

# Електроніка і мікропроцесорна техніка

Лекція №1

Електроніка.

Основні визначення. Класифікація.

Напівпровідники.

# План.

1. ЕЛЕКТРОНІКА. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ.
2. Класифікація електронних пристроїв.
3. Загальні поняття про напівпровідники.
4. Електропровідність напівпровідників.
5. Вплив зовнішніх факторів на електропровідність напівпровідників.
6. Елементи з властивостями напівпровідників.

## 1. ЕЛЕКТРОНІКА. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ.

Електроніка - галузь науки та техніки, що охоплює та вивчає використання електронних і іонних процесів, тобто процесів перетворення концентрації та пересування зарядів, що відбуваються у вакуумі, газах, рідинах, твердих тілах і плазмі, а також на їхніх межах.

Фізична електроніка - займається вивченням цих процесів та явищ.

Технічна (прикладна) електроніка - розробляє теорію та практику використання відповідних приладів, пристроїв, систем та устаткування у різних областях діяльності людини - науці, промисловості (промислова електроніка), зв'язку, сільському господарстві та ін.

Пристрої промислової електроніки базуються на основі електронних приладів, які можна класифікувати за різними ознаками. У залежності від середовища, в якому пересуваються носії зарядів, відокремлюють:

- вакуумні прилади (радіолампи, електронно-променеві трубки, фотоелектронні множники та ін.):
- іонні прилади (газотрони, тиратрони, рідинно-крисгалічні елементи та ін.);
- твердотільні (напівпровідникові прилади).

## 2. Класифікація.

Промислові електронні прилади поділяються на:

- енергетичні прилади, які призначені для отримання-перетворення та передавання електричної енергії;
- технологічні прилади, які призначені для безпосереднього впливу потоків часток або електромагнітних кіл на речовини з метою обробки матеріалів та виробів:
  - інформаційні прилади, які призначені для збирання та опрацьовування інформації з метою впливу на технологічні машин та процеси.

При цьому розрізняють:

- аналогові інформаційні пристрої, що опрацьовують аналогові електричні сигнали закон змінення яких повторює (аналогічний) закон змінення відповідного технологічного параметра (наприклад, термістором вимірюється температура виробу, що нагрівається);
- дискретні інформаційні прилади, що опрацьовують імпульсні електричні сигнали.

Безперервна технологічна інформація перетворюється у відповідний порядок цифр - **сигналів** (кодується), які потім опрацьовуються.



### 3. Загальні поняття про напівпровідники

Речовини, питомий опір яких при нормальній температурі лежить в межах між питомими опорами провідників і діелектриків, називаються напівпровідниками.

Електропровідність напівпровідників великою мірою залежить від зовнішніх енергетичних впливів та від різних домішок. Наявність у напівпровідників двох типів електропровідностей - електронної (n) та електронно-діркової (p) дозволяє отримати напівпровідникові вироби з p-n переходами.

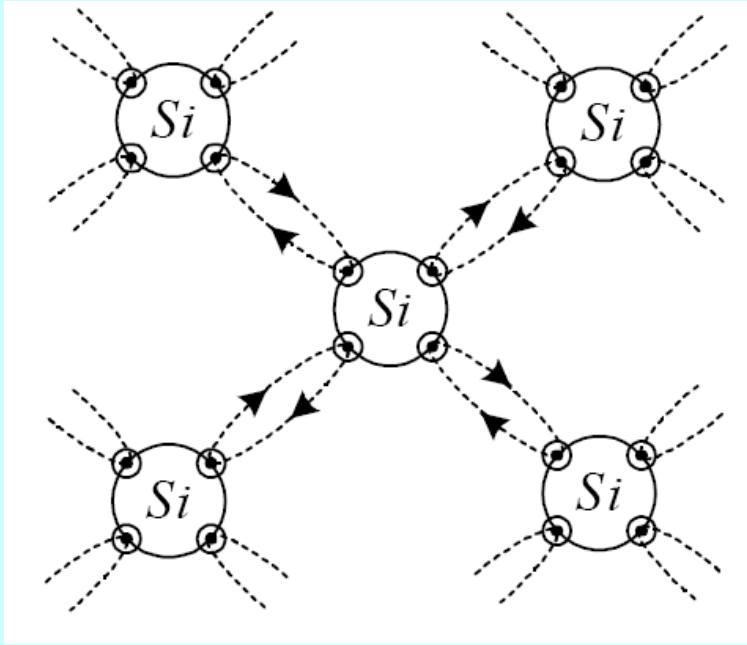
На практиці напівпровідникові матеріали класифікують:

- прості напівпровідники (елементи);
- напівпровідникові хімічні з'єднання;
- напівпровідникові комплекси (наприклад, керамічні напівпровідники).

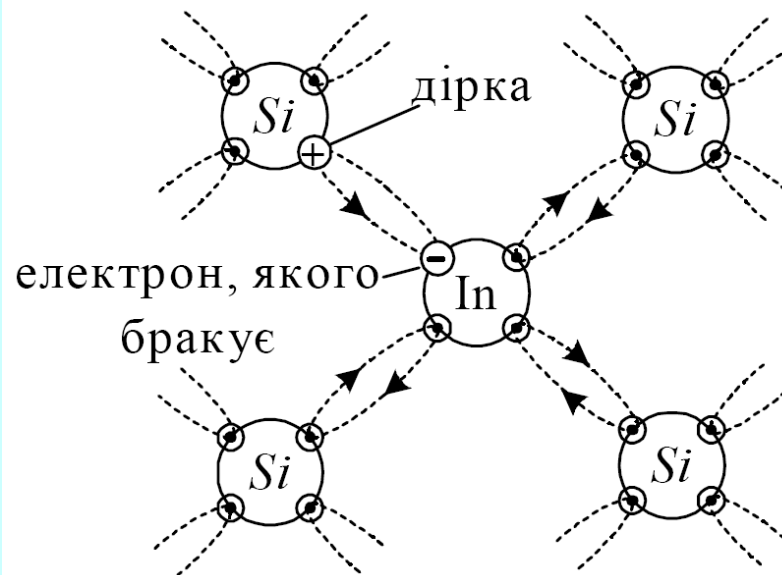
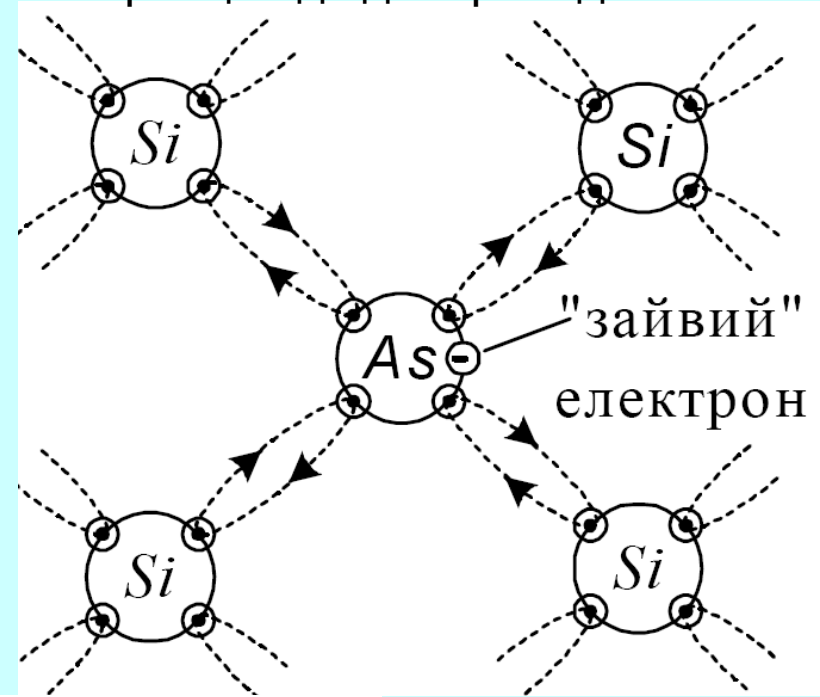
## **Лекція № 1. Напівпровідники**

# Напівпровідники.

Кристалічна решітка кремнію



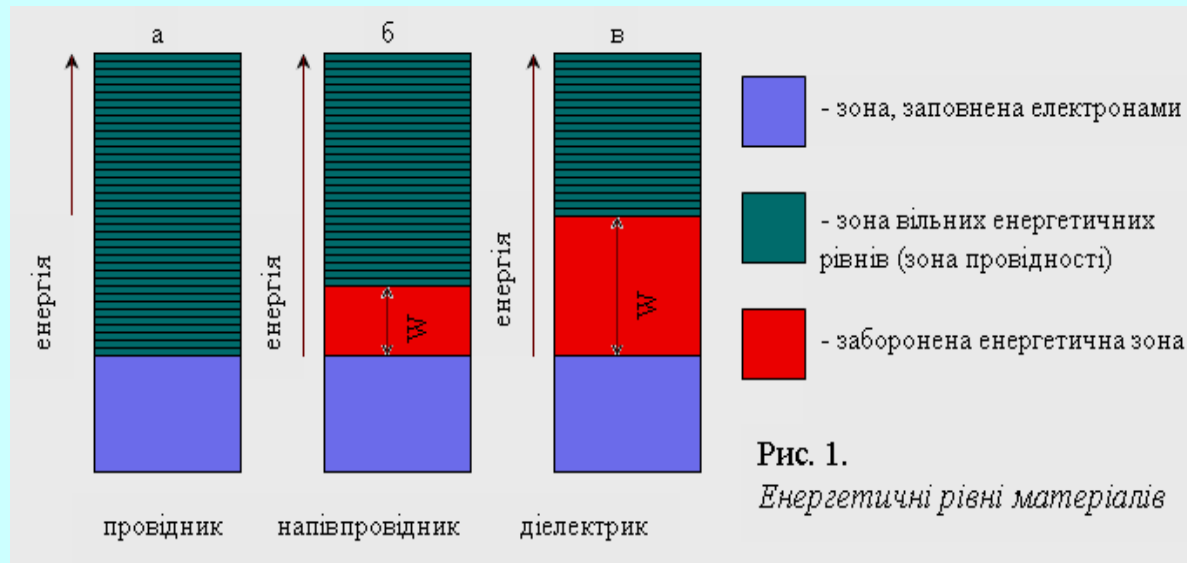
Принцип дії донорної домішки



Принцип дії акцепторної домішки

# 4. Електропровідність напівпровідників.

Енергетичні рівні зонної теорії твердих тіл.



У нормальному не збудженому стані електрони у сукупності атомів, що утворюють дане тіло, можуть мати тільки визначене значення енергії.

**Перехід на більш високі енергетичні рівні можуть здійснюватись за рахунок впливу факторів:**

- A.** випромінювання світла;
- B.** потік електронів і ядерних частинок;
- C.** механічні впливи;
- D.** електричні магнітні поля;
- E.** підвищення температури.



## 2. Електропровідність напівпровідників

Власний напівпровідник - це напівпровідник, у якого електрони в зону вільних енергетичних рівнів (зону провідностей) поставляються тільки з заповненої електронами зони (валентної зони).

Отже, при деякій температурі  $T$  в зону провідності перейшло декілька електронів, утворивши у валентній зоні відповідну кількість дірок.

Оскільки при кожному збудженні у власному напівпровіднику одночасно утворюються два заряди протилежних знаків, то загальна кількість носіїв заряду буде в 2 рази більше від кількості електронів зоні провідності, тобто:

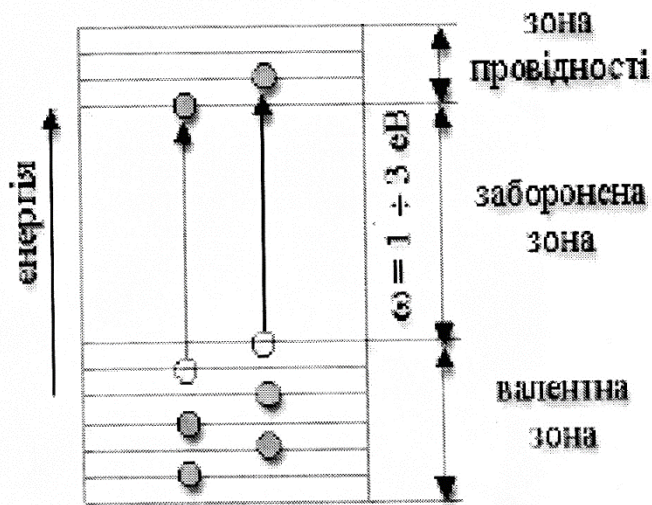
$$n_{0i} = p_{0i}; \quad n_{0i} + p_{0i} = 2 n_{0i} \quad (1)$$

Індекс  $i$  концентрації дірок та електронів означає, що це власні носії зарядів.

Питома провідність при цьому визначається:

$$j = e n_{0i} U_n + e p_{0i} U_p \quad (2)$$

### **Лекція № 1. Напівпровідники**



Енергетична діаграма власного напівпровідника

У результаті процесів збудження і рекомбінації при будь — якій температурі тіла встановлюється рівноважна концентрації носіїв електронів:

$$n_{0i} = 2 N_{\Pi} \exp\left(-\frac{\Delta\omega}{2kT}\right) \quad (3)$$

$$p_{0i} = 2 N_B \exp\left(-\frac{\Delta\omega}{2kT}\right) \quad (4)$$

де  $\Delta\omega$  — ширина забороненої зони напівпровідника;

$N_{\Pi}$ - кількість енергетичних рівнів в одиниці об'єму напівпровідника у вільній зоні (зоні провідності);

$N_B$ - кількість енергетичних рівнів в одиниці об'єму напівпровідника у валентній зоні;

Коефіцієнт 2 показує, що на кожному рівні може бути 2 електрона.

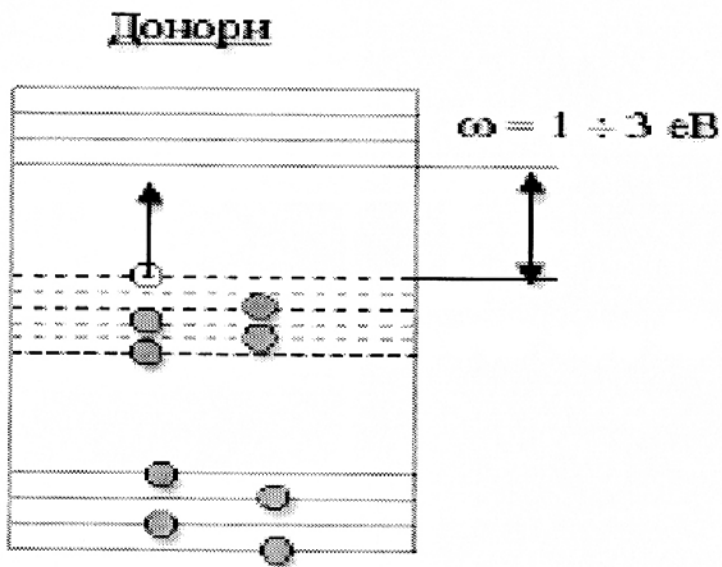
## Лекція № 1. Напівпровідники

Домішкові напівпровідники характеризуються досить широкою забороненою зоною, і перехід електронів із валентної зони у зону провідності здійснюється при більш високій температурі. Якщо атоми домішок знаходяться у вузлах кристалічної решітки, то вони називаються домішками заміщення, якщо між вузлами — домішками впровадження.

Домішки можуть або поставляти електрони в зону провідності напівпровідника, або приймати їх з рівнів його валентної зони.

Домішкові рівні розташовані біля "дна" зони провідності. При цьому енергія активації домішкових атомів менша, ніж ширина забороненої зони основного напівпровідника, а тому при нагріванні тіла збудження електронів домішок буде проходити скоріше, ніж збудження електронів решітки.

## **Лекція № 1. Напівпровідники**



Енергетична діаграма напівпровідника з донорськими домішками (електропровідність електронна (n-типу) Ge+домішка As)

Додатні заряди залишаються локалізованими, тобто не можуть дрейфувати по кристалу і брати участь в електропровідності. Напівпровідник з таким домішком має концентрацію електронів більшу, ніж концентрацію дірок, що з'являються лише при переході електронів із валентної зони у зону провідності. Такий напівпровідник називається напівпровідником n-типу, а домішки, що надають електрони в зону провідності, — донорами.

## Лекція № 1. Напівпровідники

Акцептори — домішки, що вносять незаповнені рівні у заборонену зону основного напівпровідника близько біля "стелі" валентної зони. Теплове (зовнішнє) збудження у першу чергу переміщує електрони з валентної зони основного матеріалу на вільні домішкові рівні. Ці електрони не беруть участь в створенні електричного струму; у такого напівпровідника (концентрація дірок більша, від концентрації електронів, які перейшли із валентної зони в зону провідності). Це напівпровідники р-типу. А домішки, які захвачують електрони із валентної зони напівпровідника, називають акцепторами.

### Напівпровідник n-типу

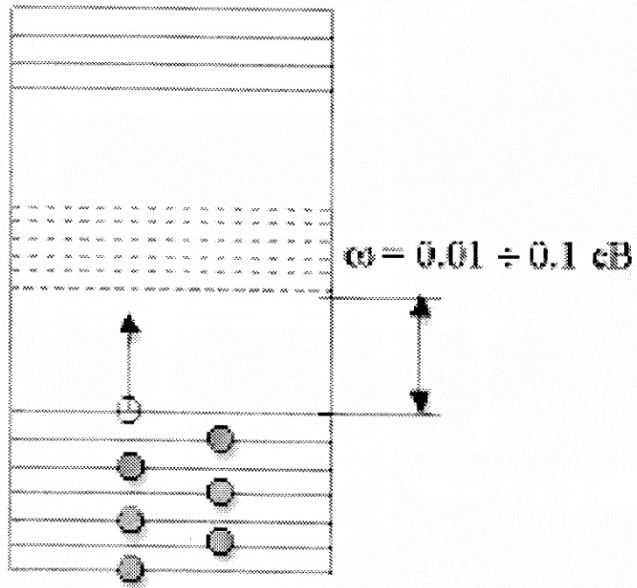
електрони — основні носії заряду,  
дірки — неосновні носії заряду.

### Напівпровідник p-типу:

дірки — основні носії заряду,  
електрони — неосновні носії заряду

## **Лекція № 1. Напівпровідники**

## Акцептори



Енергетична діаграма напівпровідника з акцепторним домішком (діркова електропровідність (р-типу)) Ge+домішок In

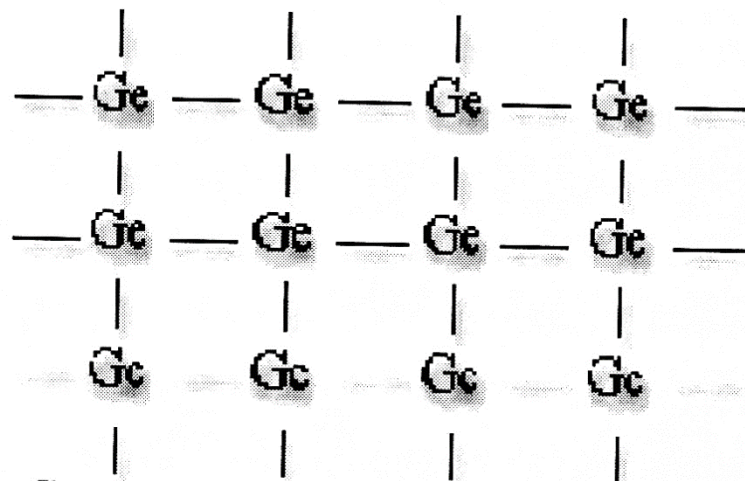
## Домішки заміщення.

1) Ковалентні структури типу алмаза (наприклад, германій, кремній — елементи IV групи).

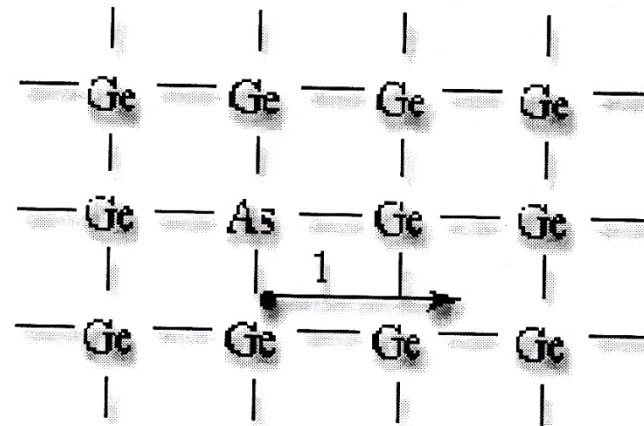
— валентні електрони (елементи IV групи), закріплені за своїми атомами і не блукають по кристалу.

Домішок миш'яку (V група) на зовнішній орбіті — 5 електронів. Зв'язавши 4 електрони, 1 електрон дрейфує по кристалу, а під дією електростатичного поля рухається направлено (з'являється електропровідність типу *n*, атом домішка (миш'яку), що втратив електрон, є додатньо-зарядженим, нерухливим, тобто закріплена в решітці частинка. Такий домішок буде донором.

# Лекція № 1. Напівпровідники



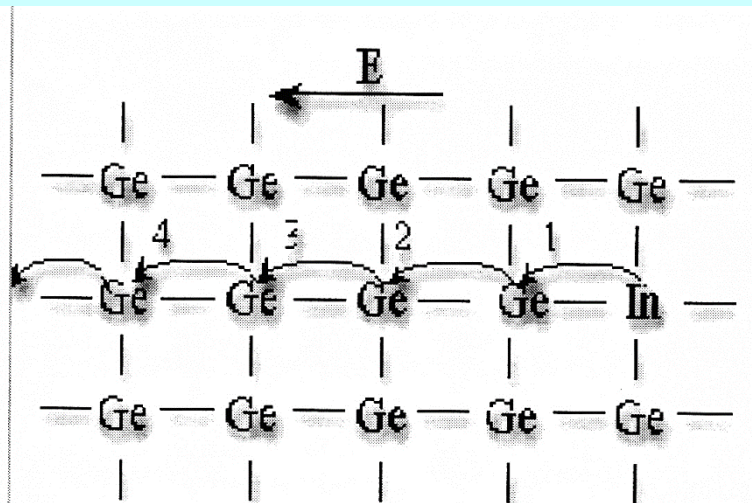
Схематичне зображення кристалічної  
решітки  
без домішок



Схематичне зображення  
кристалічної решітки  
з донорним домішком  
миш'яка

— домішок елемента III групи — Індія, що має 3 валентних електрони. Індій бере електрон у сусіднього атому германія і буде від'ємно—зарядженою, нерухливою, закріпленою в решітці частинкою. А дірка — дрейфує по кристалу. Під дією електростатичного поля дірка рухається на правлено (електропровідність р—типу), домішок є акцептором.

## Лекція № 1. Напівпровідники



Схематичне зображення  
кристалічної решітки  
з акцепторним домішком індію

2) Ковалентні напівпровідникові з'єднання.

У напівпровідникових з'єднаннях III групи BV (In, Sb, Ga, As і т.д.) домішкові атоми заміщення II групи (Mg, Zn та ін.) мають меншу валентність і є акцепторами, а домішкові атоми IV групи у напівпровідникових з'єднаннях можуть бути донорами, якщо заміщають 3-валентні атоми у решітці, і можуть бути акцепторами, якщо заміщають 5-тивалентні атоми.

3) Напівпровідники з іонними решітками.

Якщо напівпровідник має електропровідність п- і р-типів (наприклад PbS), то надлишок сірки чи кисню викликає діркову електропровідність, а надлишок металу — електронну.

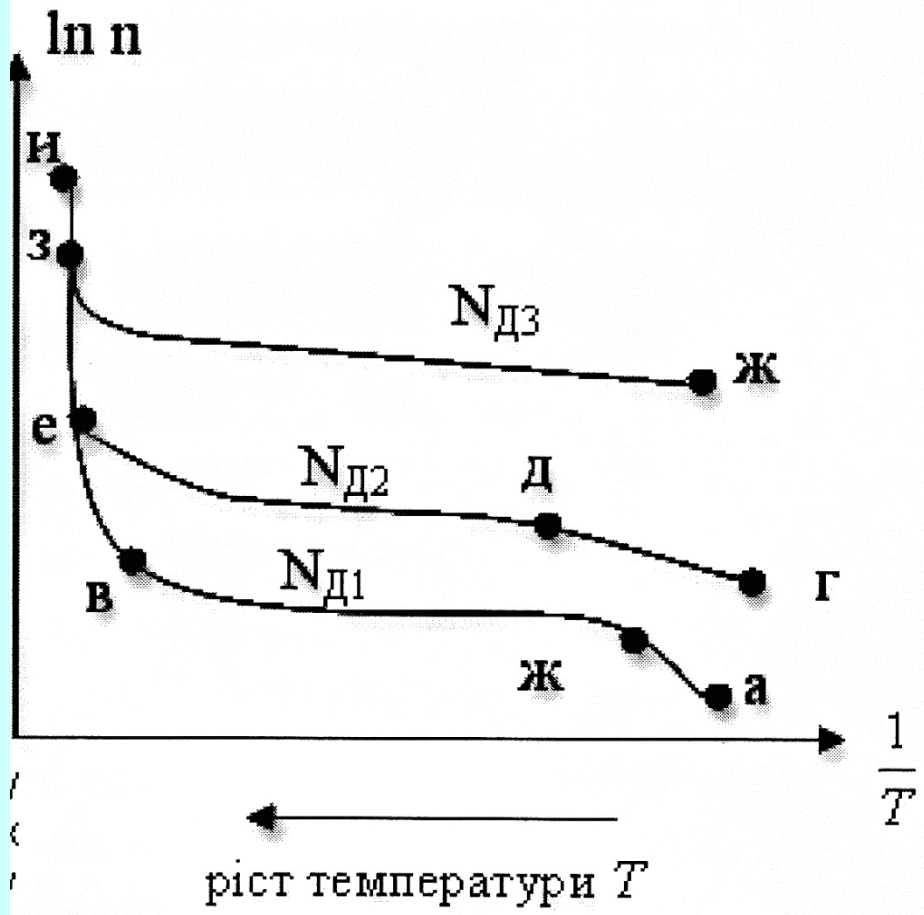
## Лекція № 1. Напівпровідники



# 3. Вплив зовнішніх факторів на електропровідність напівпровідників

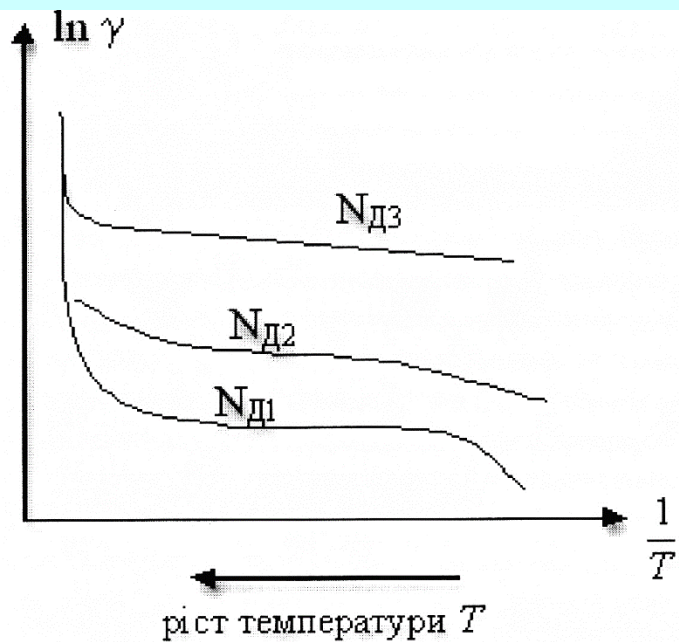
## Вплив теплової енергії.

В області низьких температур відрізок нижньої кривої між точками [а;б] характеризує тільки концентрацію носіїв, обумовлену домішками. Нахил прямої на цьому відрізку визначається енергією активізації. З ростом  $T$  кількість носіїв, що поставляються домішками, росте. На участку [б;в] домішки вже виснажені, а переходу електронів через заборонену зону ще немає. Далі значення температури настільки стає великим, що електрони переходять через заборонену зону (участок [в;и]) - концентрація носіїв заряду швидко росте (нахил цього участку характеризує ширину забороненої зони). З рисунку видно, що із збільшенням концентрації домішок у напівпровіднику перехід від участку [а;б] (чи [г;д]), на яких концентрація носіїв обумовлена лише домішками, до участку виснажених домішок [б;в] (чи [д;є]) зміщується в бік високих температур. Крива графіка [ж;й] має два участки: [ж; з] - постійна концентрація заряду до температури, при якій носії не переходять через заборонену зону; [з;и] - перехід носіїв через заборонену зону. Такий напівпровідник є виродженим. **Лекція № 1. Напівпровідники**



Типові залежності концентрації носіїв заряду у напівпровіднику від температури при різних концентраціях донорних домішок ( $N_{д1} < N_{д2} < N_{д3}$ )

Зрозуміло, що криві залежності питомої провідності напівпровідників від температури при різних концентраціях домішок матимуть вигляд аналогічний до залежностей концентрації носіїв заряду від температури, оскільки провідність залежить саме від концентрації носіїв заряду.



Типові залежності концентрації носіїв заряду у напівпровіднику від температури при різній концентрації донорних домішок

$$(N_{d1} < N_{d2} < N_{d3})$$

## Вплив деформації

Електропровідність твердих кристалічних тіл змінюється від деформації внаслідок збільшення чи зменшення (розтягування і стиснення) міжатомних відстаней, що призводить до зміни концентрації і рухливості носіїв. Концентрація носіїв може стати меншою або більшою внаслідок зміни ширини енергетичних зон кристалу і зміщення домішкових рівнів, що у свою чергу веде до зміни енергії активації носіїв. Рухливість носіїв заряду змінюється через збільшення (зменшення) амплітуди коливань атомів при їх віддаленні (наближенні).

Тензочутливість - величина, що чисельно характеризує зміни питомої провідності чи питомого опору напівпровідників при деформації:

$$d = \frac{\Delta p/p}{\Delta l/l}$$

# Лекція № 1. Напівпровідники

## Вплив світла.

Світлова енергія, що поглинається напівпровідником, призводить до появи в ньому надлишкової кількості носіїв зарядів, що у свою чергу призводить до росту електропровідності.

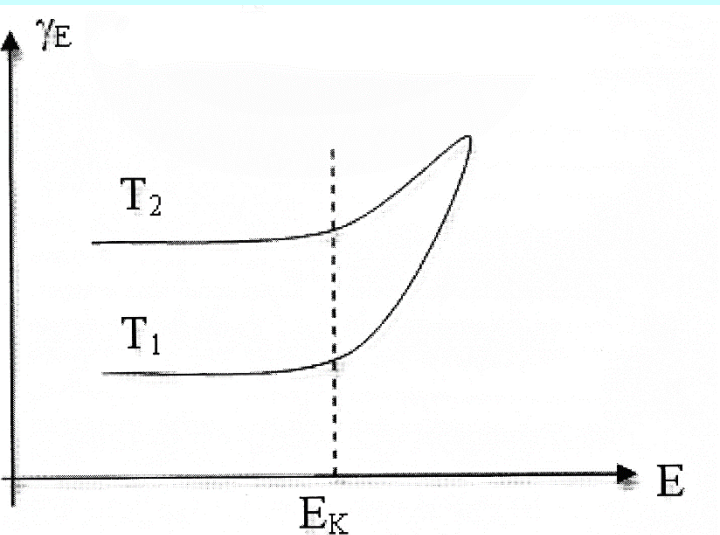
Фотопровідність - збільшення електропровідності матеріалу під дією електромагнітного випромінювання.

Фотопровідність напівпровідників залежить від наступних факторів:  
частоти (із збільшення частоти електропровідність зростає);  
від інтенсивності опромінення;  
- вплив теплової енергії (температури).

## Вплив сильних електричних полів

Електропровідність також залежить і від величини напруженості електричного поля. На рисунку показані криві залежності питомої провідності одного і того ж напівпровідника від напруженості електричного поля при різних температурах навколишнього середовища. Як видно із залежностей, при низьких значеннях напруженості поля (до критичного значення  $E_K$ ) зберігається дія закону Ома і питома провідність не залежить від напруженості поля. Із ростом температури крива питомої провідності зміщується вгору, а нахил зростаючої частини стає меншим.

# Лекція № 11. Напівпровідники



Залежність питомої провідності напівпровідника від напруженості електричного поля при різній температурі навколишнього середовища ( $T_1 > T_2$ )

При більш високих значеннях напруженості поля починається інтенсивний ріст питомої провідності за експоненціальним законом, що призводить до руйнування структури напівпровідника.

$$Y_E = y \exp \beta \sqrt{E}$$

де  $Y$  - питома провідність напівпровідника при  $E < E_K$

$\beta$  - коефіцієнт, що характеризує напівпровідник

Ріст провідності обумовлено ростом кількості носіїв заряду, оскільки під впливом поля вони більш легко звільняються за допомогою теплового збудження. При подальшому збільшенні поля може з'явитися механізм ударної іонізації, що призводить до руйнування структури напівпровідника.

## Лекція № 1. Напівпровідники

## 4.Елементи з властивостями напівпровідників

Серед елементів із властивостями напівпровідників, найбільш широко використовуються: германій, кремній, селен.

Германій використовується для виготовлення діодів (випрямлячів) змінного струму різної потужності, транзисторів різних типів. З нього виготовляють перетворювачі Холла, пристрої вимірювання напруженості магнітного поля, струмів і напруженості. Оптичні властивості германія дозволяють використовувати його для фото транзисторів і фоторезисторів, оптичних лінз, оптичних фільтрів, модуляторів світла. Пристрої, виготовлені із германію, повинні бути захищені від дії вологи.

Кремній сьогодні є основним матеріалом для виготовлення напівпровідникових пристроїв і діодів, транзисторів, фотоелементів, твердих схем мікроелектроніки. Кремнієві пристрої можуть експлуатуватися при досить високих температурах (залежно від ступеня очищення - критична температура 120-200° С, що значно вище, ніж для кремнію).

Селен - використовується для виготовлення діодів та фотоелементів. Температурний інтервал роботи селенових випрямлячів [-60;+75°С]. За своїми властивостями селенові випрямлячі значно поступаються перед германієвими і, тим більш, перед кремнієвими.

## **Лекція № 11. Напівпровідники**

# Електроніка і мікропроцесорна техніка

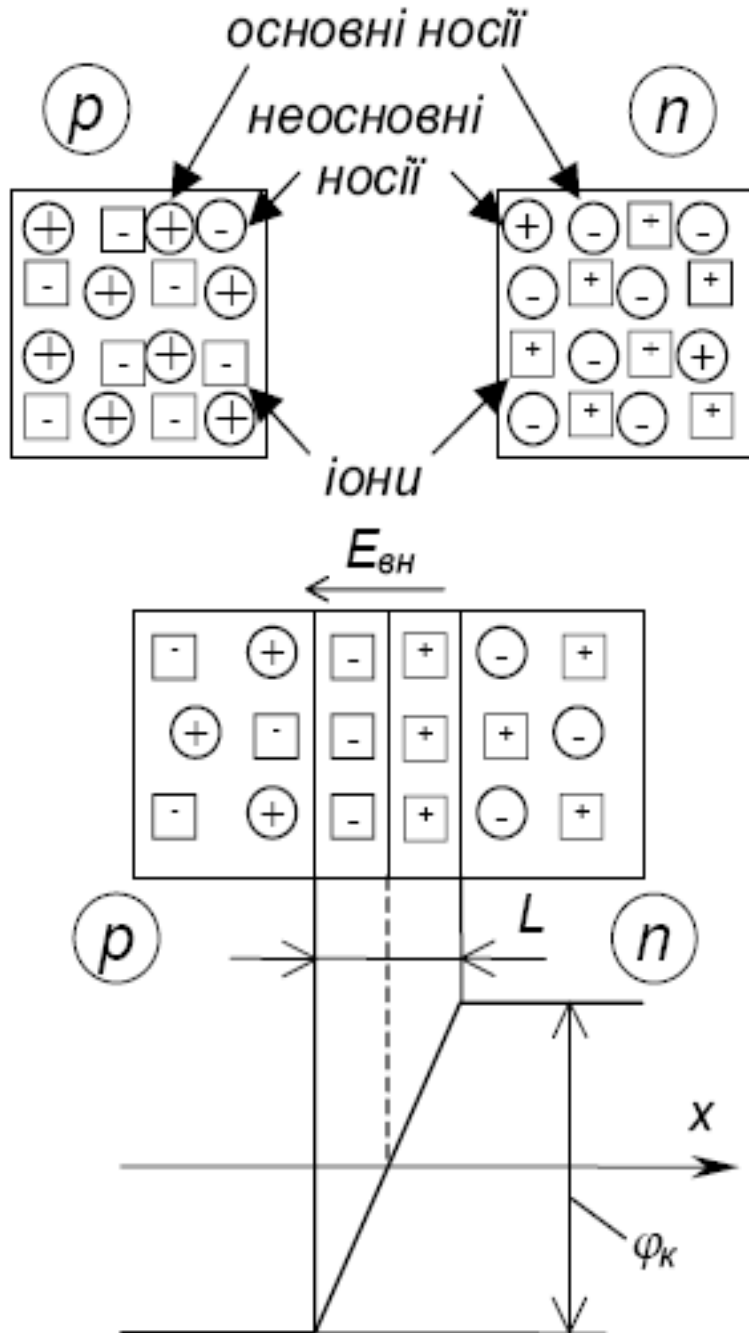
## Лекція №2 **p-n перехід**

# План.

1. Визначення і принцип роботи  $p-n$  переходу
2. Потенціальний бар'єр.
3. Прикладання напруги до  $p-n$  переходу.
4. Прикладання напруги до  $p-n$  переходу.  
Зворотнє вмикання.
5. Прикладання напруги до  $p-n$  переходу.  
Пряме вмикання.
6. Вольт-амперна характеристика  $p-n$  переходу.
7. Властивості  $p-n$  переходу.



## 2.1 Визначення і принцип роботи р-n переходу



**р-n переходом** називається вузька зона на межі між шарами НП р- і n- типу, як зображено на рисунку. Головна властивість р-n переходу – одностороння провідність, що дозволяє його широко застосовувати в діодах для перетворення змінного струму в постійний. Фізичні процеси, що відбуваються у р-n переході, визначають параметри та характеристики більшості НП приладів. Допустимо, що концентрація основних носіїв у обох шарах НП однакова. При об'єднанні двох НП виникає взаємна дифузія (яку можна вважати за дифузійний струм) електронів із n-шару у р-шар (вони заповнюють вільні ковалентні зв'язки), а дірок – у протилежному напрямку. Внаслідок цього у приконтатній зоні НП р-типу (завдяки іонам акцепторної домішки) з'являється негативний заряд, а у приконтатній зоні n-типу (завдяки іонам донорної домішки НП) - позитивний заряд. Між цими зарядами виникає внутрішнє електричне поле з напруженістю  $E$ , що гальмує рух основних носіїв заряду.

## 2.2 Потенціальний бар'єр.

Це поле виявляється прискорюючим для неосновних рухомих носіїв зарядів (теплових), внаслідок чого через межу між НП виникає дрейфова складова струму  $i_{др}$ , протилежна дифузійній складовій  $i_{диф}$ . зумовленій рухом основних носіїв зарядів (внаслідок протікання  $i_{диф}$ . відбувається рекомбінація рухомих основних носіїв зарядів).

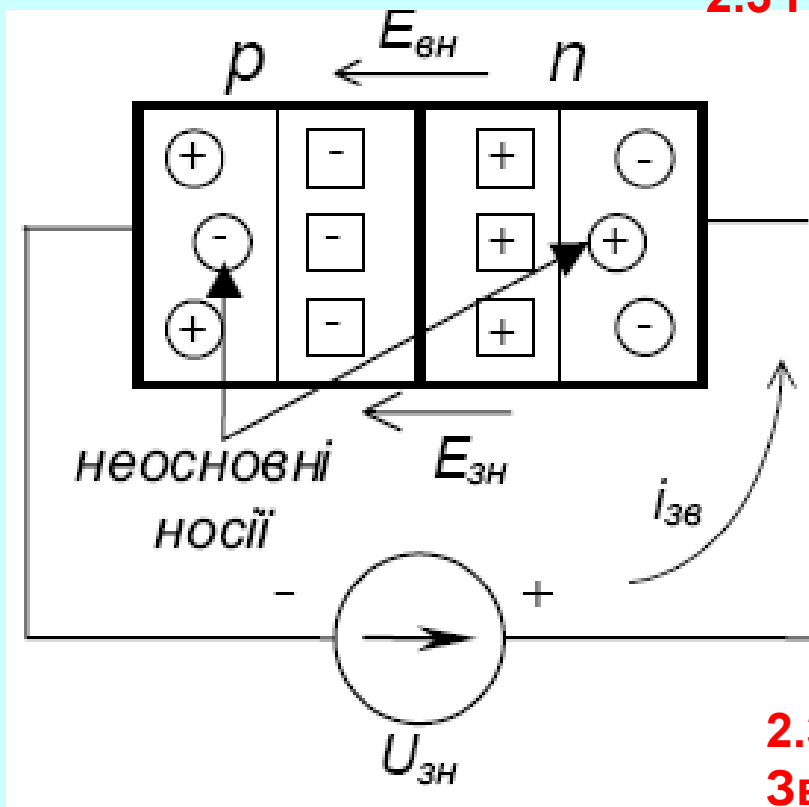
У сталому стані  $i_{диф} + i_{др} = 0$ .

Ця рівновага настає за певної контактної різниці потенціалів, що визначається величиною об'ємного заряду і називається **потенціальним бар'єром**  $J_k$ .

Величина  $J_k$  залежить від матеріалу НП і його температури. Для германію  $J_k$  — (0,4 - 0,6) В. для кремнію  $J_k$  = (0,6 – 0,8) В.

## 2.3 Прикладання напруги до $p$ - $n$ переходу.

Зона об'ємного заряду - це і є електронно-дірковий перехід ( $p$ - $n$  перехід). Ширина його, позначена як  $L$ , вимірюється десятками мікронів. Оскільки у  $p$ - $n$  переході відсутні рухомі носії зарядів (він заповнений нерухомими іонами), то його електричний опір дуже великий.



### 2.3.1 Прикладання напруги до $p$ - $n$ переходу. Зворотнє вмикання.

Розглянемо поведінку  $p$ - $n$  переходу при під'єднанні до нього зовнішнього джерела напруги, можливе пряме або зворотнє вмикання.

При зворотньому вмиканні, як показано на рисунку, до  $p$ - $n$  переходу прикладається зовнішня напруга  $U$ , внаслідок чого до його внутрішнього електричного поля додається зовнішнє електричне поле з напруженістю  $E$ . У результаті поле в  $p$ - $n$  переході зростає і його напруженість дорівнює

$$E_{\text{рез.}} = E_{\text{вн.}} + E_{\text{зовн.}}$$

### 2.3 Прикладання напруги до $p$ - $n$ переходу.

Оскільки електричний опір  $p$ - $n$  переходу дуже великий, то майже вся напруга  $U_{zn}$  прикладається до нього.

Отже, різниця потенціалів на переході становить

$$\varphi_{рез} = \varphi_{к} + U_{zn}. \quad (1.3)$$

Запірні властивості переходу при цьому зростають, дифузійна складова струму  $i_{диф}$  зменшується, а дрейфова  $i_{др}$  не змінюється (бо залежить лише від ступеня нагріву речовини). Через перехід протікає зворотний струм

$$i_{зв} = i_{др} - i_{диф}. \quad (1.4)$$

#### 2.3.2 Прикладання напруги до $p$ - $n$ переходу. Пряме вмикання.

При прямому вмиканні, як показано на рисунку на наступному слайді, за зазначеної полярності зовнішньої напруги зовнішнє електричне поле спрямоване назустріч внутрішньому і результуюча напруженість зменшується

$$E_{рез} = E_{вн} - E_{zn}. \quad (1.5)$$

При цьому  $i_{диф}$  зростає, а  $i_{др}$  зменшується. Різниця потенціалів становить

$$\varphi_{рез} = \varphi_{к} - U_{zn}. \quad (1.6)$$

## 2.4 Вольт-амперна характеристика

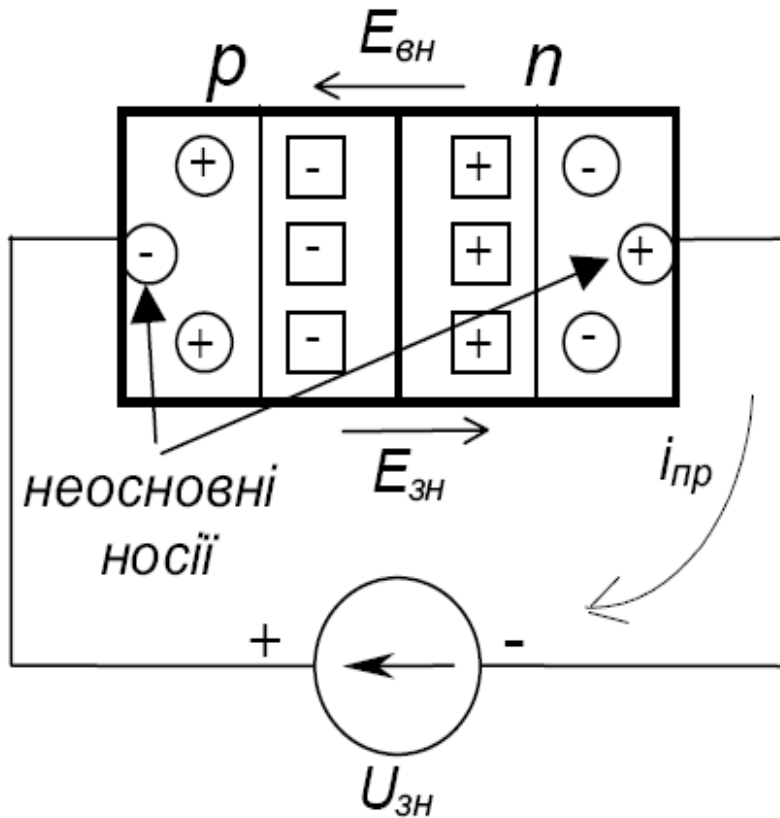


Рисунок- Пряме вмикання  $p$ - $n$  переходу

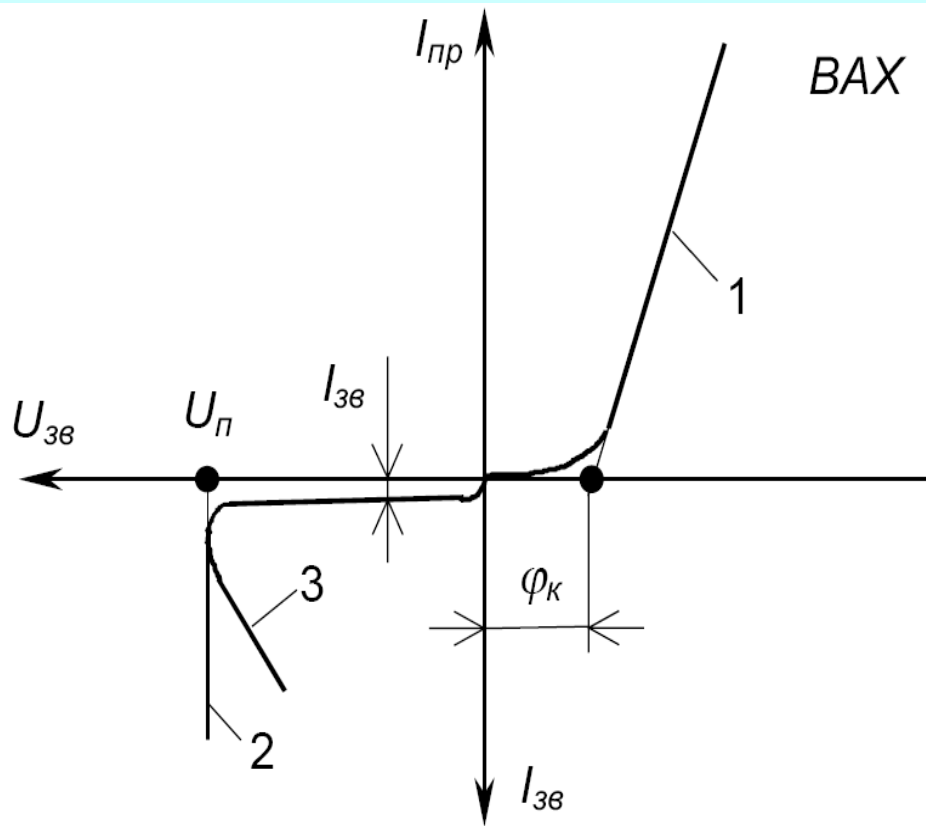
У цьому випадку через перехід тече прямий струм

$$i_{np} = i_{диф} - i_{др}. \quad (1.7)$$

Він зумовлюється дифузійною складовою струму, тобто залежить від концентрації основних рухомих носіїв зарядів, і є великим.

Оскільки у  $p$ - $n$  переходу явно виражені нелінійні властивості, то залежність струму, що через нього протікає, від прикладеної напруги ілюструють за допомогою **вольт-амперної характеристики (ВАХ)**.

## 2.4 ВАХ.



Теоретична ВАХ  $p-n$  переходу показана на рис. Вона має пряму (1) та зворотну (2,3) гілки. Якщо напруга прямого вмикання  $U_{пр} < J_{к'}$  через перехід опір якого великий, тече малий струм. Як тільки зі збільшенням  $U_{пр}$  останнє досягне значення  $U_{пр} < J_{к'}$ , запірні властивості  $p-n$  переходу зникають і струм через перехід визначається лише провідністю  $p-n$  шарів.

Таким чином,  $p-n$  перехід має **вентильні властивості**, тобто при прямому вмиканні його опір малий, а при зворотному - значний.

При зростанні від нуля зворотної напруги  $U_{зв}$ , швидкість руху неосновних носіїв через перехід зростає. При  $U_{зв} = U_{п}$  швидкість рухомих носіїв така, що їх енергії вистачає для виникнення в матеріалі ударної іонізації вибивання додаткових носіїв заряду. Внаслідок цього відбувається лавиноподібний зріст зворотного струму. Це явище називається **електричним пробоем**  $p-n$  переходу, а  $U_{п}$  - напругою пробою.

## 2.4 ВАХ.

Якщо при цьому  $p-n$  перехід ефективно охолоджується, різке зростання потужності, що в ньому виділяється ( $U_{зв} \cdot I_{зв}$ ), не призводить до суттєвих змін температури структури і електричний пробій протікає при незмінній напрузі. Це явище має зворотний характер. Тобто при зниженні  $U_{зв}$  запірні властивості  $p-n$  переходу відновлюються (гілка 2 ВАХ).

Явище електричного пробою використовується, наприклад, при створенні такого НП приладу як стабілітрон.

При неефективному тепловідведенні, температура структури зростає (кількість рухомих носіїв при цьому збільшується також за рахунок теплової генерації), доки електричний пробій не переходить у тепловий, коли матеріал розплавляється і  $p-n$  перехід руйнується. Тепловий пробій, зрозуміло, незворотний (гілка 3ВАХ).

***Отже,  $p-n$  перехід це явище, що виникає на межі двох НП різного типу провідності і характеризується відсутністю у прилеглий до цієї межі зоні вільних носіїв заряду, через що її опір нескінченний. Тому  $p-n$  перехід ще називають запірним шаром.***

## 2.5 Властивості

- 1) одностороння провідність (вентильні властивості);
- 2) дуже великий опір зони р-п переходу як зони, де немає вільних носіїв заряду (запірні властивості);
- 3) зміна ширини р-п переходу зі зміною величини зворотної напруги (як результат - зміна ємності р-п переходу);
- 4) стабільність напруги на р-п переході у режимі електричного пробую;
- 5) наявність неосновних носіїв (що виникають внаслідок теплової генерації) в шарах р-типу та n-типу.



# Електроніка і мікропроцесорна техніка

## Лекція №3

### **Напівпровідникові прилади**

# План.

- 3.1. Класифікація напівпровідникових приладів.
- 3.2. Напівпровідникові резистори.
- 3.3. Варистори.
- 3.4. Терморезистори.
- 3.5. Фоторезистори.
- 3.6. Напівпровідникові діоди.
  - 3.6.1. Основні параметри випрямних діодів.
- 3.7. Схема випрямлення напруги.
- 3.8. Діоди Шоттки.

### 3.1. Класифікація напівпровідникових приладів

НП прилади поділяються на такі групи:

- 1) НП резистори; 2) НП діоди; 3) біполярні транзистори;
- 4) уніполярні (польові) транзистори; 5) тиристори.

### 3.2. Напівпровідникові резистори

НП резистори мають два вихідних електроди. Вони поділяються на лінійні та нелінійні.

У лінійних резисторів питомий електричний опір не залежить від прикладеної напруги. Їх умовне позначення наведено на рис. 3.1 ,а. Вони виготовляються на основі НП n- або р-типу і використовуються в інтегральних мікросхемах.

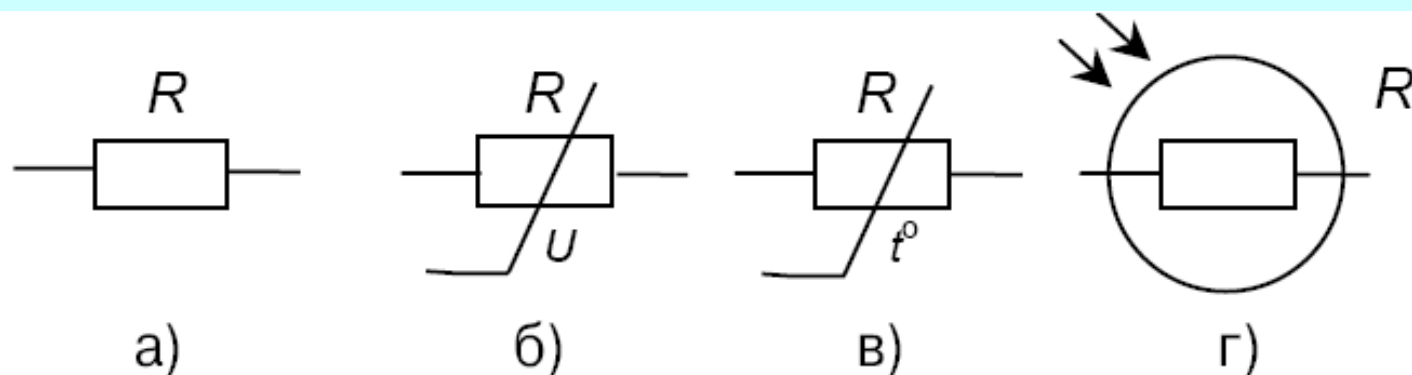


Рис 3.1 – Умовні позначення лінійного резистора (а), варистора (б), терморезистора (в), фоторезистора (г)

## 3.3 Варистори

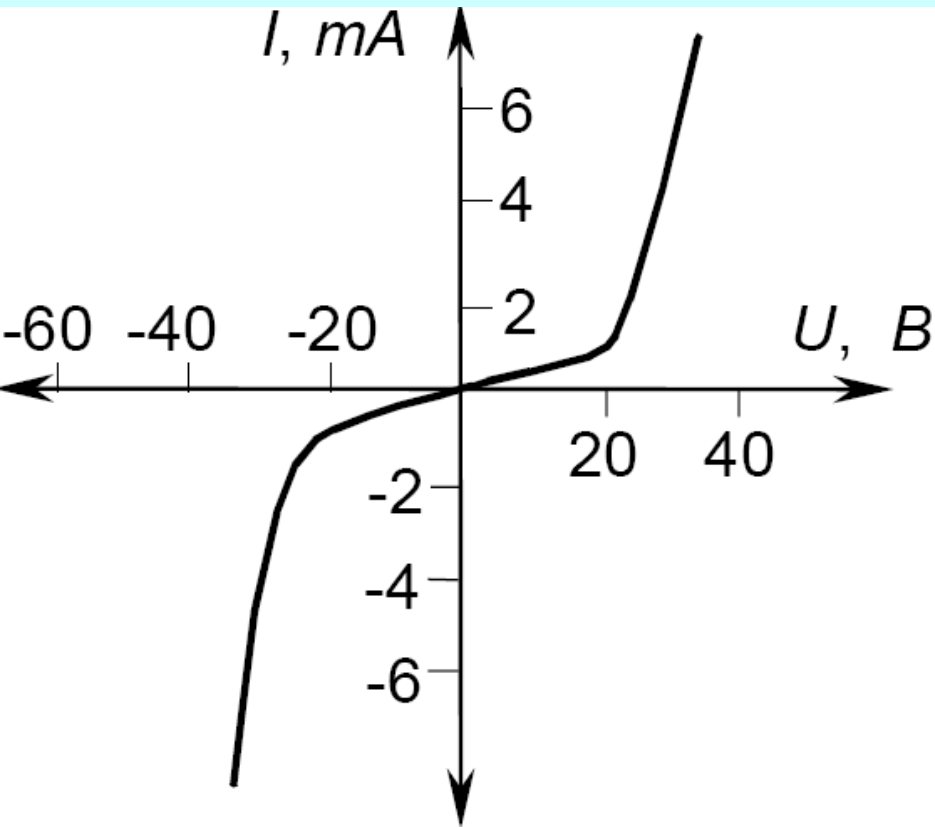


Рис. 3.2 – ВАХ варистора

**Нелінійні резистори (варистори)** - це такі НП резистори, у яких питомий опір залежить від прикладеної напруги, їхнє умовне позначення наведено на рис. 3.1,6. Варистор має нелінійну симетричну ВАХ, яку показано на рис. 3.2.

Один з основних параметрів варистора - коефіцієнт нелінійності  $\lambda$ , який визначається відношенням статичного опору варистора  $R_{ст.}$  до його динамічного опору  $R_{д.}$

$$\lambda = \frac{R_{cm}}{R_d} = \frac{U}{I} : \frac{dU}{dI} = const$$

де  $U, I$  - напруга на варисторі та струм через нього.

Зазвичай  $\lambda = 2, 6$ .

## 3.4 Терморезистори

Варистори використовують як обмежувачі напруги для захисту НП приладів від короткочасних перенапруг.

Також існують НП резистори, опір яких різко залежить від температури навколишнього середовища. Це - **терморезистори**. їхнє умовне позначення наведено на рис. 3.1,в.

Терморезистори поділяються на термістори, у яких із зростанням температури опір зменшується, та позистори, у яких із зростанням температури опір зростає (виконуються на основі сегнетоелектриків). Залежність опору терморезистора від температури визначається експоненціальним законом:

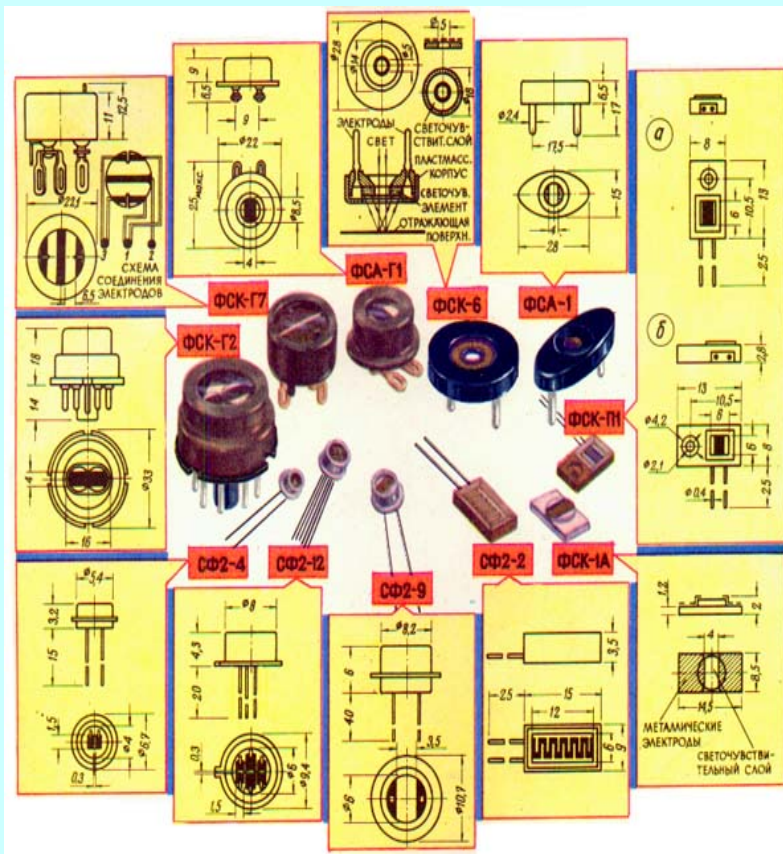
$$R_m = ke^{\beta/T}$$

де  $k$ ,  $\beta$  - коефіцієнти, залежні від конструктивних розмірів та концентрації домішок у НП відповідно;  $T$  - абсолютна температура.

# 3.5 Фоторезистори

Терморезистори (термістори, позистори) використовуються як датчики температури у системах регулювання температури, теплового захисту, протипожежної сигналізації, для термостабілізації режимів роботи електронних пристроїв. **Потужні позистори** дозволяють забезпечувати захист електрообладнання від струмів перевантаження (замість теплових реле).

**Фоторезистор** — елемент електричного кола, який змінює свій опір при освітленні. Принцип дії фоторезистора оснований на явищі фотопровідності — зменшенні опору напівпровідника при збудженні носіїв заряду світлом. Фоторезистори застосовуються у фотореле, які автоматично включають вуличне освітлення в сутінках, у турнікетах метро. У фоторезисторів (рис. 3.1,г) опір залежить від ступеню освітлення. Їх, в основному, застосовують у пристроях автоматики.



## 3.6. Напівпровідникові діоди

Напівпровідникові діоди - це НП прилади, виготовлені на основі двошарових НП структур і які використовують властивості  $p-n$  переходу. Широко розповсюджені випрямні діоди, дія яких базується на використанні вентильних властивостей  $p-n$  переходу. Структура та умовне позначення діода, його гідравлічна модель, а також ВАХ потужного випрямного діода наведені на рис. 3.3.

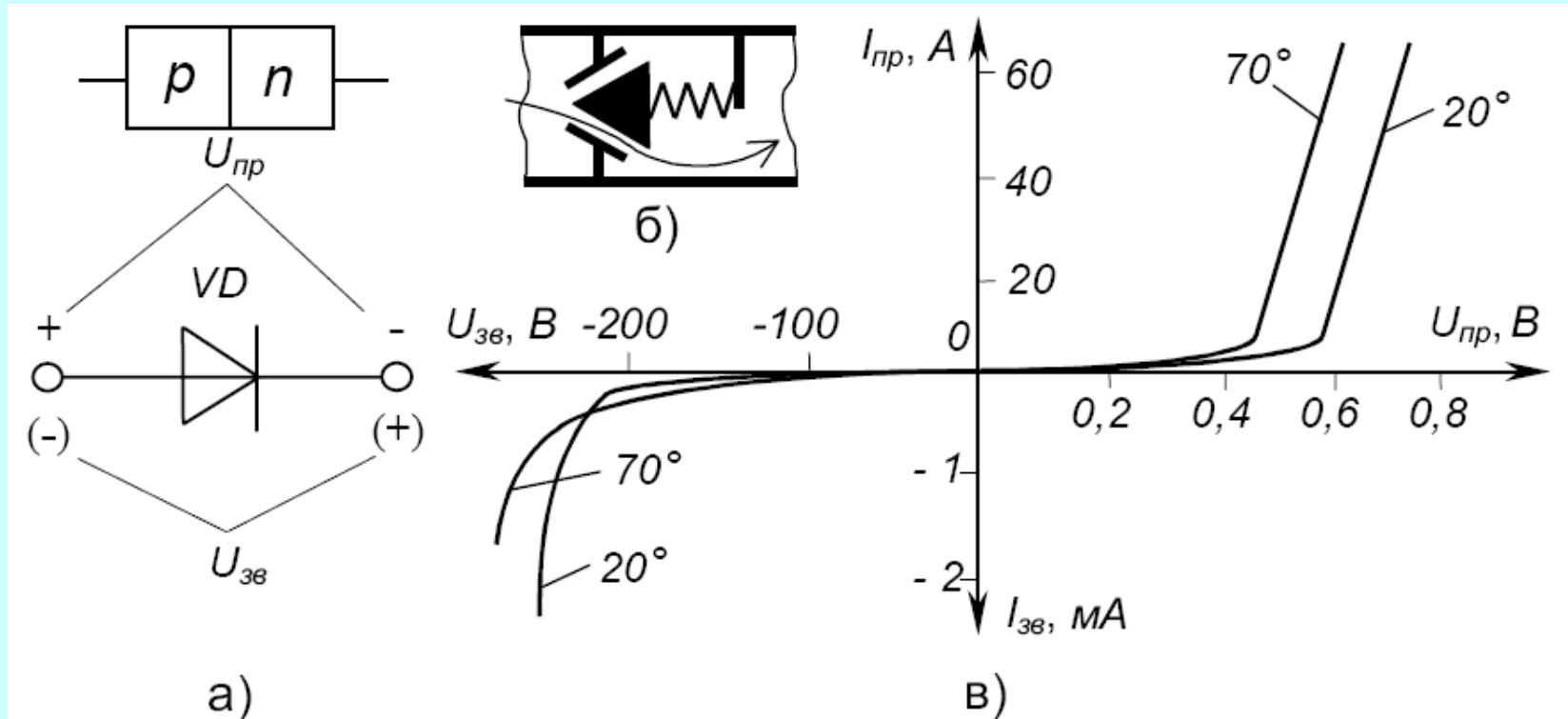


Рис 3.3 - Структура та умовне позначення (а), гідравлічна модель (б) і ВАХ (в) випрямного діода

## 3.6.1 Основні параметри випрямних діодів

Гідравлічний пружинний клапан (вентиль) може слугувати гідравлічною моделлю діода. Клапан має властивість одностороннього пропускання струменю рідини у залежності від напрямку тиску.

Випрямні діоди призначені для випрямлення змінного струму низької частоти.

Основними параметрами випрямних діодів є:

- граничний прямий струм діода  $I_{пр}$  - максимально допустиме середнє значення струму через діод у прямому напрямку за визначених умов охолодження, у сучасних діодах  $I_{пр.мах} = (0,1- 3200) \text{ A}$ ;
- максимально допустимий прямий струм діода (імпульсний)  $I_{пр.мах}$  становить  $(10 - 50) \text{ A}$  ;
- прямий спад напруги, тобто середнє значення напруги на діоді при граничному прямому струмі  $I_{пр}$ , для діодів з кремнію становить  $(0,6 - 1,0) \text{ В}$ ;
- максимально допустима зворотна напруга  $U_{зв}$ , що дорівнює максимально допустимому амплітудному значенню зворотної напруги, яке не призводить до виходу з ладу приладу за визначених умов охолодження,  $U_{звмах} = (50- 10000) \text{ В}$ .



### 3.7 Схема випрямлення напруги.

Виготовляються випрямні діоди переважно із кремнію (у перспективі - із арсеніду галію, як більш термостійкого). Найпростіша схема випрямлення напруги змінного струму із застосуванням випрямного діода наведена на рис. 3.4. Тут діод є автоматичним ключем, замкнений чи розімкнений стан якого визначається полярністю прикладеної до нього напруги.

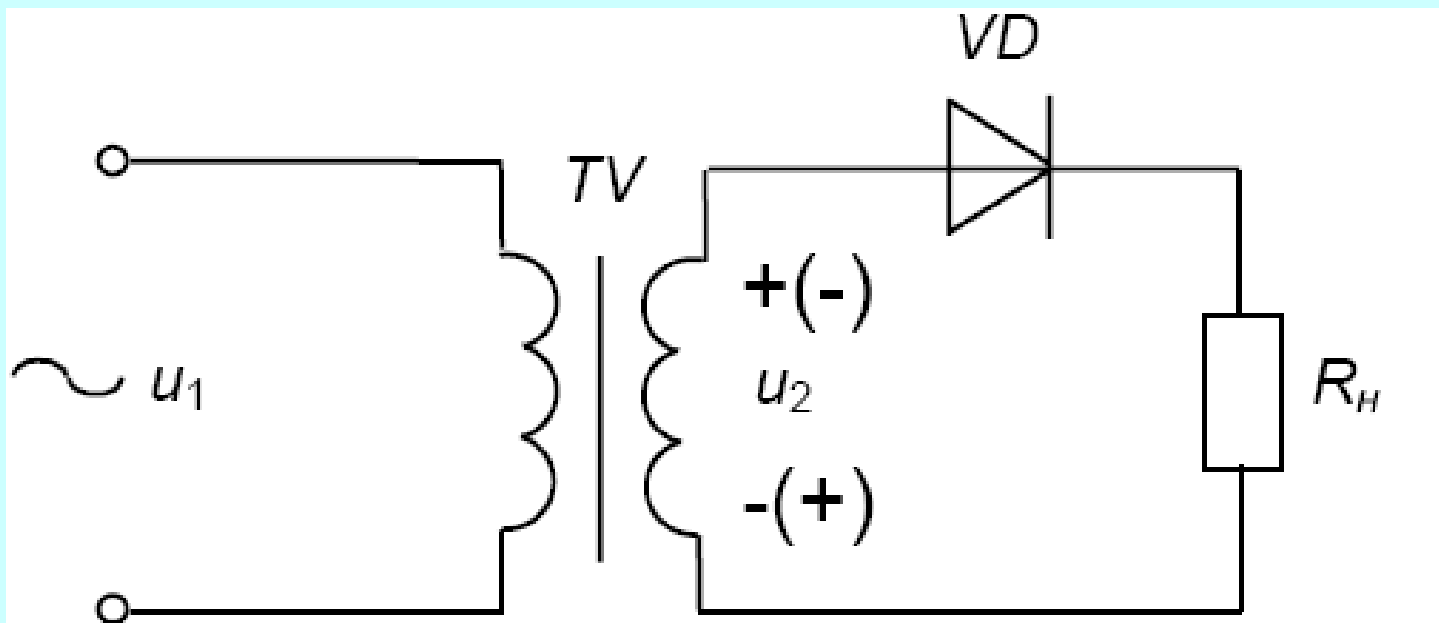


Рис. 3.2.4 – Найпростіша схема випрямлення напруги

## **Діоди Шоттки.**

Діодами Шоттки називають діоди, у яких використовується не *p-n* перехід, а перехід між напівпровідником і металом (молібденом або алюмінієм). Перехід, аналогічний до *p-n* переходу, виникає тут, наприклад, для напівпровідника *p*-типу за рахунок переміщення електронів із напівпровідника у метал. Іони донорної домішки створюють у приграничному шарі позитивний потенціал, через що виникає контактна різниця потенціалів. При подачі зовнішньої напруги такий перехід веде себе аналогічно до *p-n* переходу. Але пряме падіння напруги на ньому значно менше, оскільки одним з матеріалів переходу є метал з малим опором. За рахунок відсутності проникнення дірок з металу у напівпровідник швидкодія діодів Шоттки також значно вища, ніж у звичайних діодів, бо відсутнє розсмоктування носіїв у металі при зміні полярності зовнішньої напруги. Тому вони можуть працювати на частотах до десятків гігагерц.

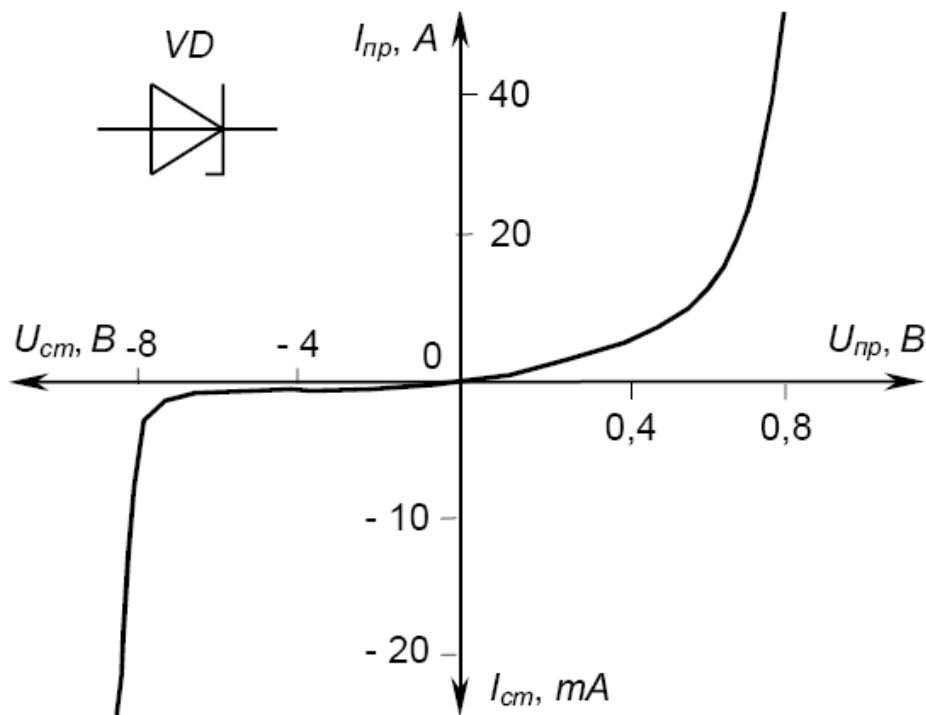


Рис. 2.5 – Умовне позначення та ВАХ стабілітрона

Завдяки меншій прямій напрузі (близько 0,3 В) к.к.д. приладу при пропусканні великих струмів (у силових вентилях) значно вищий, ніж у звичайних кремнієвих напівпровідникових діодів.

Діоди Шоттки знаходять широке розповсюдження як у пристроях інформаційної електроніки, так і у силових.

НП діод, на якому напруга в зоні електричного пробою майже не залежить від струму, називається **стабілітроном**. Як постає з ВАХ, наведеної на рис. 3.5, у зоні пробою напруга на стабілітроні майже не залежить від струму через нього  $I_{ст}$ .

# Електроніка і мікропроцесорна техніка

Лекція №4

**Напівпровідникові прилади.**

# План.

- 4.1. Стабілітрон.
- 4.2. Тунельний діод.
- 4.3. Високочастотні діоди.
- 4.4. Імпульсні діоди.
- 4.5. Фотодіоди і світлодіоди.
- 4.6. Побудова і принцип дії транзистора.

## 4.1 Стабілітрон.

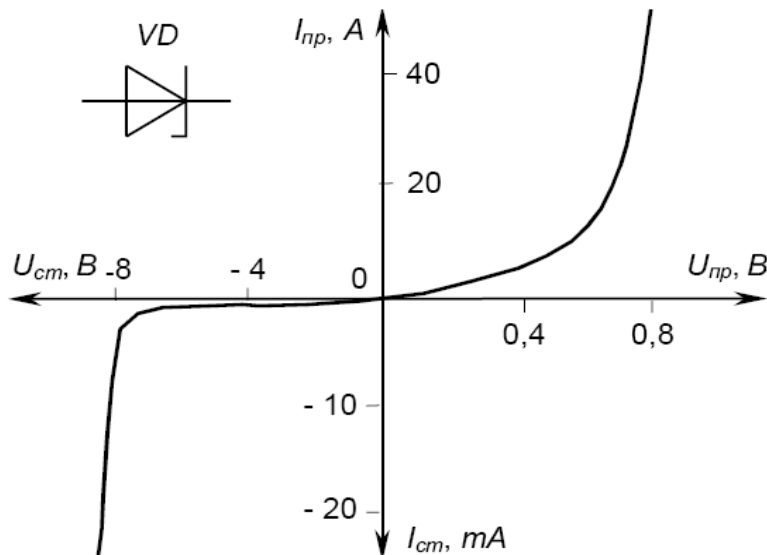


Рис.4.1 – Умовне позначення і ВАХ стабілітрона

НП діод, на якому напруга в зоні електричного пробою майже не залежить від струму, називається **стабілітроном**. Як видно з ВАХ, наведеної на рис. 4.5, у зоні пробою напруга на стабілітроні майже не залежить від струму, що протікає через нього  $I_{CT}$

Стабілітрони використовують для стабілізації напруги. Щоб запобігти тепловому пробою, їхня конструкція забезпечує ефективне відведення тепла від кристалу. **Основними параметрами стабілітрона є:**

- напруга стабілізації  $U_{cm}$ , що становить від 1 до 1000В;
- динамічний опір на ділянці стабілізації (характеризує зміну величини напруги на приладі зі змінами струму крізь нього), що складає від одиниць до десятків Ом;
- мінімальний струм стабілізації  $I_{cm.min}$  - мінімальний струм, при якому прилад гарантовано знаходиться в режимі стабілізації, складає одиниці міліампер;
- максимальний струм стабілізації  $I_{cm.max}$  - максимально допустимий струм через прилад, досягає (0,02 , 1,5) А.

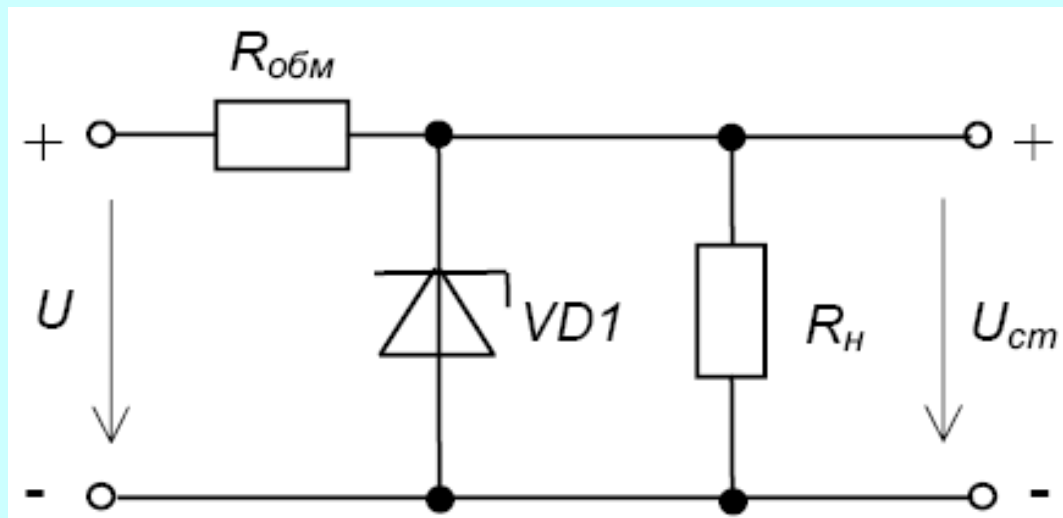


Рисунок 4.2 - Схема стабілізації

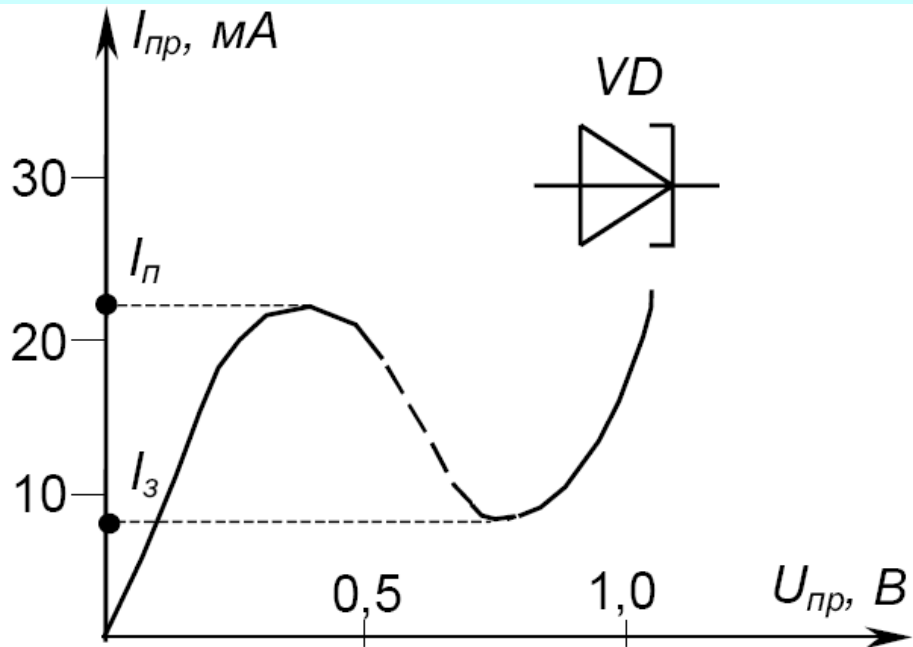


Рис.4.3 – Умовне позначення і ВАХ тунельного діода

## 4.2 Тунельний діод

Тунельний діод - це НП прилад, у якого специфічний тунельний ефект призводить до появи на ВАХ при прямій напрузі ділянки негативної провідності штрихова лінія на рис. 4.3

## Основними параметрами тунельного діода є:

- струм піку  $I_n$ , що складає (0,1 , 100) мА;
- відношення струму піку  $I_n$  до струму западини  $I_z$ .

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

### 4.3 Високочастотні діоди

Високочастотні діоди призначені для роботи на частотах до сотень мегагерц, де особливе значення відіграє інерційність діода, пов'язана з процесами накопичення зарядів у зоні  $p-n$  переходу при відкриванні діода та розсмоктування зарядів при його закриванні (при утворенні  $p-n$  переходу, як зони, вільної від рухомих носіїв заряду). Необхідно також враховувати власну ємність діода - як структури - шари НП, розділені зоною  $p-n$  переходу з великим опором, утворюють конденсатор. Все це призводить до того, що зі збільшенням частоти значення прямого і зворотного струмів через діод стають однаковими і він втрачає властивість односторонньої провідності.



## 4.4 Імпульсні діоди

Імпульсні діоди використовують як ключові елементи в імпульсних пристроях. Фактично – це є різновид високочастотних діодів, бо вони також мають малу інерційність, що забезпечує малу тривалість перехідних процесів при замиканні та розмиканні ключа. Кінечне значення часу накопичення носіїв у зоні  $p-n$  переходу при переході діода у провідний стан після подачі на нього прямої напруги - при замиканні ключа призводить до того, що опір ключа від великого значення до малого змінюється не миттєво. Наслідком є затягування фронту імпульсу напруги на навантаженні. При наступній різкій подачі на діодний ключ зворотної напруги, за рахунок розсмоктування зарядів з зони  $p-n$  переходу, змінюється лише напрямок протікання струму через діод. На навантаженні маємо викид напруги зворотної полярності з амплітудою, що дорівнює амплітуді імпульсу. І тільки через деякий час - час відновлення запірних властивостей - струм спадає до нуля (вірніше - до значення теплового зворотного струму  $p-n$  переходу) ключ розмикається.

## 4.5 Фотодіоди і світлодіоди

**Фотодіоди** - фотоелектричні прилади з внутрішнім фотоефектом, який полягає у тому, що під дією світлової енергії відбувається іонізація атомів основної речовини та домішки. Як наслідок - струм при зворотному вмиканні зростає.

**Світлодіоди** - перетворюють енергію електричного поля в нетеплове оптичне випромінювання. При протіканні струму через діод з арсеніду галію рекомбінація носіїв заряду супроводжується не тільки виділенням тепла, як, наприклад, у кремнієвого діода, а ще й квантів світла. Ці прилади струмові - для їхньої роботи необхідно задавати певне значення струму через прилад. Вони бувають червоного, зеленого, жовтого та синього свічення. За розмірів з сірникову головку вони мають потужність до 5 Вт за струму до 1,5 А при прямій напрузі від 2,8 до 12 В та інтенсивності випромінювання до 200 лм.

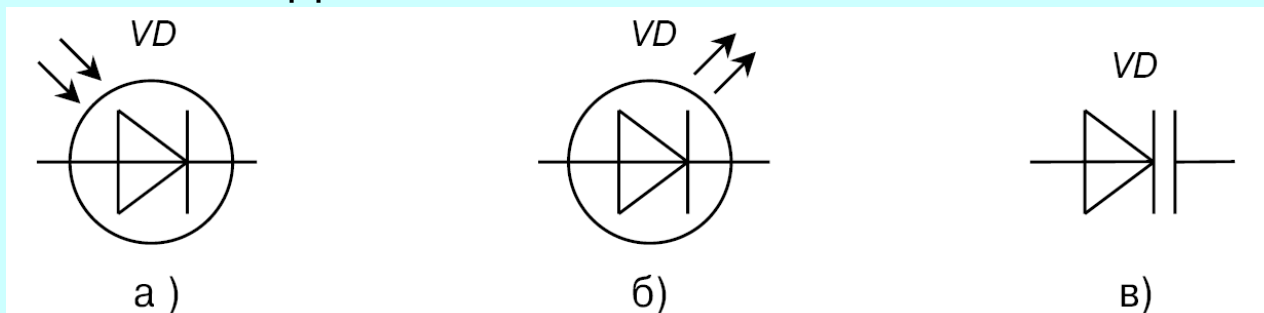


Рис.4.4 – Умовне позначення фотодіода (а), світлодіода (б), варикапа (в)

## 4.6 Побудова і принцип дії транзистора

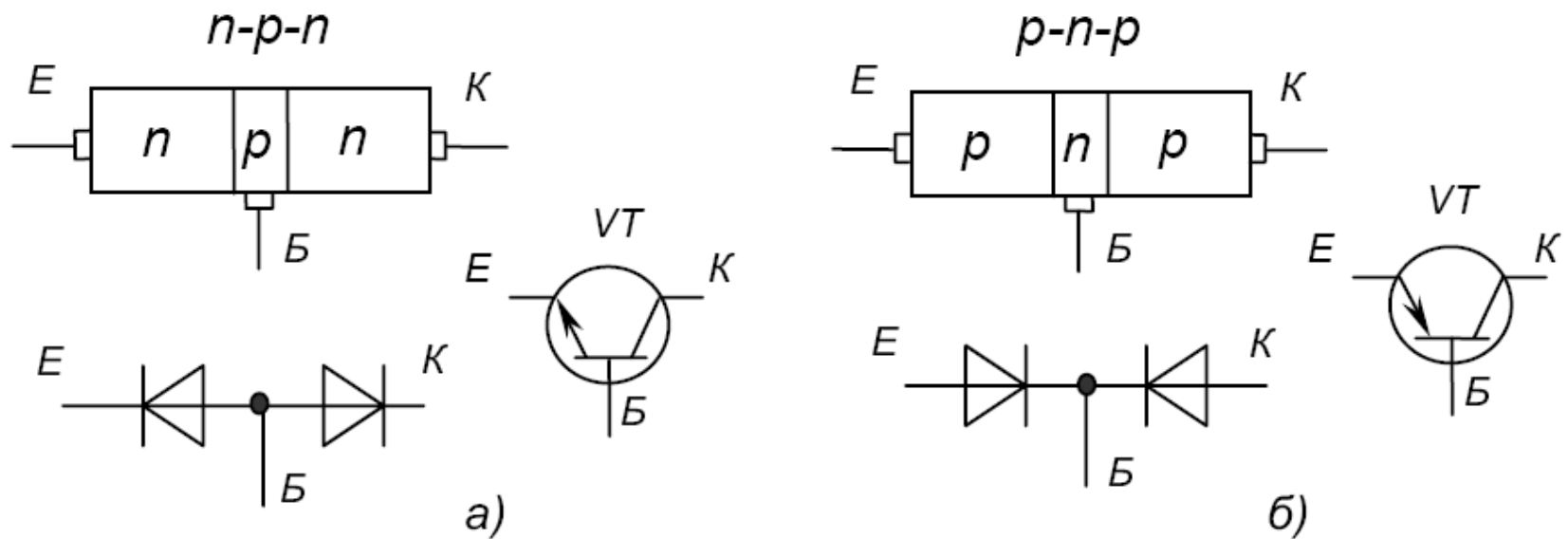


Рис. 4.4 – Схематична побудова та умовне позначення транзисторів *n-p-n* (а) та *p-n-p* (б) типів

**Транзистором** - називається електроперетворювальний НП прилад, який має один або декілька *p-n* переходів, три або більше виводів і здатний підсилювати потужність електричного сигналу.

Транзистори з двома *p-n* переходами і називаються **біполярними**. Термін «біполярний» підкреслює, що процеси в цих транзисторах пов'язані з взаємодією носіїв заряду двох типів: електронів і дірок.

## 4.6 Побудова і принцип дії транзистора

Для виготовлення транзисторів використовують германій і частіше кремній. Два  $p-n$  переходи створюють за допомогою тришарової структури з передуюванням шарів, що мають електронну та діркову електропровідності.

У відповідності до чередування шарів з різними типами електропровідності біполярні транзистори поділяються на два класи:  $n-p-n$  та  $p-n-p$  типу.

Центральний шар біполярних транзисторів має назву «**база**». Зовнішній лівий, що є джерелом носіїв заряду (електронів чи дірок) і, головним чином, створює струм приладу, називається «**емітером**». Правий зовнішній шар, що приймає заряди від емітера, називається «**колектором**». На перехід **емітер-база** напруга подається у прямому напрямку, тому, навіть при незначній напрузі, через перехід тече великий струм. На перехід **колектор-база** напруга подається у зворотному напрямку. Зазвичай її значення на декілька порядків перевищує значення напруги на переході емітер-база.

# Електроніка і мікропроцесорна техніка

## Лекція №6 **Транзистори.**

# План.

- 6.1 Основні режими роботи біполярного транзистора.
- 6.2 Параметри схеми вмикання транзистора.
- 6.3 Вихідна динамічна характеристика транзистора.
  - 6.3.1 Режими ХХ і КЗ.
  - 6.3.2 Аналіз ВАХ.
- 6.4 Коефіцієнт насичення.
- 6.5 Складені транзистори.
  - 6.5.1 Схема Дарлінгтона.
  - 6.5.2 Схема Шиклаї.
- 6.6 Одноперехідний транзистор.

## 6.1 Основні режими роботи біполярного транзистора

Незалежно від схеми вмикання біполярного транзистора він може працювати у трьох основних режимах, що визначаються полярністю напруги на емітерному  $U_E$  та колекторному  $U_K$  переходах:

- режим відтинання ( $U_E < 0, U_K < 0$ );
- активний режим ( $U_E > 0, U_K < 0$ );
- режим насичення ( $U_E > 0, U_K > 0$ ).

**У режимі насичення**, який настає при великому відпiрному вхiдному сигналі, колекторний та емітерний переходи зміщені у прямому напрямку, транзистор повністю відкритий і його струм  $I_{mp} = U_3/R_H$ , тобто залежить тільки від опору навантаження  $R_H$  та зовнішньої напруги  $U_3$  (вихідний опір транзистора знижується до дуже малої величини).

**У режимі відтинання**, що настає з поданням до вхiдного кола транзистора сигналу, який забезпечує повне запирання приладу, обидва переходи зміщені у зворотному напрямку (закритий стан транзистора). При цьому у вихідному колі протікає струм, що є зворотним струмом емітерного та колекторного переходів, а опір транзистора високий.

**Активний режим** є проміжним. У ньому емітерний перехід зміщений у прямому напрямку, а колекторний - у зворотному. Транзистор у цьому режимі працює як підсилювач сигналу: змінам вхiдного сигналу тут відповідають пропорційні зміни вихідного. Режим роботи, у якому транзистор тривалий час знаходиться в режимі відтинання або насичення називається **ключовим режимом**.

## 6.2 Параметри схеми вмикання транзистора

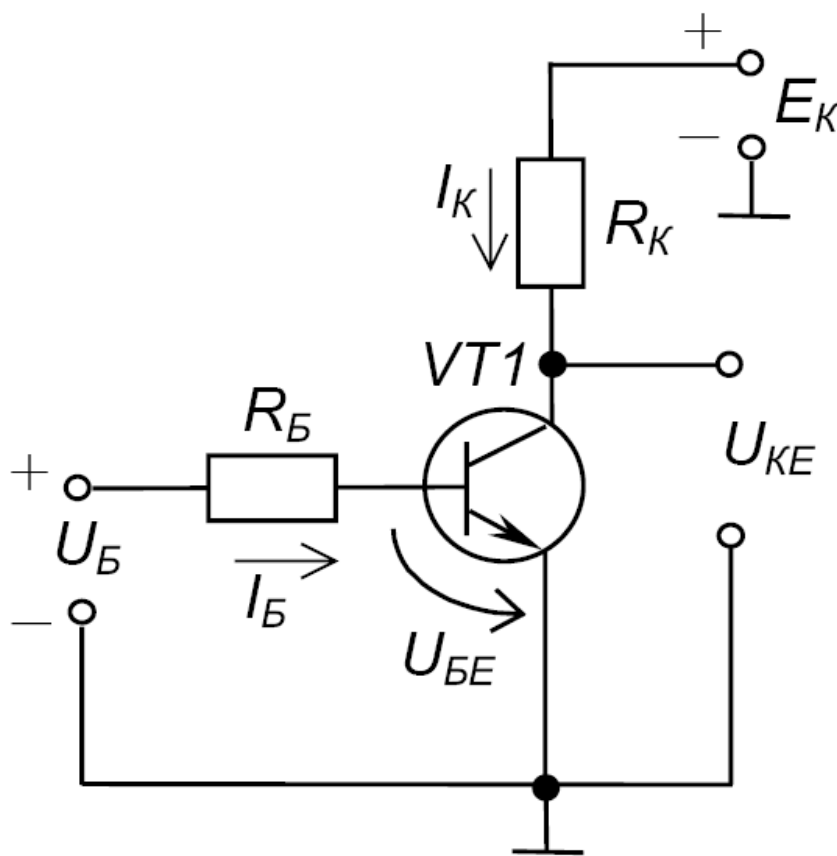


Рис.6.1 – Схема вмикання транзистора з СЕ

$$I_B = \frac{U_B - U_{BE}}{R_B}; \quad (6.1)$$

$$I_K = \beta I_B; \quad (6.2)$$

$$U_{вих} = U_{KE} = E_K - I_K R_K, \quad (6.3)$$

де  $R_B$ ,  $R_K$  – базове та колекторне навантаження,  $U_{KE}$  – напруга між колектором та емітером,  $E_K$  – е.д.с. джерела живлення.

Рівняння (6.3) характеризує зв'язок вихідної напруги з вхідним струмом і називається *динамічною вихідною характеристикою транзистора* або *лінією навантаження*.



## 6.3 Вихідна динамічна характеристика транзистора

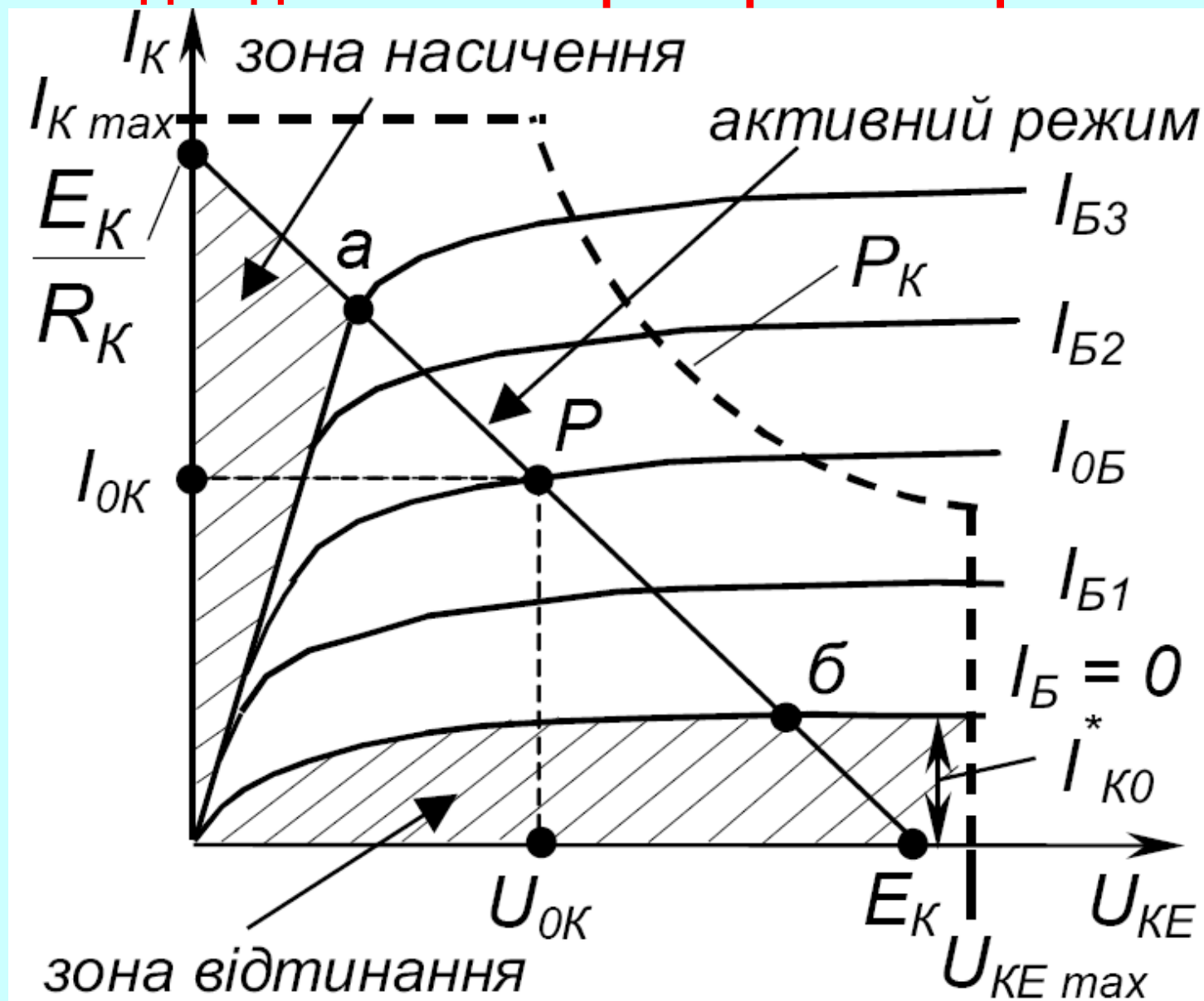


Рисунок 6.2 - Вихідна динамічна характеристика транзистора

### 6.3.1 Режими ХХ і КЗ

Для режиму Х.Х.:

якщо  $I_K = 0$ , то  $U_{KE} = E_K$ .

Для режиму К.З.:

якщо  $U_{KE} = 0$ , то  $I_K = \frac{E_K}{R_K}$ .

### 6.3.2 Аналіз ВАХ

Точки перетину лінії навантаження з будь-якою ВАХ називаються робочими точками і відповідають певним значенням вихідного струму та вихідної напруги. Якщо, наприклад,  $I_B = I_{0B}$  то цьому відповідає точка Р, для якої  $U_{вих} = U_{0K}$ ,  $I_{вих} = I_{0K}$ .

Коли робоча точка лежить у межах відрізка **аб**, транзистор працює у **активному (підсилювальному) режимі**, де змінам вхідного сигналу відповідають пропорційні зміни вихідного.

Якщо робочу точку намагатися задати нижче точки б, транзистор переходить до **режиму відтинання**, якому відповідає власне точка б (транзистор тут відтинає протікання струму у силовому колі). Якщо ж робочу точку задавати вище точки а - транзистор знаходиться у **режимі насичення**, якому і відповідає точка а.

**Режимом насичення** називають такий режим, коли подальшому збільшенню вхідної дії не відповідає збільшення вихідної реакції, що досягла деякого значення.

## 6.4 Коефіцієнт насичення

У режимі насичення через транзистор протікає струм:

$$I_{KH} = E_K / R_K$$

Для того щоб транзистор увійшов до режиму насичення, необхідно забезпечити струм бази не менший за  $I_{BH} = I_{KH} / \beta$ . Ступінь насичення характеризується коефіцієнтом насичення:

$$S = \frac{I_B}{I_{BH}} > 1, \text{ (тому що тут } I_B > I_{BH}\text{).}$$

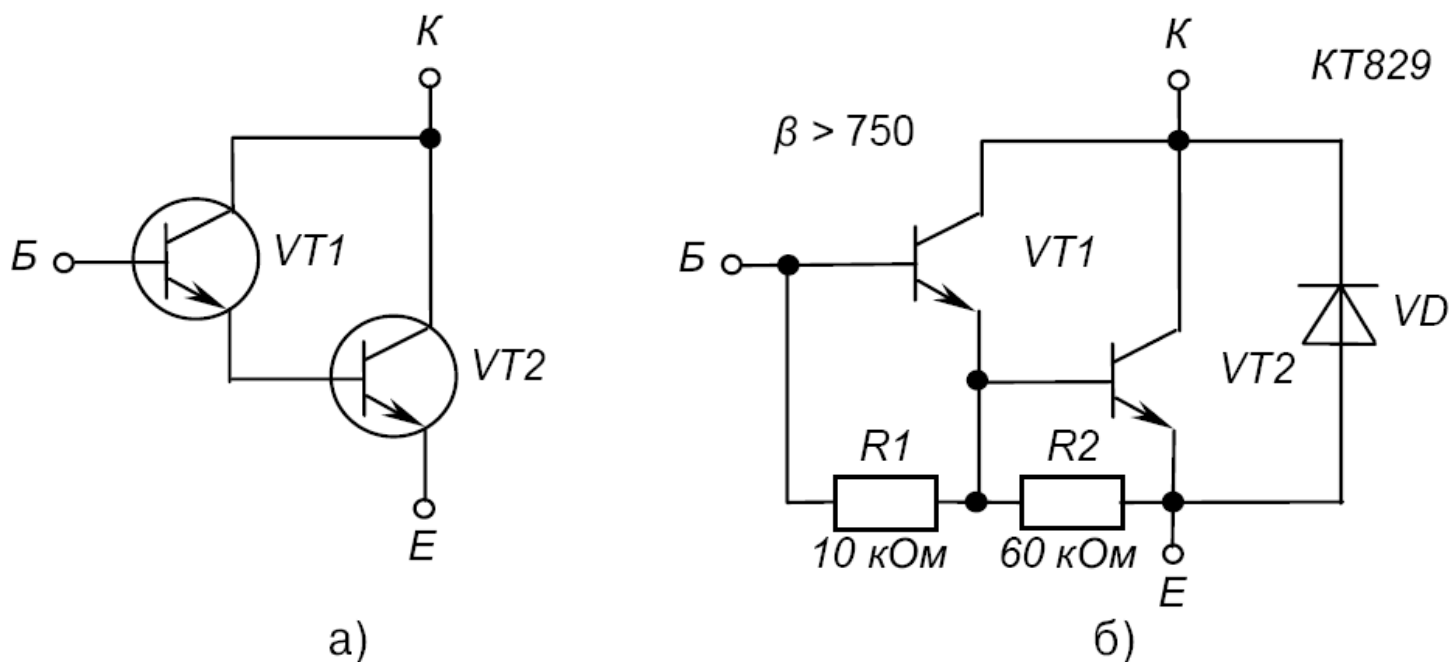
У активному режимі  $S < 1$ .

## 6.5 Складені транзистори

Для значного підвищення коефіцієнта підсилення за струмом застосовують комбінації з двох і більше транзисторів, з'єднаних так, що у цілому конструкція, як і одиночний транзистор, має три зовнішні виводи і називається складеним транзистором.

### 6.5.1 Схема Дарлінгтона.

Для значного підвищення коефіцієнта підсилення схема складеного транзистора, виконаного на транзисторах одного типу провідності і називається **схемою Дарлінгтона**.



**Рис.6.2 – Складений транзистор за схемою Дарлінгтона**

Тут вхідний струм є струмом бази першого транзистора. Після підсилення останнім у  $\beta$  разів він подається у базу другого транзистора, яким підсилюється ще в  $\beta$  разів. У результаті загальний коефіцієнт підсилення за струмом становить  $\beta = \beta_1 \beta_2$ . Таку схему широко застосовують як у дискретному виконанні, так і в інтегральному. На рис. б наведено еквівалентну схему потужного транзистора КТ829, що має  $\beta \geq 750$ .

Тут резистори забезпечують відведення від бази зворотного струму колекторних переходів, а діод захищає структуру від дії зворотної напруги.

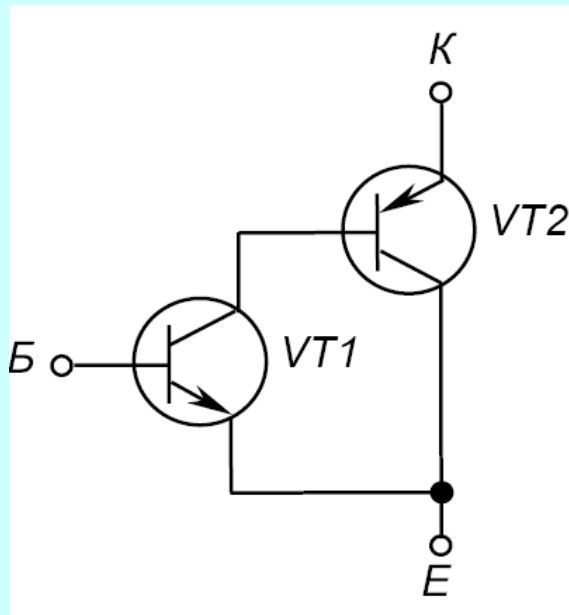


Рис.6.3 – Складений транзистор за схемою Шиклаї

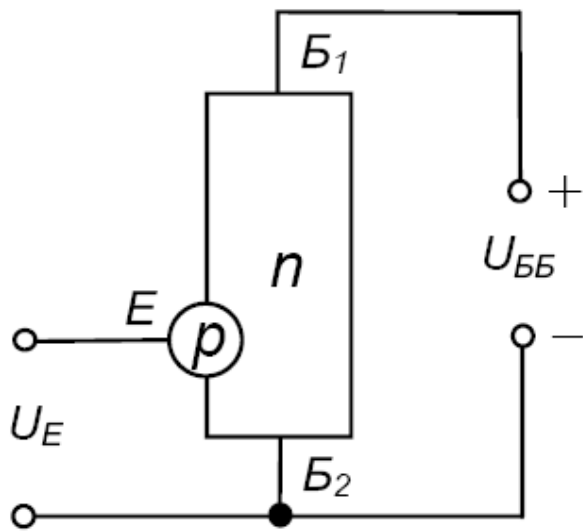
### 6.5.2 Схема Шиклаї.

Схема складеного транзистора, виконаного на транзисторах різного типу провідності - схема Шиклаї. Її особливістю є те, що тип провідності конструкції в цілому визначається типом провідності першого транзистора. Так, у даному разі ми маємо еквівалент транзистора *n-p-n* типу (незважаючи на те, що на виході встановлено транзистор *VT2 p-n-p* типу - його емітер є колектором, а колектор - емітером складеного транзистора).

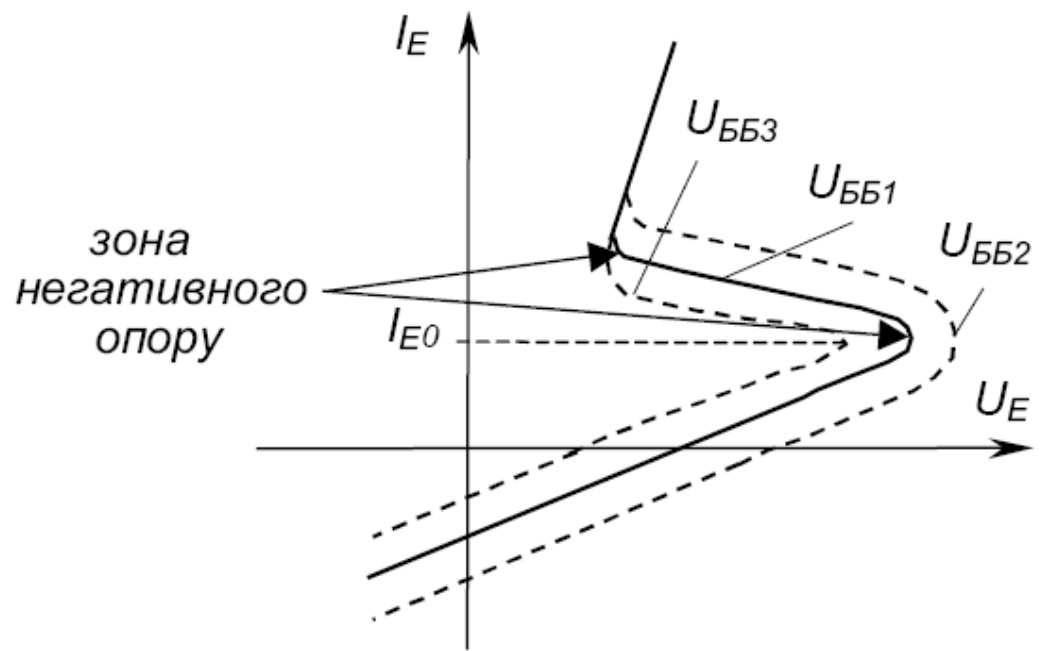
### 6.6 Одноперехідний транзистор

Одноперехідний транзистор або двобазовий діод - це НП прилад з одним *p-n* переходом.

Шарт *p*-типу має назву емітера, а зони монокристала по обидва боки емітера, що мають електронну провідність, називаються базами. Довжина нижньої бази  $B_2$ , набагато менша, ніж довжина верхньої бази  $B_1$ . Якщо до контактів базових зон підімкнути зовнішню напругу із зазначеною полярністю, то через обидві бази протікатиме невеликий струм - так званий струм зміщення.



а)



б)

Рис.6.4 – Одноперехідний транзистор: а) конструкція; б) вхідна ВАХ

Оскільки ділянка між базовими електродами має лінійний опір, то спад напруги на базових зонах пропорційний їхній довжині. Напруга на емітерному переході зумовлюється різницею потенціалів емітера та базової зони  $B_2$ . Якщо потенціал емітера не перевищує потенціалу бази  $B_2$ , то емітерний перехід зміщений у зворотному напрямку і через нього протікає невеликий зворотний струм. При зміщенні емітерного переходу у прямому напрямку емітерний струм зростає, і при певному його значенні / починається лавиноподібне зменшення опору бази  $B_2$  за рахунок проникнення носіїв заряду через p-n перехід.

# Електроніка і мікропроцесорна техніка

Лекція №7

**Польові транзистори.**

# План.

**7.1 Основні визначення.**

**7.2. Полюві транзистори з керуючим р-п переходом.**

**7.3. ВАХ.**

**7.4. СІТ-транзистори.**

**7.5. Полюві транзистори з ізольованим затвором (МДН-транзистори).**



## 7.2. Польові транзистори з керуючим р-п переходом

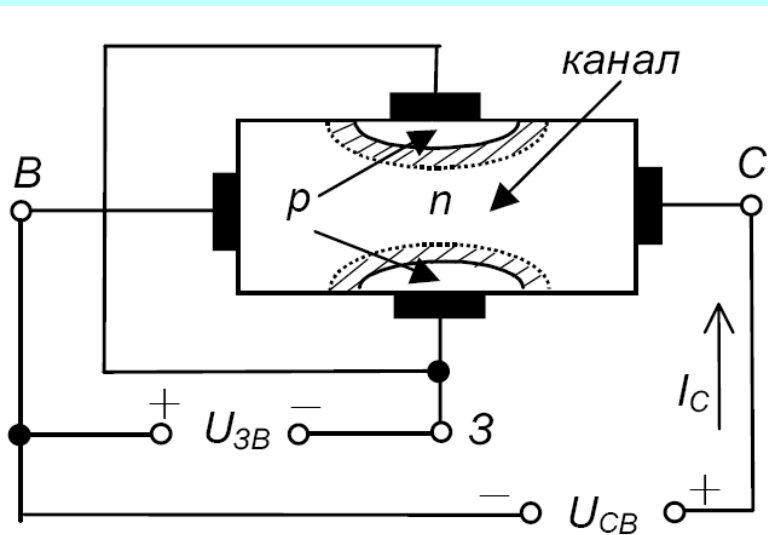


Рис.7.1 – ПТ з керуючим р-п

Канал протікання струму являє собою шар НП, наприклад, n-типу, вміщений між двома р-п переходами. Канал має контакти із зовнішніми електродами. Електрод, від якого починають рух носії заряду (електрони), називається витоком В, а електрод, до якого вони рухаються - стоком С. НП шари р-типу, що створюють із n-шаром два р-п переходи, виконані з більш високою концентрацією основних носіїв, ніж n-шар.

Обидва шари електрично з'єднані і мають зовнішній електрод, що називається затвором З. Вихідна напруга подається між стоком і витоком ( $U_{СВ}$ ), а вхідна напруга (керуюча) - між витоком та затвором ( $U_{ВЗ}$ ), причому на затвор подається зворотна щодо витоку напруга. Принцип дії такого ПТ полягає у тому, що зі змінами вхідної напруги  $U_{СВ}$  змінюється ширина р-п переходів, що являють собою ділянки НП, збіднені носіями зарядів (запирний шар). Оскільки р-шар має більшу концентрацію домішки, зміна ширини р-п переходів відбувається, за рахунок більш високоомного n-шару. При цьому змінюється переріз струмопровідного каналу, а отже і його провідність та вихідний струм приладу.

## 7.1 Основні визначення

До класу **уніполярних** належать транзистори, принцип дії яких ґрунтується на використанні носіїв заряду лише одного знаку (електронів або дірок). керування струмом у силовому колі уніполярних транзисторів здійснюється зміною під впливом електричного поля провідності каналу, через який протікає струм. Тому уніполярні транзистори ще називаються **польовими** (ПТ).

Розрізняють ПТ з керуючим р-n переходом (із затвором у вигляді *p-n* переходу) та з ізольованим затвором. Останні, в свою чергу, поділяються на ПТ із вбудованим каналом та з індукованим каналом. ПТ з ізольованим затвором належать до різновиду **МДП-транзисторів**: конструкція «метал - діелектрик - ПП». Якщо як діелектрик використовують оксид кремнію: конструкція «метал - оксид - НП», ПТ називають відповідно **МОН транзистором**.

Характерною рисою ПТ є великий вхідний опір ( $10^{12} - 10^{14}$  Ом). Широкого розповсюдження ПТ набули завдяки високій технологічності у виробництві, стабільності характеристик і невеликій вартості за масового виробництва.

Рис. 7.2,б ілюструє зміну перерізу каналу під впливом лише напруги  $U_{CB}=0$  ( $U_{3B}=0$ ). Коли  $U_{3B}>0$ , через канал протікає струм. Внаслідок цього виникає розподілений по каналу спад напруги, що зростає у напрямку стоку. Сумарний спад напруги ділянки стік-витік дорівнює  $U_{CB}$ . Відповідно потенціали точок каналу вздовж нього неоднакові: зростають у напрямку стоку від нуля до  $U_{CB}$ . Потенціал точок р-шару відносно витоку визначається потенціалом затвора відносно витоку і у даному випадку дорівнює нулю. Зворотна напруга, прикладена до р-п переходів, зростає у напрямку витік-стік і р-п переходи розширюються у напрямку стоку. Це явище призводить до клиновидного зменшення перерізу каналу. Підвищення напруги і викликає збільшення спаду напруги у каналі і подальше зменшення його перерізу і провідності каналу. При певному значенні межі р-п переходів зникаються і опір каналу стає великим.



а) з каналом n-типу; б) з каналом р-типу;

Рис.7.3 – Умовні позначення ПТ з керуючим р-п переходом

Особливість цього транзистора полягає у тому, що на провідність каналу впливає як керуюча напруга  $U_{B3}$  так і напруга  $U_{CB}$ . На рис. 7.2,а зовнішню напругу прикладено лише у вхідному колі транзистора. Збільшення зворотної напруги на  $p-n$  переході призводить до зменшення провідності каналу за рахунок зменшення його перерізу (вздовж усього каналу). Та оскільки  $U_{CB}=0$ , вихідний струм  $I=0$ .

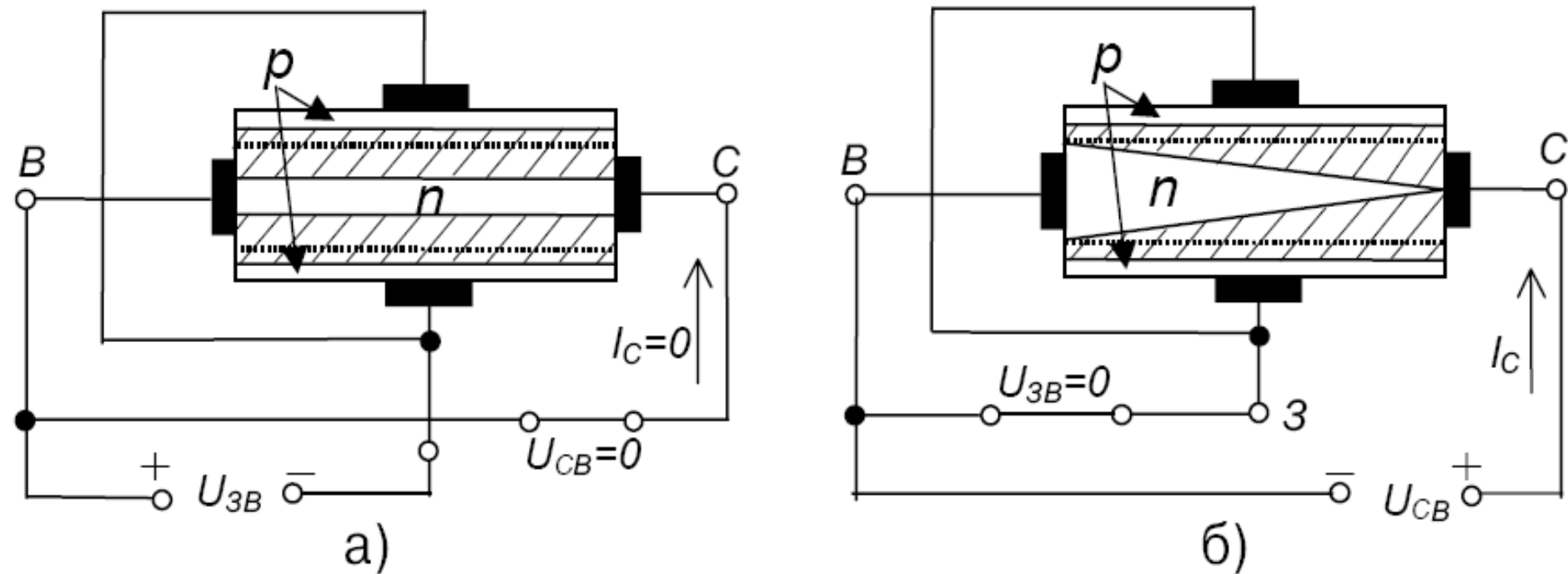


Рис.7.2 – Вплив напруги на провідність каналу з керуючим  $p-n$  переходом: а) при  $U_{CB}=0$ ; б)  $U_{B3}=0$

## 7.3. ВАХ

Роботу таких транзисторів пояснюють сім'ї ВАХ двох видів: стокові і стік-затворні. Стокові (вихідні) характеристики, наведені на рис. 7.4, показують залежність струму стоку від напруги стік-витік за фіксованої напруги затвор-витік:

$$I_C = f(U_{CB}) \Big|_{U_{ЗВ} = const.}$$

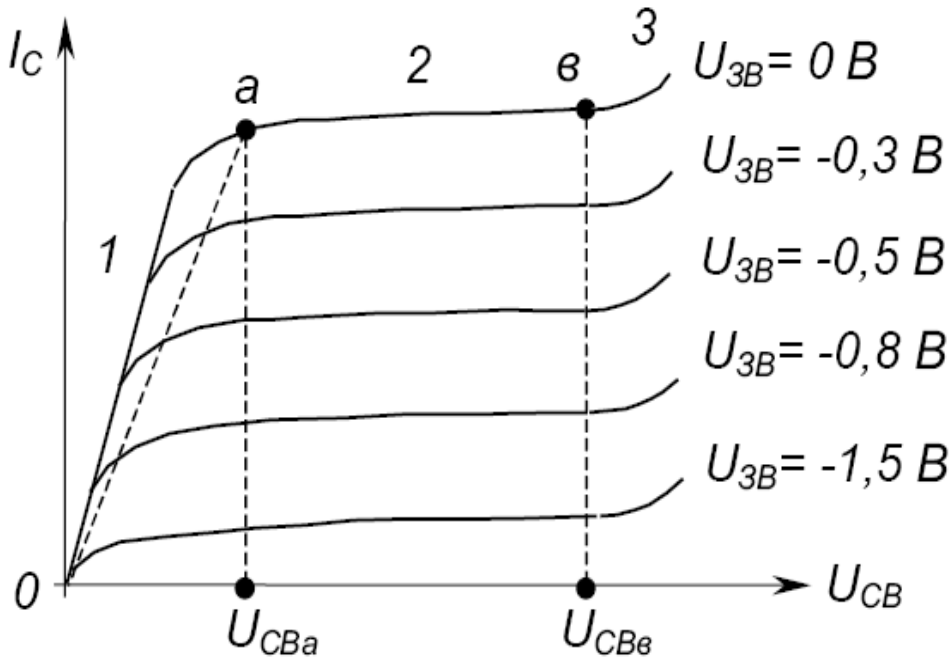


Рис.7.4 – Стокові ВАХ ПТ з керуючим р-п переходом

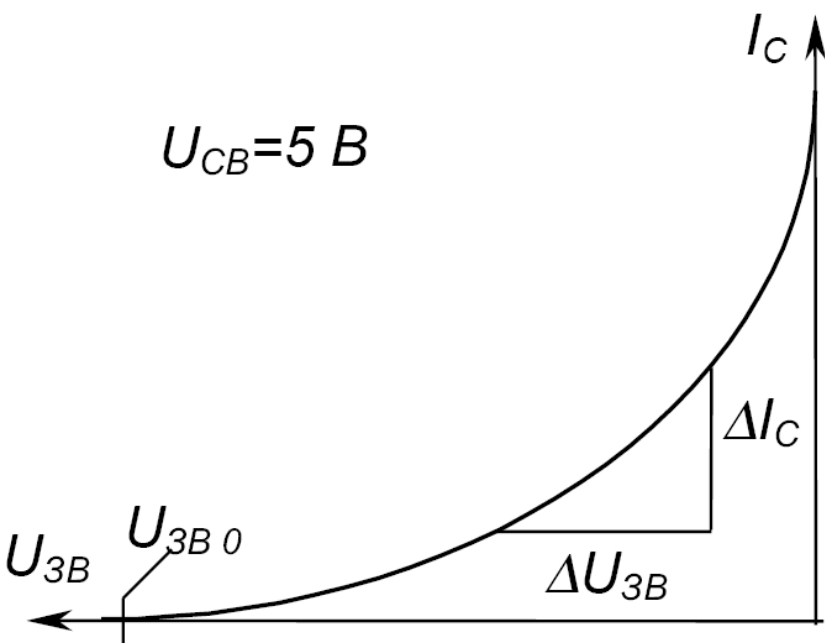
**На ділянці 1** (0а) маємо значну залежність  $I_C$  від вихідної напруги  $U_{CB}$ . Це неробоча ділянка для випадку використання приладу як підсилюючого елемента. Тут його використовують як керований резистор.

**На ділянці 2** (ав) залежність вихідного струму від вихідної напруги мала. Це робоча ділянка у режимі підсилення.

**Ділянка 3** відповідає пробою приладу. Точці а відповідає змикання р-п переходів.

Стік-затворні (передатні) ВАХ відображають залежність струму стоку від напруги затвор-витік за фіксованої напруги стік-витік:

$$I_C = f(U_{3B}) \Big|_{U_{CB} = const}$$



Параметри ПТ з керуючим  $p-n$  переходом:

— максимальне значення струму стоку  $I_{CМАХ}$ , сягає від десятків міліампер до одного ампера;

— максимальне значення напруги стік-витік  $U_{CBМАХ}$  (задають у 1,2 -1,5 рази меншим за напругу пробою ділянки стік-витік при  $U_{3B}=0$ ), становить до 1000 В;

— напруга відтиння  $U_{3B0}$ .

— внутрішній опір  $r_i = \frac{dU_{CB}}{dI_C} \Big|_{U_{3B} = const}$ ;

— крутизна стік-затворної характеристики  $S = \frac{dI_C}{dU_{3B}} \Big|_{U_{CB} = const}$ ;

— вхідний опір  $r_{вх} = \frac{dU_{3B}}{dI_3}$ , становить десятки мегаом.

## 7.4. СІТ-транзистори

У середині 70-х років минулого століття багаторічні дослідження - У. Шеклі (США) з 1940 р., Нішізава (Японія) з 1950 р. – завершилися створенням ПТ із статичною індукцією; СІТ-транзистора - ПТ з керуючим  $p-n$  переходом, що є твердотільним аналогом електронновакуумної лампи-тріода, у якої вихідна ВАХ при нульовому значенні сигналу керування за формою нагадує ВАХ  $p-n$  переходу. На відміну від площинної горизонтальної конструкції ПТ з керуючим  $p-n$  переходом, СІТ-транзистор має вертикальну конструкцію:  $p$ -шари затвору вводяться в  $n$ -шар вертикально. Таке виконання забезпечує роботу приладу при напругах до 2000 В й частотах до 500 кГц. А розміщення на одному кристалі великого числа елементарних транзисторів із наступним паралельним з'єднанням кількох тисяч елементарних структур забезпечує робочі струми до 500.

Крім роботи у режимі ПТ, цей транзистор може працювати і у режимі біполярного транзистора, коли на затвор подається позитивне зміщення і протікає струм керування. При цьому падіння напруги на приладі у відкритому стані значно зменшується.

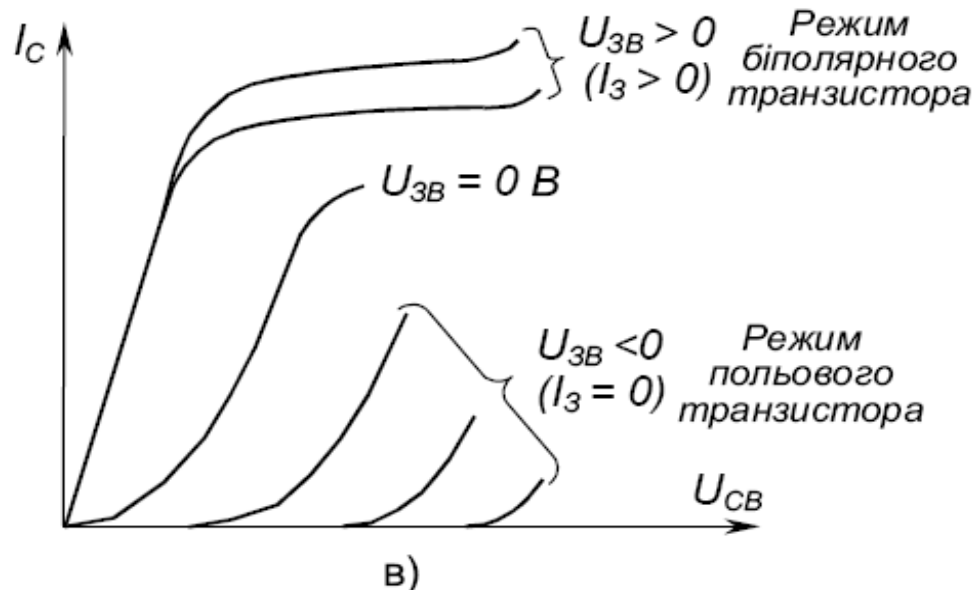
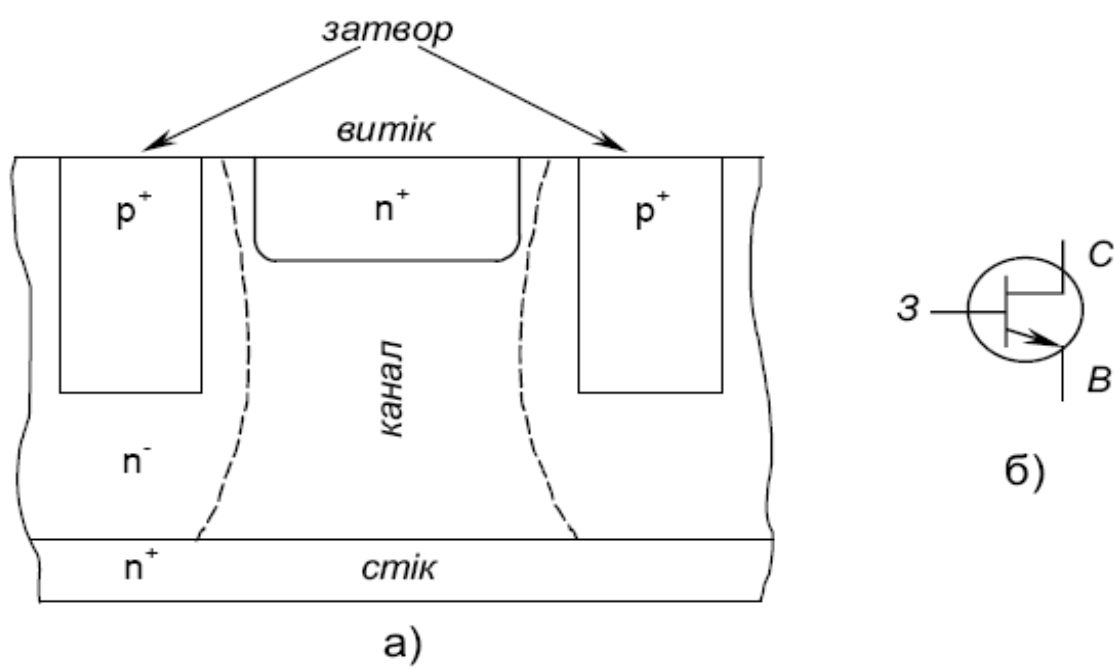
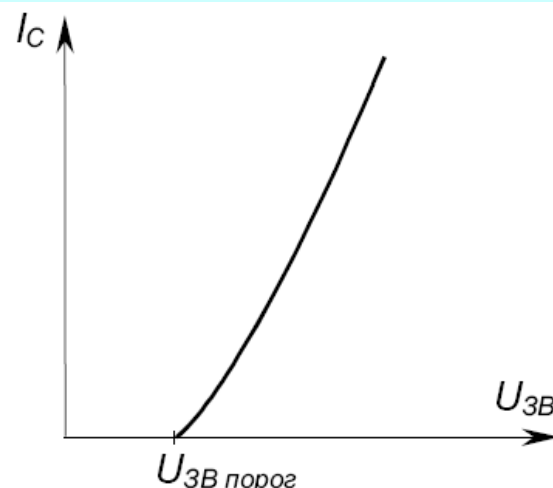
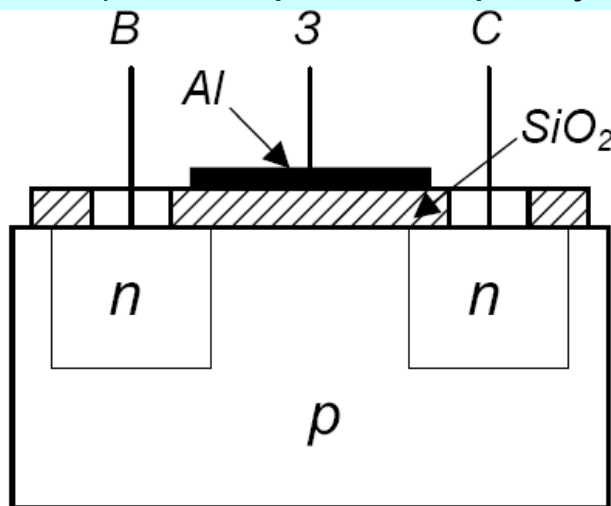


Рис.7.5 – Структура (а), умовне позначення (б) та вихідні ВАХ(в) n-канального СІТ-транзистора



## 7.5. Польові транзистори з ізольованим затвором (МДН-транзистори)

На відміну від ПТ з керуючим р-n переходом, у яких затвор має безпосередній електричний контакт із суміжною зоною струмопровідного каналу, у МДН транзисторів затвор, що являє собою, наприклад, алюмінієву плівку (Al), ізольований від зазначеної зони шаром діелектрика. Тому **МДН-транзистори** належать до класу ПТ з ізольованим затвором. Наявність діелектрика забезпечує високий вхідний опір цих транзисторів ( $10^{12}$ - $10^{10}$  Ом). Частіше як діелектрик використовують оксид кремнію (SiO<sub>2</sub>), і тоді ПТ називають МОН-транзистором (метал - оксид - НП). Такі транзистори бувають з вбудованим та індукованим каналами.



а)

б)

Рис. 7.6 – Конструкція (а) і стік-затворна характеристика (б) МОН-транзистора з індукованим каналом

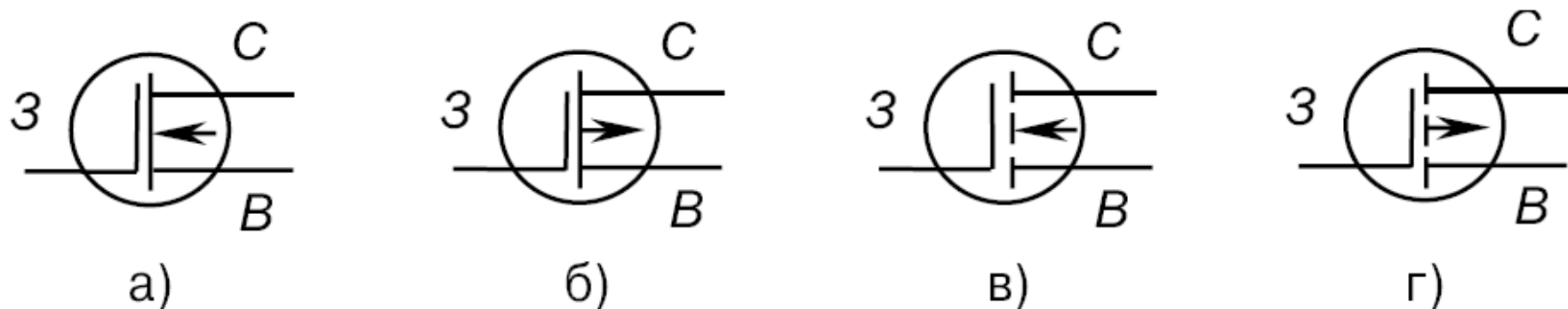


Рис. 7.7 – Умовні позначення МДН-транзисторів з каналами: вбудованим  $n$ -типу (а); вбудованим  $p$ -типу (б); індукованим  $n$ -типу (в); індукованим  $p$ -типу (г)

У ПТ з вбудованим каналом зони  $n$ -типу з'єднано перетинкою – тонким шаром  $n$ -типу. В результаті канал під дією напруги  $U_{зв}$  може як розширюватись, так і звужуватись (до повного змикання) залежно від знаку  $U_{зв}$ .

# Електроніка і мікропроцесорна техніка

## Лекція №8 **Тиристори.**

# План.

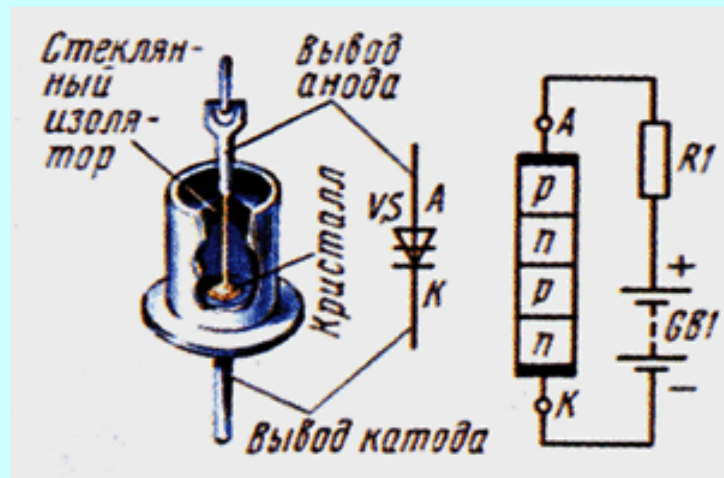
- 8.1 Основні визначення.
- 8.2. Диністори.
- 8.3. Принцип роботи диністора.
- 8.4. ВАХ диністора.
- 8.5. Параметри диністора.
- 8.6. Триністор (керований діод).
- 8.7. ВАХ триністора.
- 8.8. Схема вмикання триністора.
- 8.9. Однофазний регулятор.

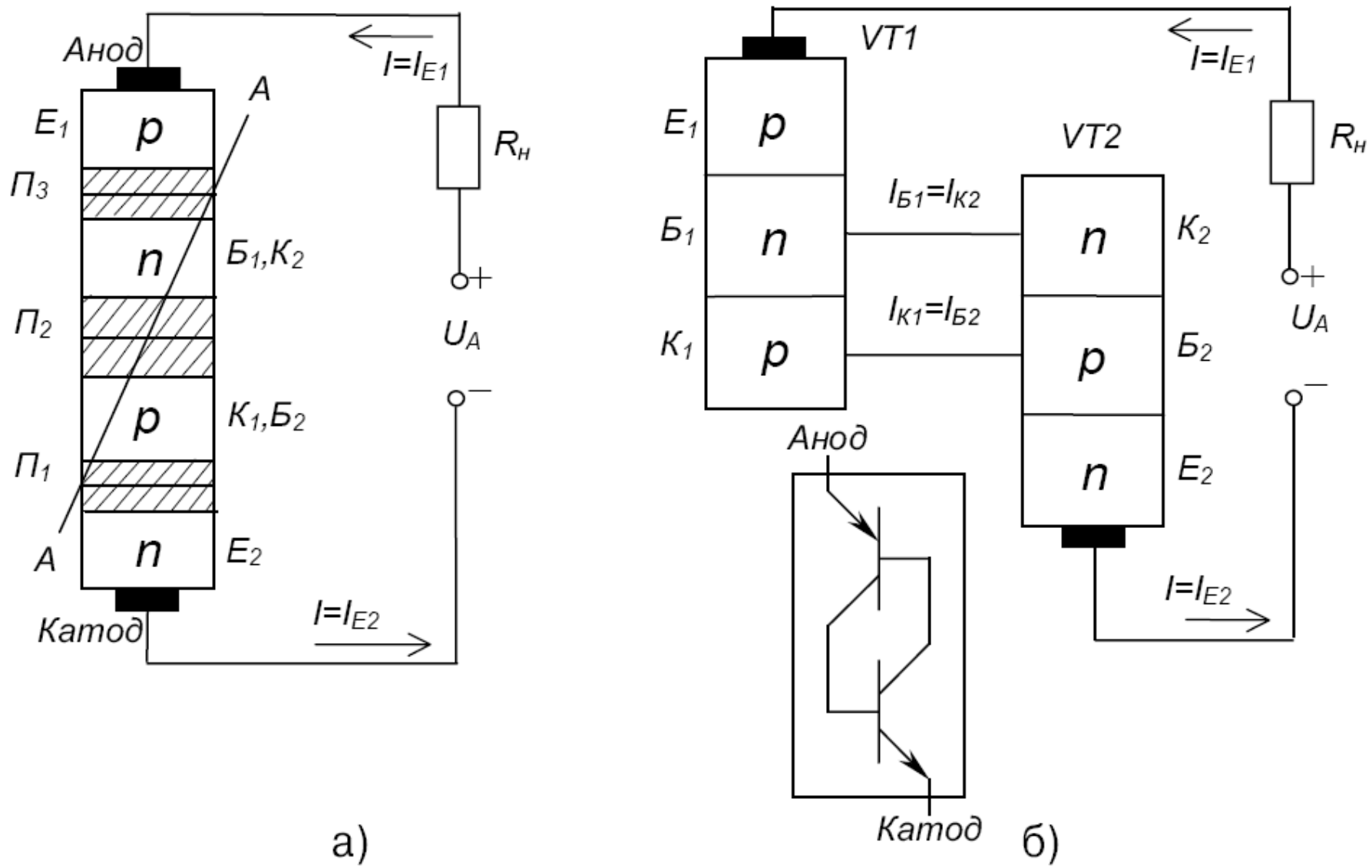
## 8.1 Основні визначення.

Тиристор - це напівпровідниковий прилад, що має багат шарову структуру і ВАХ якого має ділянку з негативним опором. Його використовують як перемикач струму. Тиристри бувають двоелектродні (або діодні) - **диністри** та триелектродні (або тріодні) – **триністри**.

## 8.2. Диністри

Двоелектродний тиристор (диністор) вперше було описано Дж. Моллом (США) у 1956 році. Диністор має чотиришарову структуру. У нього є три р-п переходи, причому, за зазначеної полярності джерела напруги  $U_A$  два крайні з них зміщені у прямому напрямку ( $\Pi_1 - \Pi_3$ ), а середній ( $\Pi_2$ ) - у зворотному.





**Рис.8.1 – Структура диністора а) і його представлення й вигляді двох транзисторів**

### 8.3 Принцип роботи диністора.

Таку структуру можна представити у вигляді еквівалентної схеми (моделі), що складається з двох транзисторів  $VT1$  і  $VT2$   $p-n-p$  та  $n-p-n$  типу відповідно. Цю модель можна отримати, якщо розрізати прилад уздовж площини  $A-A$ , а потім обидві частини електрично з'єднати. При цьому виходить, що переходи  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$  є емітерними переходами транзисторів, а перехід  $\Pi_2$  для обох транзисторів є колекторним. Зона бази  $B1$  транзистора  $VT1$  одночасно є колекторною зоною транзистора  $VT2$ , а зона бази  $B2$  транзистора  $VT2$  - колекторною зоною транзистора  $VT1$ .

Струм диністора – це емітерний струм першого транзистора  $I_{E1}$  або другого  $I_{E2}$ . У той же час він складається з двох колекторних струмів  $I_{K1} = a_1 I_{E1}$  та  $I_{K2} = a_2 I_{E2}$ , де  $a_1$  і  $a_2$  – коефіцієнти передачі емітерного струму транзисторів  $VT1$ ,  $VT2$ . Крім того, до складу струму диністора  $I$  входить початковий некерований (тепловий) струм колекторного переходу  $I_{K0}$ .

## 8.4 ВАХ диністора

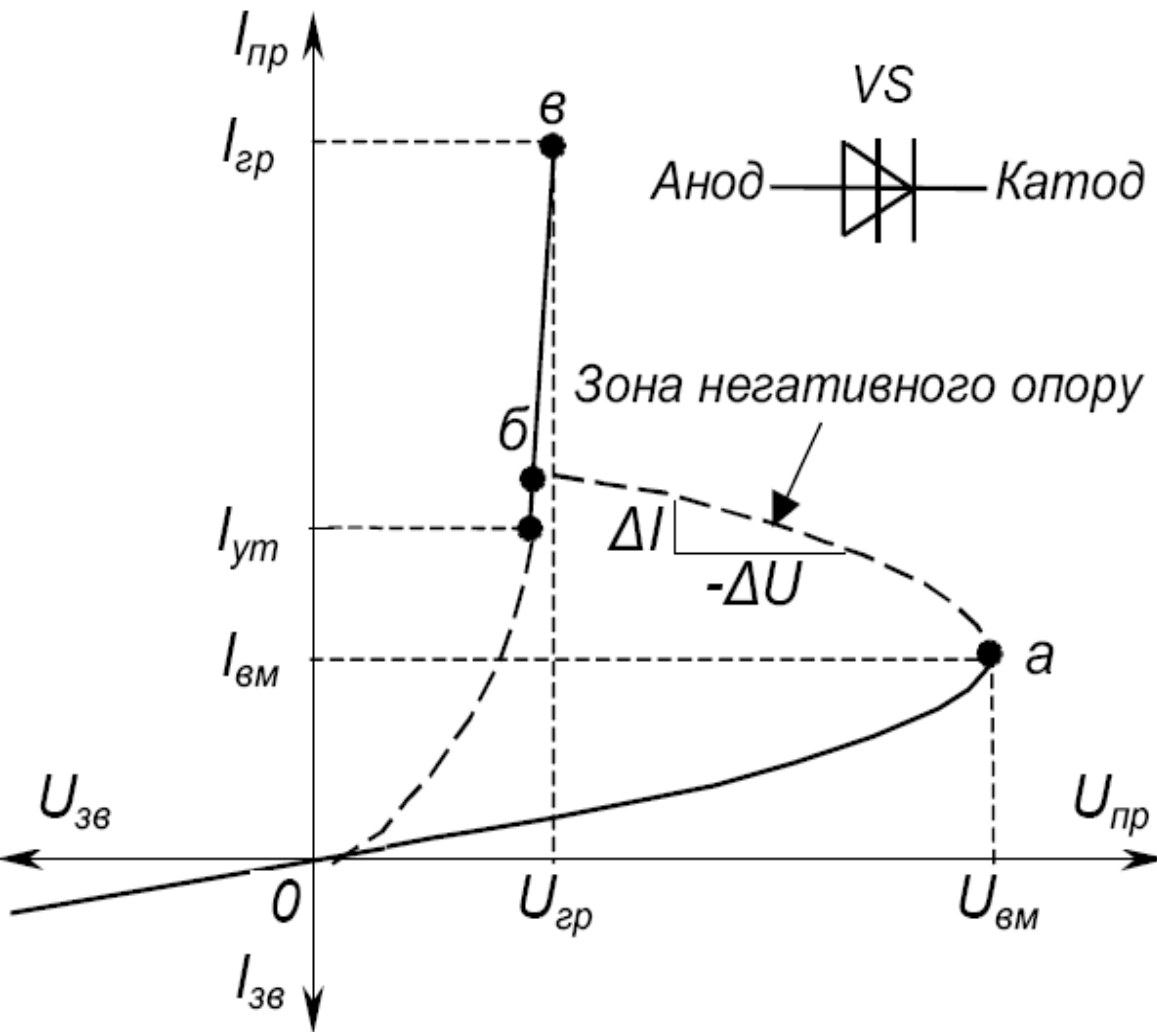


Рис.8.2 – ВАХ диністора

$U_{вм}$  - напруга вмикання диністора;

$I_{вм}$  - струм вмикання;

$I_{ум}$  - струм утримання;

$I_{гр}$  - гранично допустимий струм приладу;

$U_{гр}$  - падіння напруги на диністорі, що відповідає ділянці  $0a$  ВАХ -

закритому стану диністора.

Ділянка  $аб$  - лавиноподібному перемиканню приладу (ділянка з негативним опором).

Ділянка  $бв$ , подібна відрізку ВАХ діода, відповідає увімкненому стану диністора, вона є робочою ділянкою характеристики.



## 8.5 Параметри диністора

- напруга вмикання диністора  $U_{вм}$ , що становить (20 - 1000) В;
- максимальне середнє значення прямого струму за заданих умов охолодження  $I_{пр\ max}$ , що становить (0,1- 2) А;
- струм утримання  $I_{ут}$  - мінімальний прямий струм увімкненого диністора, при подальшому зниженні якого диністор переходить у непровідний стан, становить (0,01- 0,1)А;
- максимальне допустиме амплітудне значення зворотної напруги  $U_{зв\ max}$ , сягає до 1000 В;
- час вмикання, тобто час переходу від закритого стану до відкритого, знаходиться у межах (1 -10) мкс.

## 8.6. Триністор (керований діод)

Триодний тиристор (триністор), який є керованим перемикаючим приладом і частіше називається просто тиристором, став основою енергетичної електроніки 80-х років минулого століття.

**Триністор** - це чотиришаровий перемикаючий прилад, у якого від однієї з базових зон зроблено вивід - керуючий електрод.

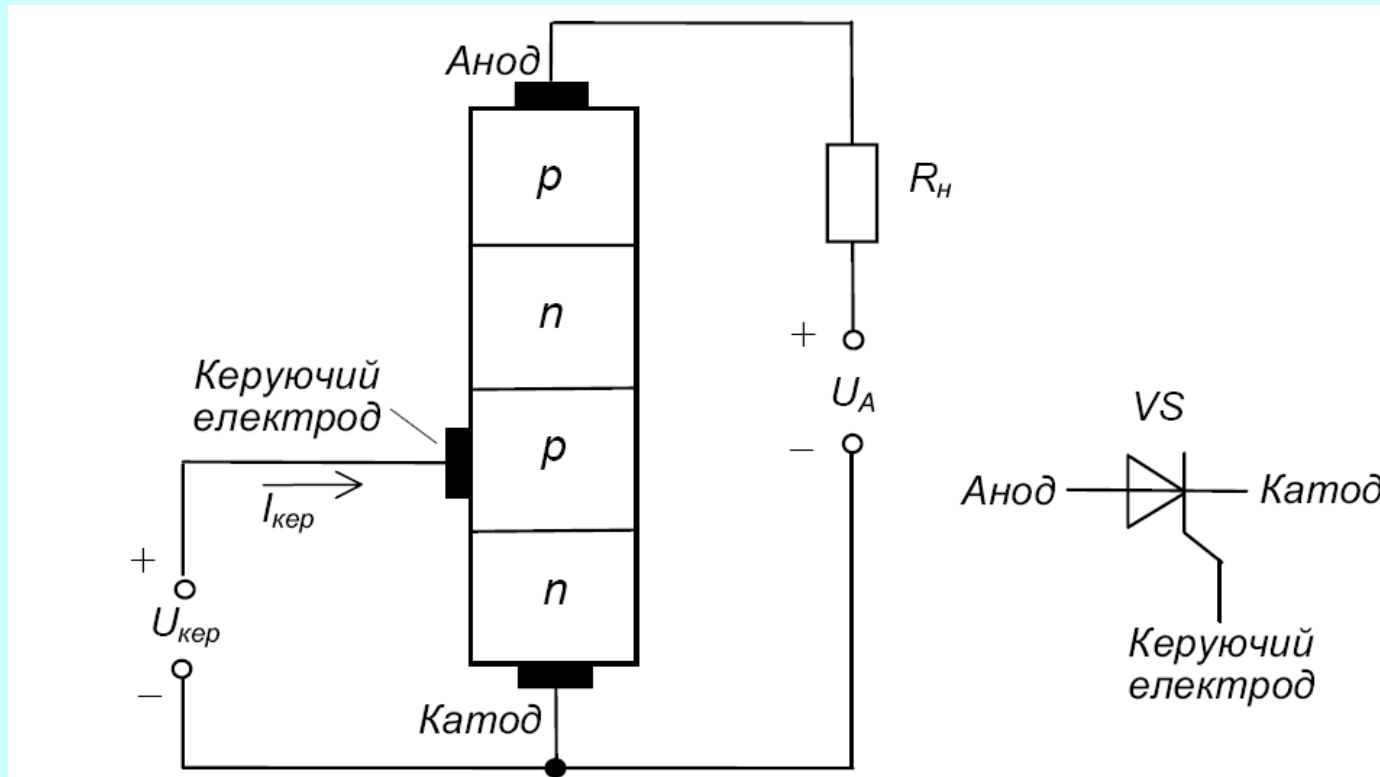


Рис.8.3 – Структура та умовне позначення триністора

## 8.7 ВАХ триністора

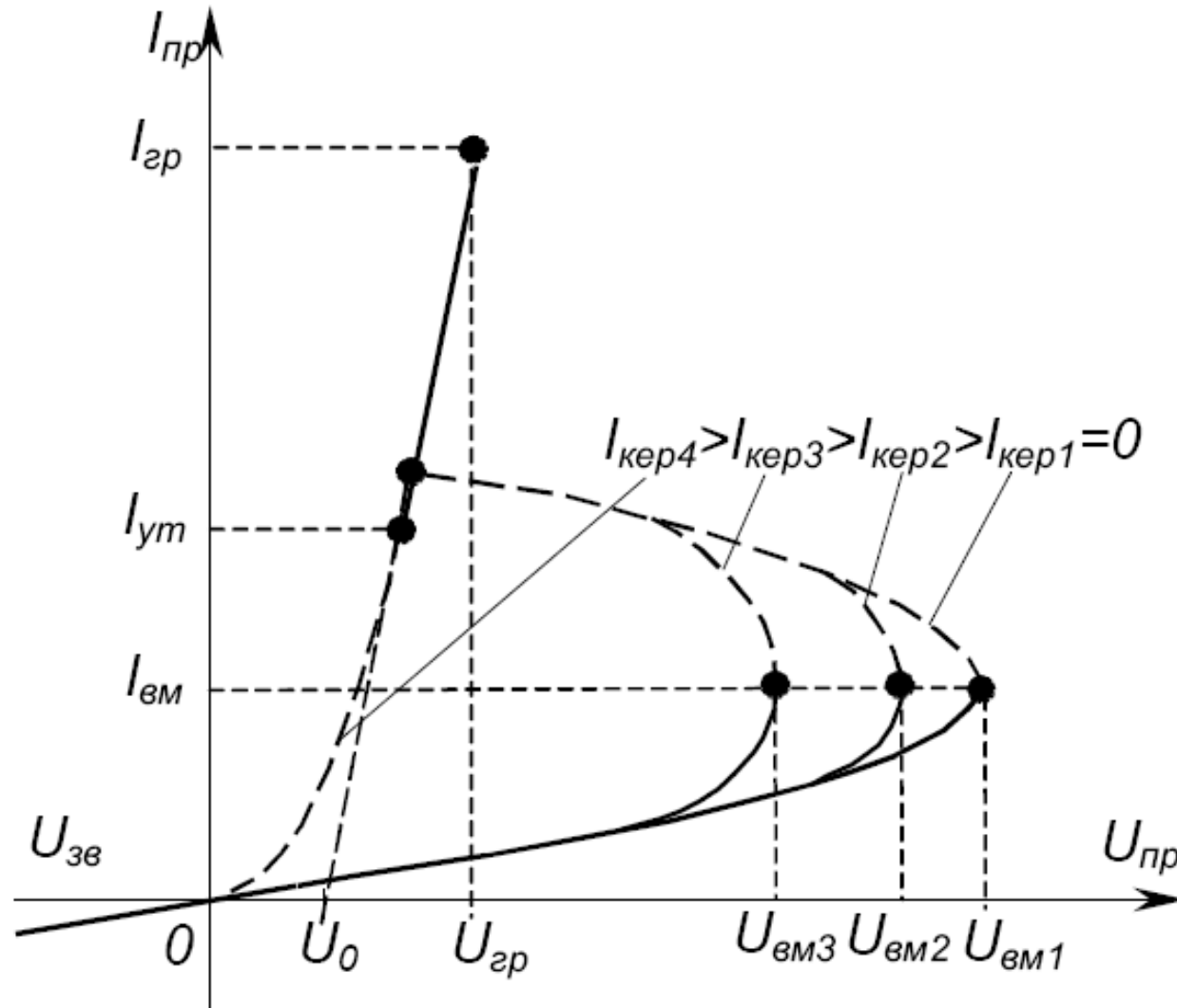


Рис.8.4 – ВАХ триністора

Подаючи між керуючим електродом та катодом пряму напругу на  $p-n$  перехід, що працює у прямому напрямку (змінюючи струм керування), можна регулювати значення напруги вмикання  $U_{вт}$ .

## 8.8 Схема вмикання триністора

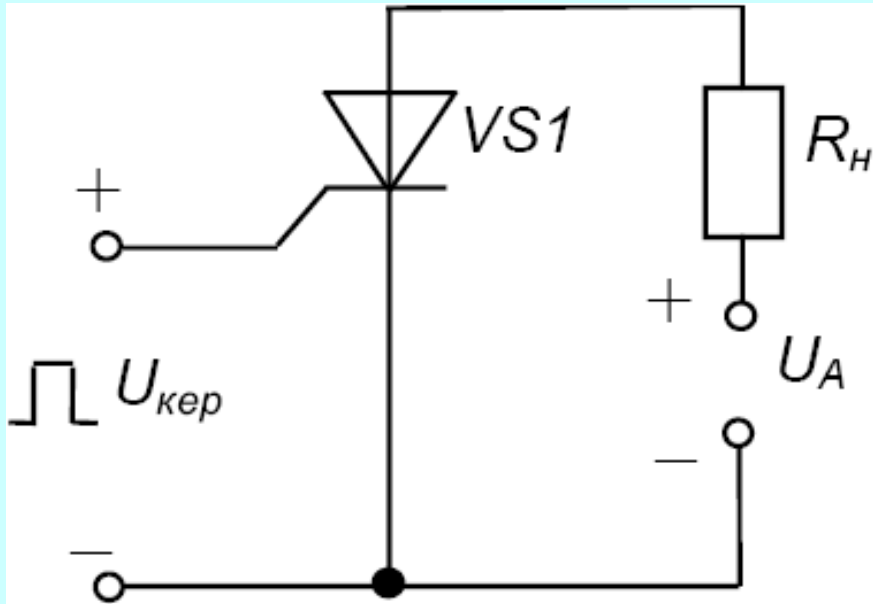


Рис.8.5 – Схема вмикання триністора

Якщо подати на керуюче коло імпульс прямої напруги, тиристор вмикається і залишається увімкненим після зняття сигналу керування. Вимкнути тиристор можна лише зниженням струму у його анодному колі нижче струму утримання  $I_{ym}$ .

У колах постійного струму вимикання тиристора здійснюється шляхом вмикання паралельно тиристорі попередньо зарядженого конденсатора з напругою, полярність якої зворотна щодо тиристора (примусова комутація).

У колах змінного струму вимикання тиристора здійснюється природно в момент проходження струму через нуль (невимушена комутація) - тому найширшого використання тиристри набули саме у колах змінного струму як напівкеровані електронні перемикачі (напівкеровані - бо, діючи на коло керування, їх можна лише вмикати).

## 8.8 Однофазний регулятор

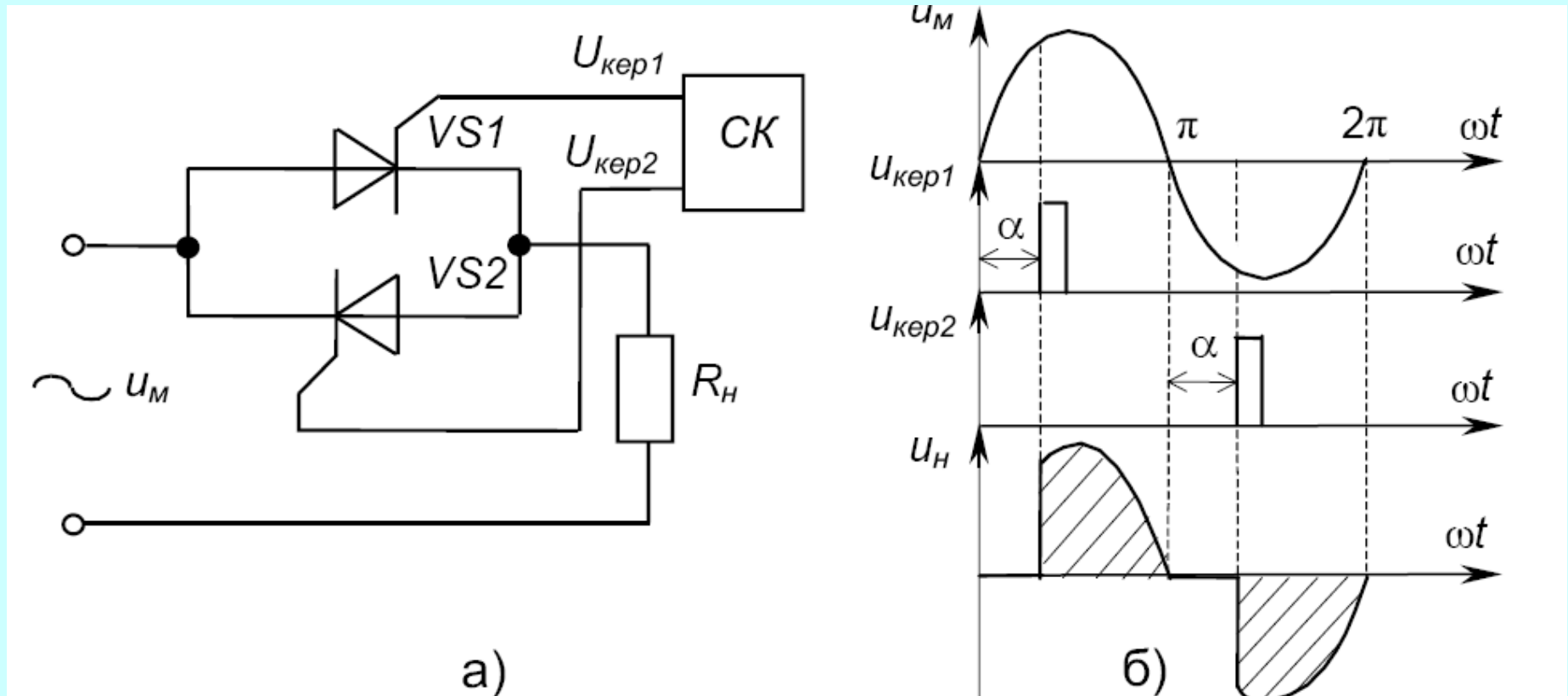


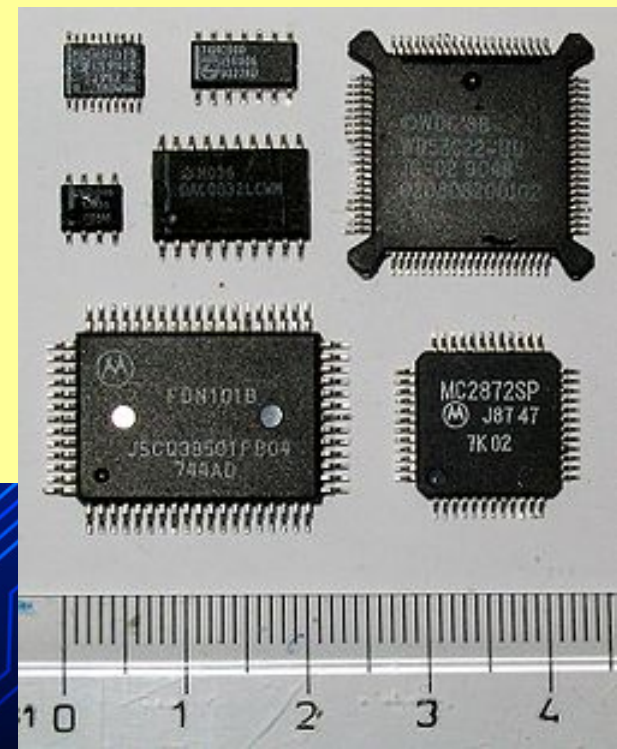
Рис. 8.6 - Спрощена схема однофазного регулятора та часові діаграми його роботи.

Змінюючи затримку подачі сигналу керування відносно переходу напруги мережі  $u$  через нуль - **кут керування**  $\alpha$  - від 0 до  $\pi$ , можна регулювати напругу на навантаженні  $U_H$  від нуля до максимуму.

# Електроніка і мікропроцесорна техніка

## Лекція №9

### Інтегральні мікросхеми.



# План.

9.1. Основні визначення

9.2. Класифікація

9.3. Конструкція ІМС

9.4. Напівпровідникові ІМС

9.4.1. Призначення і параметри ІМС

9.4.2. Лінійно-імпульсні ІМС

9.4.3. Логічні ІМС

9.5. Закон Гордона Мура

## **9.1 ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ**

**Інтегральна мікросхема (ІМС)** - це електронний прилад із високою щільністю пакування електрично зв'язаних елементів - що виконує деяку функцію обробки або перетворення електричних сигналів і який, з точки зору конструктивно-технологічних та експлуатаційних вимог є одним цілим.

Проектуванням, виготовленням та розробкою методів застосування ІМС займається мікроелектроніка.

## **9.2 Класифікація**

**Залежно від технології виробництва ІМС поділяють на:**

- гібридні (виконуються на основі безкорпусних дискретних електронних приладів, що прикріплюються до ізоляційної основи- на яку нанесено плівкові елементи (резистори, конденсатори і т. п., а також з'єднуючі провідники);
- напівпровідникові (всі елементи виконуються на основі єдиного кристалу НП).



# ІНТЕГРАЛЬНА МІКРОСХЕМА

За ступеню  
інтеграції

Малої (IC)

Середньої (CIC)

Великої (BIC)

Надвеликої  
(NBIC)

За технологією  
виготовлення

Напівпровідникові

Гібридні

Плівкові

За функціональним  
призначенням

Аналогові

Цифрові  
(логічні)

**За складністю ІМС поділяють на групи:**

**1 — малий ступінь інтеграції (до 30 елементів у схемі);**

**2 — середній ступінь інтеграції (30 - 150 елементів);**

**3 — великий ступінь інтеграції (150 - 1000 елементів);**

### **9.3 Конструкція ІМС**

**Гібридні ІМС складаються з таких конструктивних вузлів:**

**1) ізоляційна основа із склопластику або керамічна - на поверхню якої у вигляді плівок нанесені резистори конденсатори невеликої ємності, котушки невеликої індуктивності, електричні з'єднання;**

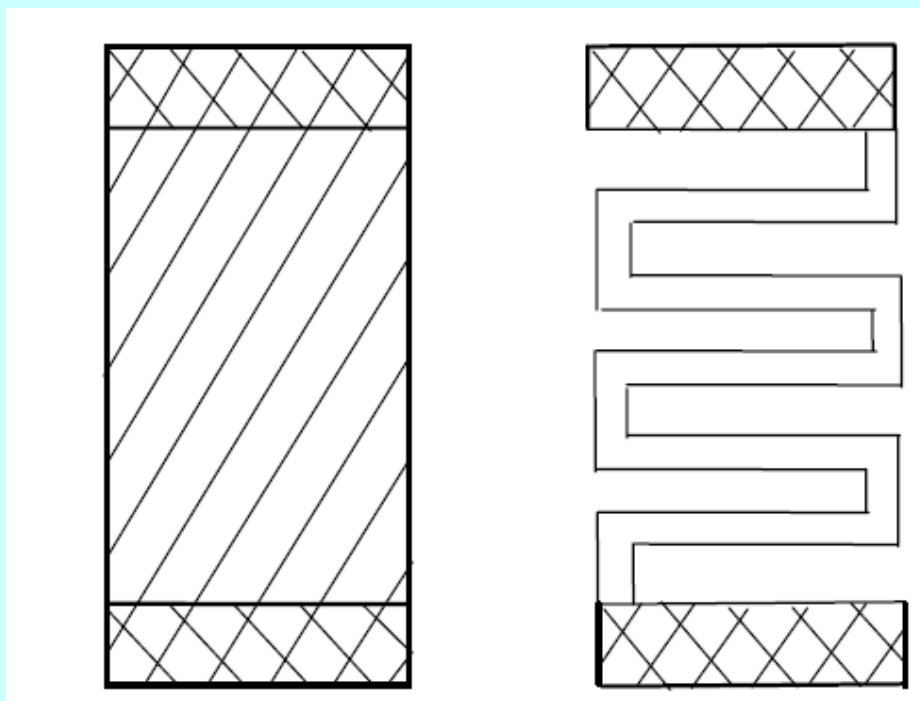
**2) дискретні безкорпусні НП прилади;**

**3) дискретні конденсатори великої ємності., трансформатори, дроселі;**

**4) ізоляційний корпус - що забезпечує герметизацію усіх елементів.**

**ІМС і має вивідні контакти.**

На рис. 9.1 показано конструкцію плівкових резисторів із малим і великим опором. Тонку плівку з чистого хрому, ніхрому або танталу наносять безпосередньо на ізоляційну основу У такий спосіб одержують резистори з опором від 0,001 до десятків кілоом. Щоб одержати більш високоомні резистори (до десятків мегаом). використовують металодіелектричні суміші (наприклад, хром та монооксид кремнію).



**Рис. 9.1 – Конструкція плівкових резисторів з малим (а) і великим (б) опором**

На рис. 9.2 зображена конструкція плівкового конденсатора. Нижня та верхня обкладки конденсатора 2 є тонкими плівками із міді, срібла або золота. Діелектриком 1 є плівка із силікату алюмінію, двооксиду титану або кремнію,

Розміщені вони на діелектричній основі 3. Ємність таких конденсаторів, може бути від десяти до десятків тисяч пікофарад. Провідники виконують у вигляді тонкої (1 мкм) плівки із золота чи міді з підшарком нікелю або хрому.

Дискретні елементи із гнучкими выводами (золотий дріт діаметром 30, 50 мкм) приєднуються до плівкової мікросхеми пайкою або зваркою.

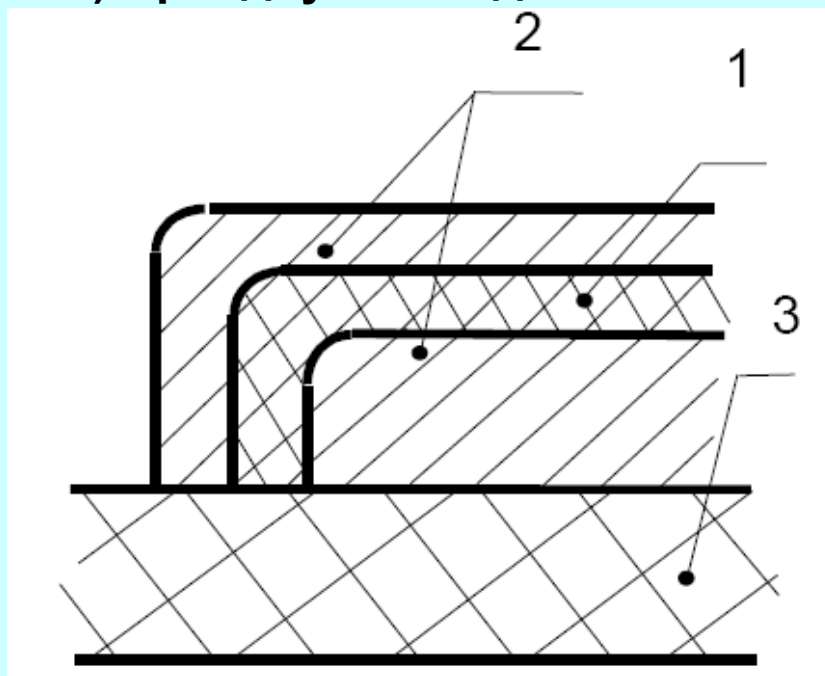


Рис. 9.2 – Конструкція плівкового конденсатора

## 9.4. Напівпровідникові ІМС

На відміну від гібридних ІМС, напівпровідникові (з'явилися у 1958 р.) виконуються на основі кристалу НП, де окремі його ділянки виконують ролі транзисторів, діодів, конденсаторів, резисторів і т. ін., і з'єднуються за допомогою алюмінієвих плівок, що наносяться на поверхню кристалу.

Електронні пристрої на напівпровідникових ІМС можуть мати щільність монтажу до 500 елементів у  $1 \text{ см}^3$  і цей параметр з року в рік зростає. Середній час безвідмовної роботи пристрою, що має  $10^7$ -  $10^{10}$  елементів, сягає  $10^3$  -  $10^4$  годин.

### 9.4.1. Призначення і параметри ІМС

На відміну від дискретних елементів (діоди, транзистори), ІМС являють собою функціональні пристрої, призначені для перетворювання електричних сигналів або енергії.

Залежно від призначення ІМС. для неї можуть нормуватися різні параметри, що характеризують її як функціональний пристрій в цілому.

За призначенням усі ІМС поділяються на два класи:

- 1) лінійно-імпульсні (або аналогові);
- 2) логічні (або цифрові).

## 9.4.2 Лінійно-імпульсні ІМС

До лінійно-імпульсних (аналогових) належать ІМС, що виконують функції перетворення й обробки електричних сигналів, які змінюються за законом безперервної функції. До них належать різні підсилювачі, генератори, стабілізатори струму та напруги.

**Основні параметри підсилювачів:**

- коефіцієнт підсилення за напругою  $K_U$ ;
- вхідний опір  $R_{вх}$ ;
- максимальна вихідна напруга  $U_{вих\ max}$ ;
- робочий діапазон частот.

**Основні параметри стабілізаторів:**

- коефіцієнт стабілізації  $K_{см}$ ;
- напруга стабілізації  $U_{см}$ ;
- максимальна потужність  $P_{см}$ ;
- діапазон зміни вхідної напруги.

## 9.4.3 Логічні ІМС

До логічних (цифрових) належать ІМС, що виконують функції перетворення й обробки електричних сигналів, які змінюються за законом дискретної функції (зазвичай це двійковий цифровий код).

Параметри таких схем:

- рівень логічного нуля;
- рівень логічної одиниці;
- швидкодія;
- завадостійкість.

**Основні переваги ІМС:**

- висока надійність;
- малі габарити і маса;
- незначна споживана потужність;
- невисока вартість;
- високий рівень швидкодії.

## 9.5. Закон Гордона Мура

Діє закон, виведений експериментально у 1965 році засновником компанії Intel Гордоном Муром: кількість компонентів мікросхем щорічно подвоюється, а продуктивність (швидкодія) зростає вдвічі кожні вісімнадцять місяців при збереженні попередньої вартості.

Сьогодні закон Мура ще є чинним, але продуктивність систем все більше визначається не щільністю компонування транзисторів – а щільністю компонування мікропроцесорів. Відомий фізик Стівен Хокінг передрік - що індустрію будуть стримувати два основоположні чинники: швидкість світла і атомарна природа речовини. У 2007 р. Гордон Мур зазначив, що інтегральній напівпровідниковій індустрії залишилось ще 10-15 років - оскільки- наприклад, шар ізоляційного матеріалу - що використовується в сучасних процесорах практично досяг свого мінімуму і складає лише декілька молекул.



# Покоління комп'ютерів

---

## I. 1945 – 1955

електронно-вакумні лампи



## II. 1955 – 1965

транзистори



## III. 1965 – 1980

інтегральні мікросхеми



## IV. з 1980 по ...

великі і надвеликі інтегральні схеми  
(ВІС і НВІС)



# Електроніка і мікропроцесорна техніка

Лекція №10

**Алгебра логіки. Тригери.**



# План.

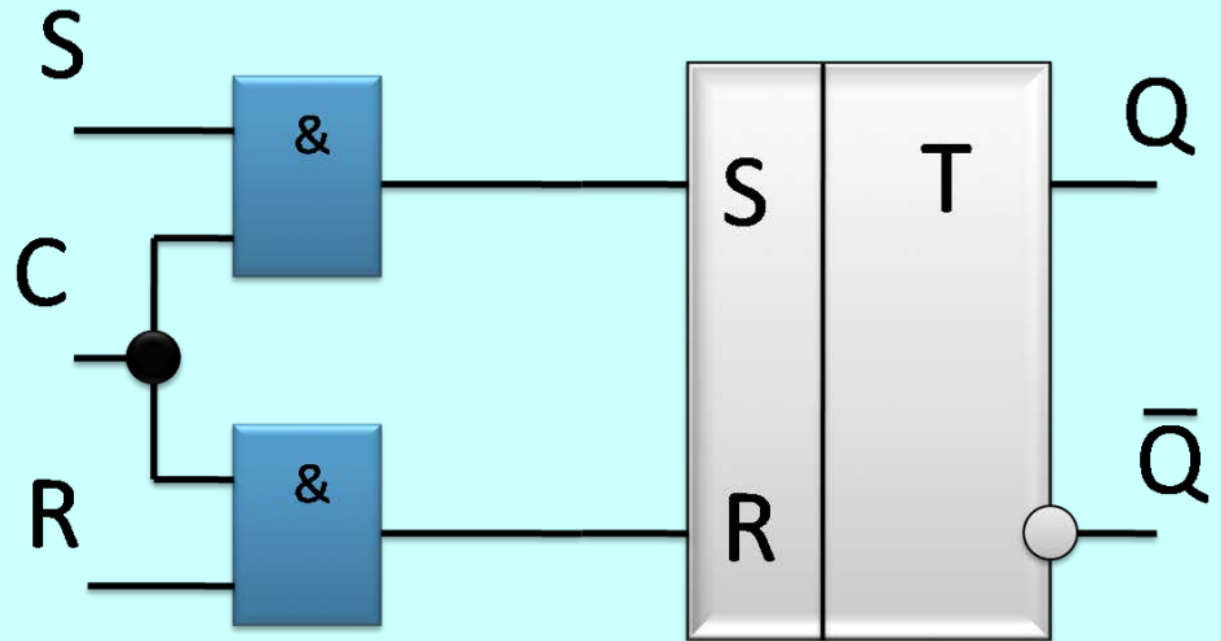
*10.1. Алгебра логіки*

*10.2 Основні логічні дії*

*10.3 Основні закони алгебри логіки*

*10.4 Тригери*

*10.5 Тригери на логічних елементах*



## 10.1 Алгебра логіки

Основу сучасних пристроїв обробки інформації складають **цифрові (логічні) ІМС**. Аналіз роботи цифрових пристроїв базується на використанні апарату математичної логіки алгебри **Джорджа Буля** (1815 - 1864). В її основі лежить поняття події, що оцінюється з точки зору її настання: вона може настати або не настати. Тоді кожен подію можна вважати **істинною** - що може моделюватися одиницею «**1**» (високим рівнем напруги при електричному моделюванні), або **хибною** моделюється нулем «**0**» (низьким рівнем напруги). Обробка інформації поданої у вигляді подій ведеться у **двійковій системі числення**. Вона має тільки дві цифри: **0** і **1**. Величина, котра може приймати тільки ці два значення називається **двійковою (логічною) змінною**. Складна подія, що залежить від декількох двійкових змінних, називається двійковою (логічною, перемикальною) функцією:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \text{ де } x = \{1, 0\}.$$

Алгебра логіки дозволяє виконувати математичний запис логічних подій і зв'язків між ними, а це дає можливість аналітично описувати будову і роботу цифрових пристроїв (цифрові пристрої оброблюють інформацію - представлену у вигляді сигналів, що змінюються за законом дискретної функції).

## 10.2 Основні логічні дії

В алгебрі логіки є три основних логічних дії (операції - функції):

- операція **НІ** логічне заперечення:

*функція має зворотне значення до змінної від якої вона залежить*

$$y = \bar{x}$$

(читається у дорівнює не  $x$ )

- операція **АБО** логічне додавання (диз'юнкція): *функція істинна, якщо істинна хоча б одна з незалежних змінних, що до неї входять*

$$y = x_1 + x_2;$$

- операція **І** - логічне множення (кон'юнкція):

$$y = x_1 \cdot x_2.$$

**В алгебрі логіки немає операцій віднімання і ділення. Порядок дій в алгебрі логіки такий: перш за все виконується операція НІ, потім І й насамкінець АБО.**

### 10.3 Основні закони алгебри логіки

Для алгебри логіки справедливі закони:

- **переставний** (комутативний)

$$x_1 + x_2 = x_2 + x_1 \text{ та } x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1;$$

- **сполучний** (асоціативний)

$$x_1 + x_2 + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3) = (x_1 + x_2) + x_3$$

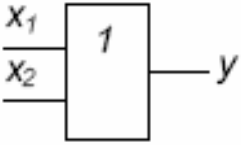
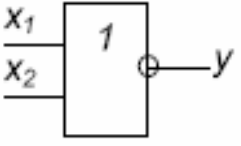
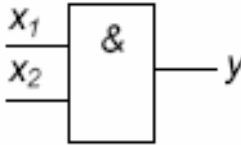
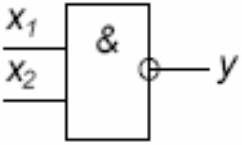
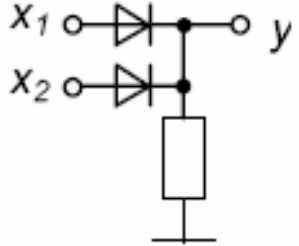
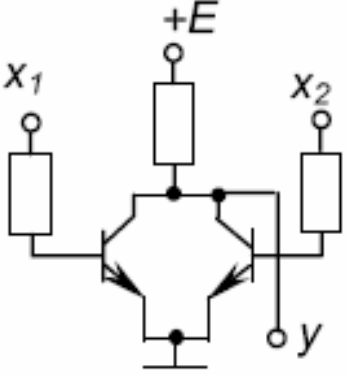
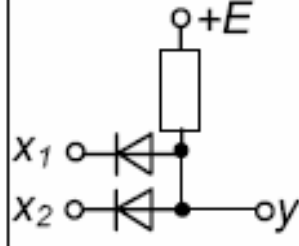
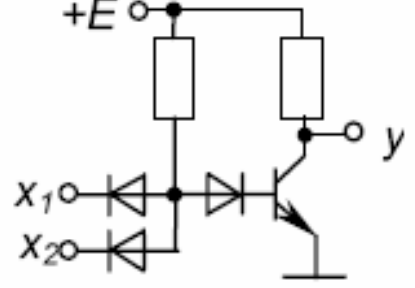
та

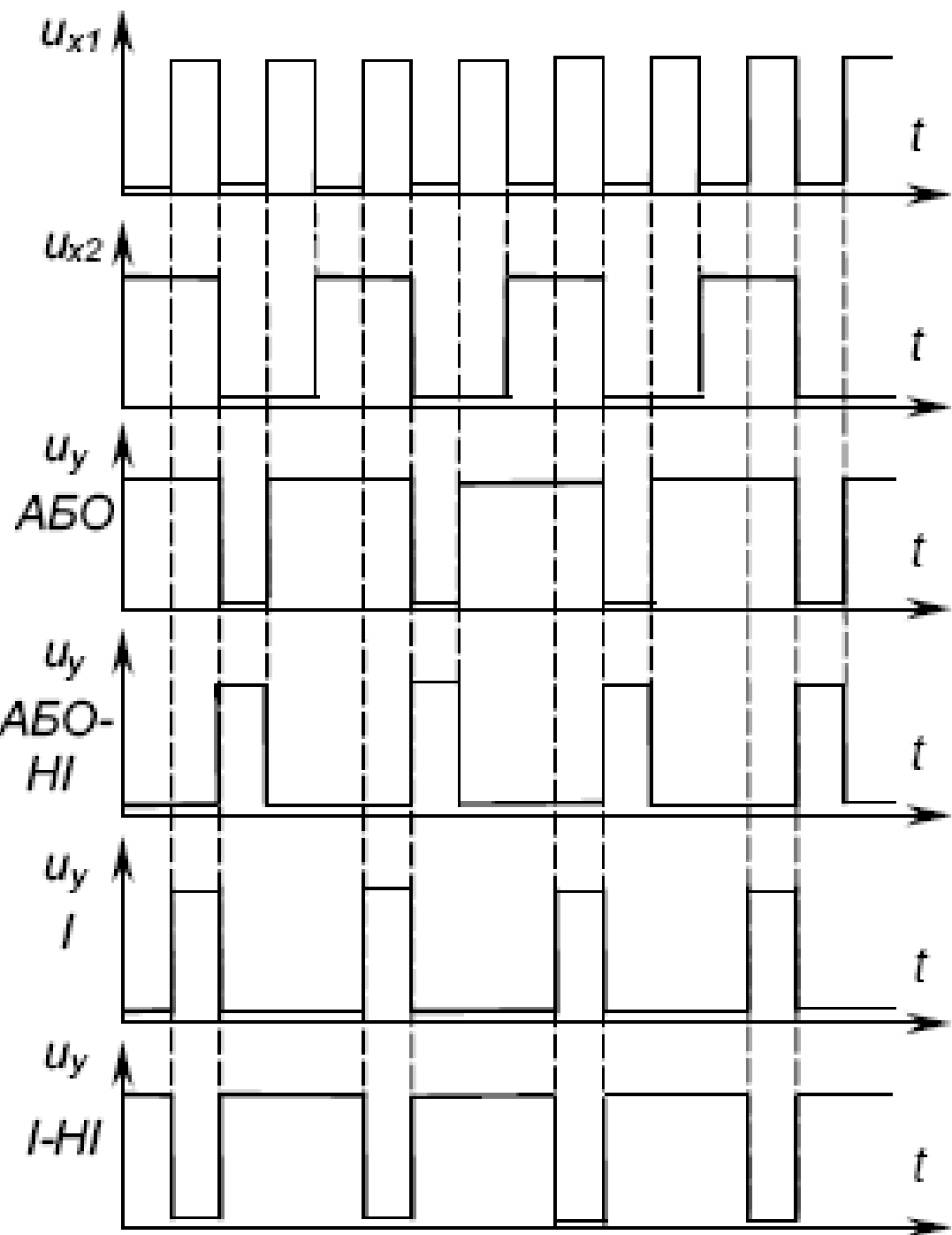
$$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = x_1(x_2 \cdot x_3) = (x_1 \cdot x_2) x_3;$$

- **розподільний** (дистрибутивний)

$$x_1(x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3.$$

(зазначимо, що такі ж закони діють і в звичайній алгебрі).

Вхідні змінні		Функція $y$			
$x_1$	$x_2$	АБО	АБО-НІ	I	I-НІ
0	0	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	1	0
Математичний запис (формула)		$y = x_1 + x_2 = x_1 \vee x_2$	$y = \overline{x_1 + x_2}$	$y = x_1 \cdot x_2 = x_1 \wedge x_2$	$y = \overline{x_1 \cdot x_2}$
Назва функції		Логічне додавання (диз'юнкція) – функція АБО	Заперечення логічного додавання (стрілка Пірса) – функція АБО-НІ	Логічне множення (кон'юнкція) – функція I	Заперечення логічного множення (штрих Шеффера) – функція I-НІ
Графічне позначення елемента, що реалізує функцію					
Можлива реалізація		 Резисторно-діодна логіка (РДЛ)	 Резисторно-транзисторна логіка (РТЛ)	 Резисторно-діодна логіка (РДЛ)	 Резисторно-діодно-транзисторна логіка (РДТЛ)



**Рис. 10-1 - Часові діаграми роботи деяких двовходових логічних елементів**



## 10.4 Тригери

Основою цифрових (логічних) пристроїв з пам'яттю є тригери. Тригер забезпечує запам'ятовування елементарного об'єму інформації - 1 біт.

Тригери (від англ. заскок) - це спускові імпульсні пристрої з позитивним зворотним зв'язком (ПЗЗ), що мають два сталих стани рівноваги і можуть переходити із одного стану у інший під дією сигналу, що перевищує деякий рівень - поріг спрацьовування пристрою.

Тригери можуть бути побудовані на напівпровідникових приладах, що мають ділянку з негативною крутизною характеристики (наприклад, на тиристорах). Сучасні тригери, як правило, будують на основі двокаскадних підсилювачів з ПЗЗ. Тригери в інтегральному виконанні будують на логічних цифрових елементах.

Використовують тригери для таких цілей:

- 1) перетворення імпульсу довільної форми у прямокутну, тобто застосовуються як формувачі імпульсів прямокутної форми;
- 2) створення електронних реле;
- 3) створення пристроїв підрахунку імпульсів і ділення частоти надходження імпульсів (лічильників);
- 4) зберігання інформації у двійковому коді.

## 10.5 Тригери на логічних елементах

Тригери у інтегральному виконанні будуються із простих логічних елементів типу АБО-НІ, І-НІ. Зазвичай мікросхема вміщує 1 – 4 тригери із спільними колами живлення, а інколи і спільними колами синхронізації або керування. У загальному випадку тригер складається з логічного пристрою керування та власне тригера як елемента пам'яті. Є велика кількість різноманітних схем тригерів із різними функціональними можливостями.

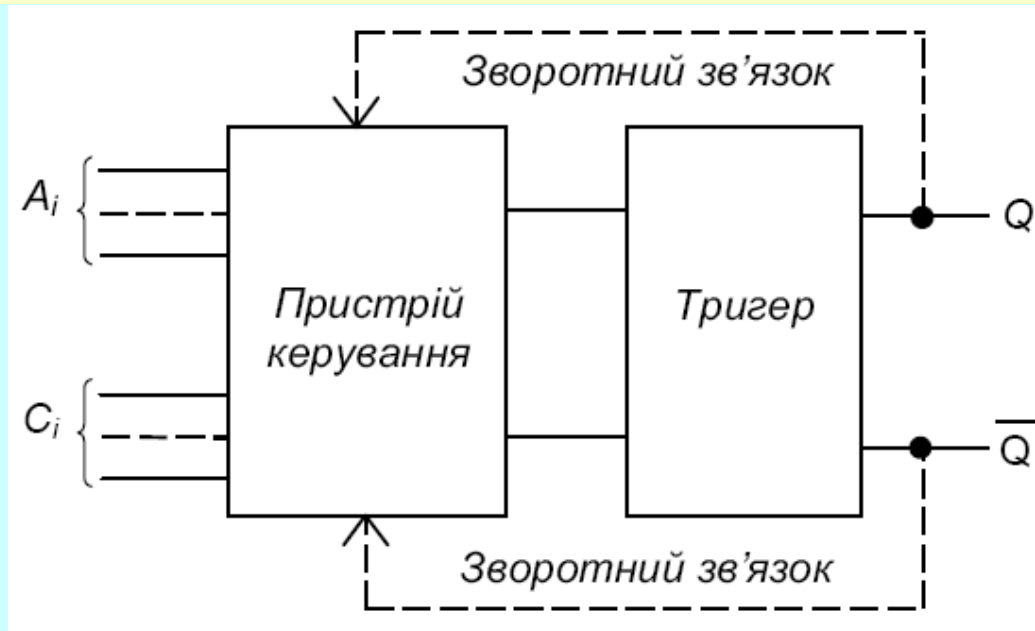


Рис. 10. 2 - Узагальнена структурна схема тригера

Тригер має два **виходи**:  $Q$  – **прямий** (одичний),  $\bar{Q}$  – **інверсний** (нульовий). **Входи**  $A_i$  називаються **інформаційними**, а входи  $C_i$  – **тактовими** або **синхронізуючими**.

**Стани тригера** в таблицях переходів зазвичай вказують так:

0 – тригер має сигнал на виході  $Q = 0$  (**нульовий стан**);

1 – тригер має сигнал на виході  $Q = 1$  (**одичний стан**);

$Q_i$  – стан тригера не змінюється при зміні сигналів на входах;

$\bar{Q}_i$  – стан тригера змінюється на протилежний при зміні сигналів на входах;

**X** – **невизначений стан** тригера, коли він після зміні сигналів на входах рівноможливо може опинитися в нульовому ( $Q = 0$ ) або у одичному ( $Q = 1$ ) стані.

Стверджують, що навіть за найпростішої конфігурації тригерного пристрою, яка має один інформаційний вхід і два виходи, можна отримати 25 функціональних різновидів тригерів. При двох входах їх буде вже 625. Практично ж застосовують 6-8 типів.

# Електроніка і мікропроцесорна техніка

Лекція №11

**Цифрові мікроелектронні пристрої**



# План.

11.1 *Поняття про цифрові мікроелектронні пристрої*

11.2 *Реалізація складних логічних функцій*

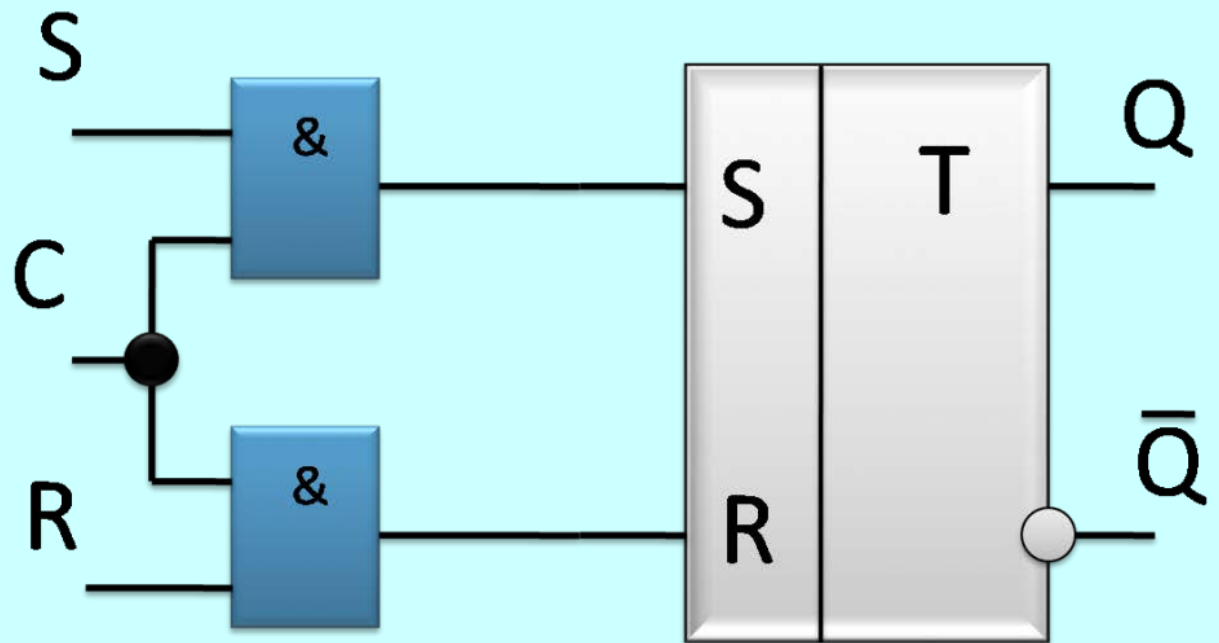
11.3 *Дешифратори*

11.4 *Мультиплексори*

11.5 *Лічильники імпульсів*

11.6 *Класифікація лічильників*

11.7 *Регістри*



## 11.1 Поняття про цифрові мікроелектронні пристрої

Цифрові мікроелектронні пристрої являють собою дискретні цифрові автомати, виконані на ІМС і призначені для обробки інформації, що представлена у вигляді цифрового коду. Вони використовуються для створення цифрових Інформаційних, вимірювальних систем та систем керування.

Усі цифрові пристрої поділяються на два великих класи: комбінаційні і послідовнісні.

**Комбінаційні пристрої** реалізують функції, які залежать тільки від комбінації змінних, що до них входять, у даний момент часу і не залежать від стану пристрою у попередній момент часу. Найпростішими прикладами таких пристроїв є логічні елементи.

Послідовнісні (від слова «послідовність») пристрої реалізують функції, що залежать не тільки від комбінації вхідних змінних у даний момент часу, а ще й від стану пристрою у попередній момент часу: вони мають пам'ять. Найпростішими прикладами таких пристроїв є тригери.

Основними мікроелектронними цифровими пристроями є:

- 1) дешифратори;
- 2) мультиплексори;
- 3) лічильники імпульсів;
- 4) регістри;
- 5) цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі.

Будуються ці пристрої на логічних елементах і тригерах.

## **11.2. Реалізація складних логічних функцій**

Складні логічні функції реалізують на ІМС простих логічних елементів.

Мінімальний набір логічних елементів, що реалізують деякі прості логічні функції і за наявності необмеженої кількості яких можна реалізувати наскільки завгодно складну логічну функцію, називають функціонально повною системою логічних елементів, або базисом.

Найбільш відомими функціонально повними системами є:

- 1) елементи, що реалізують функції алгебри Буля - І, АБО, НІ;
- 2) елемент, що реалізує функцію штрих Шеффера - І-НІ;
- 3) елемент, що реалізує функцію стрілка Пірса - АБО-НІ.



## 11.3 Дешифратори

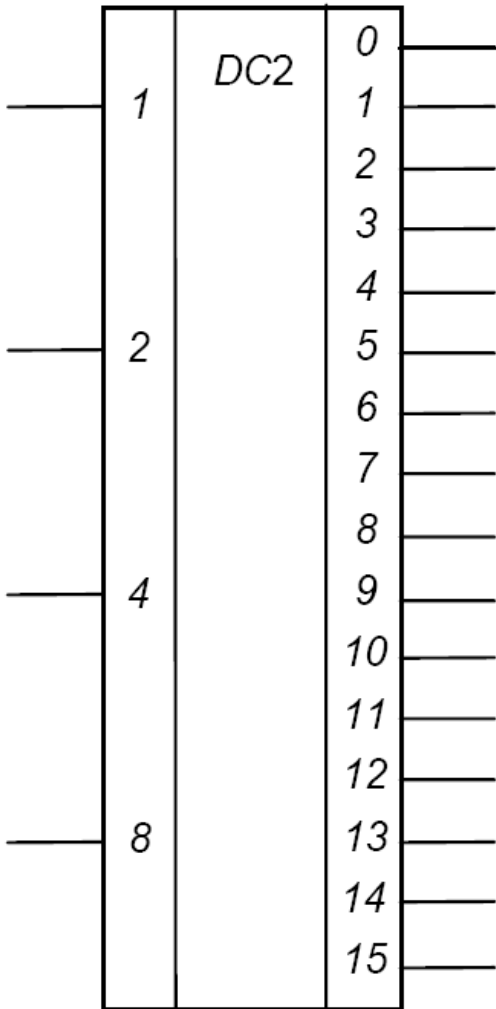
**Дешифратори (декодери)** є комбінаційними

пристроями, призначеними для перетворення кодованих двійкових вхідних сигналів у сигнали керування виконавчими пристроями, пристроями відображення інформації і т.п.

У загальному випадку дешифратор має декілька входів (за кількістю розрядів двійкових чисел, що необхідно декодувати) і декілька виходів.

Кожній комбінації вхідних сигналів відповідає певна комбінація вихідних (зрозуміло, що дешифратори як комбінаційні пристрої будуються на логічних елементах і їх випускають у вигляді ІМС).

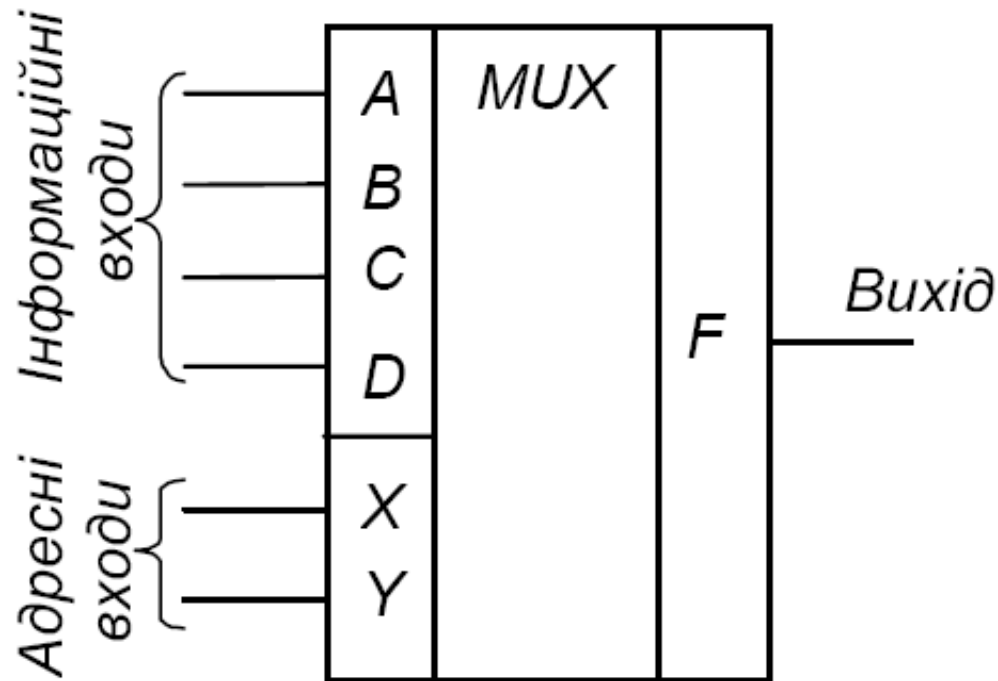
Наприклад, двійковий дешифратор, має чотири входи ( $n=4$ ) з ваговими коефіцієнтами 1, 2, 4, 8, що відповідає чотирьом розрядам послідовного двійкового коду ( $2^0, 2^1, 2^2, 2^3$ ), і шістнадцять виходів: від 0 до 15 ( $N=2^n=2^4=16$ ). Кожній комбінації нулів і одиниць на входах відповідає одиниця на відповідному виході.



**Рис. 11.1 –  
Двійковий  
дешифратор**

## 11.4 Мультиплексори

Мультиплексори (комутатори) - це комбінаційні пристрої, що підмикають до виходу вхід (передають на вихід інформацію з входу), номер якого задає комбінація нулів і одиниць на адресних входах.



X	Y	F
0	0	A
0	1	B
1	0	C
1	1	D

## 11.5 Лічильники імпульсів

Однією з найрозповсюдженіших операцій у пристроях інформаційно-обчислювальної і цифрової вимірювальної техніки є фіксування кількості імпульсів - підрахунок їхньої кількості. Реалізують цю операцію лічильники імпульсів.

Лічильники також забезпечують представлення інформації про кількість імпульсів у вигляді двійкового коду (завдяки принципу побудови).

Лічильники бувають **прості** (підсумовуючі, у яких код збільшується на одиницю після надходження на вхід кожного імпульсу; **віднімаючі**, у яких код відповідно зменшується після надходження на вхід кожного імпульсу) і **реверсивні** (суміщують властивості підсумовуючих і віднімаючих - можуть працювати у тому або іншому режимі за зовнішньою командою).

Як правило, лічильники будують на основі тригерів.

## 11.6 Класифікація лічильників

Лічильник називається послідовним, тому що вихід тригера кожного попереднього розряду з'єднано з лічильним входом (входом синхронізації) тригера наступного розряду, в результаті чого передача інформації - перемикання тригерів розрядів лічильника - відбувається послідовно одного за одним. Це визначає низьку швидкість лічильника.

У паралельних лічильників інформація з розряду в розряд передається за допомогою спеціальної комбінаційної схеми, а входи синхронізації тригерів з'єднано разом, і перемикання усіх тригерів відбувається одночасно.

## 11.7 Регістри

Регістри призначені для запам'ятовування і зберігання інформації, представленої у вигляді багаторозрядних двійкових чисел (двійкового коду) та їхньої видачі за зовнішньою командою - це елементи короткочасної (оперативної) пам'яті.

Залежно від способу запису і видачі інформації регістри бувають:

- 1) послідовні - запис інформації в них виконується послідовно одного двійкового розряду за іншим через один вхід;
- 2) паралельні - запис інформації в них виконується одночасно (паралельно) у всі розряди;
- 3) послідовно-паралельні - можуть працювати як послідовні або паралельні, залежно від сигналу на спеціальному вході керування.

# Електроніка і мікропроцесорна техніка

Лекція №12

**АЦП. Мікропроцесори.**

Процесор



# План.

*12.1 АЦП*

*12.2 АЦП послідовного наближення*

*12.3 АЦП паралельного кодування*

*12.4 Мікропроцесори*



## 12.1 АЦП

Процес оцифровування аналогової інформації проходить два основні етапи. На першому аналогова інформація розбивається на невеликі рівні частини. На другому етапі кожна частина аналізується і зашифровується спеціальними алгоритмами у коди з послідовності одиниць і нулів. **АЦП** може бути побудовано на основі **ЦАП**, лічильника імпульсів і компаратора. Цикл перетворення аналогового сигналу, представленого як напруга  $U_{ex}$ , у двійковий код, складається з таких операцій. Напруга  $U_{ex}$  подається на вхід пристрою - один з входів компаратора **К**. Сигнал з виходу компаратора дозволяє роботу генератора імпульсів **ГІ**. Сигнал *Пуск* встановлює нульовий стан і дозволяє роботу лічильника імпульсів **ЛІ**, що починає заповнюватись імпульсами **ГІ**. Код з виходу **ЛІ** подається на цифрові входи **ЦАП** (входи керування ключами). У результаті з виходу **ЦАП** ступінчасто зростаюча напруга надходить на другий вхід компаратора. Після досягнення цієї напругою значення  $U_{ex}$  компаратор забороняє роботу генератора, а на виході **ЛІ** маємо прямий паралельний двійковий код, що відповідає значенню  $U_{ex}$ .



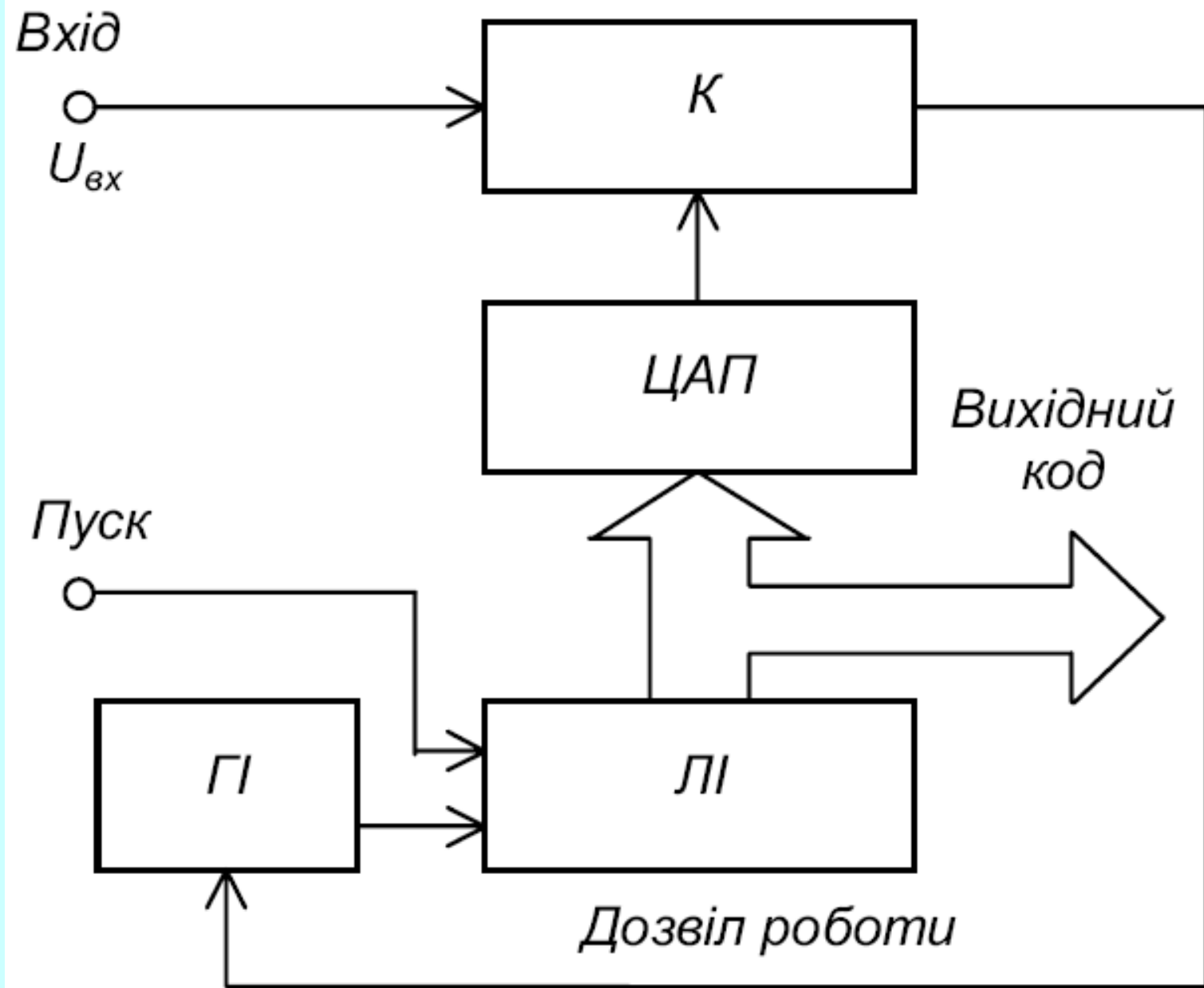


Рис. 12.1 – Структурна схема АЦП

## 12.2 АЦП послідовного наближення

Реально ж для збільшення швидкості перетворення застосовують більш складний алгоритм. До входів ЦАП замість лічильника підмикається регістр пам'яті. Після пуску схема керування встановлює регістр у стан, якому відповідає одиниця у старшому розряді і нулі у всіх інших. При цьому на виході ЦАП формується напруга, що дорівнює половині діапазону перетворення. Якщо вона менша за  $U_{\text{вх}}$ , то в старший розряд регістра записується нуль, а у другий за старшинством одиниця. Це відповідає напрузі на виході ЦАП, рівній половині попередньої. У разі перевищення  $U_{\text{вх}}$  цієї напруги одиниця встановлюється у третьому за старшинством розряді і вихідна напруга ЦАП збільшується у 1,5 разу. Описана процедура повторюється доти, доки на виході ЦАП не сформується напруга, що відрізняється від  $U_{\text{вх}}$  не більш ніж на ту, що відповідає одиниці молодшого розряду ЦАП. Перетворювачі, що працюють за таким алгоритмом, називають АЦП послідовного наближення.

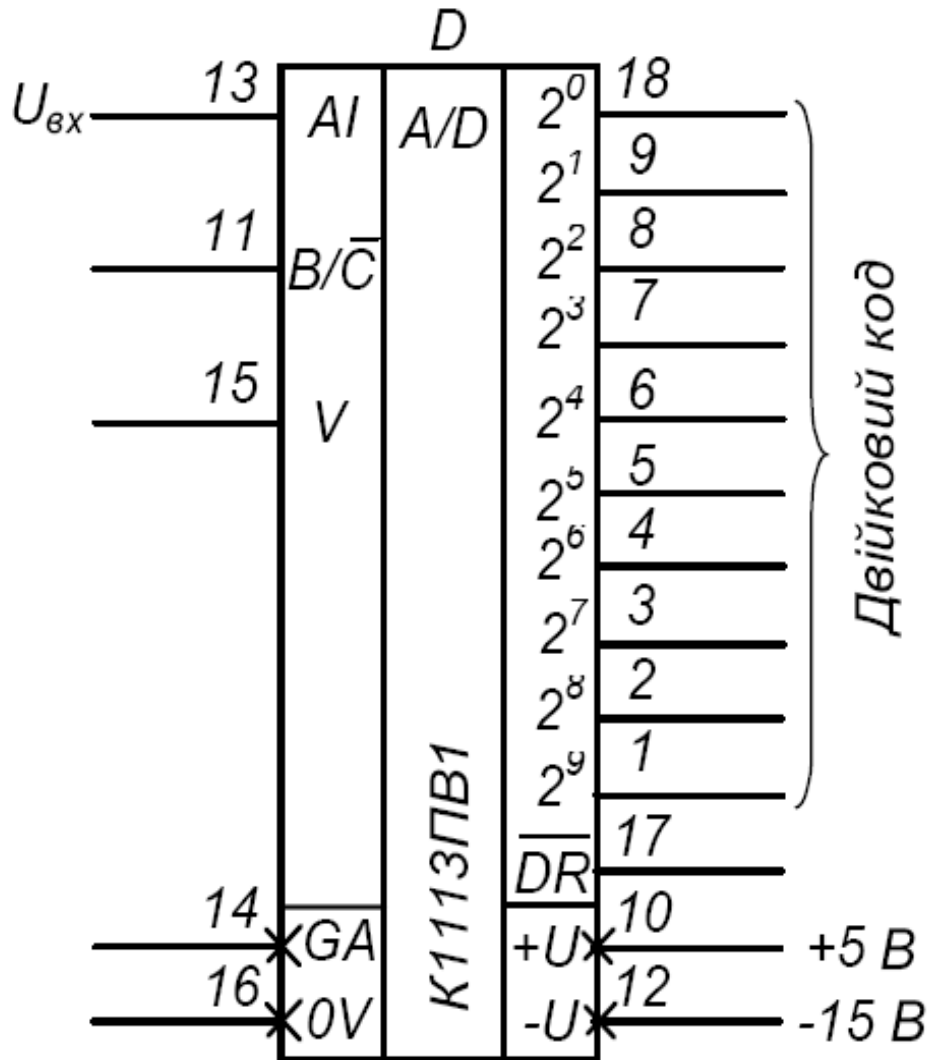


Рис. 12.2. - Умовне позначення ІМС функціонально закінченого (такого, що не вимагає використання допоміжних елементів) АЦП послідовного наближення К1113ПВ1

АЦП призначений для роботи з мікропроцесорними пристроями і є сумісним з мікропроцесорами. Його вихідні вузли мають **три стани**: два логічних (0 та 1) і третій - стан високого імпедансу - стан відімкнення, що забезпечує просте спряження з шиною даних мікропроцесора. Режим роботи АЦП у мікропроцесорній системі визначається сигналами керування від мікропроцесора. При надходженні на вхід гасіння і перетворення **B/C** логічного нуля АЦП починає цикл перетворення вхідної напруги  $U_{вх}$  у двійковий код. Після завершення перетворення на виході готовності даних **DR** з'являється сигнал логічної 1, що є запитом для мікропроцесора на прийом коду. У вихідному стані і стані перетворення на цьому виході утримується сигнал 1.

## 12.3 АЦП паралельного кодування

Елементарним пристроєм перетворення аналогової величини у дискретну є **компаратор**, який фіксує факт перевищення однієї напруги іншою і може мати на виході сигнали, що відповідають логічним 0 або 1. При цьому найбільш швидкодіючим є побудований на основі лінійки компараторів **АЦП паралельного кодування**.

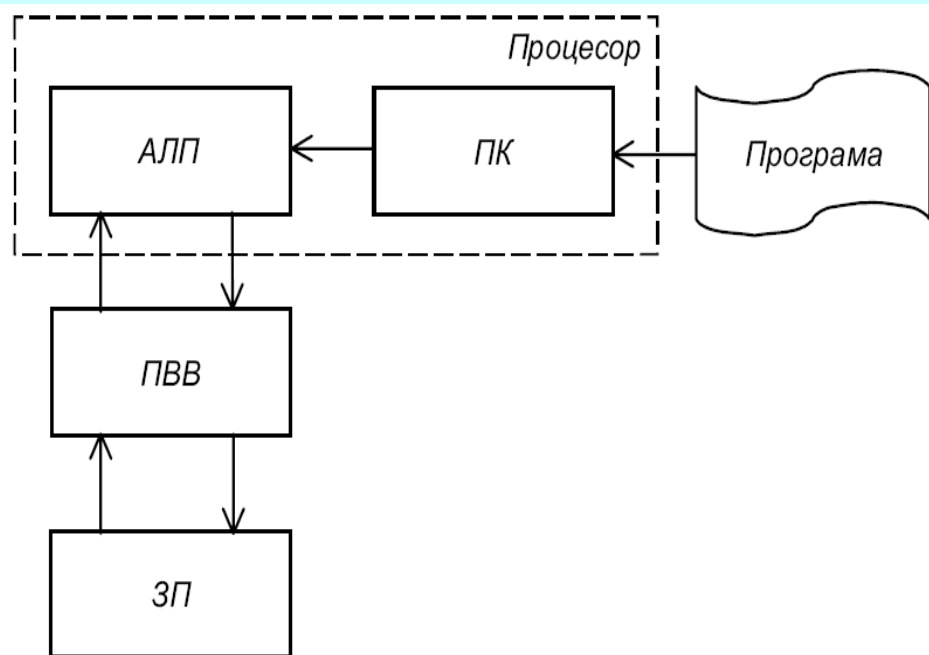
Напруга  $U_{вх}$  тут подається на перші входи всіх компараторів одразу. На другі їхні входи подається напруга з дільника, що складається з резисторів одного номіналу. Таким чином, значення напруги, з яким відбувається порівняння  $U_{вх}$  двома сусідніми компараторами, відрізняється на напругу, що відповідає молодшому розряду. Схема шифрування формує вихідний код, який відповідає старшому компаратору з тих, що спрацювали. Цей код записується в вихідний регістр пам'яті. Але апаратні затрати цього методу надзвичайно великі. Так, для восьмирозрядного АЦП потрібно 255 компараторів і близько  $3 \cdot 10^4$  активних компонентів (транзисторів).

## 12.4 Мікропроцесори

Із розвитком технології і схемотехніки ІМС виникла можливість створення на одному кристалі цілого електронного пристрою, наприклад, радіоприймача, вимірювального приладу чи пристрою керування. Але, зрозуміло, що при цьому ІМС (ВІМС) стають вузько спеціалізованими. І якщо у випадку застосування пристроїв масового призначення, що продукуються десятками тисяч (радіоприймач, вимірювальний прилад), з цим можна змиритися, то з пристроями керування виникають великі проблеми.

Перш за все, **алгоритм** (послідовність виконання дій, що веде до успіху) керування часто є індивідуальним (наприклад, для кожного з автоматичних маніпуляторів, що працюють на складальному конвеєрі з виробництва автомобілів). Крім того, у процесі експлуатації технологічного устаткування часто виникає необхідність у заміні всього алгоритму керування або його частин (добавлення або вилучення операцій, зміна послідовності їхнього виконання). Застосування ВІМС у такому разі з економічної точки зору недоцільне. Але й побудова пристроїв керування на основі універсальних ІМС середнього ступеня інтеграції, хоча це й менше коштує, теж не є вдалим виходом, бо зміни алгоритму при цьому ведуть до зміни електричної схеми пристрою керування (повністю або у деяких її частинах). Пристрої керування з незмінним алгоритмом називають пристроями з **жорсткою логікою**.

**Мікропроцесор (МП)** - це програмне керований пристрій опрацювання цифрової інформації, виконаний у вигляді однієї (рідше декількох) ВІС. Функції МП аналогічні до функцій центрального процесора цифрової ЕОМ. Його можна вважати одним з найбільших досягнень сучасної мікроелектроніки. Найбільш близьким прообразом сучасних цифрових ЕОМ є механічна "аналітична машина" англійського математика Ч. Беббіджа, запропонована ним 1833 р. І пізніше реалізована його сином (додавання двох чисел тривало 2 секунди, а множення - хвилини). У цій машині вперше була запропонована і реалізована ідея процесора, що по чергово виконує у заданій послідовності наперед задані математичні операції над числами.



Арифметико-логічний пристрій (**АЛП**) тут виконує арифметичні або логічні дії над числами (кодами) у порядку, що задається пристроєм керування (**ПК**) згідно з програмою, яка вводиться до нього. Практичне застосування процесора можливе за наявності пристрою вводу і виводу чисел (**ПВВ**) і запам'ятовувального пристрою (**ЗП**), необхідних для вводу вихідних даних, виводу результатів та збереження проміжних результатів.

**Рис. 12.3 - Структура процесора**



Повна механічна обчислювальна машина, що мала процесор, ПВВ і ЗП, побудована 1936 р. у Німеччині під керівництвом **К. Цузе**. Тоді ж з'являється й перша **алгоритмічна мова** для написання програм для цієї машини. З цього часу розпочинається стрімкий розвиток процесорів як основної ланки обчислювальної машини.

У 1938 р. під керівництвом К. Цузе створено процесор на електромагнітних реле, що збільшило швидкість виконання операцій у десятки разів. 1946 року у США побудовано першу електронну обчислювальну машину ЕМАК, що містила 18000 електронних ламп (додавання і віднімання тривало 200 мікросекунд, а множення 2800 мікросекунд). Одна з перших радянських ЕОМ, призначена для серійного виробництва, "Стрела" була створена у 1953 році. Вона містила 6000 ламп, споживала потужність 150 кВА і розміщувалася у приміщенні площею 300 м<sup>2</sup>: уніфіковані її комірки (логічні елементи, тригери та ін.) містилися у 6 вертикальних стійках висотою 2,5 метри та у пульті оператора. Вона виконувала 2000 операцій за секунду. Її постійно обслуговували 5-7 техніків.

# Електроніка і мікропроцесорна техніка

Лекція №13

**Мікроконтролери.**



# План.

***13.1 Основні визначення***

***13.2 Параметри мікроконтролера***

***13.3 Класифікація мікроконтролерів***

***13.4 Мікроконтролери в системах керування***

***13.5 CISC-процесори***

***13.6 Структура мікроконтролера***

***13.7 Принцип роботи мікроконтролера***

## 13.1 Основні визначення

**Мікропроцесор** є центральним обчислювальним ядром комп'ютерної системи.

**Контролер** закінчений електронний пристрій, зазвичай виконаний на друкованій платі і призначений для приймання та опрацювання сигналів від датчиків, а також для керування зовнішніми пристроями на основі результатів опрацювання прийнятих сигналів.

**Мікроконтролер** програмно керована ІМС, що застосовується для побудови контролерів. Мікроконтролер, окрім ядра, має оперативний та постійний запам'ятовувальні пристрої-таймери-лічильники, канали введення та виведення інформації, інші пристрої це самостійна комп'ютерна система, що вміщує процесор, допоміжні схеми та пристрої введення-виведення даних, розміщені у спільному корпусі. Мікроконтролери мають низьке споживання (струм живлення складає кілька міліампер), мінімальні габарити (випускаються залежно від інформаційної потужності у 8-, 18-, 20-, 28-, 40-, 44- та 64-вивідних корпусах, та найчастіше застосовують контролери у перших чотирьох типах корпусів), потребують мінімум (буквально декілька) зовнішніх дискретних компонентів. Пам'ять даних у них складає від 36 до 368 байт, а пам'ять програм від 0-5 до 128 кілобайтів.

## 13.2 Параметри мікроконтролера

Кількість ліній введення-виведення, що можуть за вибором передавати інформацію у одному з напрямків - становить від 6 до 53. Робоча частота **1-24 МГц**. Напруга живлення може знаходитись у межах **1,8-6 В** (номінальне значення 5 В). Вони можуть мати у своєму складі аналогові компаратори (наприклад, два), аналого-цифрові перетворювачі (наприклад, у деяких мікроконтролерів **AVR фірми Atmel** від 4 до 11), таймери (1-2), широтноімпульсні модулятори (1-8), різні інтерфейси зв'язку з зовнішніми пристроями.

У мікроконтролерів **PIC** (периферійний контролер інтерфейсу) фірми Microchip є можливість захисту коду програми від несанкціонованих змін або копіювання (один або два біти захисту).

## 13.3 Класифікація мікроконтролерів

За технологією виконання пам'яті програм є три типи мікроконтролерів:

1) **масково-програмовані** - мають найменшу вартість, але застосовуються лише при масовому виробництві, бо програмуються на заводі-виробнику ІМС у процесі виготовлення кристалу;

2) **з ультрафіолетовим стиранням** - дозволяють перепрограмування, але процес цей досить тривалий і після ультрафіолетового опромінення можлива нечітка робота контролера, особливо за зниженої напруги живлення;

3) **з флеш-пам'яттю** - дозволяють багаторазове електричне стирання (дозволяють здійснювати розроблення і відпрацьовування програм на готовому пристрої), але у декілька разів дорожчі від контролерів першого типу.

## 13.4 Мікроконтролери в системах керування

Мікроконтролери, які застосовуються при розробці пристроїв керування технологічного устаткування, мають такі особливості:

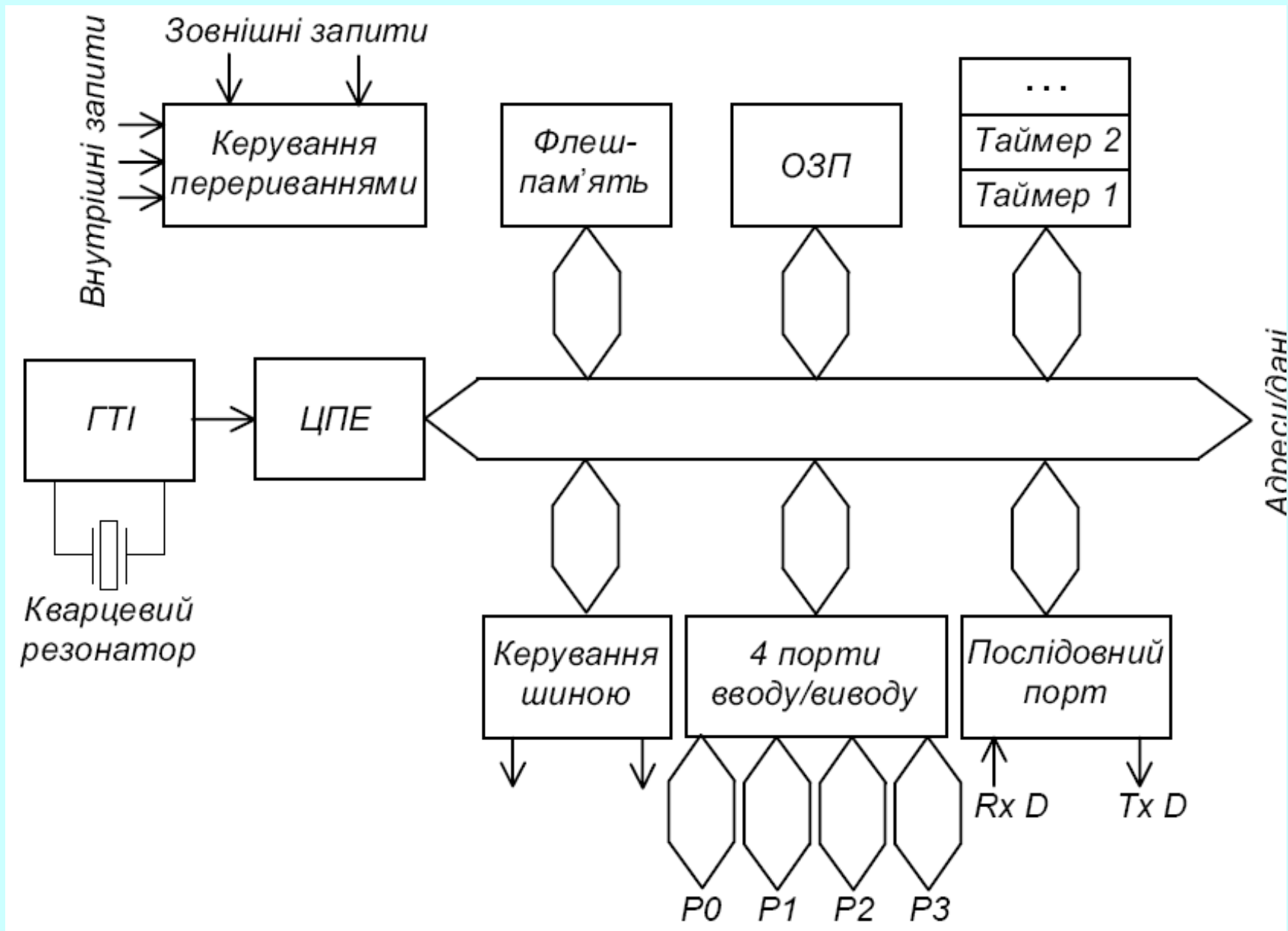
- 1) практично необмежена кількість циклів перепрограмування, що в умовах одиничного та малосерійного виробництва забезпечує виконання робіт з налагодження і доведення, а також оперативну зміну алгоритму керування при експлуатації устаткування;
- 2) достатньо високі робочі частоти;
- 3) наявність простих, дешевих і доступних для самостійної реалізації моделей програматорів;
- 4) мінімальні габарити, вартість, висока надійність;
- 5) доступність і вкрай прийнятна вартість;
- 6) наявність моделей з вбудованими аналоговими компараторами та аналого-цифровими перетворювачами (з розвитком інтегральної технології з'явилась можливість розміщення на одному кристалі як цифрових, так і аналогових елементів);
- 7) можливість захисту програм від несанкціонованих змін та копіювання;
- 8) можливість отримання інформації від сучасних інтегральних датчиків та передачі інформації комп'ютеру у відповідних протоколах інтерфейсу;
- 9) велика кількість доступної довідкової та іншої технічної інформації.

## **13.5 CISC-процесори**

Сучасні мікроконтролери втратили початкову особливість програмованих логічних контролерів - доступність мови програмування для неспеціалістів з інформатики. Хоч процесори мікроконтролерів, на відміну від CISC-процесорів (Complex Instruction Set Computer) ЕОМ з складною системою команд, відносять до RISC (Reduced Instruction Set Computer) процесорів, у яких набір виконуваних команд скорочено до мінімуму (залежно від типу мікроконтролера а його асемблер має від 33 до 133 команд), їхнє програмування на асемблері особливо складне і доступне власне спеціалістам з мікроконтролерів.

## **13.6 Структура мікроконтролера**

Перші мікроконтролери з'явилися у **1976** році, коли в одній ВІС стало можливим сумістити процесор, ОЗП, ПЗП і елементи інтерфейсу. На відміну від універсальних мікро-ЕОМ, в мікроконтролерах невелика за розміром пам'ять (декілька сотень байт ОЗП та декілька десятків кілобайт ПЗП) і простий інтерфейс для зв'язку з зовнішніми пристроями. Їх не застосовують в універсальних обчислювальних системах. Мікроконтролери призначені для створення високоефективних і дешевих систем керування і регулювання. Вони реалізують відносно нескладні алгоритми, тому потребують обсягів пам'яті на декілька порядків менших, ніж ЕОМ універсального призначення. Їх застосовують у системах керування маніпуляторами, вимірювальних приладів, технологічного устаткування, станків, автомобілів, побутової техніки та ін.



**Рисунок 13.1 - Типова структура мікроконтролера**

## 13.7 Принцип роботи мікроконтролера

Ємності **ОЗП** у декілька сотень байт цілком досить для тимчасового зберігання даних та проміжних результатів при виконанні програм керування. Програми зберігаються у флеш-пам'яті ємністю у десятки кілобайт. За необхідності передбачено можливість нарощування обсягів пам'яті за рахунок підключення зовнішніх ВІС оперативної та постійної пам'яті.

Роботою всіх вузлів керує **центральний процесорний елемент ЦПЕ**. Синхронізують його роботу імпульси **ГТІ** з частотою 12-24 МГц, що задається зовнішнім кварцевим резонатором. Це забезпечує високу стабільність частоти, що необхідно при відпрацюванні проміжків часу.

Адреси і дані передаються по **шині адрес/даних** з розрядністю слів, які опрацьовуються мікроконтролером.



## 13.7 Принцип роботи мікроконтролера

Через вхід  $Rx$   $B$  послідовного порту відбувається прийом даних у послідовному коді, через вхід  $Tx$   $O$  - передача.

Мікроконтролер може обслуговувати декілька як внутрішніх, так і зовнішніх запитів на переривання програми для переходу до виконання більш пріоритетних підпрограм.

**Таймери-лічильники** призначені для відпрацьовування інтервалів часу або підрахунку кількості імпульсів.

Систему команд мікроконтролера орієнтовано на виконання задач керування, тому поряд зі звичайними командами, характерними для всіх мікропроцесорів, є й специфічні.

Оскільки всі вузли мікропроцесорної системи тут знаходяться всередині однієї ВІС, не потрібні звертання до зовнішніх пристроїв. Тому більшість команд короткі з часом виконання, наприклад, близько 1 мкс за тактової частоти 12 МГц.

# Електроніка і мікропроцесорна техніка

Лекція №15

**СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ.  
МІКРОКОНТРОЛЕРІВ СІМЕЙСТВА MCS-51**

## 15.1. Загальні відомості про архітектуру мікроконтролера

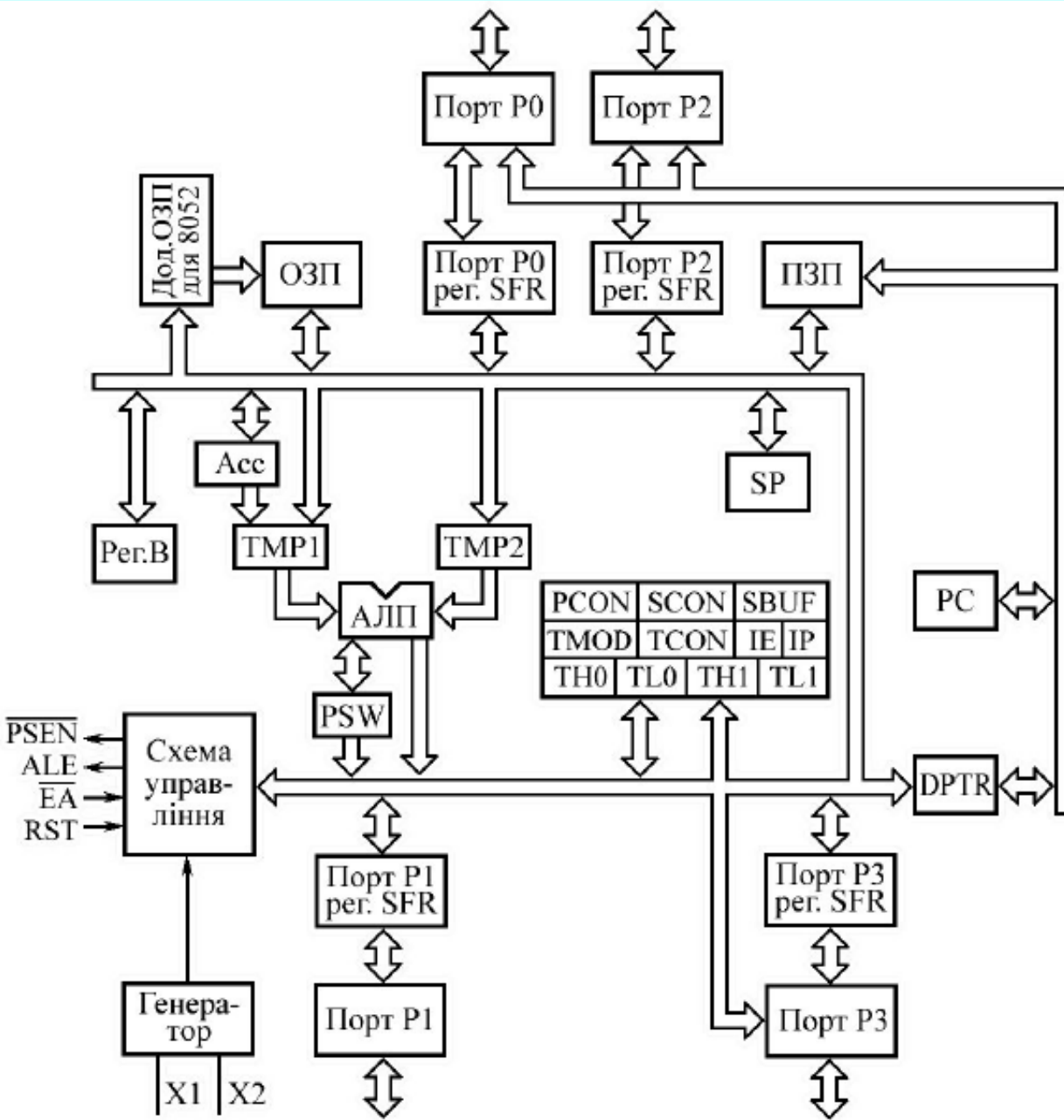
Однокристальний мікроконтролер для вбудованих використання (embedded microcontroller), який раніше інколи називали однокристальною мікро-ЕОМ, являє собою виготовлену на одному кристалі мікропроцесорну систему, зорієнтовану на реалізацію алгоритмів цифрового керування різноманітними об'єктами та процесами. У складі мікроконтролера, як правило, – центральний процесор, внутрішня постійна та оперативна пам'ять, паралельні та послідовні порти введення/виведення даних, набір периферійних пристроїв: таймерів, контролерів переривань, аналого-цифрових перетворювачів, широтно-імпульсних модуляторів, модулів цифрової обробки сигналів у реальному часі. Таким чином, на базі однієї мікросхеми мікроконтролера з використанням мінімальної кількості зовнішніх елементів можна побудувати багатофункціональну універсальну цифрову систему.

## 15.2. Відмінності контролерів і процесорів

Найбільш суттєва відмінність архітектури однокристальних мікроконтролерів від традиційної архітектури мікропроцесорів у тому, що внутрішня пам'ять програм (ВПП) та внутрішня пам'ять даних (ВПД) – це принципово різні пристрої.

Якщо мікропроцесор КР580ВМ80 здатний виконувати коди програм, які можуть перебувати як в постійній, так і в оперативній пам'яті, то мікроконтролер виконує програму, яка тільки в пам'яті програм. Коли мікропроцесор використовує одні й ті ж сигнали **RD** і **WR** при звертанні до мікросхем як постійної, так і оперативної пам'яті, то однокристальний мікроконтролер встановлює різні сигнали при звертанні до зовнішніх пам'яті програм та пам'яті даних.

## 15.3 Внутрішня структура однокристалного мікроконтролера 8051АН сімейства MCS-51



**Порт P0...Порт P3** – порти мікроконтролера; **Рег. SFR** – реєстри портів мікроконтролера; **ОЗП** – оперативний запам'ятовуючий пристрій (пам'ять даних); **ПЗП** – постійний запам'ятовуючий пристрій (пам'ять програм); **Дод. ОЗП** – додаткова пам'ять даних (для мікроконтролерів і8052); **Асс** – акумулятор; **Рег. В** – реєстр-розширювач акумулятора (реєстр В); **TMP1, TMP2** – реєстри тимчасового зберігання даних; **SP** – реєстр-показчик стеку; **PCON, SCON, SBUF, TMOD, TCON, IE, IP, TH0, TL0, TH1, TL1** – службові реєстри спеціальних функцій внутрішніх пристроїв мікроконтролера; **PC** – програмний лічильник команд; **PSW** – реєстр слова стану програми; **DPTR** – реєстр-показчик даних.

# 15.3.1 Регістри

**Регістр (цифрова техніка)** - послідовний або паралельний логічний пристрій, що використовується для зберігання n-розрядних двійкових чисел і виконання перетворень над ними.

**Регістр процесора** - надшвидка пам'ять всередині процесора, призначена для зберігання адрес і проміжних результатів обчислень (регістр загального призначення / регістр даних) або даних, необхідних для роботи самого процесора.

**Регістр прапорів (ПРАПОРИ)** - регістр процесора, біти (прапори) якого відображають стан процесора і властивості результатів попередніх операцій.

## **Мікроконтролер 8051АН – вихідний для сімейства MCS-51, має такий набір функціональних модулів:**

- *8-розрядний арифметико-логічний пристрій (АЛП) з апаратною реалізацією операцій множення/ділення;*
- *внутрішній оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП, пам'ять даних) об'ємом 128 байтів;*
- *внутрішній постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП, пам'ять програм) об'ємом 4 Кбайти;*
- *чотири двоспрямованих побітно налагоджуваних 8-розрядних порти введення/виведення;*
- *два 16-розрядних таймери-лічильники;*
- *дуплексний послідовний порт для зв'язку з іншими контролерами чи мікро-ЕОМ;*
- *вбудований тактовий генератор.*

## 15.4 Особливості мікроконтролер 8051АН:

Мікроконтролер 8051АН має особливості, обумовлені його апаратною реалізацією:

- адресація 64 Кбайтів зовнішньої пам'яті програм та 64 Кбайтів зовнішньої пам'яті даних;
- можливість виконання лініями порта 3 альтернативних функцій;
- можливість виконання операцій над окремими бітами;
- 2 лінії запитів на переривання від зовнішніх пристроїв;
- неможливість зупинки роботи мікроконтролера після подання напруги живлення і відсутність команди зупинки для мікросхем, створених з використанням схемотехніки динамічних елементів;
- наявність двох режимів зниженого енергоспоживання;
- наявність біта захисту від несанкціонованого копіювання програми із внутрішнього ПЗП.



## ***15.5 Розширені версії мікроконтролерів сімейства MCS-51 можуть мати наступні периферійні пристрої:***

- 32-розрядний математичний співпроцесор;
- додатковий 16-розрядний регістр DPTR;
- порт сканування клавіатури;
- контролер мультиплексного рідинно-кристалічного індикатора;
- додатковий багаторежимний таймер-лічильник PCA;
- сторожевий таймер (Watch Dog Timer, WDT);
- аналоговий компаратор;
- багатоканальний аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
- прецизійний 24-розрядний АЦП;
- двоканальний цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП);
- додатковий дуплексний асинхронний приймач-передавач (UART);
- додаткові послідовні інтерфейси (SPI, I2C, SMBus, CAN);
- “комп’ютерні” інтерфейси (USB, eISA);
- енергонезалежна пам’ять даних on-chip EEPROM (до 128 Кбайт);
- конфігурована логічна матриця CSL (до 2048 елементів);
- декодер програвача MP-3.

Сучасні мікроконтролери сімейства MCS-51 мають повністю статичну архітектуру і демонструють рекордну для 8-розрядних пристроїв швидкодію до 100 мільйонів операцій за секунду (MIPS).

### ***15.6 Широкому розповсюдженню мікроконтролерів сімейства MCS-51 сприяли такі переваги:***

- архітектура, яка фактично стала промисловим стандартом;
- велика широта та різноманітність можливостей;
- наявність високопродуктивних та розширених версій процесорів;
- значна кількість вільно доступних програмних та апаратних розробок;
- легкість апаратного програмування, у тому числі і внутрішньосхемного;
- дешевина базових чіпів сімейства;
- наявність спеціалізованих версій контролерів;
- наявність версій контролерів зі зниженим рівнем електромагнітних завад;
- доступність спеціальної літератури та інформації в Internet;
- підтримка архітектури провідними навчальними закладами світу

# 15.7 Виробники

Сьогодні мікроконтролери сімейства MCS-51 виробляють більше 20 фірм, серед яких найбільш відомі: Analog Devices; *Atmel Corporation*; Burr-Brown Products, підрозділ Texas Instruments; Cypress Semiconductor; Cygnal Integrated Products, Inc.; Dallas Semiconductor; Infineon Technologies AG – (раніше **Siemens Semiconductors AG**, підрозділ **Siemens AG**); Integrated Silicon Solution, Inc.; **Philips Semiconductors**; ST Microelectronics; Texas Instruments, Inc.; Triscend Corporation; Winbond Electronics Corp.; Temic Semiconductor (підрозділ Atmel Corp.), OKI Semiconductor, **LG Electronics** та інші.