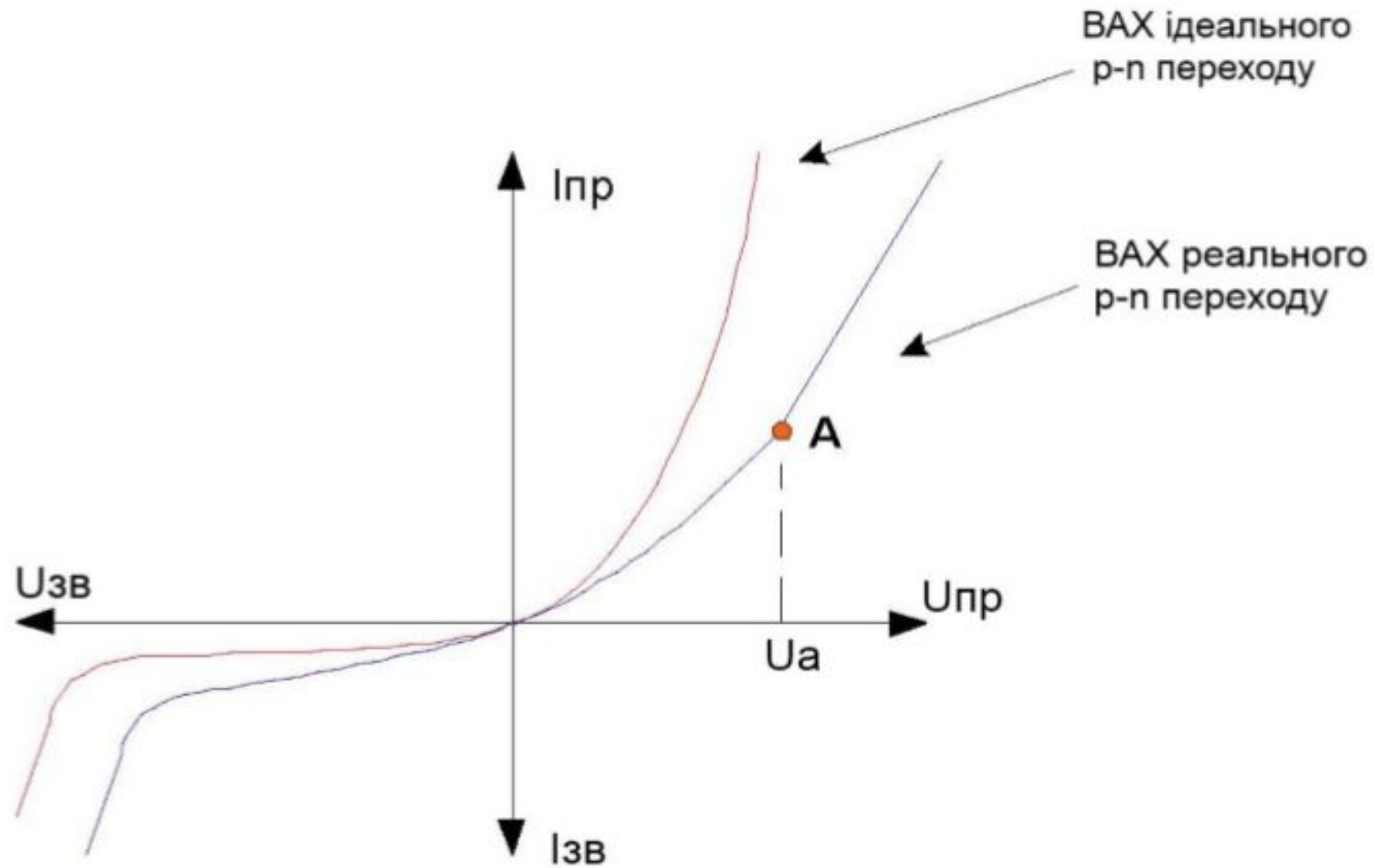
Конструкція точкового діода



Основні параметри напівпровідникових діодів



Вольт-амперна характеристика реального діода



Основні параметри діодів:

- Пряме падіння напруги на діоді при максимальному прямому струмові $U_{пр.мах}$.
- Максимально допустима зворотна напруга $U_{зв.мах} = (2/3 \div 3/4) U_{ел. проб}$.
- Зворотній струм при максимально допустимій зворотній напрузі $I_{зв.мах}$.
- Прямий і зворотний статичний опір діода при заданих прямих і зворотних напругах:

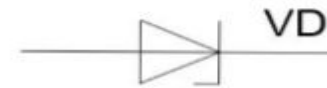
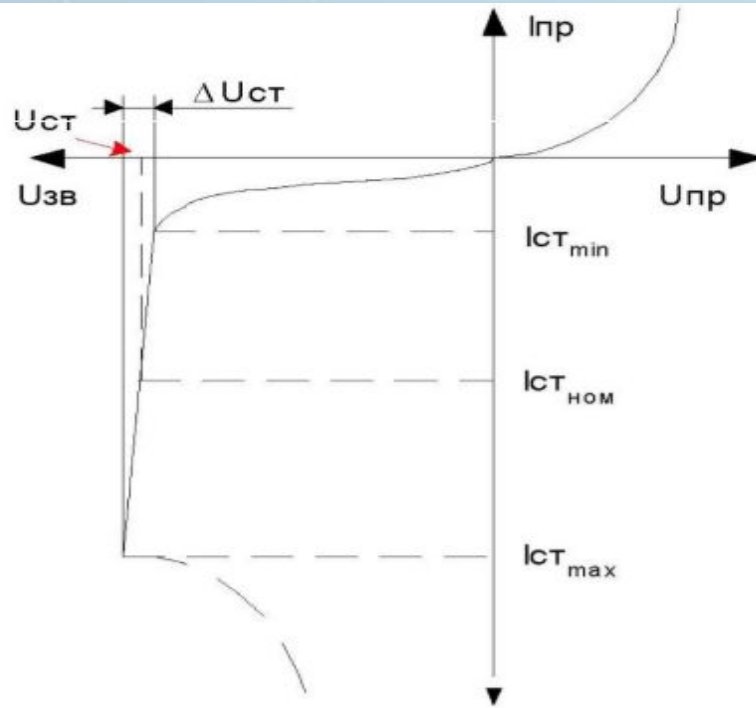
$$R_{ст.пр} = \frac{U_{пр}}{I_{пр}} ; R_{ст.зв} = \frac{U_{зв}}{I_{зв}}$$

- Прямий і зворотний динамічний опір діода:

$$R_{іпр} = \frac{\Delta U_{пр}}{\Delta I_{пр}} ; R_{іпр} = \frac{U_{пр} - U'_{пр}}{I_{пр} - I'_{пр}} ; R_{ізв} = \frac{\Delta U_{зв}}{\Delta I_{зв}} ; R_{ізв} = \frac{U_{зв} - U'_{зв}}{I_{зв} - I'_{зв}}$$

5. Стабілітрони

Стабілітрон - це напівпровідниковий діод, на якому напруга в зоні електричного пробою майже не залежить від



Основні параметри стабілітронів:

- Напруга стабілізації U_{CT} ;
- Мінімальний струм стабілізації $I_{CT \cdot \min}$;
- Максимальний струм стабілізації $I_{CT \cdot \max}$;
- Номінальний струм стабілізації $I_{CT \cdot \text{НОМ.}}$;
- Диференціальний опір на ділянці стабілізації
- Температурний коефіцієнт напруги стабілізації (ТКН)

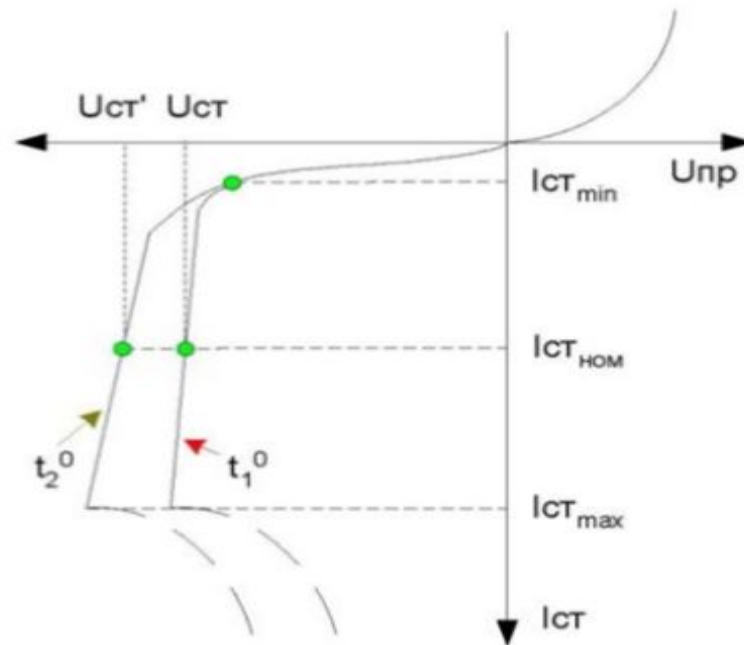
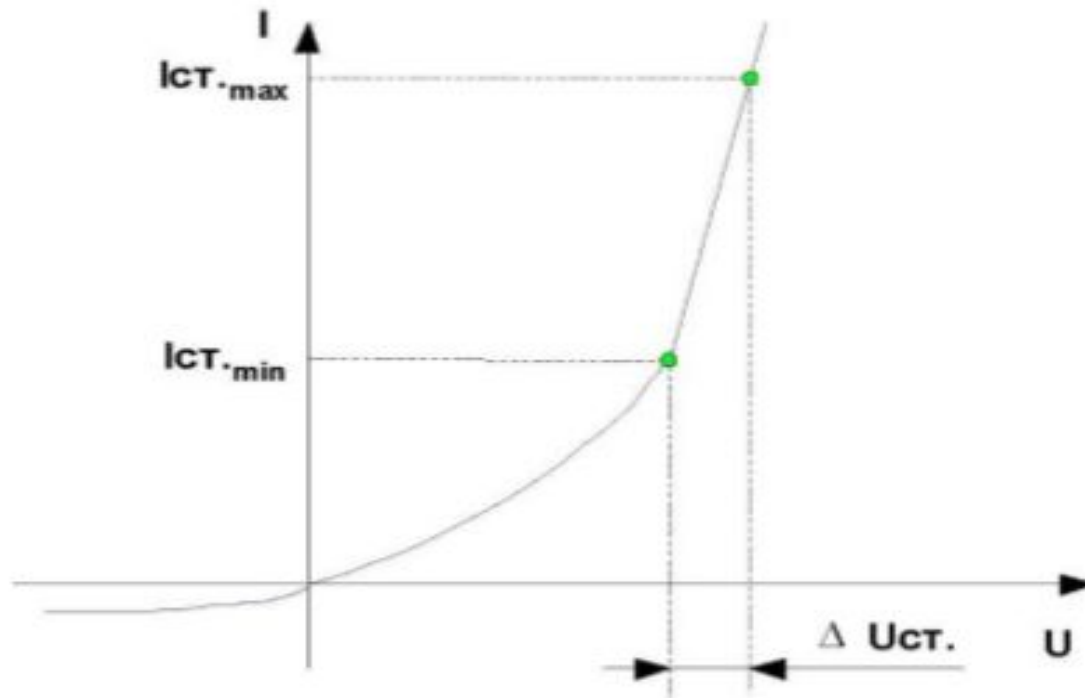


Рис.2.13. Визначення ТКН стабілітрона

Стабілітрони, призначені для стабілізації малих напруг, називаються **стабісторами**.

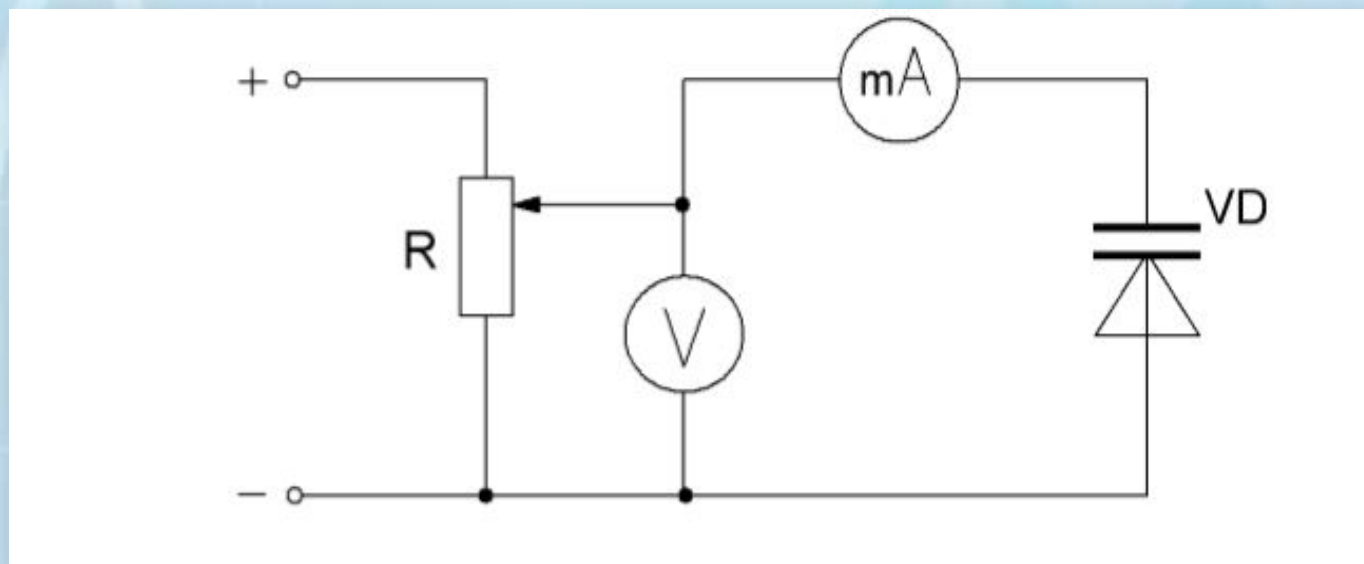
Стабістори - для стабілізації напруги менше 3В, і в них використовується пряма вітка ВАХ.



6. Варикапи

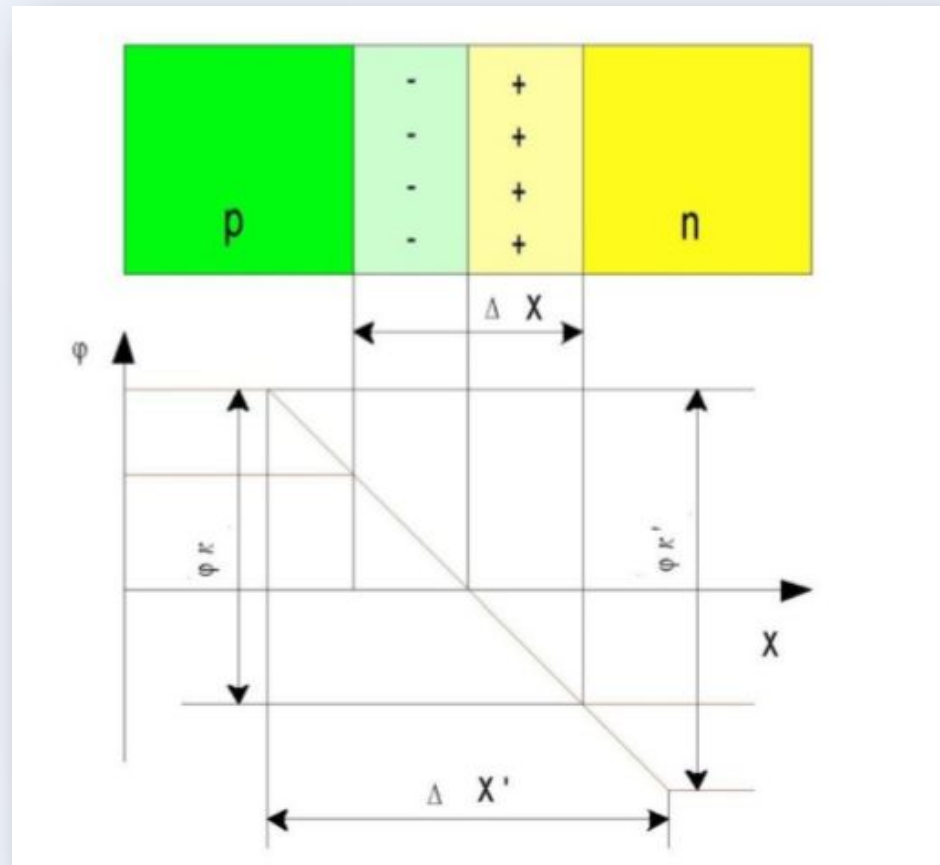
Варикапи - напівпровідникові діоди, в яких використовується бар'єрна ємність закритого р-п переходу, що залежить від величини зворотної напруги, прикладеної до діода. Отже, варикап використовується як конденсатор змінної ємності, який керується напругою.

Для використання властивостей варикапа до нього необхідно прикласти зворотну напругу.



Принцип роботи

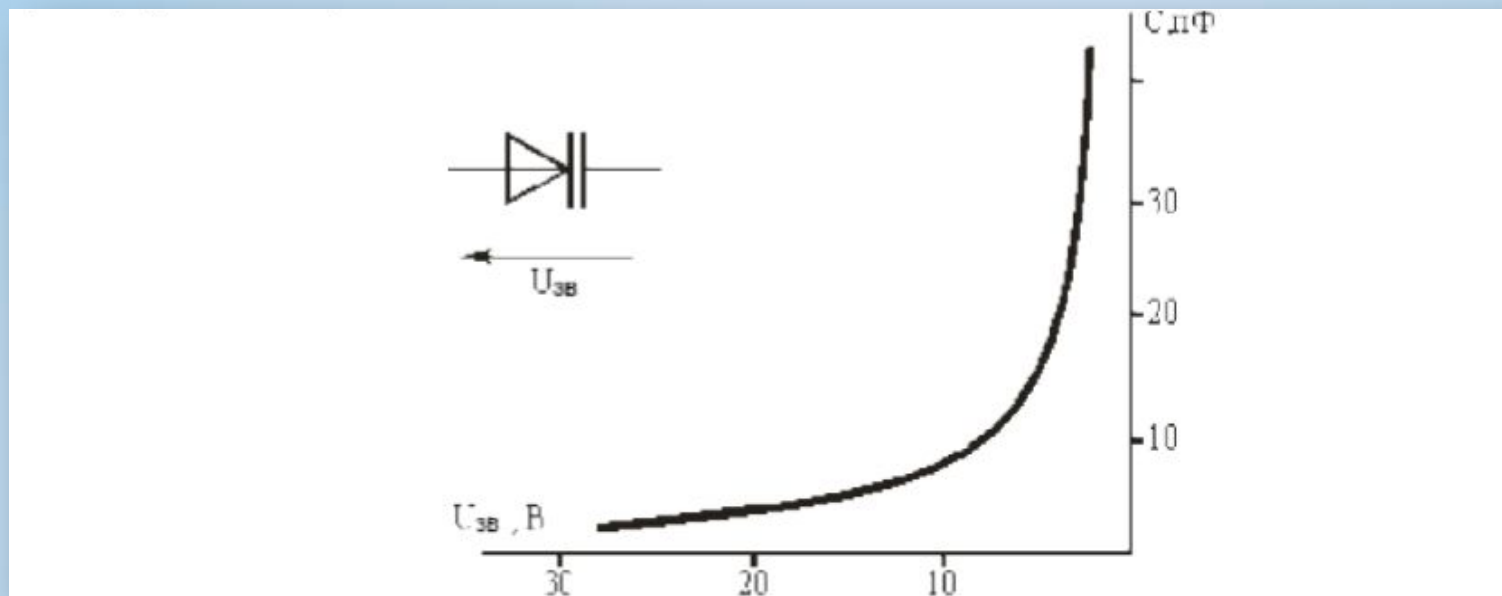
Якщо до р-п переходу подати зворотну напругу то ширина потенціального бар'єру ΔX збільшиться (рис.2.16.), а відповідно бар'єрна ємність зменшиться.



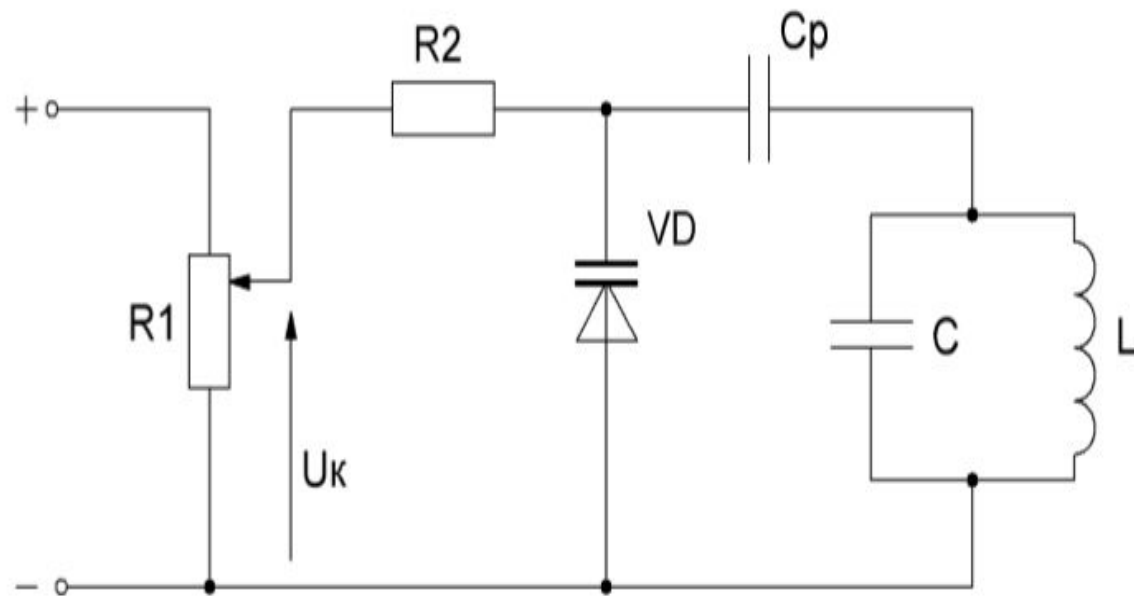
Основною характеристикою варикапів є вольт – фарадна характеристика $C=f(U_{зв})$.

Основні параметри варикапів:

- Максимальне, мінімальне і номінальне значення ємності варикапа.
- Коефіцієнт перекриття - відношення максимальної ємності до мінімальної
- Максимальна робоча температура.



Основи використання варикапа - керування (налаштування) частотою коливального контуру. На рис. приведена схема ввімкнення варикапа в коливальний контур.





Світлодіод - це напівпровідниковий прилад відображення інформації з одним р - n переходом, в якому відбувається перетворення електричної енергії в енергію світлового випромінювання.

Виділяють так звані **інфрачервоні випромінювальні діоди** - це напівпровідниковий діод, який випромінює енергію в інфрачервоній області спектра (невидне світло).

Принцип роботи світлодіодів: при прямому ввімкненні р - n переходу основні носії заряду переходять через р - n перехід там рекомбінують. Так, інжектвані електрони із n - області рекомбінуються із основними носіями р - області - дірками. Рекомбінація пов'язана з виділенням енергії (електрони переходять із більш високих енергетичних рівнів на більш низькі рівні рис.2.19).

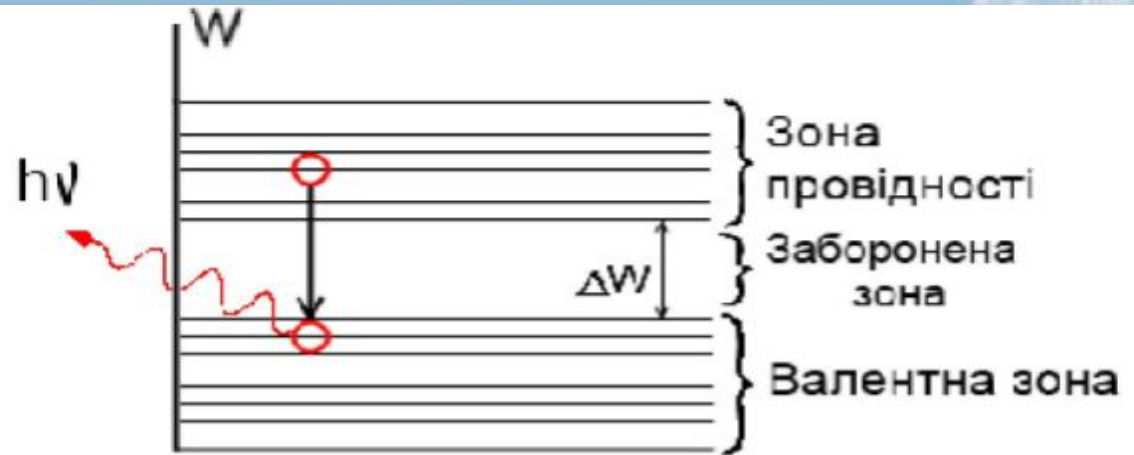


Рис.2.19. Випромінювання при рекомбінації

- При цьому виділяється фотон, енергія якого майже рівна ширині забороненої зони ΔW :

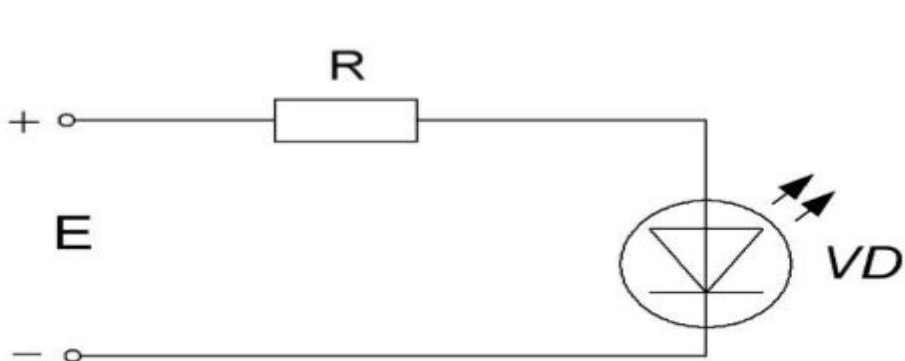
$$h\nu = hc/\lambda \approx \Delta W$$

- Підставивши в цю формулу постійні величини, можна визначити ширину забороненої зони ΔW (в електрон - вольтах), необхідну для випромінювання з тою чи іншою довжиною хвилі λ (в МКМ) :

$$\Delta W = \frac{1,23}{\lambda}$$

Основні характеристики світлодіодів:

- Яскравість світіння діода (кД/м^2) при максимально допустимому прямому струмові $I_{\text{пр. max}}$, мА.
- Постійна пряма напруга $U_{\text{пр}}$ при максимально допустимому прямому струмові, В.
- Повна потужність випромінювання $P_{\text{пов.}}$, мВт.
- Максимально допустима зворотна напруга $U_{\text{зв. max}}$, В.
- Ширина діаграми направленості світлового випромінювання.
- Температурний діапазон.



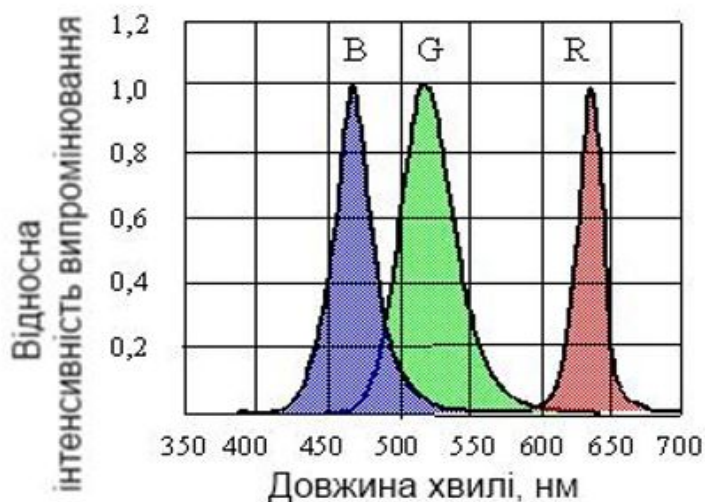
а)



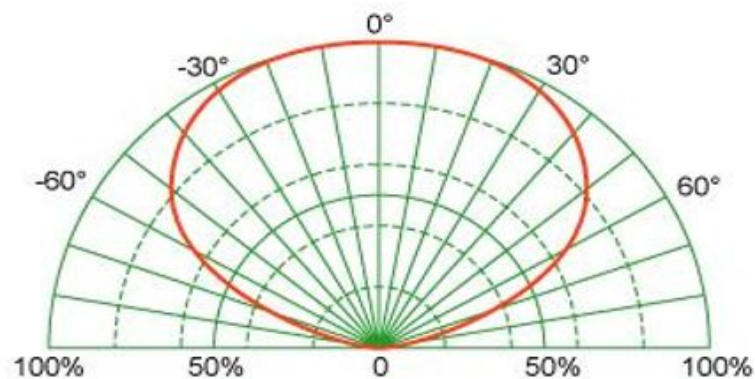
б)

Рис.2.20. Схема ввімкнення (а) та будова світлодіода (б)

● Важливі характеристики світло діодів - спектральна і характеристика направленості (рис.2.21). Перша з них представляє собою залежність відносної потужності випромінювання $\frac{P}{P_{\text{повн}}}$ від довжини випромінювальної хвилі при заданій температурі середовища. Друга визначає величину інтенсивності світлового випромінювання в залежності від напрямку випромінювання.



а)



б)

Рис.2.21. Спектральна характеристика світло діода (а) і діаграма направленості випромінювання (б).

8. Фотодіоди

Фотодіод - це керований оптичним випромінюванням оптичний прилад з двома виводами, робота якого ґрунтується на використанні фотогальванічного ефекту.

Будова фотодіода аналогічна будові звичайного напівпровідникового діода. В конструкції фотодіода, звичайно, повинна бути передбачена необхідність освітлення кристалу напівпровідника з одночасним захистом цього кристалу від зовнішніх впливів

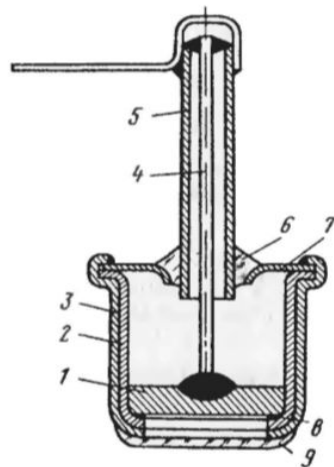


Рис.2.22. Конструкція фотодіода:

1 – кристал напівпровідника з р-переходом; 2 – кристалотримач; 3 – корпус;
4 – внутрішній вивід; 5 – коварова трубка; 6 – скляний ізолятор; 7 – ніжка корпусу;
8 – олов'яне кільце; 9 – скляна лінза.

Принцип дії

При опроміненні напівпровідника світловим потоком Φ зростає фото генерація власних носіїв зарядів, що приводить до збільшення як основних, так і неосновних носіїв заряду.

Фотодіоди можуть працювати в двох режимах: **вентильному** (фотогенераторному) і **фотодіодному**. На відміну від вентильного фотодіодний режим передбачає наявність

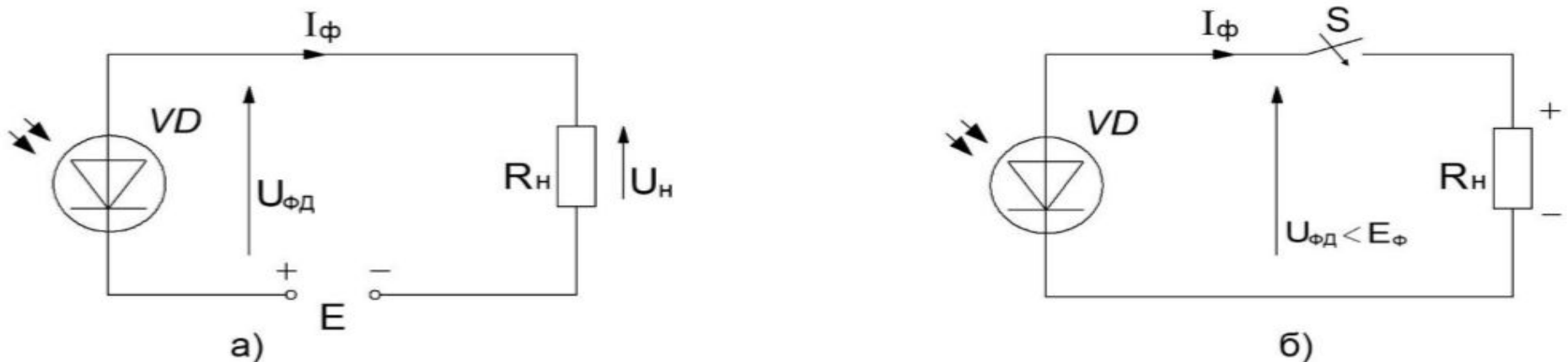


Рис.2.23. Схеми ввімкнення фотодіода: а) фотодіодний режим; б) фотогенераторний режим.

Вольт-амперна характеристика $I_{\phi} = f(U)$ при $\phi = \text{const}$ визначає залежність струму фотодіода від напруги на ньому при постійній величині світлового потоку (рис. 2.24 а). При повному затемненні ($\phi = 0$) через ФД протікає темновий струм I_T . З ростом світлового потоку I_{ϕ} збільшується. Характерною особливістю робочої області ВАХ являється практично повна незалежність струму I_{ϕ} від прикладеної напруги $U_{зв}$. Такий режим настає при зворотних напру

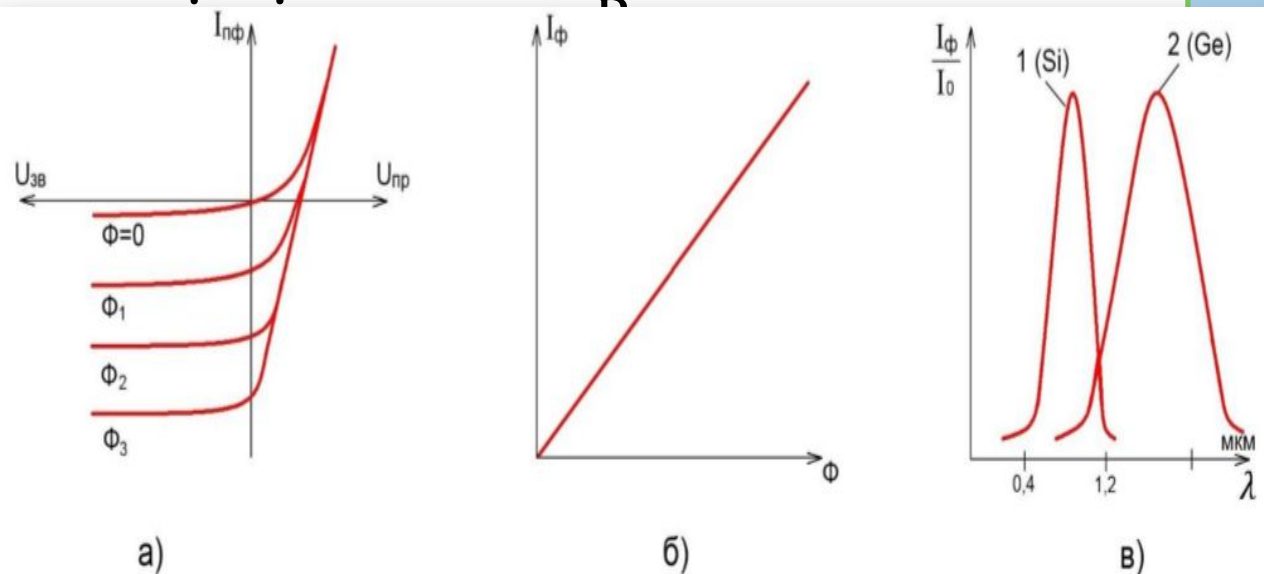


Рис.24. Характеристика фотодіода:

а) – вольтамперна; б) – світлова; в) – спектральні (1 – германієвий ФД; 2 – кремнієвий ФД).

Основні параметри фотодіодів :

- **Інтегральна чутливість** $S_{\text{інт}}$ - відношення фотоструму ФД до інтенсивності світлового потоку:

$$S_{\text{інт}} = I_{\phi} / \Phi.$$

- **Робоча напруга** U_p - постійна напруга , прикладена до фотодіоду, при якій забезпечуються номінальні параметри при тривалій його роботі.
- **Темновий струм** I_T - струм через ФД при відсутності потоку випромінювання ($\phi = 0$) при вказаній напрузі на ньому.