

## Список литературы

1. Кулешов В.Н., Болдырева Т.И., Томашевская М.В. Базовые ячейки функциональных узлов радиоэлектронных устройств на полупроводниковых диодах. – М.: Издательство МЭИ, 2002.
2. Кулешов В.Н., Болдырева Т.И., Томашевская М.В. Базовые ячейки функциональных узлов радиоэлектронных устройств на полевых транзисторах. – М.: Издательство МЭИ, 2005.
3. Кулешов В.Н., Болдырева Т.И., Васильев М.В. Базовые ячейки функциональных узлов радиоэлектронных устройств на биполярных транзисторах. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009
4. Болдырева Т.И. Сборник задач. Расчет диодных и транзисторных схем. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
5. Характеристики и основы применения полупроводниковых диодов и транзисторов. Коптев Г.И., Болдырева Т.И., Дроздова Е.М. Лабораторный практикум – М.: Издательство МЭИ, 2016.
6. Шишкин Г.Г., Шишкин А.Г. Электроника. – М.: Дрофа, 2009.
7. Богатырёв Е.А., Муро Э.Л. Схемотехника аналоговых электронных устройств. – М.: Издательство МЭИ, 2003.
8. Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.
9. Болдырева Т.И., Кулешов В.Н. Основы схемотехники устройств на полевых транзисторах. – М.: Издательство МЭИ, 2020.

# Текущий контроль:

- Контрольные мероприятия в БАРС:
- Домашние задания
- Типовой расчет
- Лабораторные работы
- Две контрольные работы на практических занятиях

# Оценки по системе БАРС

№	Название	№ нед	Вес в %
КМ-1	Расчет диодных схем. (Отметка за выполнение Д.З. №1 и 2)	<b>4</b>	5
КМ-2	Защита лабораторной работы №2. Усилитель низкой частоты на полевом транзисторе	<b>7</b>	10
КМ-3	Контроль выполнения расчетного задания №1 (Отметка за выполнение ТР – часть 1 – стабилизатор напряжения + выпрямитель)	<b>8</b>	15
КМ-4	Контроль выполнения домашнего задания по Р.2 (Отметка за выполнение Д.З. № 3 и 4), контрольная работа 1	<b>11</b>	15
КМ-5	Защита лабораторной работы №3. Биполярный транзистор в усилителе тока низкой частоты	<b>14</b>	20
КМ-6	Защита лабораторной работы №4. Биполярный транзистор в усилителе напряжения низкой частоты	<b>15</b>	20
КМ-7	Контроль выполнения расчетного задания №2 (Отметка за выполнения ТР- часть 2, расчет усилителя на БТ) по схеме с ОЭ). Контрольная работа 2.	<b>15</b>	15

**1. 1. Цель курса: изучить принципы построения и понять физику работы простейших функциональных узлов** 4

**Объекты исследования: Функциональные узлы (ФУ) на п/п приборах**

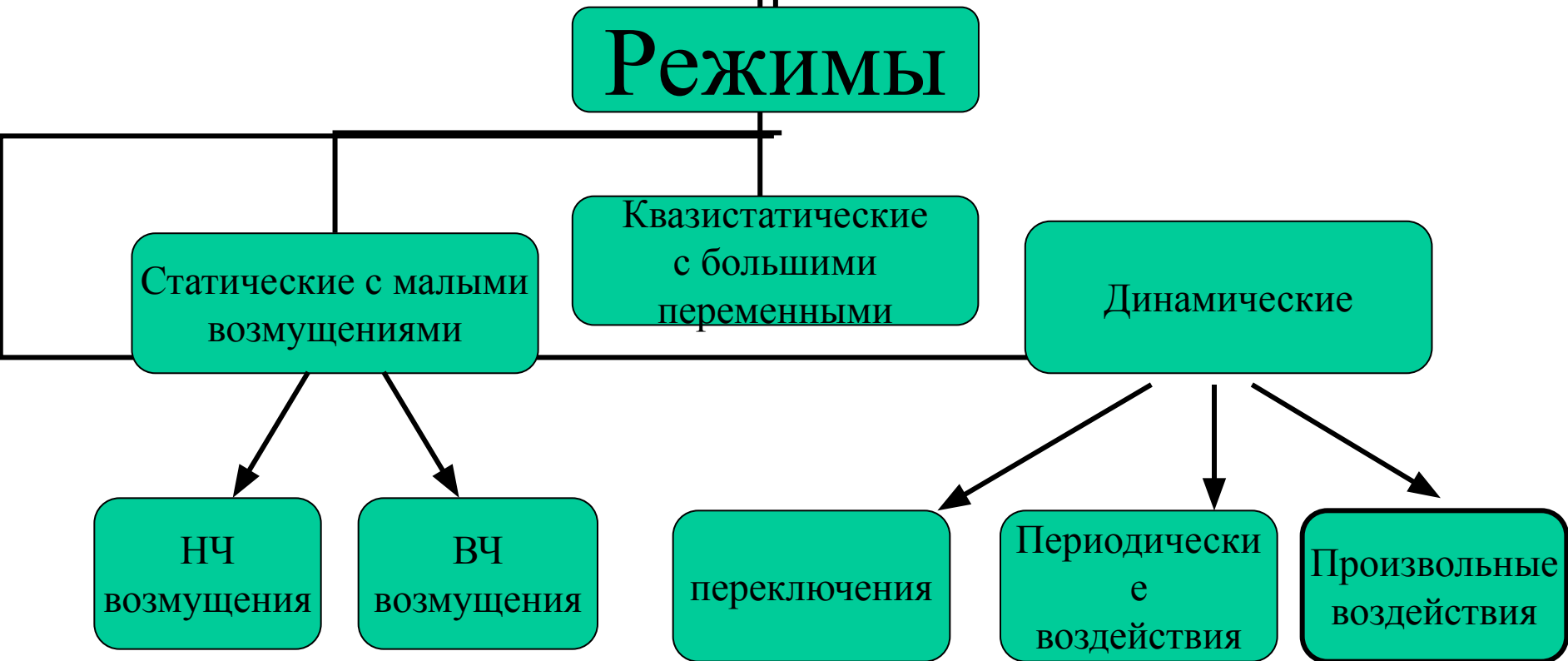
**Определение: функциональный узел на п/п приборах, это электронная цепь, выполняющая определенные функции в радиотехнических устройствах.**

**Примеры: усилитель, выпрямитель, стабилизатор напряжения, логический элемент, генераторы колебаний и т.д.**

### ***1.2 Основные задачи курса***

- Освоить подход к проектированию простейших ФУ
- Освоить приемы параметрического синтеза ФУ
- Провести анализ спроектированного устройства
- Оптимизация (выбор критерия оптимизации, учет ограничений, выбор пространства параметров)
- Получение базовых знаний о моделях п/п приборов и их использования на различных этапах создания функционального узла

# 1.3. Классификация режимов п/п приборов в функциональных узлах



Увеличение сложности методов анализа  
(модели п/п приборов, математического аппарата, синтеза)

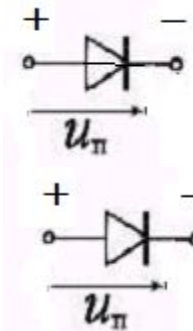


## 2. Базовые ячейки функциональных узлов на п/п диодах

### 2.1. Статические характеристики и модели п/п диодов

Определение: п/п диод – это электропреобразовательный прибор с одним р-п переходом, имеющим два вывода.

Обозначение в электрических схемах:



Идеальный п/п диод –

Модель, в которой учитываются только свойства р-п перехода

Статическая характеристика – это вольт-амперная характеристика, зависимость тока, протекающего через диод, от приложенного напряжения.

$$i(u_{\text{п}}) = I_s \left( \exp\left(\frac{u_{\text{п}}}{\phi_T}\right) - 1 \right)$$

$\phi_T = kT/e$  тепловой потенциал;

$T$  - абсолютная температура перехода;

$k$  - постоянная Больцмана;

$e$  - заряд электрона;

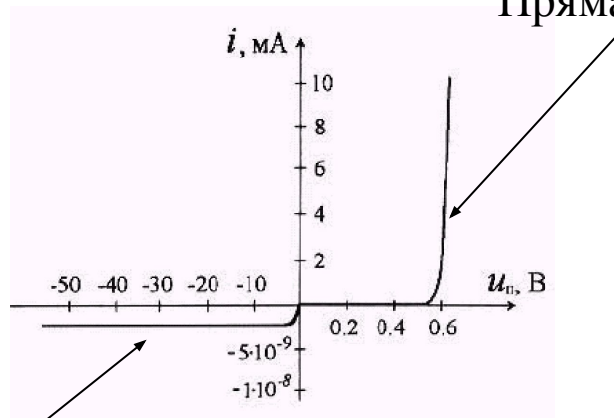
$I_s$  - ток насыщения

## 2.1.1. ВАХ идеального диода

Особенности ВАХ: Правый сдвиг; Напряжение открывания зависит от типа

п/п: Si – (0,55-0,65) В  $I_s = 10^{-11}-10^{-12}$  мА, Ge = (0,2-0,3) В,  $I_s = 10^{-7}-10^{-8}$  мА

Прямая ветвь ВАХ



Обратная ветвь ВАХ

$$\text{ТКН} = \frac{\Delta U / \Delta T}{U} < 0$$

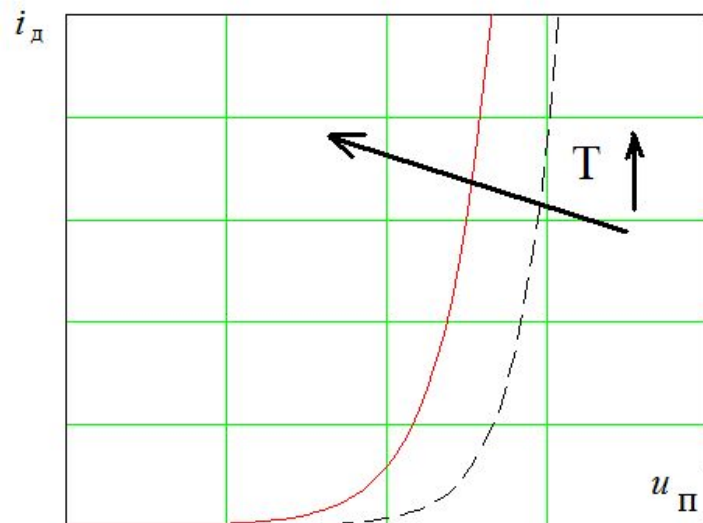
**Выводы:**

1. С увеличением  $T$  диод открывается при меньших напряжениях.
2. При поддержании постоянного напряжения ток резко увеличивается

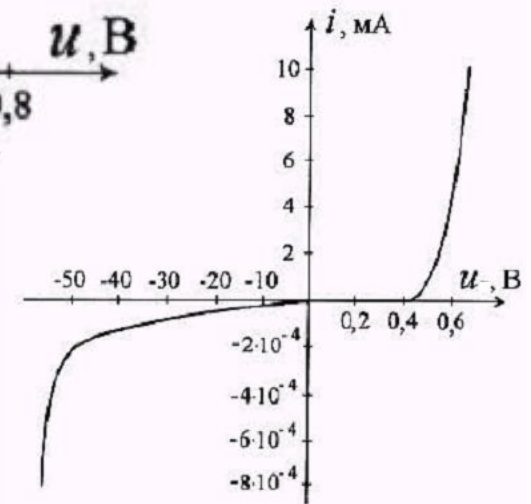
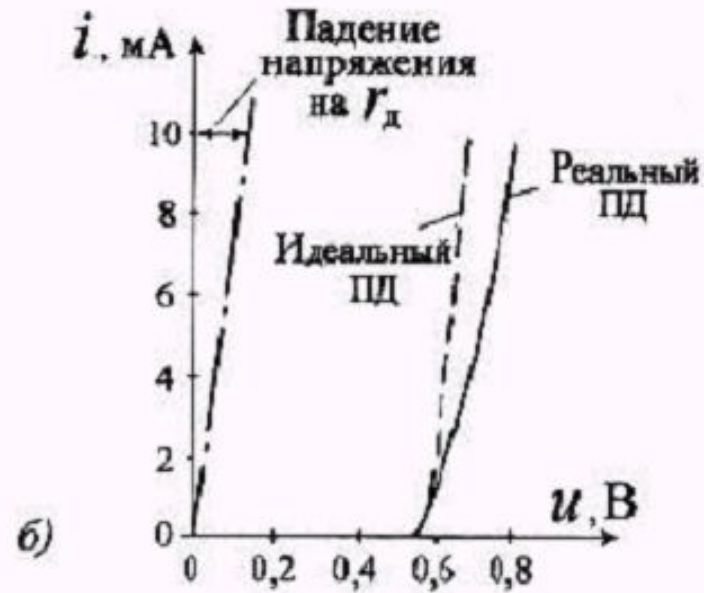
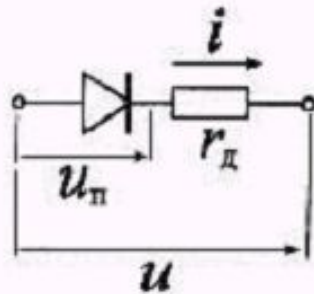
## 2.1.2. Влияние температуры

$$I_s(T) = I_s^0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^3 \exp \left( - \frac{\Delta E_g}{\phi_{T_0}} \left( \frac{T_0}{T} - 1 \right) \right)$$

$\Delta E_g$  - ширина запрещенной зоны п/п



## 2.1.3. ВАХ реального п/п диода



ВАХ реального кремниевого диода

Уравнения для построения ВАХ реального п/п диода

$$i(u_{\Pi}) = I_s \left( \exp\left(\frac{u_{\Pi}}{\varphi_T}\right) - 1 \right)$$

$$u = u_{\Pi} + r_{\text{д}} i(u_{\Pi})$$



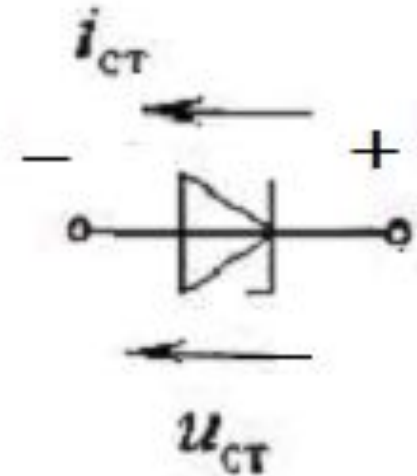
## 2.1.4. Стабилитроны

9

Это реальные п/п диоды, работающие на обратной ветви ВАХ п/п диода, который находится в режиме пробоя.

Обозначение стабилитрона в схемах:

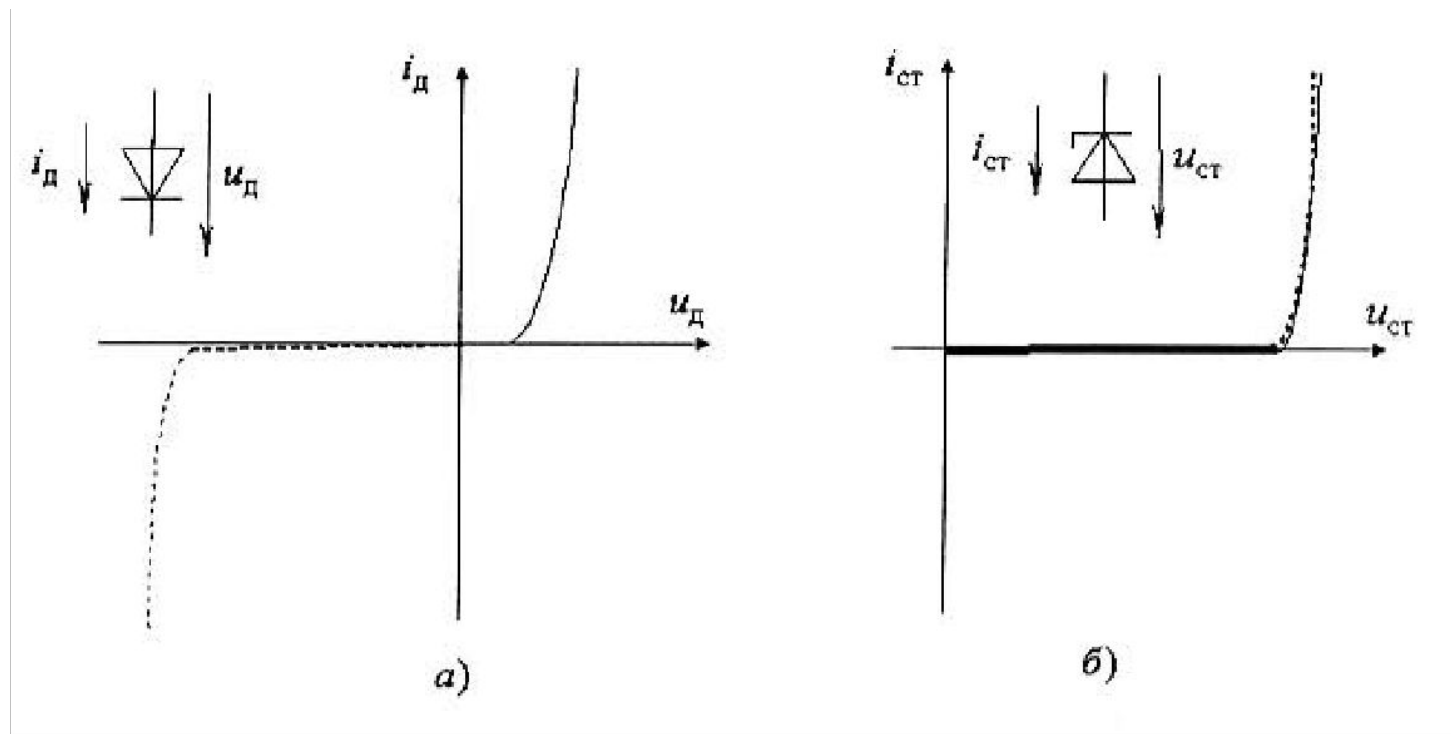
Типы пробоя: пробой лавинного умножения, зенеровский пробой



На лавинном пробое:  $U_{ст} > (7-8)$ ,  $ТКН > 0$

На Зенеровском пробое  $U_{ст} < (3-4)$  В,  $ТКН < 0$

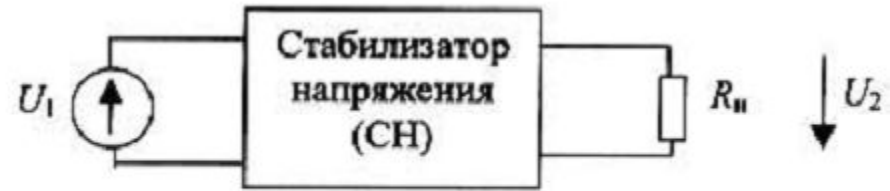
## Направления токов и напряжений для стабилитронов



Условные положительные направления тока и напряжения и вольт-амперные характеристики, используемые при анализе работы диодов на прямой (а) и обратной (б) ветви ВАХ, и направления тока и напряжения, принимаемые за положительные, при анализе стабилитронов

## 2.2. ДИОДНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ 11

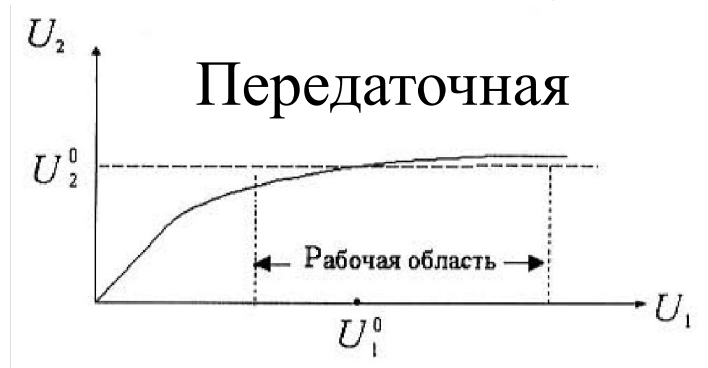
Назначение: обеспечить постоянство (стабильность) выходного напряжения при меняющемся (нестабильном) входном напряжении и меняющейся проводимости (сопротивлении) нагрузки



Блок-схема стабилизатора напряжения

Рис. 1

### Основные характеристики



Пример

передаточной характеристики стабилизатора по напряжению (штриховая линия – характеристика идеального стабилизатора)

Рис. 2

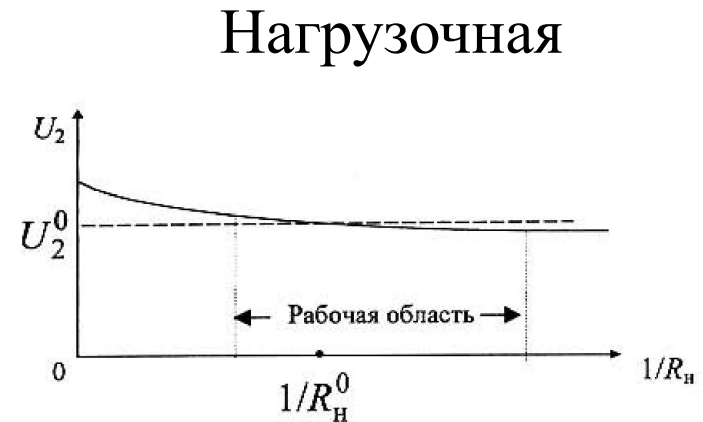


Рис. 3

$$\Delta u_1 = U_{1 \max} - U_{1 \min} \quad (1) \quad \Delta u_2 = U_{2 \max} - U_{2 \min} \quad (2)$$

$$K_{\text{ст}} = \frac{\Delta u_1 / U_1^0}{\Delta u_2 / U_2^0} \quad (3)$$

Определение коэффициента стабилизации

## 2.2.1. Стабилизаторы напряжения на прямой ветви вольт-амперной характеристики полупроводникового диода

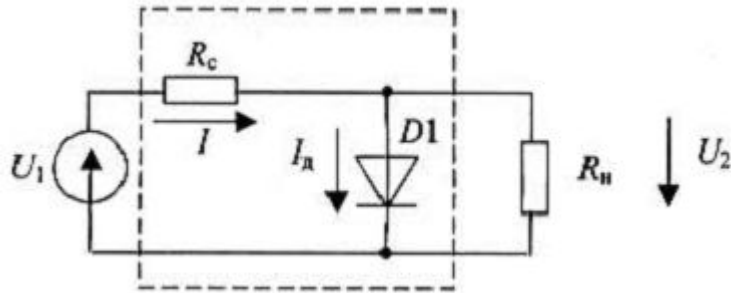


Рис.4

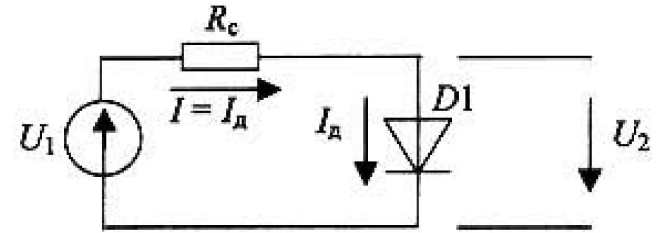
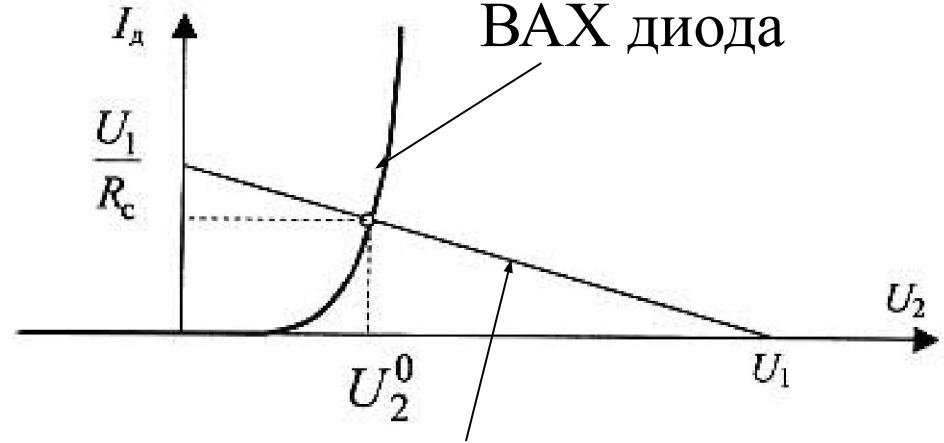


Рис.5

ВАХ диода



$$\frac{U_1 - U_2}{R_c} = I_d(U_2) \quad (4)$$

Линия стабилизации или  
Линия нагрузки

# Вопросы экспресс-контроля к Лекции 1

1. Приведите пример функционального узла и дайте определение выполняемой им функции.
2. Получите выражение для дифференциальной проводимости идеального п/п диода

$$g_{\text{п}} = \left. \frac{di_{\text{д}}}{du_{\text{п}}} \right|_{u_{\text{п}}=u_{\text{п}}^0}$$

Найдите ее численное значение при  $I_{\text{д}}(u_{\text{п}}^0) = 5$  мА, если ток насыщения равен  $10^{-15}$  А,  $T=290$  К.

3. Изобразите ВАХ реальных п/п диодов при  $r_{\text{д}1}$  и  $r_{\text{д}2}$ , если  $r_{\text{д}2} = 2r_{\text{д}1}$ .