

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)	4	5
КМ-2	Защита лабораторной работы №2. Усилитель низкой частоты на полевом транзисторе	7	10
КМ-3	Контроль выполнения расчетного задания №1 (Отметка за выполнение ТР – часть 1 – стабилизатор напряжения + выпрямитель)	8	15
КМ-4	Контроль выполнения домашнего задания по Р.2 (Отметка за выполнение Д.З. № 3 и 4), контрольная работа 1	11	15
КМ-5	Защита лабораторной работы №3. Биполярный транзистор в усилителе тока низкой частоты	14	20
КМ-6	Защита лабораторной работы №4. Биполярный транзистор в усилителе напряжения низкой частоты	15	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.	15	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

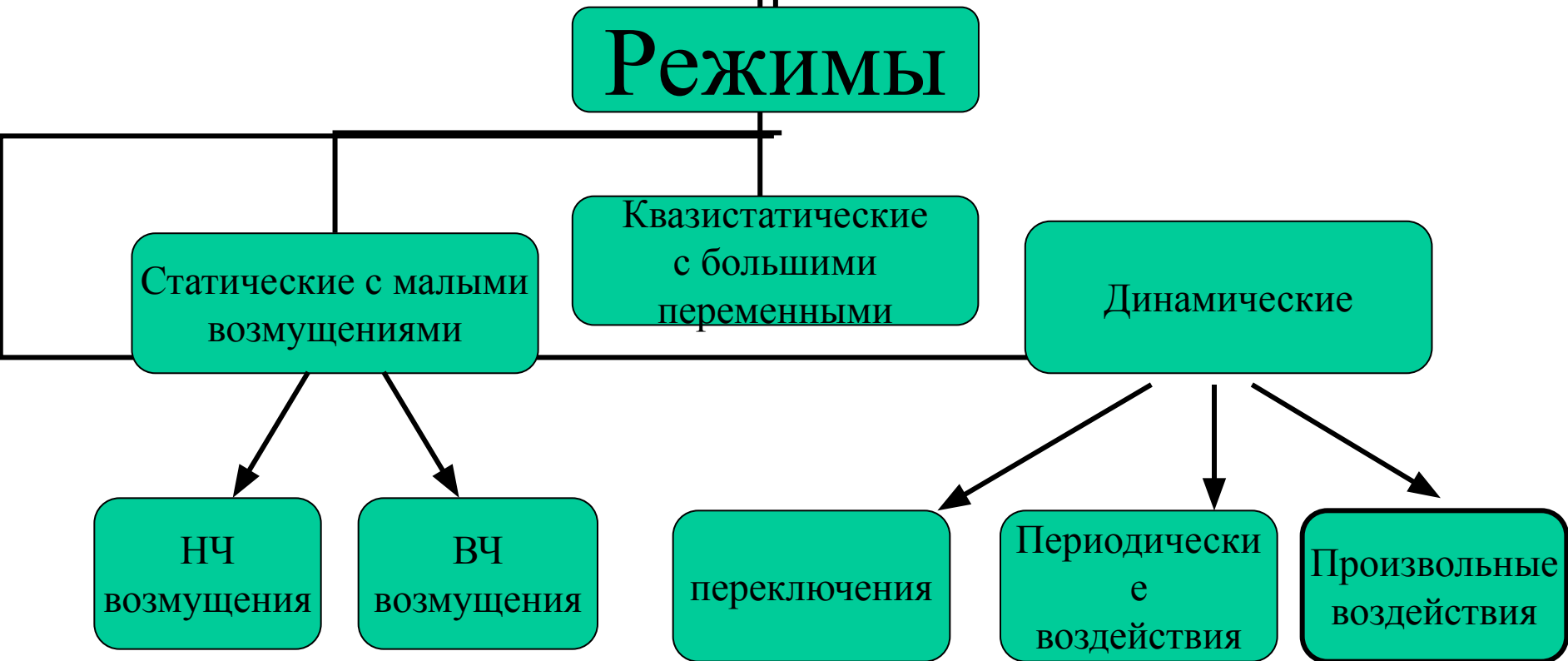
Определение: функциональный узел на п/п приборах, это электронная цепь, выполняющая определенные функции в радиотехнических устройствах.

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)

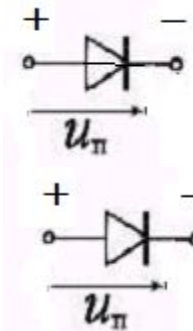


2. Базовые ячейки функциональных узлов на п/п диодах

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.

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

$\phi_T = kT/e$ тепловой потенциал;

T - абсолютная температура перехода;

k - постоянная Больцмана;

e - заряд электрона;

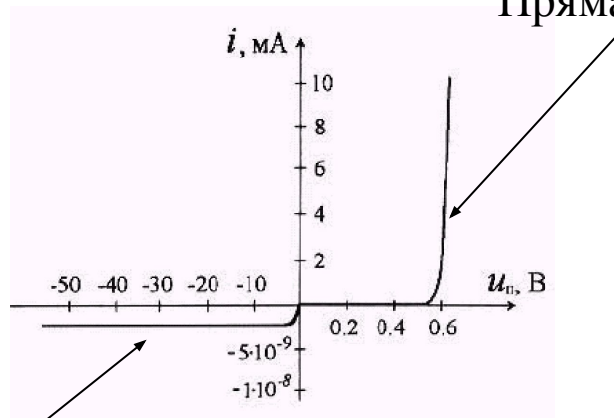
I_s - ток насыщения

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

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

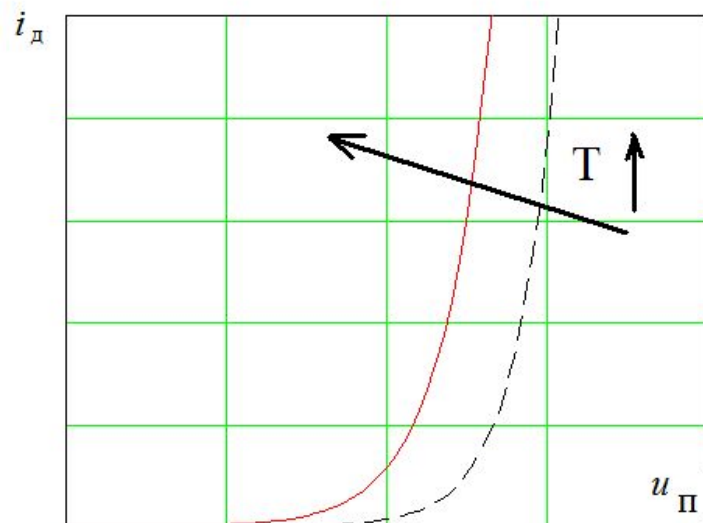
Выводы:

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

2.1.2. Влияние температуры

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

ΔE_g - ширина запрещенной зоны п/п



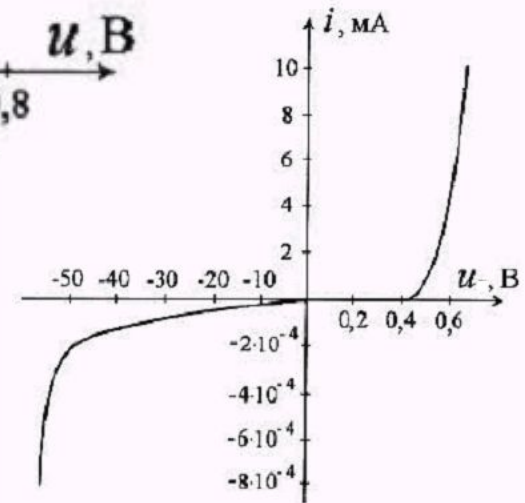
2.1.3. ВАХ реального п/п диода



Уравнения для построения ВАХ реального п/п диода

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

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



ВАХ реального кремниевого диода

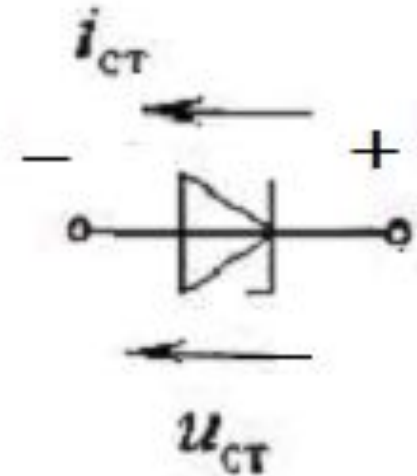
2.1.4. Стабилитроны

9

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

Обозначение стабилитрона в схемах:

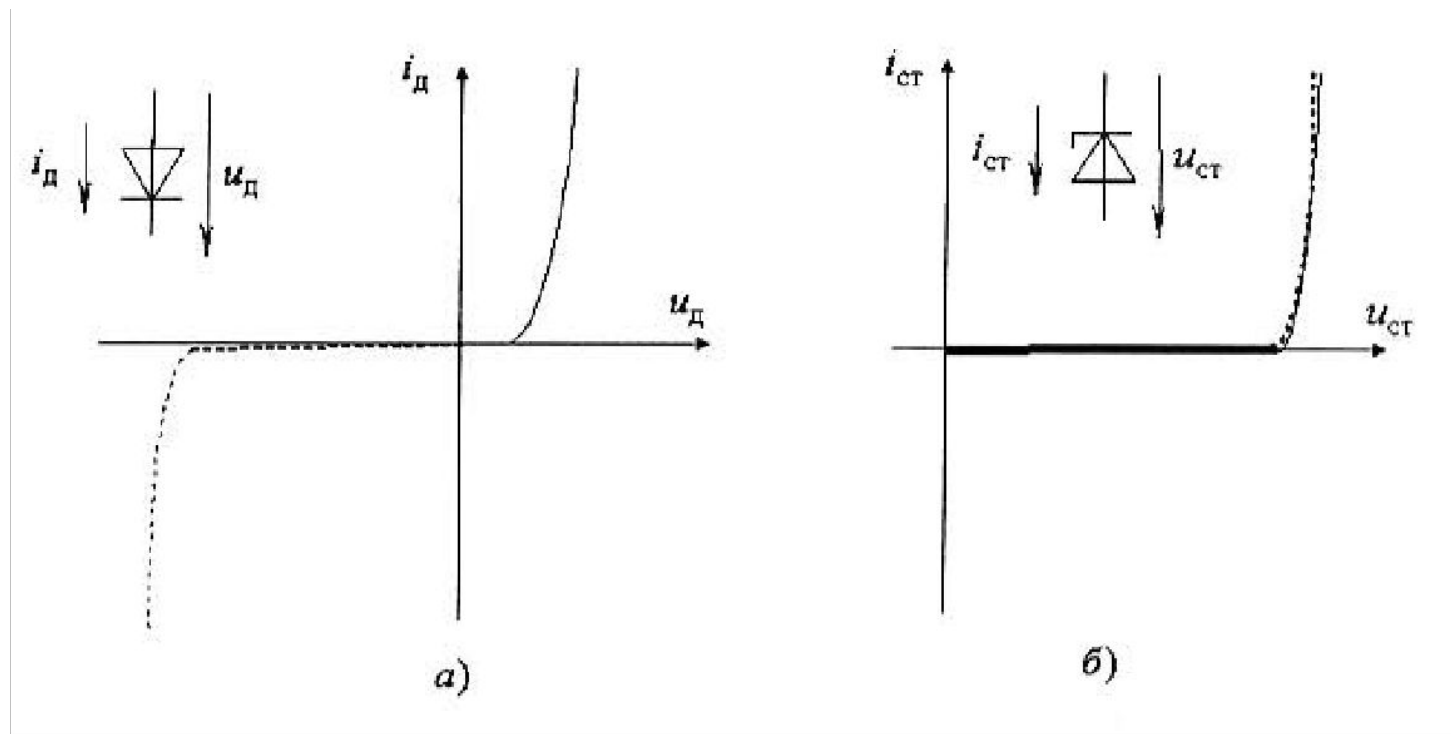
Типы пробоя: пробой лавинного умножения, зенеровский пробой



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

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

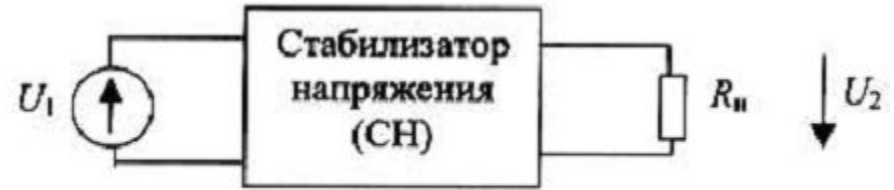
Направления токов и напряжений для стабилитронов



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

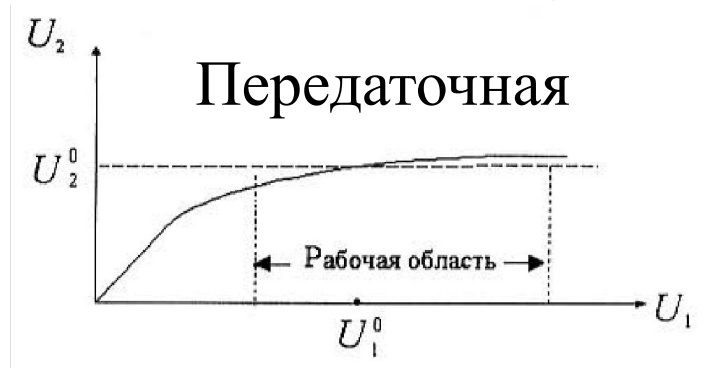
Назначение: обеспечить постоянство (стабильность) выходного напряжения при меняющемся (нестабильном) входном напряжении и меняющейся проводимости (сопротивлении) нагрузки



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

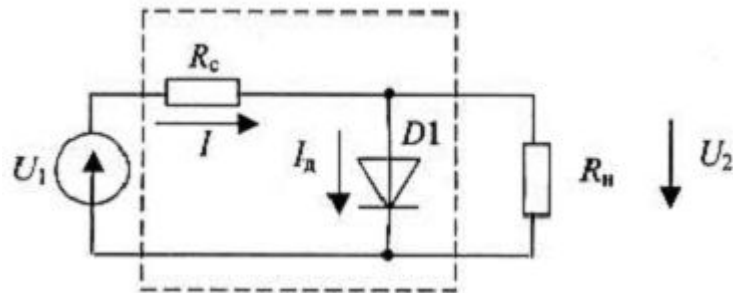


Рис.4

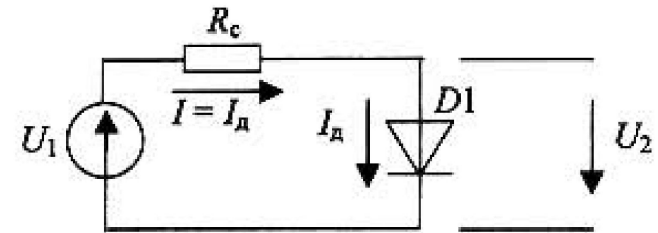
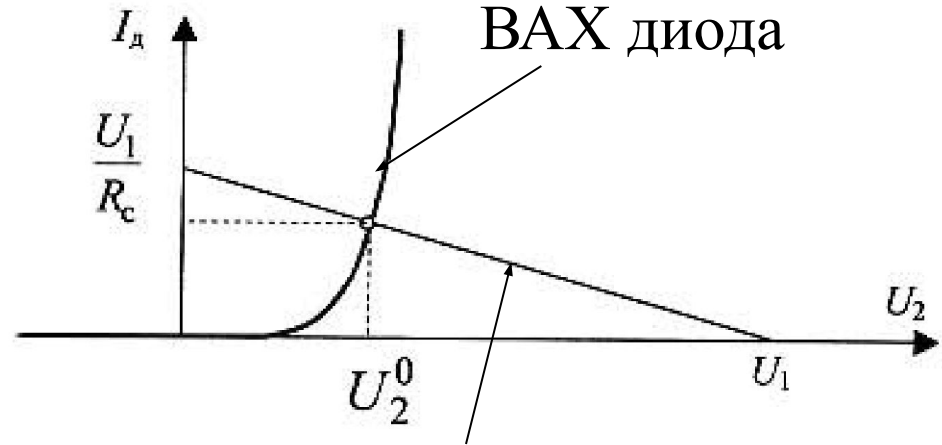


Рис.5

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 $r_{\text{д}2} = 2r_{\text{д}1}$.