

ЛЕКЦИЯ 2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

1

2.1. Принцип действия и вольт-амперная характеристика диода

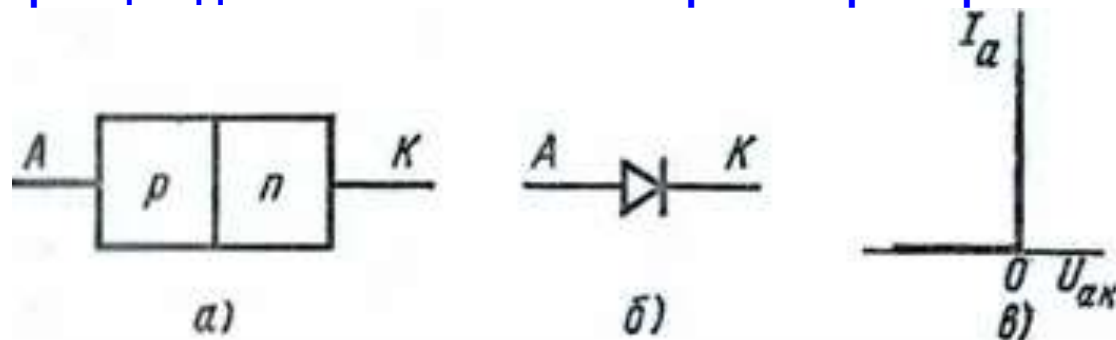


Рис. 2.1. Полупроводниковый диод: а – p - n структура диода; б – условное графическое обозначение; в – упрощенная (идеальная) вольт-амперная характеристика диода.

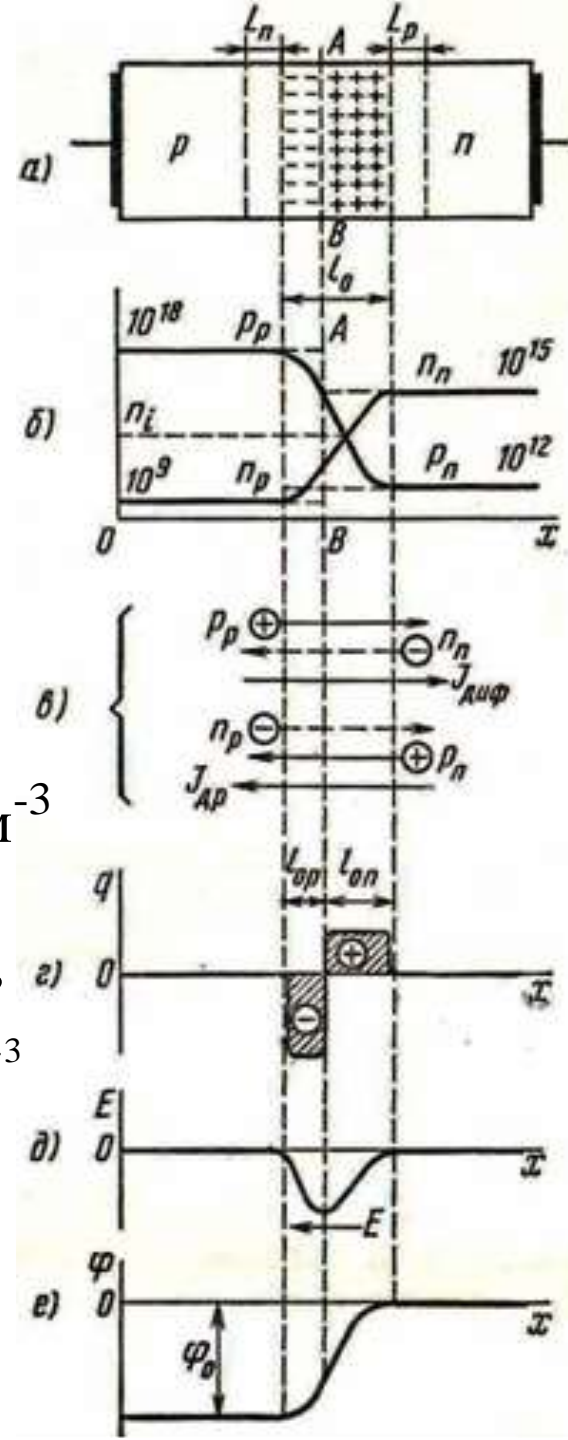
2.2. Электрические процессы в p - n -переходе в отсутствие внешнего напряжения

$$p_p \approx N_a \quad n_n \approx N_D \quad N_a \gg N_D \quad p_p \gg n_n \quad n_i = 2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$$

$$p_p = 10^{18} \text{ см}^{-3}, n_n = 10^{15} \text{ см}^{-3} \quad n_p \approx 10^9 \text{ см}^{-3},$$

$$n_n \cdot p_n = n_p \cdot p_p = n_i \cdot p_i = A^2 \cdot e^{-\frac{\Delta W_3}{kT}} \quad (2.1) \quad p_n \approx 10^{12} \text{ см}^{-3}$$

Рис. 2.2. Образование p - n - перехода: а - p - n структура полупроводника; б – распределение концентраций носителей заряда; в – составляющие тока в p - n - переходе; г – распределение заряда; д – диаграмма напряженности поля; е – потенциальный барьер в p - n - переходе.



$$N_a \gg N_D$$

$$l_{0n} \gg l_{0p}$$

$$\varphi_0 = \varphi_T \ln \frac{p_p}{p_n} = \varphi_T \ln \frac{n_n}{n_p}. \quad (2.2)$$

Для германия

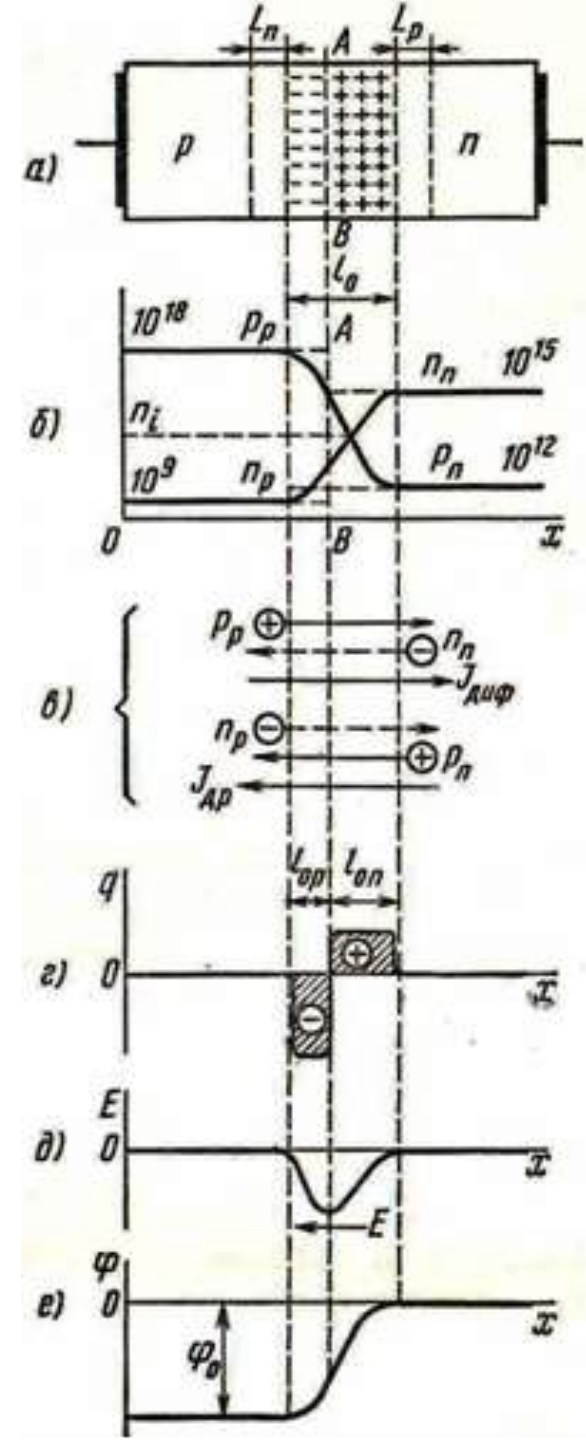
$$\varphi_0 = 0,3 \div 0,5 \text{ В}$$

Для кремния

$$\varphi_0 = 0,6 \div 0,8 \text{ В}$$

$$J_{\text{диф}} = J_{\text{др}}$$

Рис. 2.2. Образование *p-n*- перехода: а - *p-n*- структура полупроводника; б – распределение концентраций носителей заряда; в – составляющие тока в *p-n*- переходе; г – распределение заряда; д – диаграмма напряженности поля; е – потенциальный барьер в *p-n*- переходе.



2.3.1. Прямая ветвь вольт-амперной характеристики диода

$$\varphi_0 - U_a \quad J_a = J_{\text{диф}} - J_{\text{др}}. \quad (2.3)$$

Для германия

Для кремния

$$\Delta U_a = 0,3 \div 0,6 \text{ В}$$

$$\Delta U_a = 0,8 \div 1,2 \text{ В}$$

$$n_p(0) = n_{p0} \cdot e^{\frac{U_a}{\varphi_T}}, \quad p_n(0) = p_{n0} \cdot e^{\frac{U_a}{\varphi_T}}, \quad (2.4)$$

$$p_p \gg n_n$$

$$p_n(0) \gg n_p(0)$$

$$n_{p0} \ll p_{n0}$$

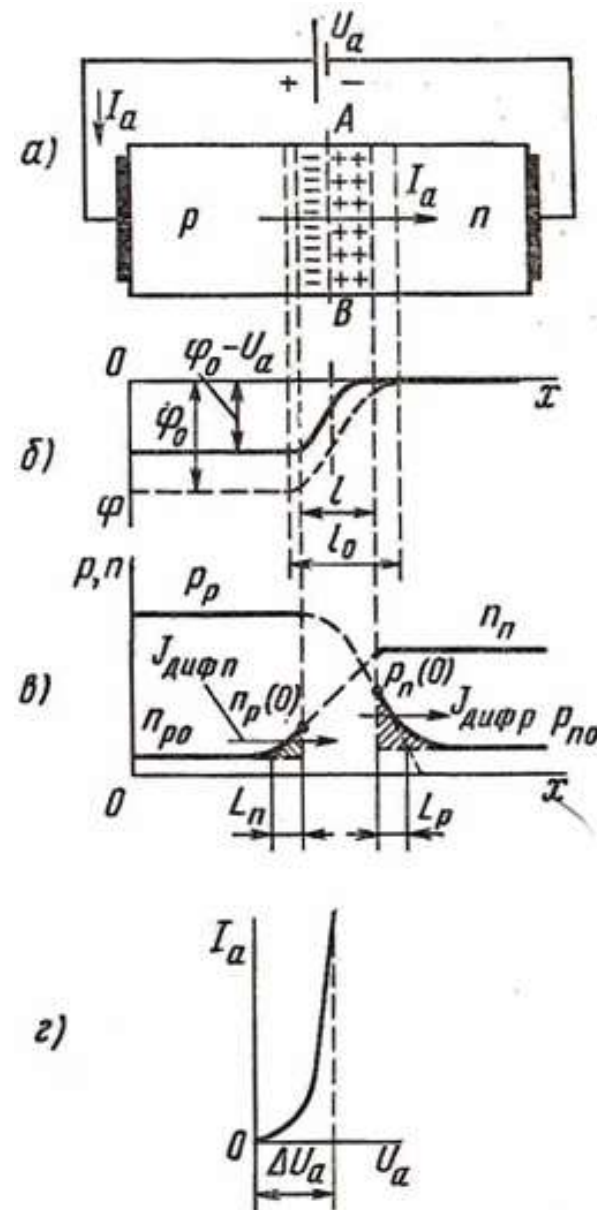


Рис. 2.3. Полупроводниковый диод при подключении внешнего напряжения в прямом направлении: а – схема включения; б – потенциальный барьер при прямом напряжении; в – распределение концентраций носителей заряда; г – прямая ветвь вольт-амперной характеристики.

$$\varphi_0 + U_b \quad J_{др} = J_{дрp} + J_{дрn} \quad J_b = J_{др} + J_{диф} \quad (2.5)$$

2.3.3. Полная вольт-амперная характеристика диода

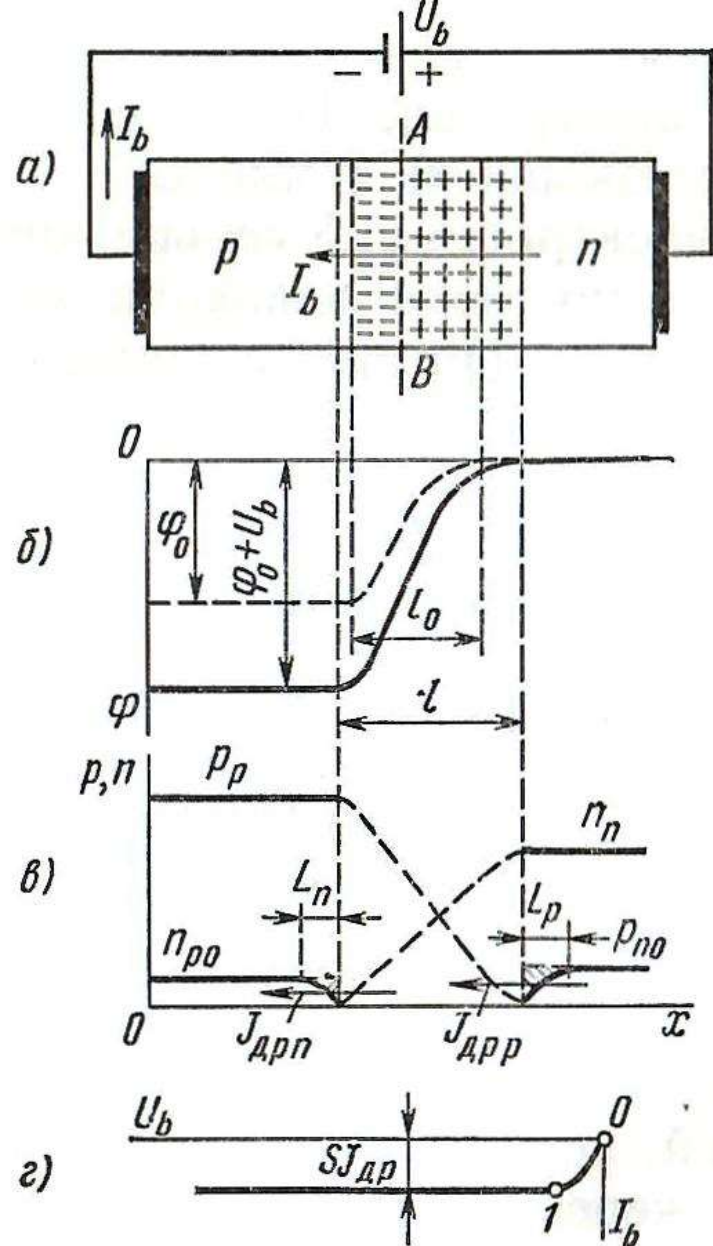


Рис. 2.4. Полупроводниковый диод при подключении внешнего напряжения в обратном направлении: а – схема включения; б – потенциальный барьер при обратном напряжении; в – распределение концентраций носителей заряда; г – обратная ветвь вольт-амперной характеристики.

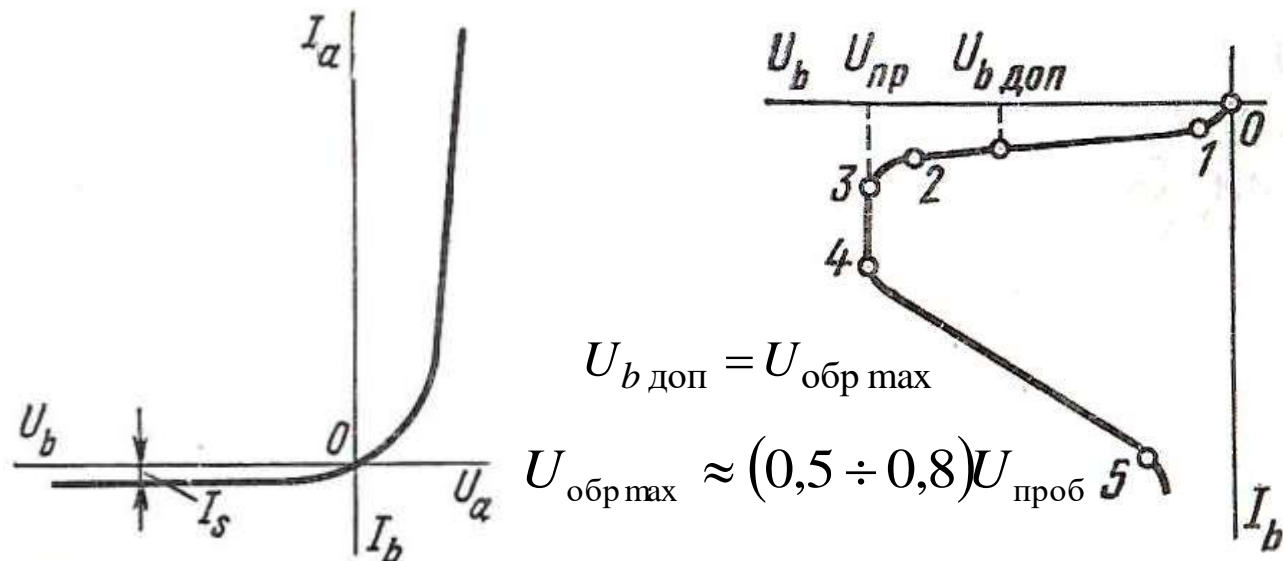


Рис. 2.5. Идеализированная вольт-амперная характеристика диода.

Рис. 2.6. Обратная ветвь вольт-амперной характеристики реальных диодов.

Уравнение Эберса-Молла

$$I_a = I_s \left(e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1 \right) \quad (2.6) \quad I_s = S \cdot J_{др}$$

2.4. Емкости р-п-перехода

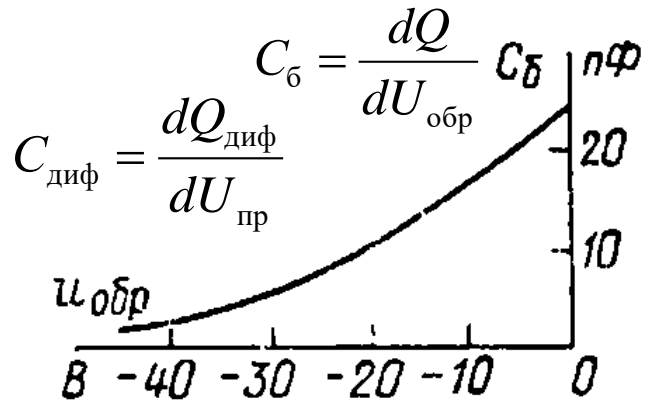


Рис. 2.7. Зависимость барьерной емкости от обратного напряжения.

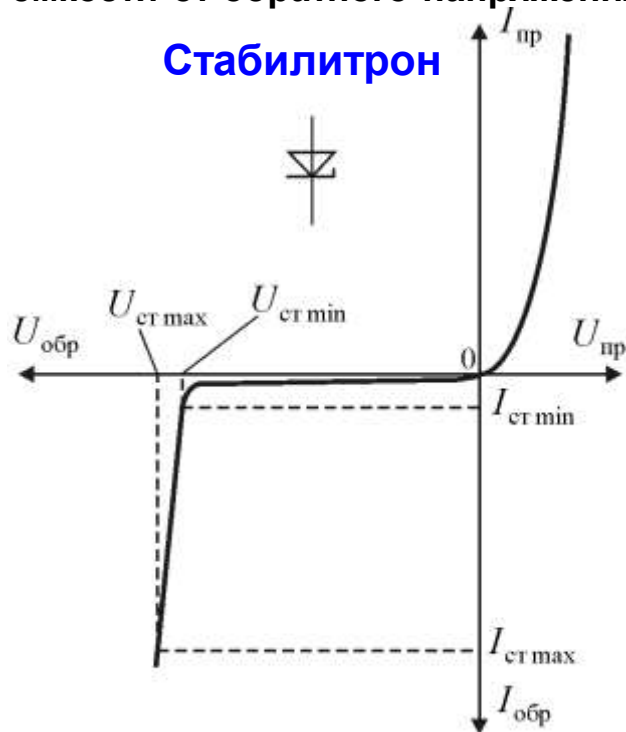


Рис. 2.9. Вольт-амперная характеристика стабилитрона.

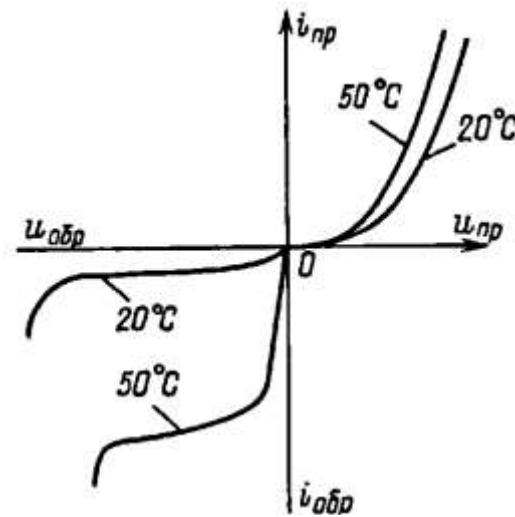


Рис.2.8. Влияние температуры на вольт-амперную характеристику.

Выпрямительные диоды

Основные параметры

$I_{\text{пр ср}}$ $\Delta U_{\text{пр ср}}$ $U_{\text{обр макс}}$

Импульсные диоды

$t_{\text{уст}}$ $t_{\text{восст}}$

2.7. Тиристор

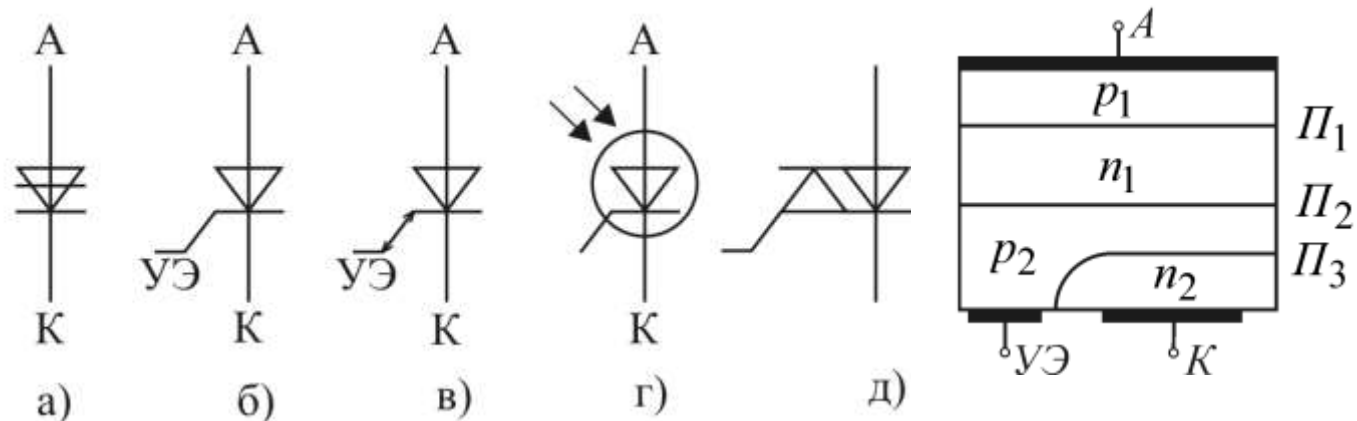


Рис. 2.10. Типы тиристоров.

Рис. 2.11. Четырехслойная структура тиристора.

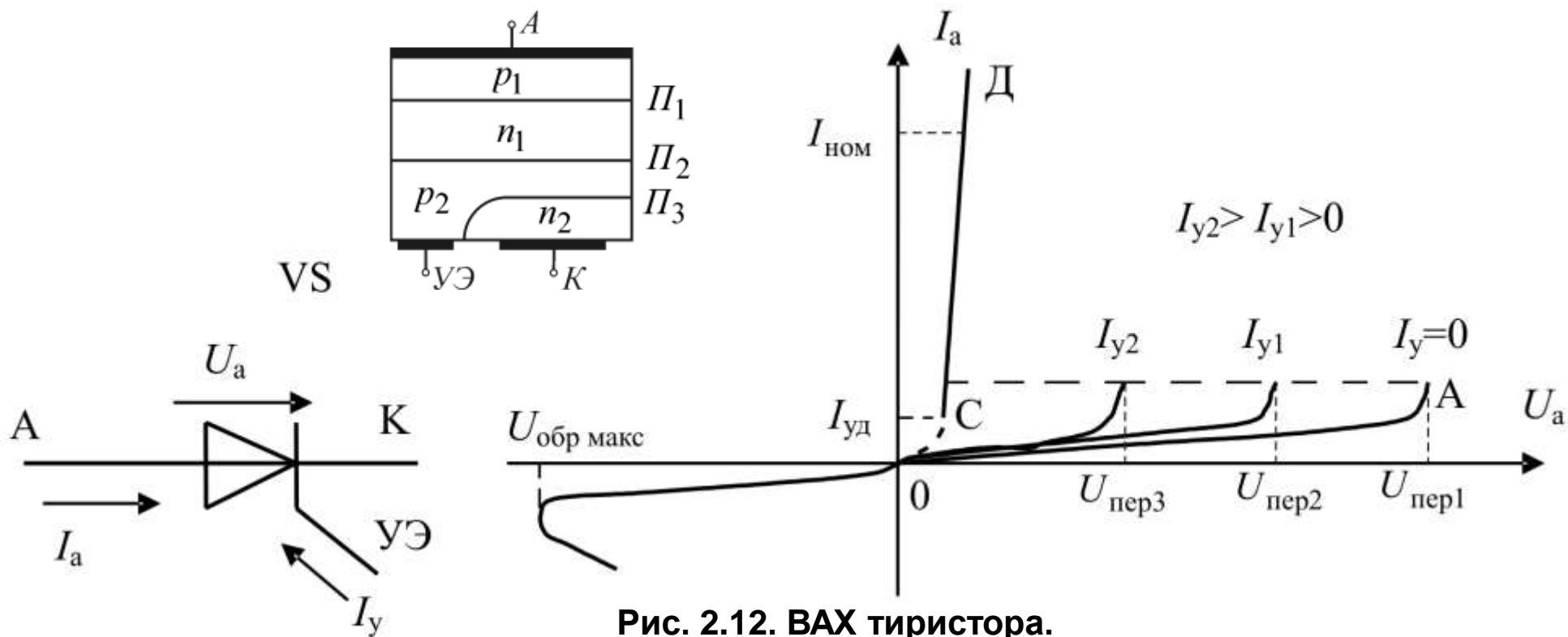


Рис. 2.12. ВАХ тиристора.

Статические параметры тиристора

Динамические параметры тиристора

 $I_{НОМ}$ $\Delta U_{пр}$ $U_{обр макс}$
 $t_{ВКЛ}$ $t_{ВЫКЛ}$
 $I_{у спр}$ $I_{уд}$