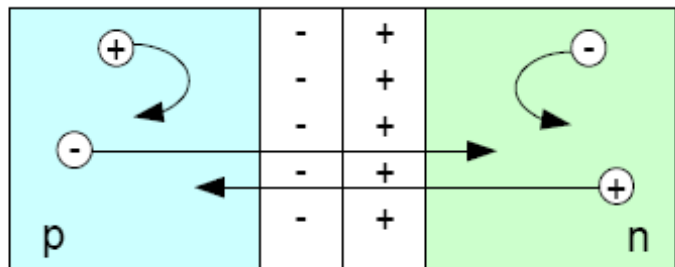


# Напівпровідникові діоди



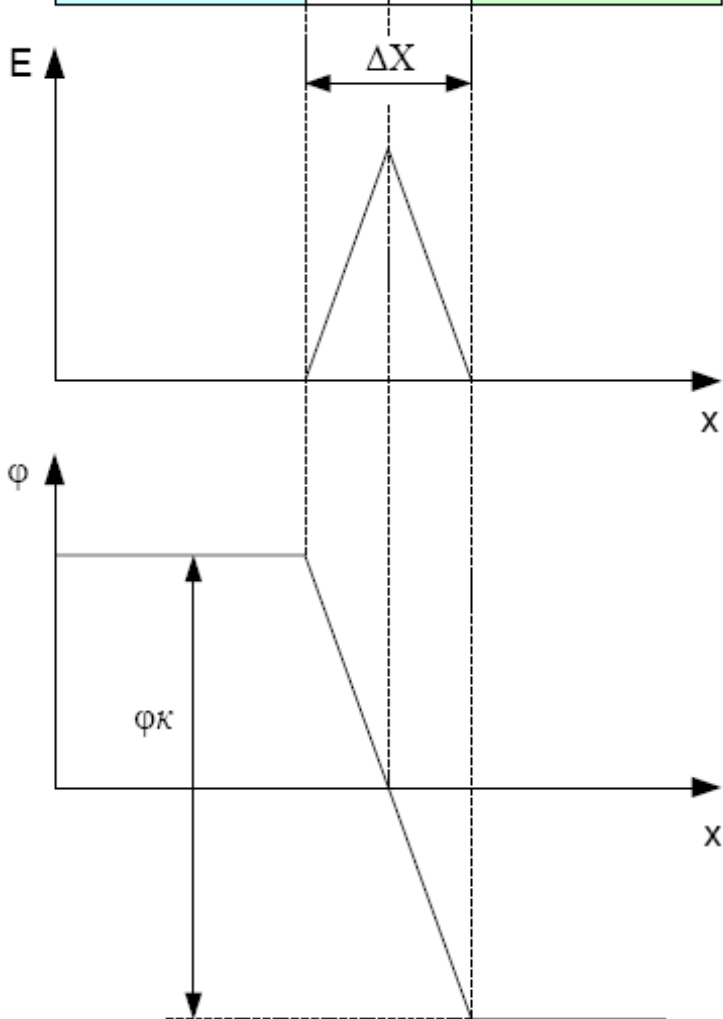
На межі напівпровідників різної провідності виникає контактна різниця потенціалів.

Виникає потенціальний бар'єр для основних носіїв заряду.

Струм через p-n перехід:

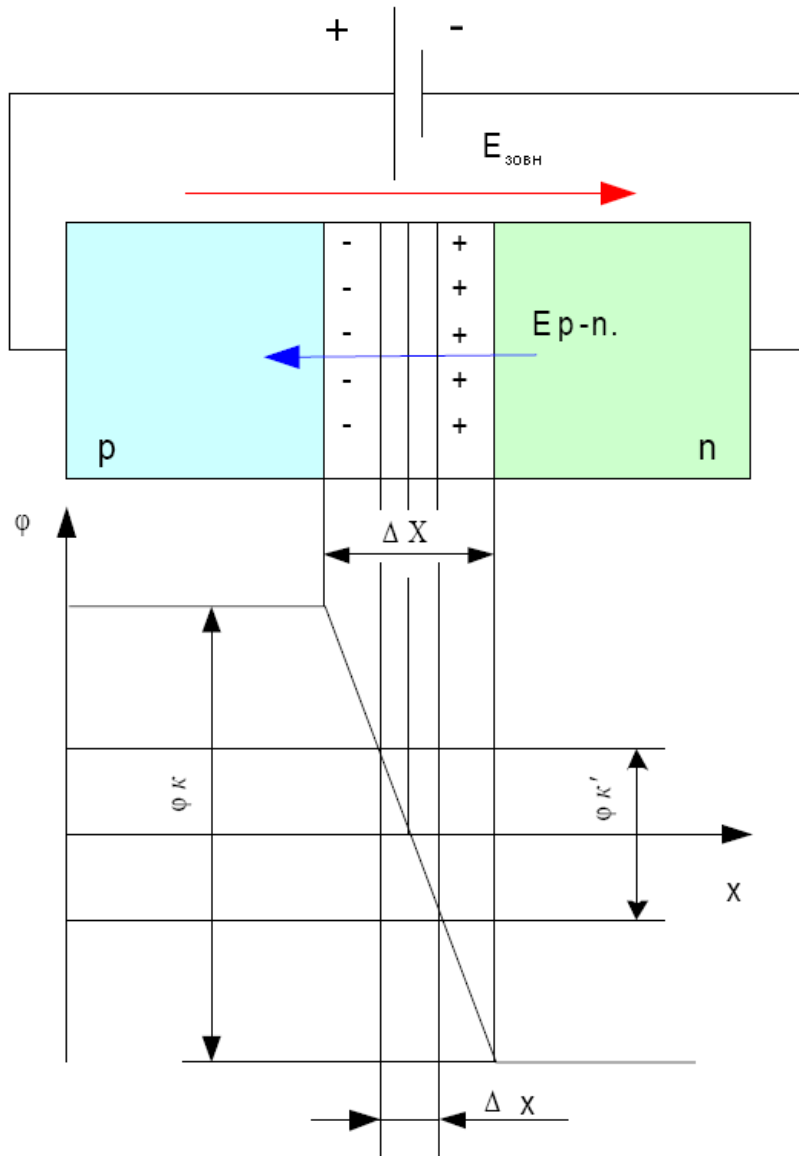
**Дифузійний** – струм, що виникає в напівпровідниках через нерівномірність концентрації носіїв заряду.

**Дрейфовий** – струм, що виникає під дією зовнішнього електричного поля.

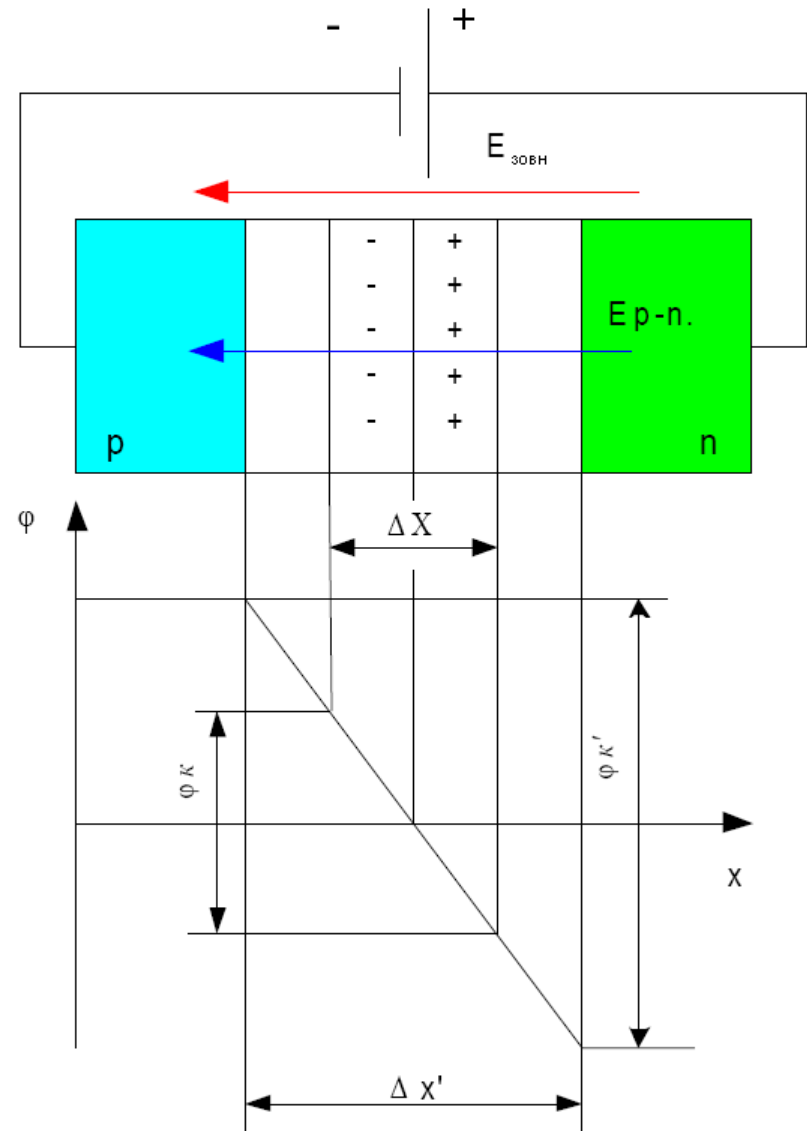


# Напівпровідникові діоди

Пряме включення  
(прямий струм)



Зворотнє включення  
(зворотній струм)



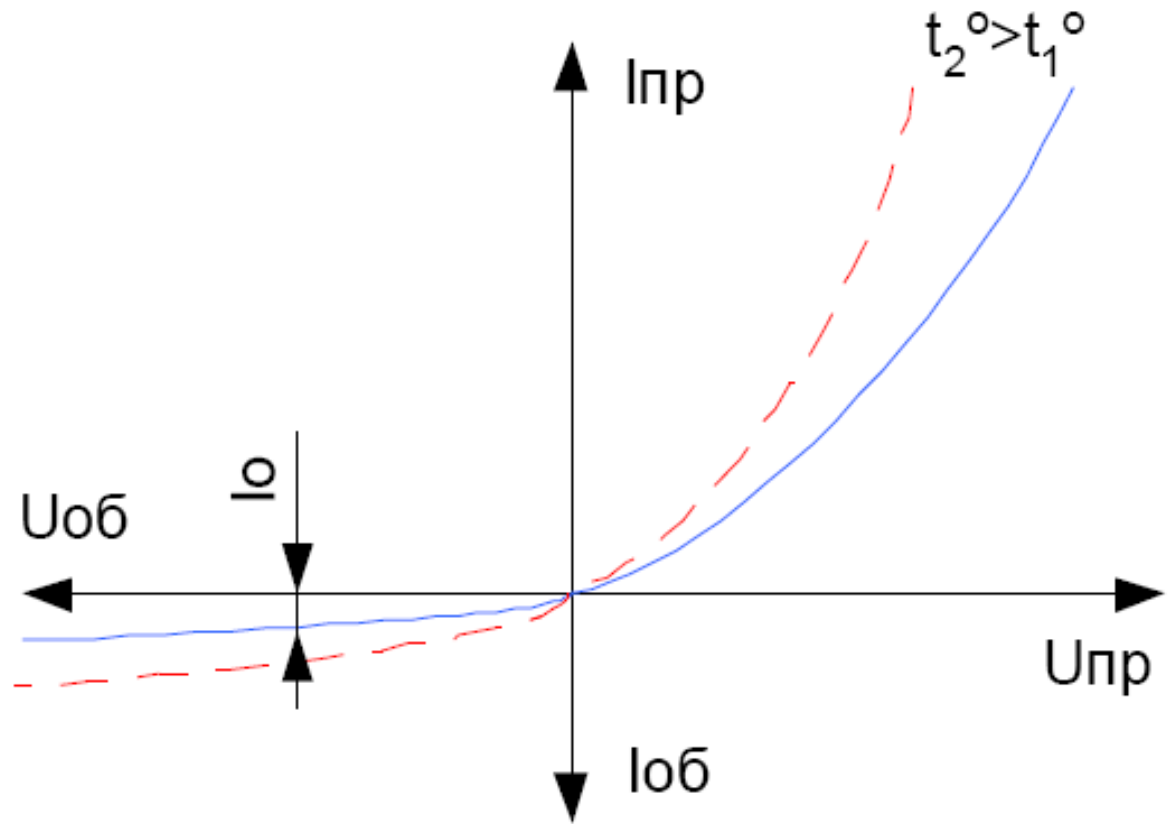
# Напівпровідникові діоди

Властивості р-n переходу:

- ✓ Одностороння провідність (випрямлення змінного струму);
- ✓ Температурні властивості (вимірювання температури, температурна стабілізація);
- ✓ Частотні властивості (генерація ВЧ, );
- ✓ Пробій р-n переходу (стабілізація напруги, струму)

# Напівпровідникові діоди

ВАХ р-n переходу



$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right] = I_0 \left( e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) = I_0 \left( e^{U/\varphi_T} - 1 \right)$$

$I_0$  – зворотній струм насичення,  $T$  – абсолютна температура,  
 $q$  – заряд електрона,  $\varphi_T$  – температурний потенціал (0.025 В)

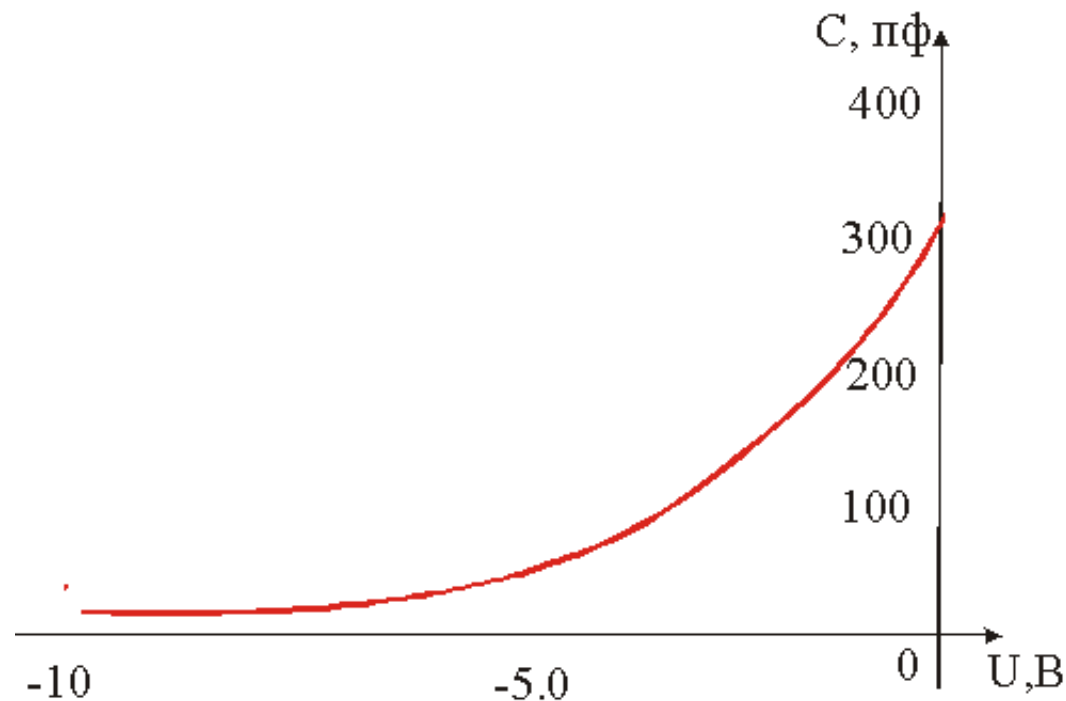
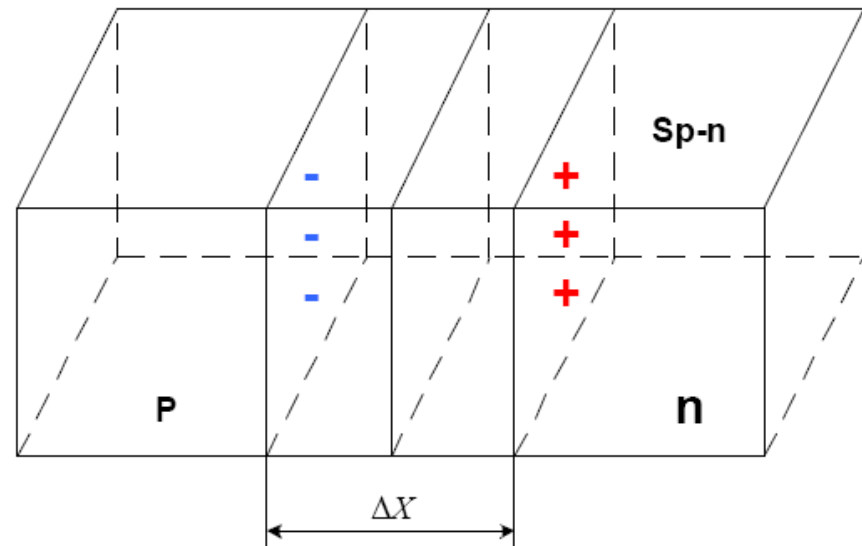
# Напівпровідникові діоди

Частотні характеристики р-п переходу визначаються трьома типами ємності: бар'єрна, дифузійна, ємність корпусу.

## Бар'єрна

$$C = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S_{p-n}}{\Delta x}$$

визначає ємність при зворотному ввімкненні



# Напівпровідникові діоди

## Дифузійна

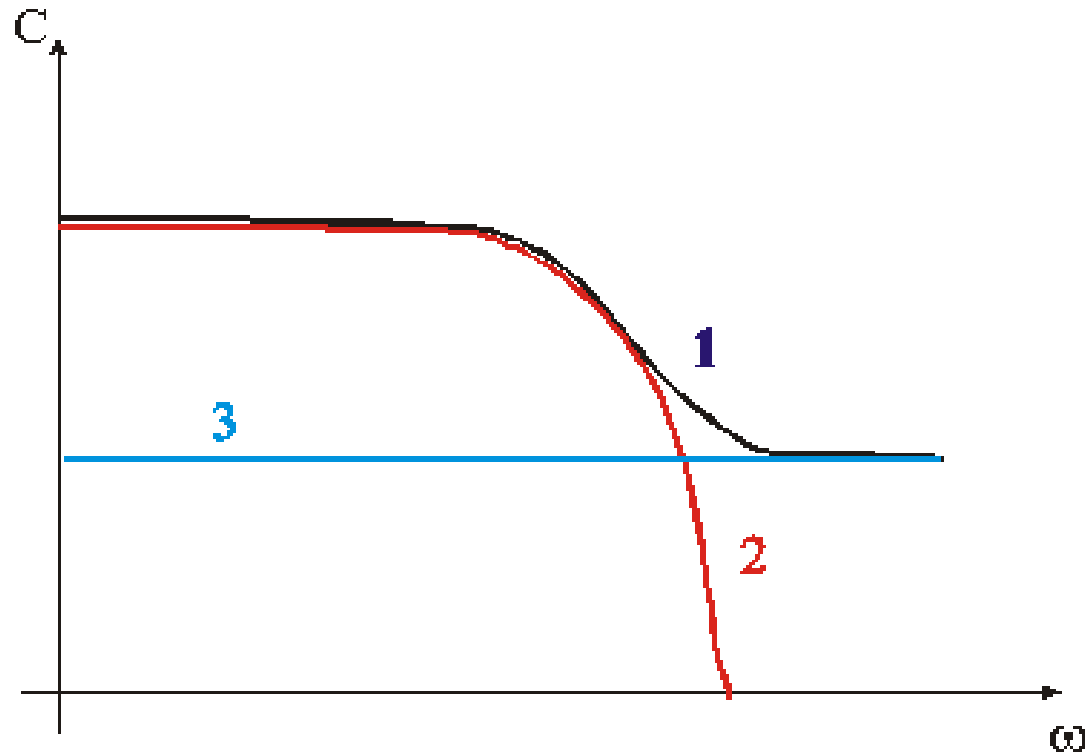
$$C_{\text{диф}} = \frac{dQ}{dU} \approx \frac{q \cdot I_{\text{пр}} \cdot \tau}{kT}$$

$\tau$  - час життя носіїв заряду

$I_{\text{пр}}$  – прямий струм

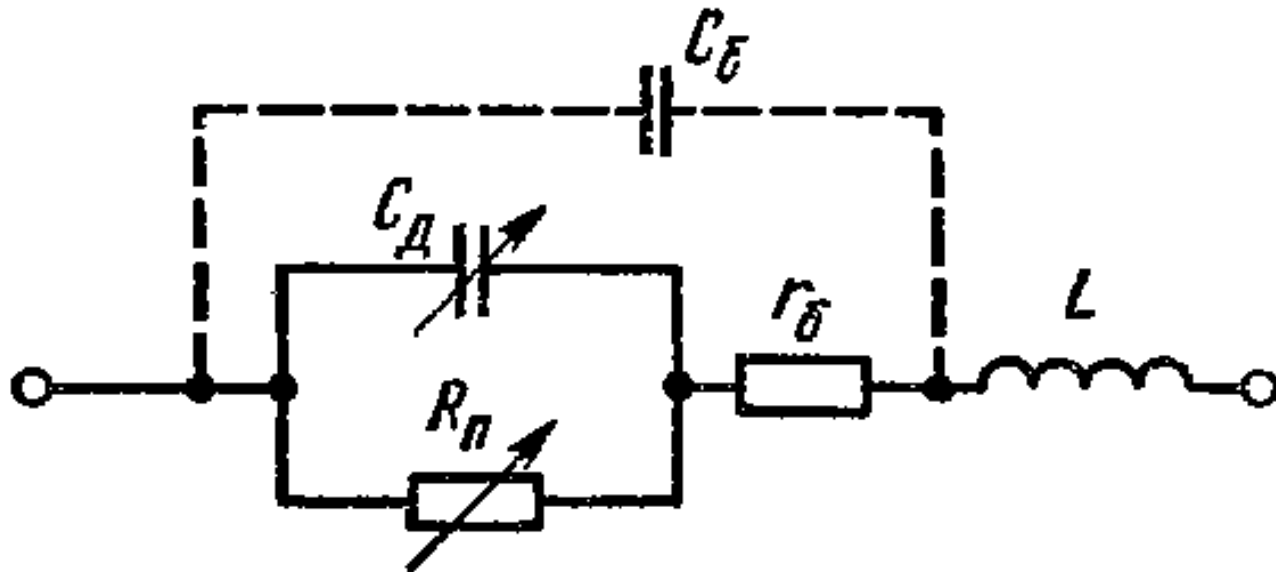
## Залежність від частоти:

- 1 – сумарна ємність
- 2 – дифузійна
- 3 - бар'єрна



# Напівпровідникові діоди

Еквівалентна схема напівпровідникового діода



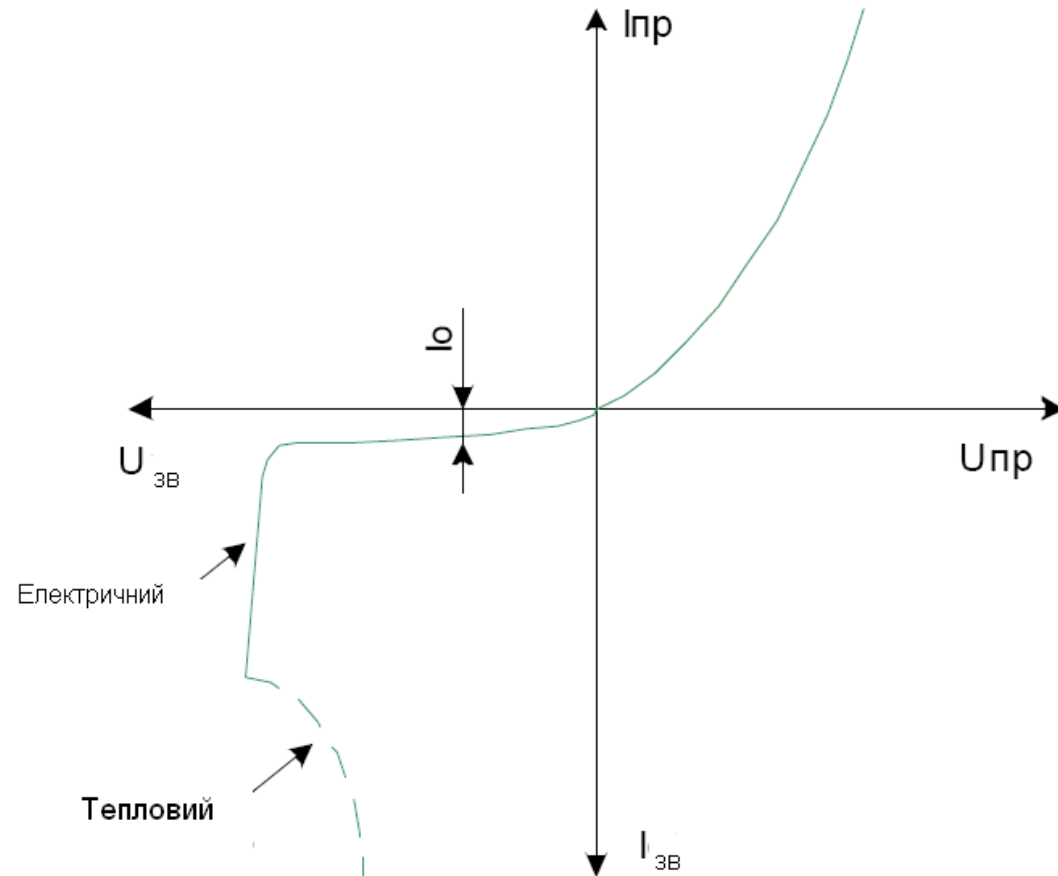
$C_E$  – бар'єрна ємність,  $C_D$  – дифузійна ємність,  $R_{\Pi}$  – опір переходу,  $r_{\delta}$  – опір напівпровідника,  $L$  – індуктивність провідників

# Напівпровідникові діоди

## Пробій

При збільшенні зворотної напруги настає момент, коли енергія електричного поля стає достатньою для генерації вільних носіїв заряду, при цьому настає електричний пробій (не пошкоджується перехід)

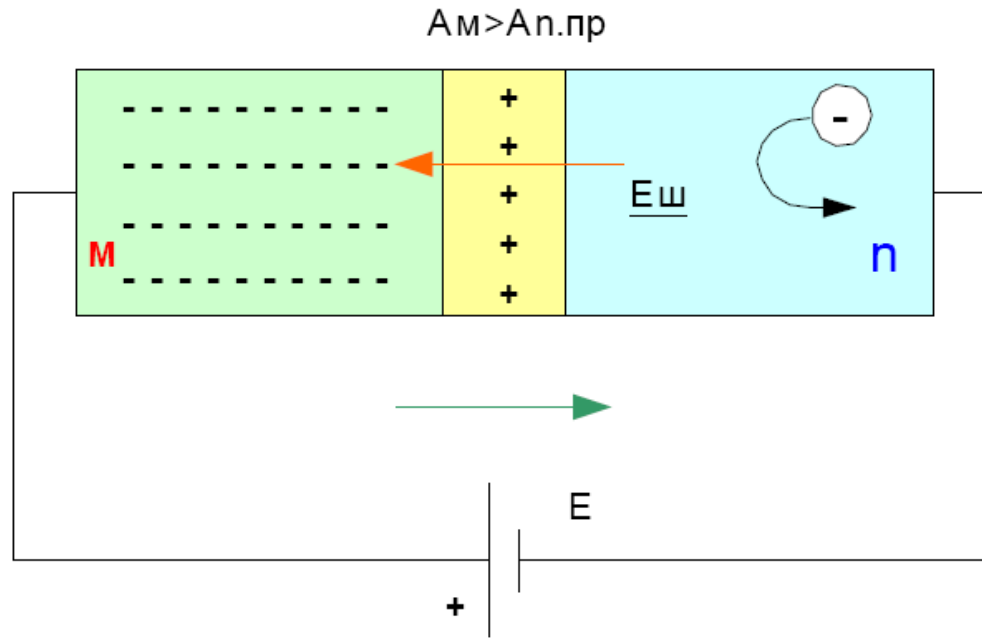
При достатньо великому зворотньому струмі відбувається розігрівання переходу при цьому генеруються вільні носії заряду – виникає тепловий пробій (незворотне пошкодження переходу)





# Напівпровідникові діоди

## Перехід Шоткі



Перехід Шоткі виникає на границі метал-напівпровідник, якщо  $A_M > A_{n.pr}$ .

Переваги :

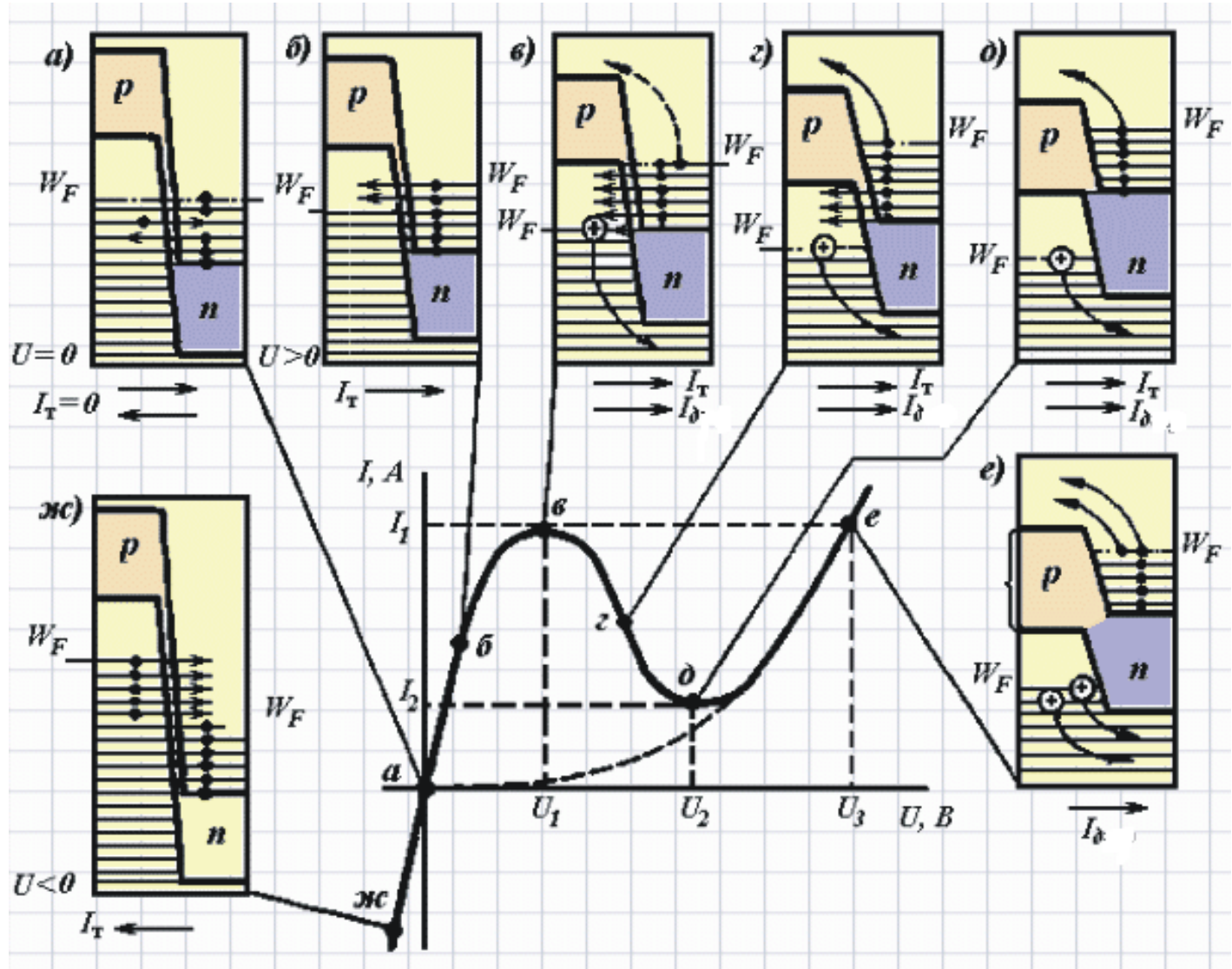
робота на ВЧ

швидкодія перемикання

# Напівпровідникові діоди

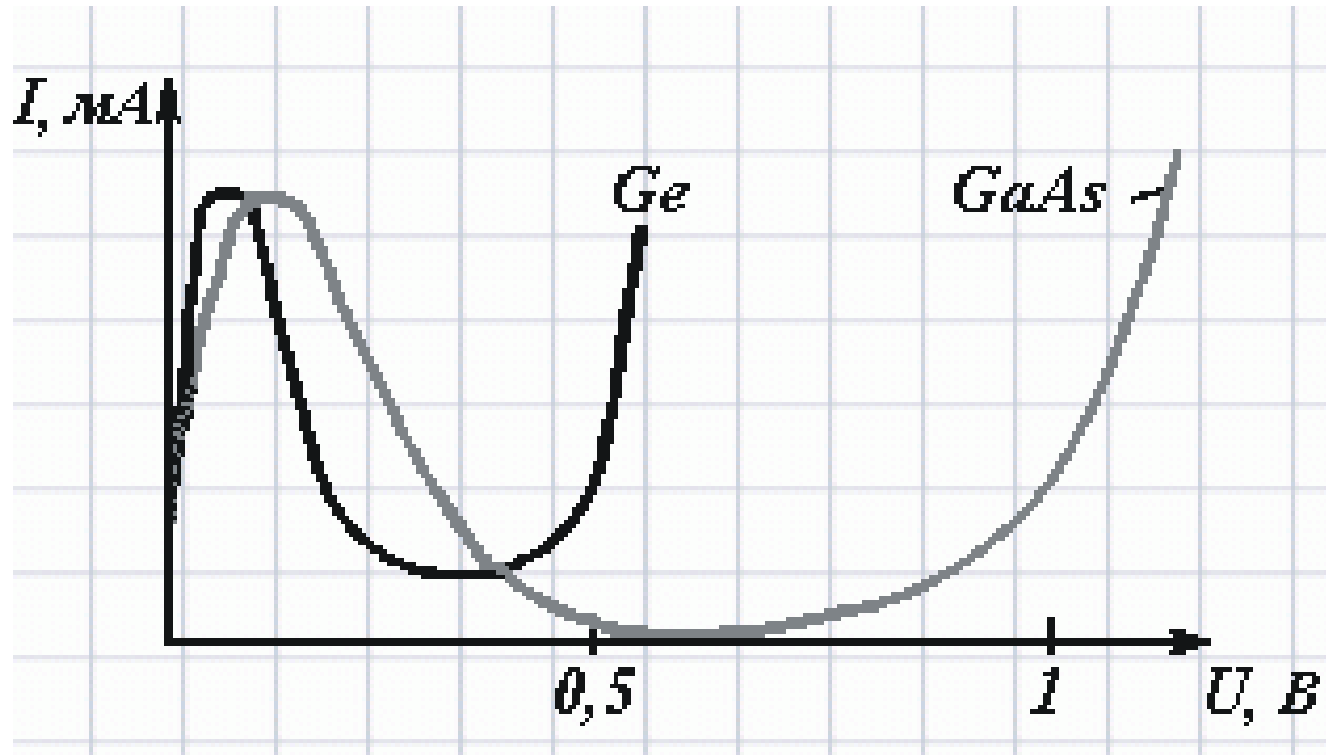
Тунельний ефект – на переході вироджених напівпровідників (концентрація домішок  $\sim 10^{24} \text{ см}^{-3}$ ). Товщина переходу досить мала ( $\sim 10^{-2} \text{ мкм}$ ), висота бар'єру досить велика (напруженість поля  $\sim 10^8 \text{ В/м}$ )

$$I = I_T + I_D$$



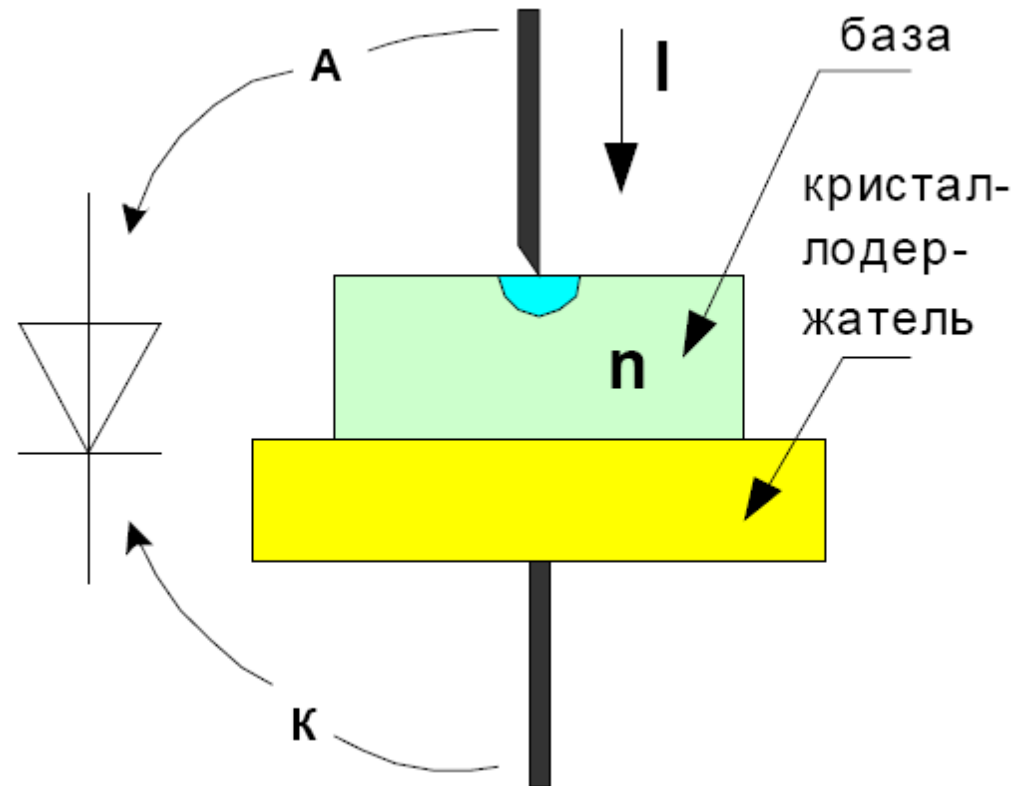
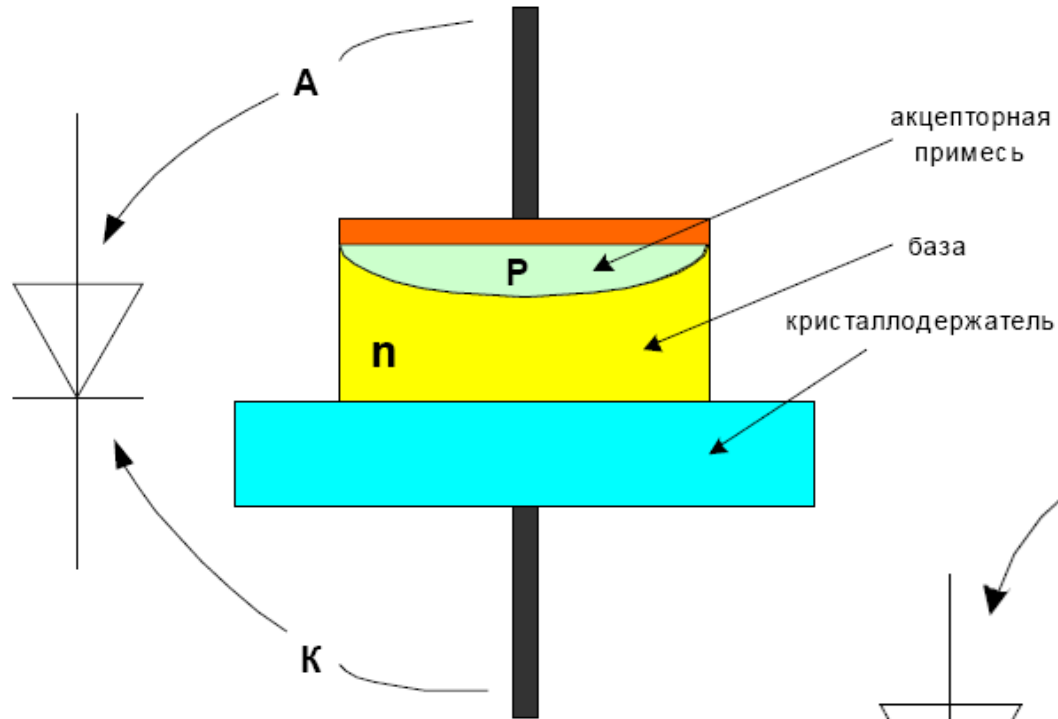
# Напівпровідникові діоди

ВАХ тунельних діодів



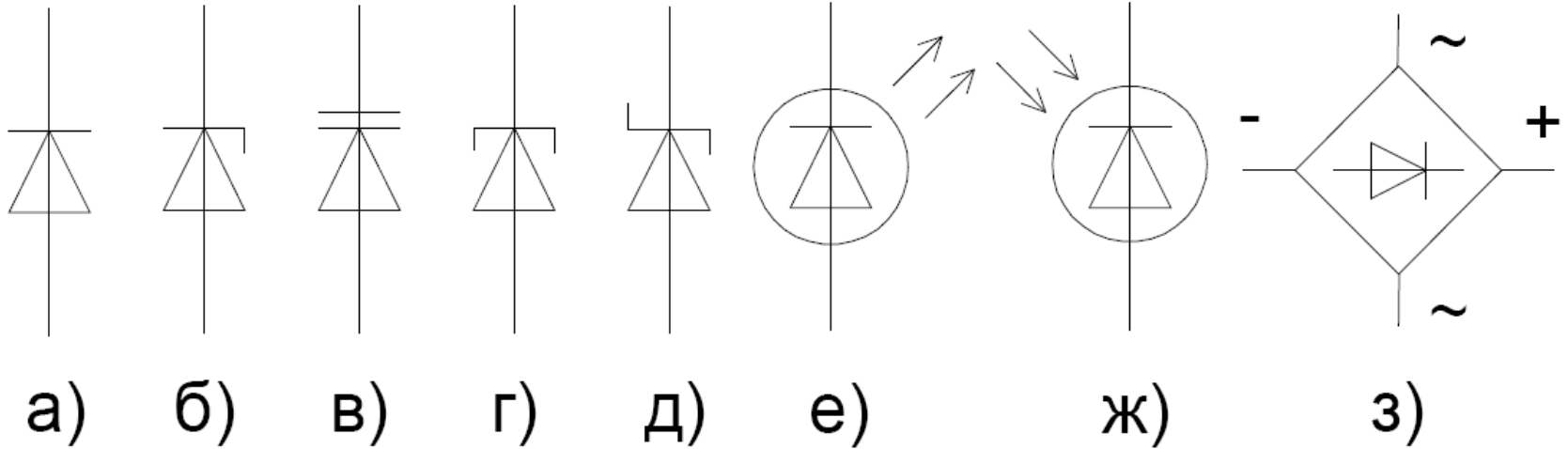
# Напівпровідникові діоди

## Будова напівпровідникових діодів



# Напівпровідникові діоди

## Умовні позначення



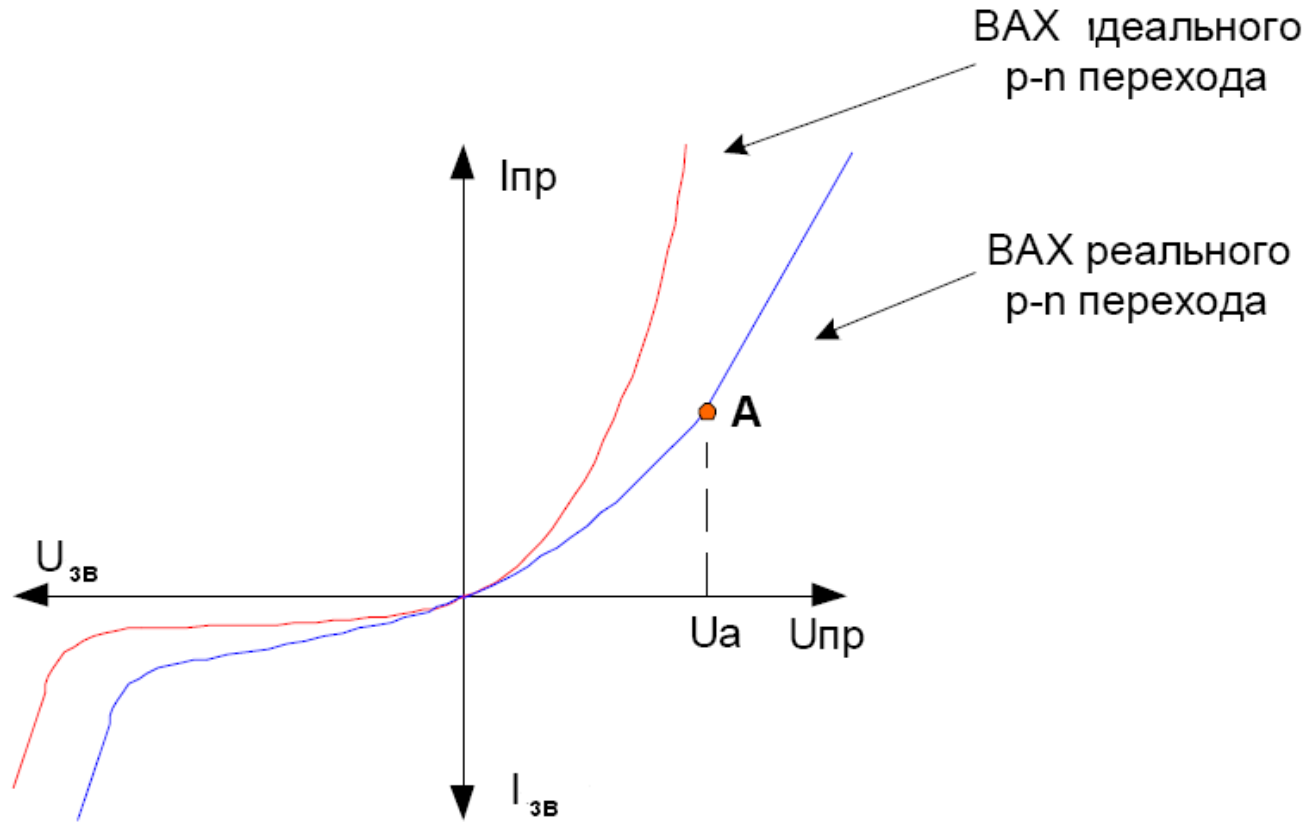
а) випрямні, ВЧ, НВЧ, б) стабілітрони;

в) варикапи; г) тунельні діоди;

д) діоди Шоткі; е) світлодіоди;

ж) фотодіоди; з) діодні мости

# Напівпровідникові діоди



При  $U > U_a$  – лінійна область

# Напівпровідникові діоди

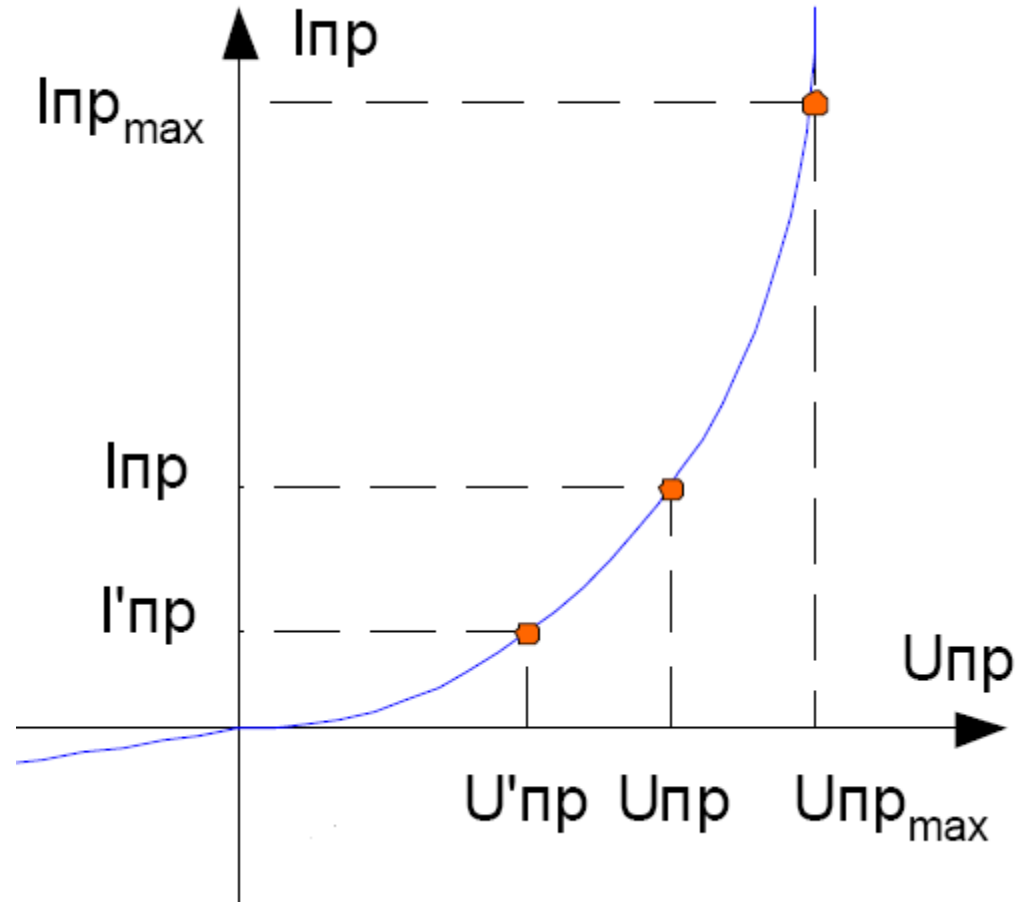
## Динамічний та статичний опір діода

статичний опір діода  
(характеризує опір  
постійному струму)

$$R_{stat} = \frac{U_{np}}{I_{np}}$$

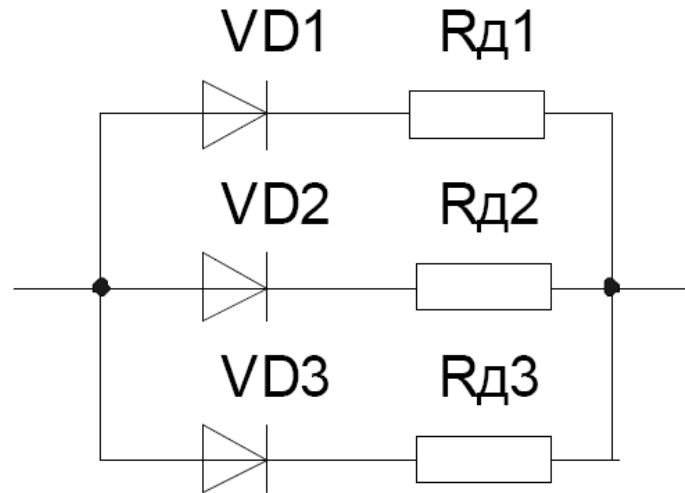
динамічний опір діода  
(характеризує опір  
змінному струму)

$$R_{дин} = \frac{dU}{dI} \approx \frac{U_{np} - U'_{np}}{I_{np} - I'_{np}}$$

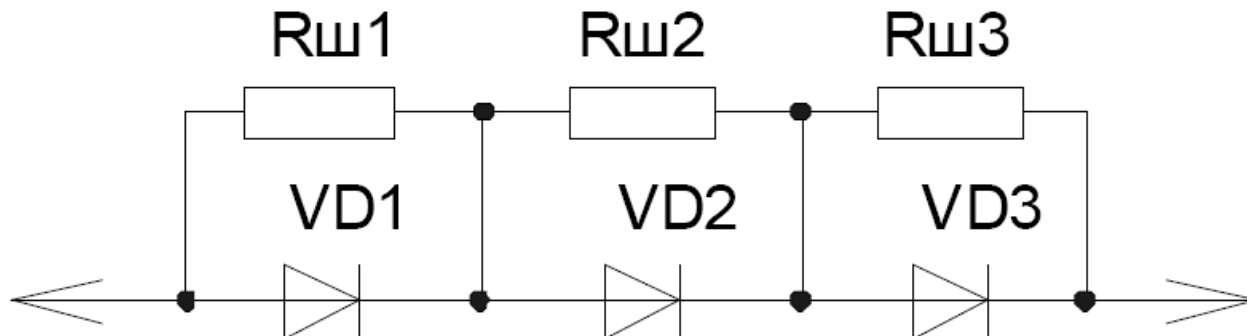


# Напівпровідникові діоди

Паралельне з'єднання – для збільшення сили струму  
(опори для вирівнювання струмів через діоди)

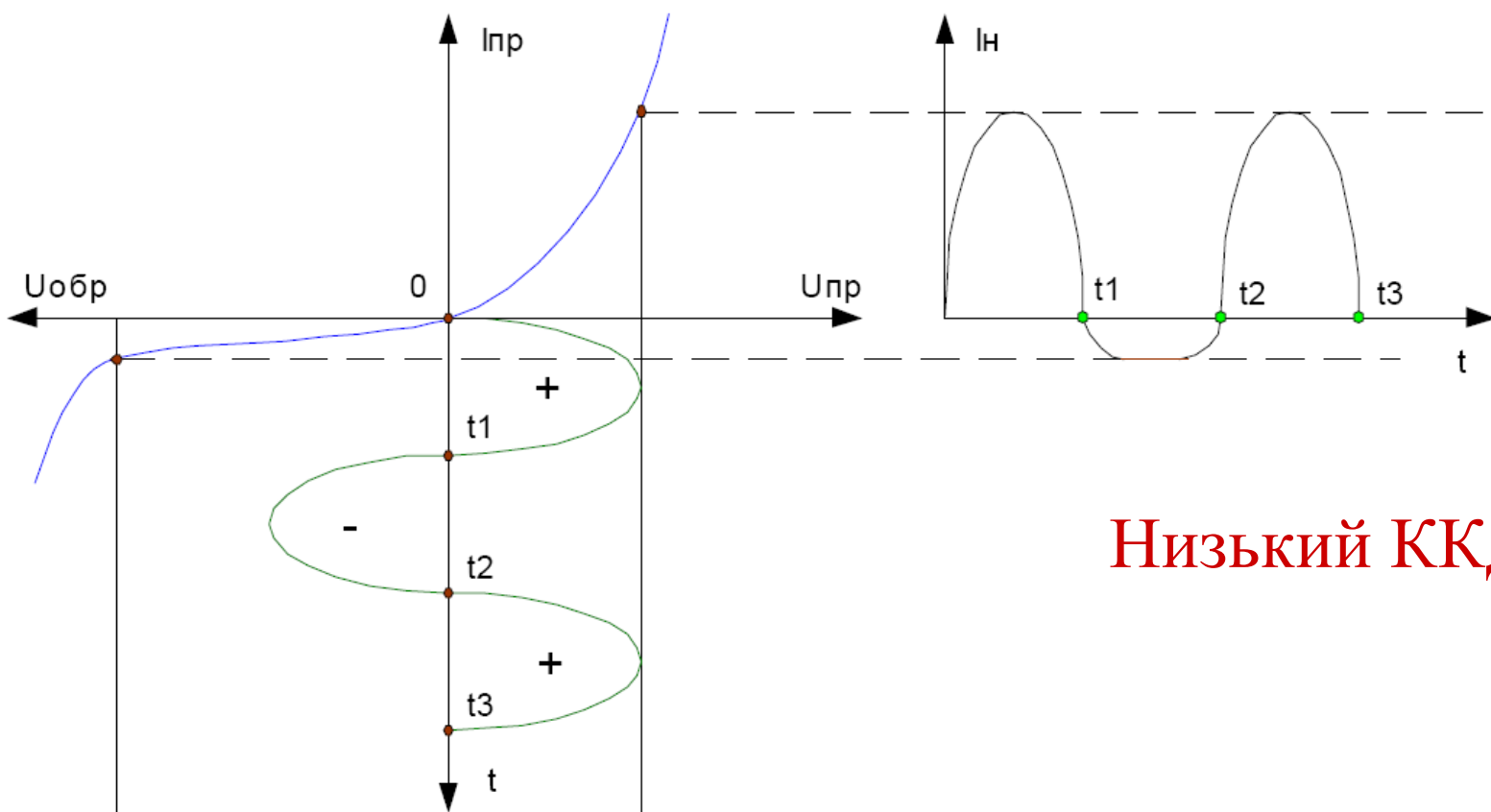
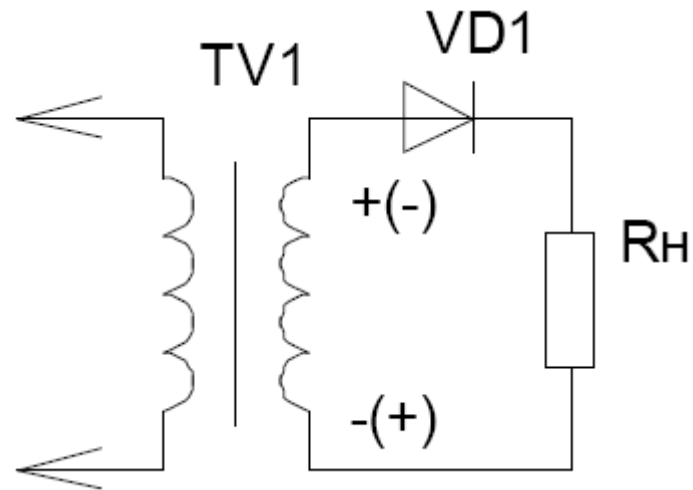


Послідовне з'єднання – для збільшення зворотної  
напруги (опори для вирівнювання падіння напруг  
на діодах)





# Випрямлячі струму (однонапівперіодна схема)

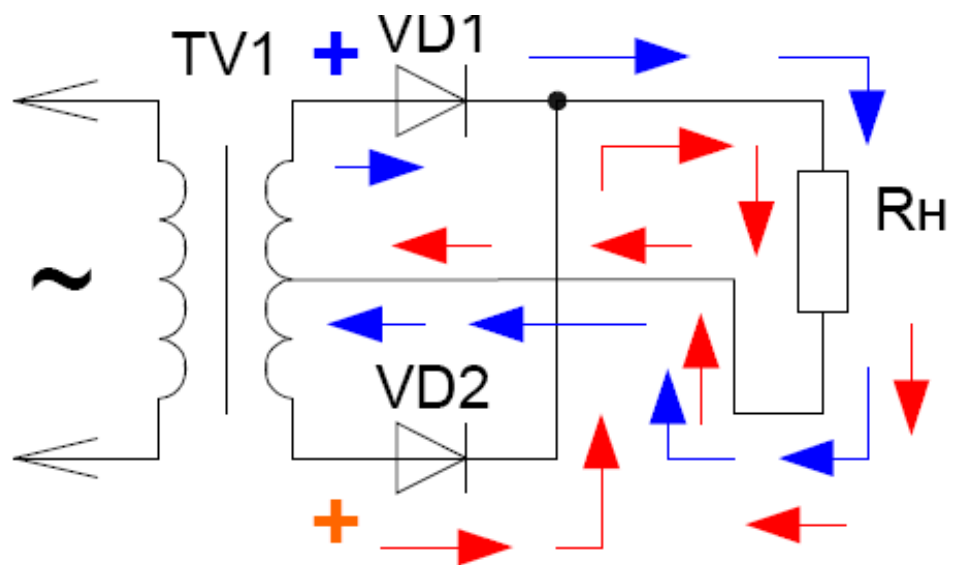
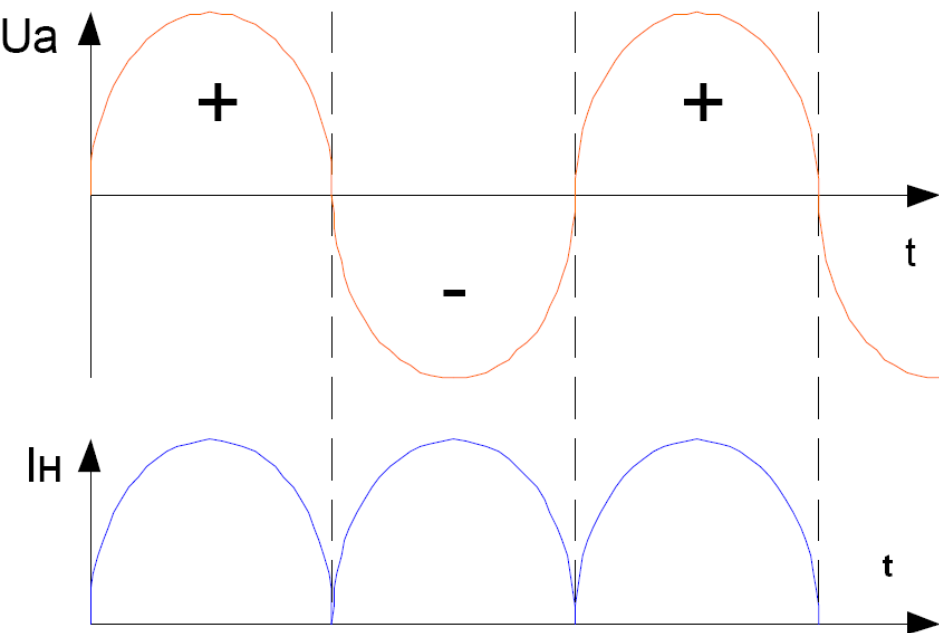
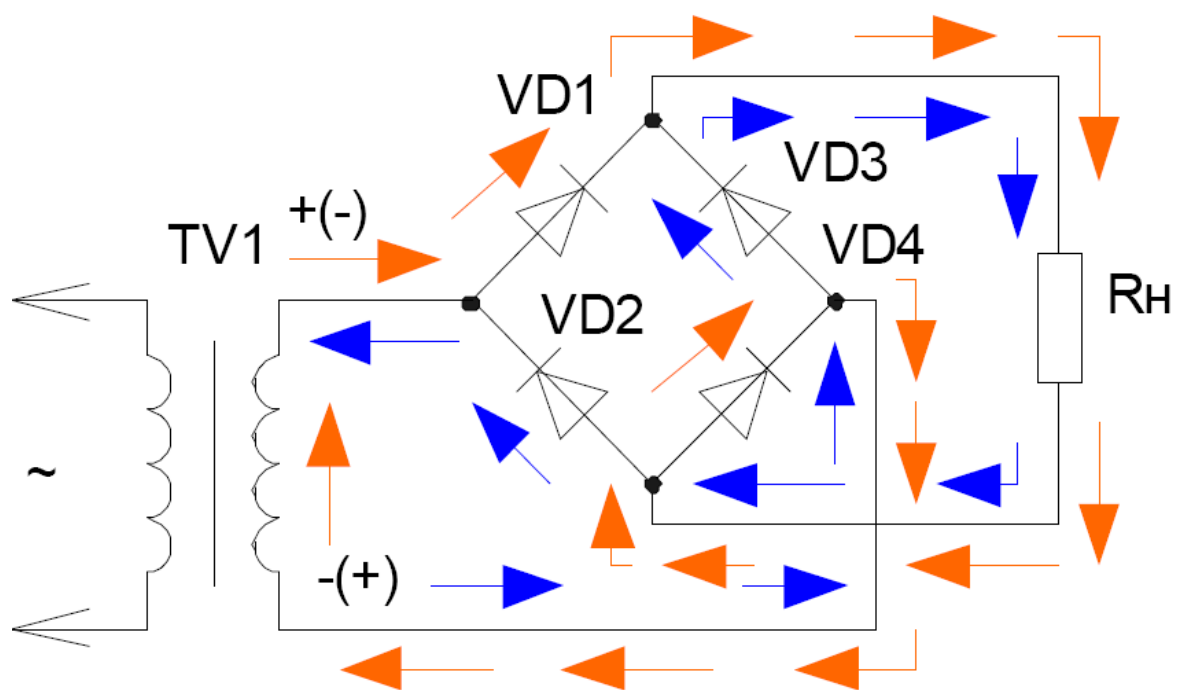


Низький ККД

# Випрямлячі струму

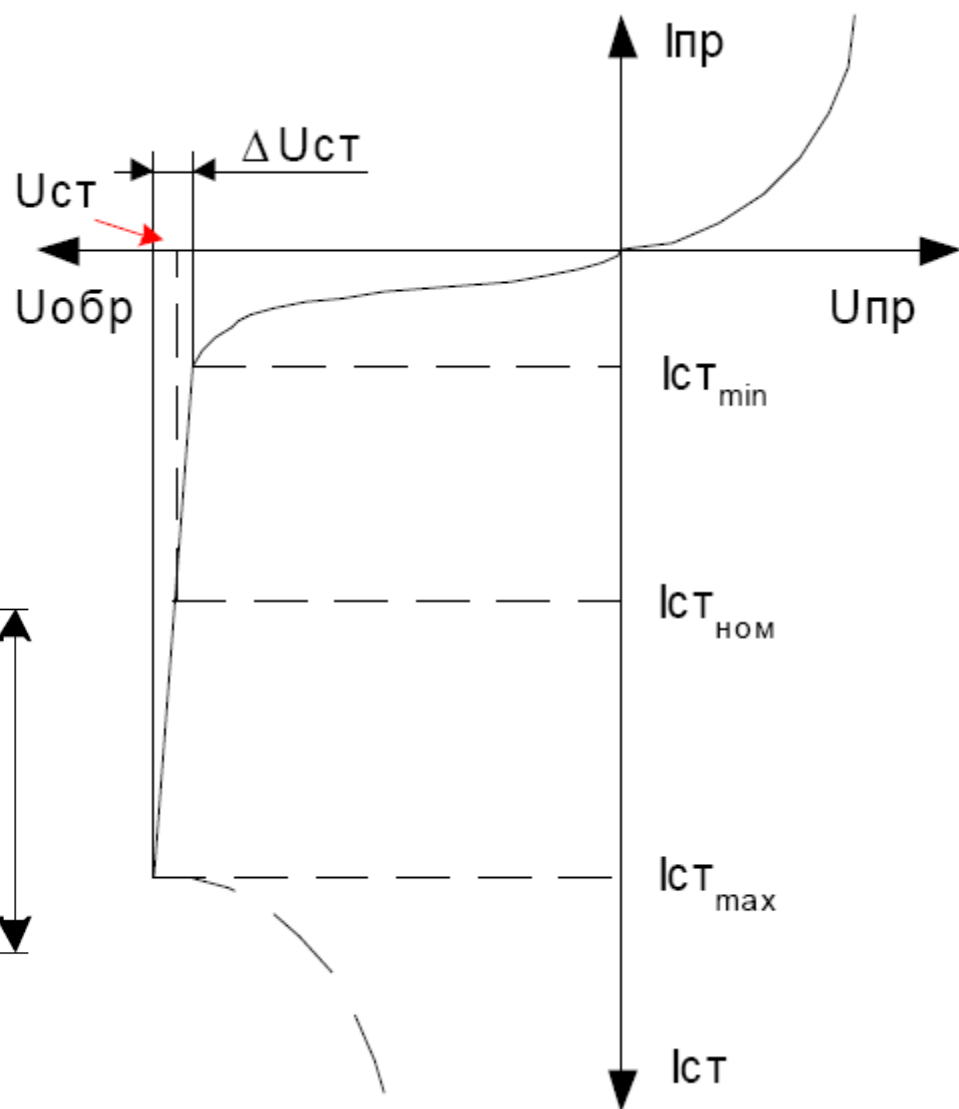
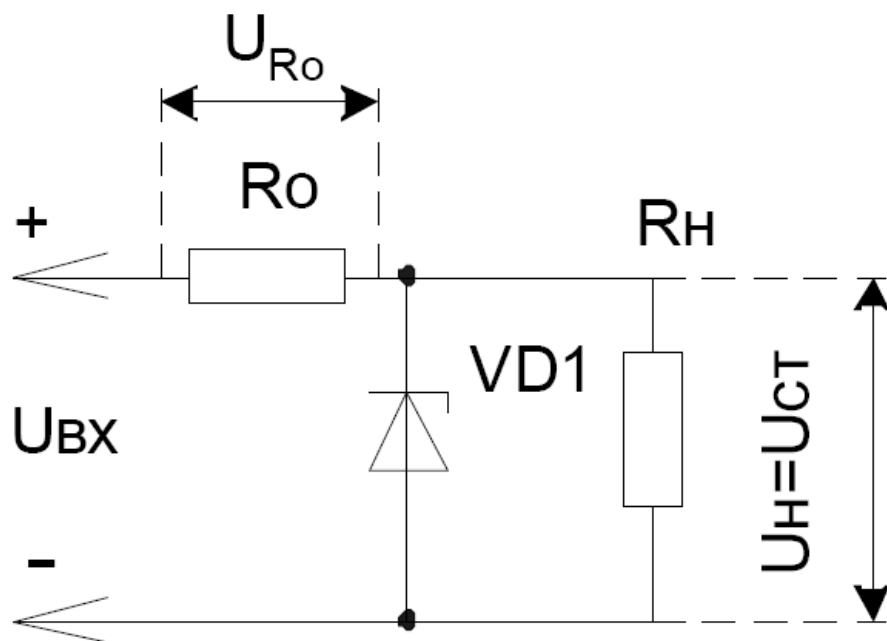
(двонапівперіодна схема)

Для згладжування пульсацій  
використовуються фільтри



# Стабілітрони

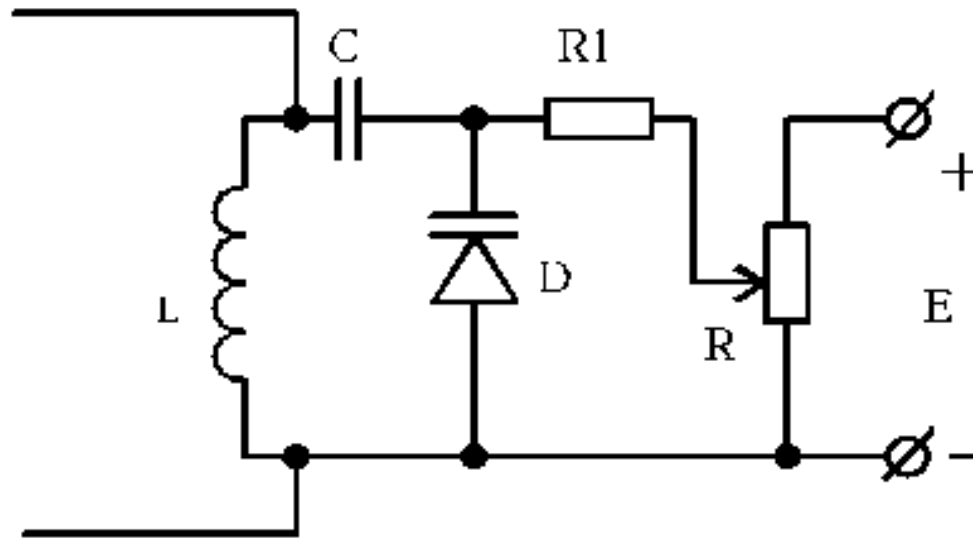
(параметричний стабілізатор)



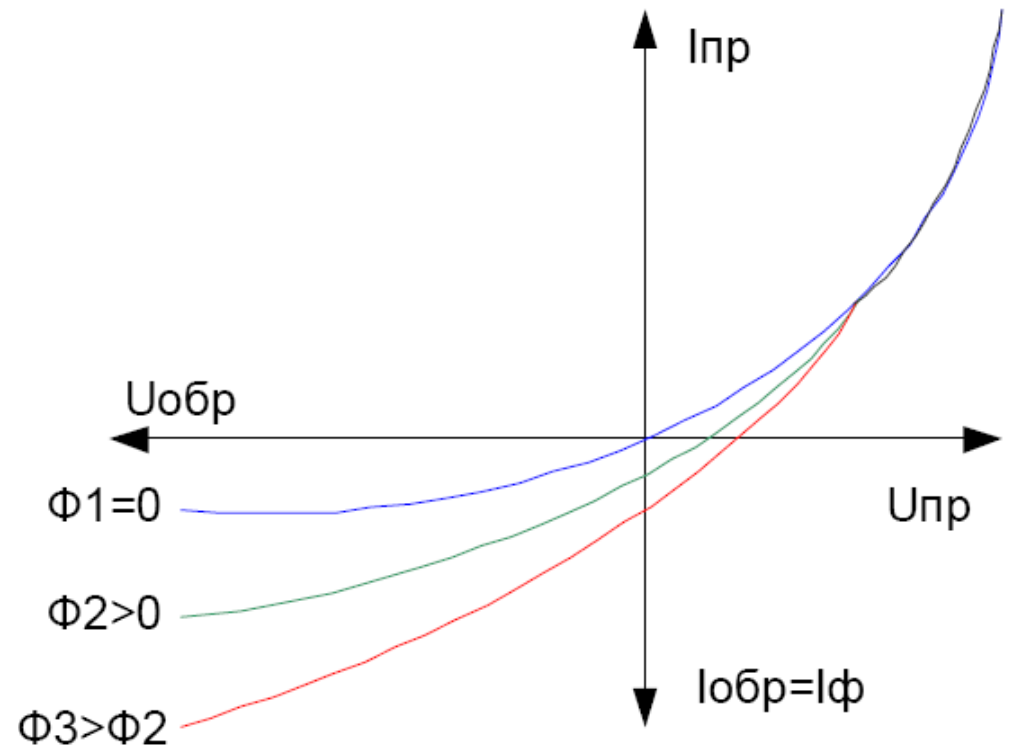
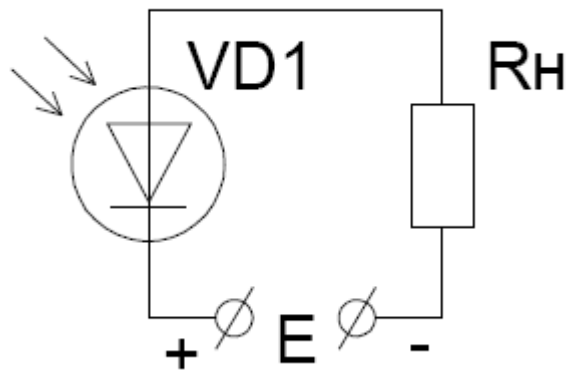
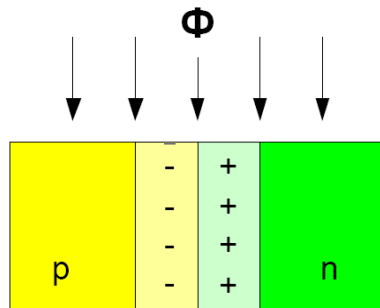
$R_0$  задає струм через стабілітрон таким чином, щоб величина струму була близька до середнього значення між  $I_{CT_{min}}$  и  $I_{CT_{max}}$ .  
(номінальний струм стабілізації).

Варикап – ємність, що керується напругою.

Приклад: використовуються для побудови коливальних контурів НВЧ



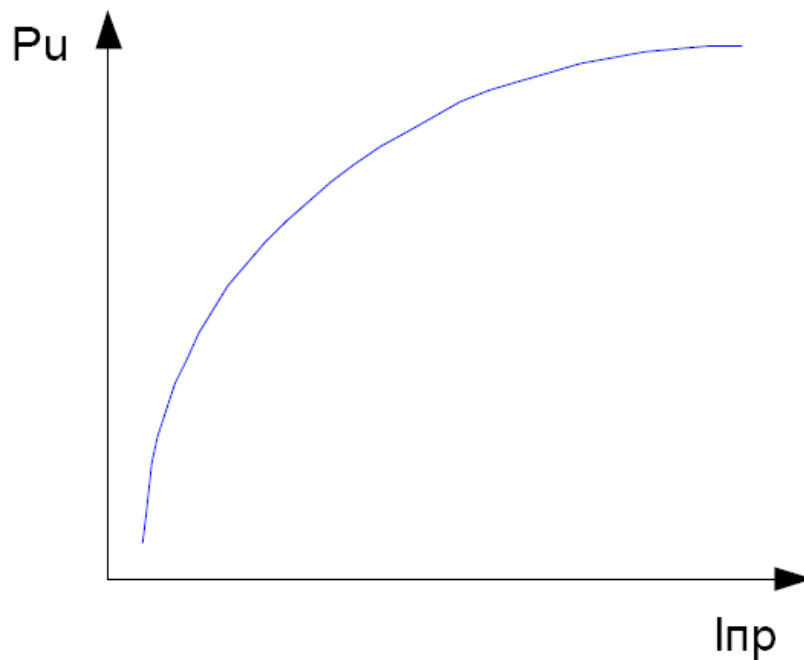
# Фотодіоди



Фотогенерація значно впливає на зворотній струм

## Світлодіоди

Яскравість світлодіода



Спектральна  
характеристика

