



Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Кафедра: Конструирования и производства радиоэлектронных средств (КПРЭС)

Дисциплина: Компоненты электронной техники

## ТЕМА № 5

# Полупроводниковые диоды

Старший преподаватель кафедры КПРЭС  
Капралов Дмитрий Дмитриевич

2020 г.

СПб ГУТ)))



# Учебные вопросы

1. Назначение
2. Квалификация
3. Условно-графическое обозначение в схемах
4. Основные параметры
5. Типы корпусов
6. Светодиоды



# РАЗДЕЛЫ

1. Выпрямительные диоды;
2. Стабилитроны;
3. Варикапы;
4. Высокочастотные диоды;
5. Светодиоды



# Раздел 1. ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ ДИОДЫ

# 1. ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ ДИОДЫ



Рис. 1 Условно графическое обозначение полупроводниковых диодов



Рис. 3 Выпрямительные диоды



Рис. 4 Выпрямительные мосты

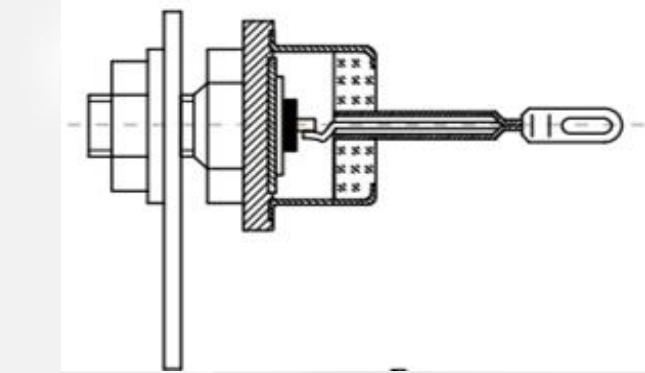


Рис. 2 Конструкция диода



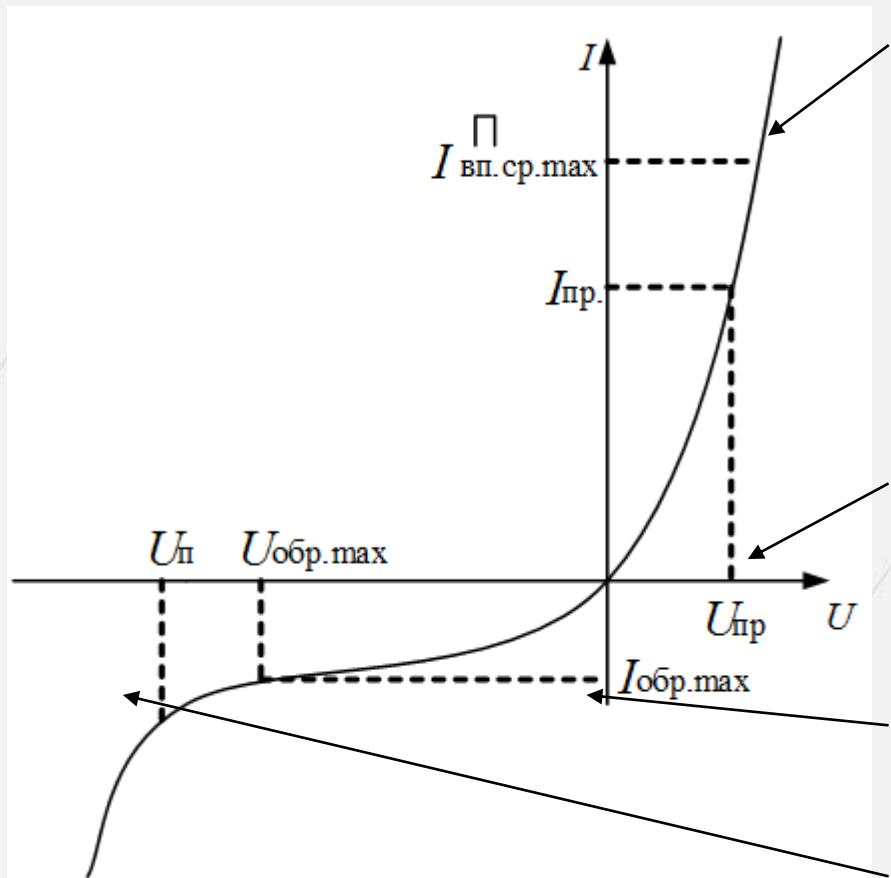
Рис. 5 Мощные выпрямительные диоды



# Основные параметры диодов

- Максимально допустимое постоянное обратное напряжение;
- Максимально допустимое импульсное обратное напряжение;
- Максимально допустимый постоянный прямой ток;
- Максимально допустимый импульсный прямой ток;
- Номинальный постоянный прямой ток;
- Прямое постоянное напряжение на диоде при номинальном токе;
- Постоянный обратный ток, указывается при максимально допустимом обратном напряжении;
- Диапазон рабочих частот;
- Пробивное напряжение;
- Термическое сопротивление корпуса при различных вариантах монтажа;
- Максимально допустимая мощность рассеивания;
- Вольт-амперная характеристика (ВАХ).

# Вольт-амперная характеристика диода



$I_{\text{вп.ср. max}}$  – максимально допустимый средний за период выпрямленный ток;

$P_{\text{max}}$  – максимально допустимая рассеиваемая мощность

$U_{\text{пр}}$  – значение постоянного напряжения на диоде при заданном постоянном прямом токе

$I_{\text{обр. max}}$  – максимально допустимый обратный ток. – величина обратного тока, соответствующего максимально допустимому обратному напряжению  $U_{\text{обр. max}}$ ;

$U_{\text{обр. max}}$  – максимально допустимое постоянное обратное напряжение принимается величина напряжения, равная примерно 0,7 от напряжения пробоя  $U_n$ ;

Рис. 6

# Схема однополупериодного выпрямителя

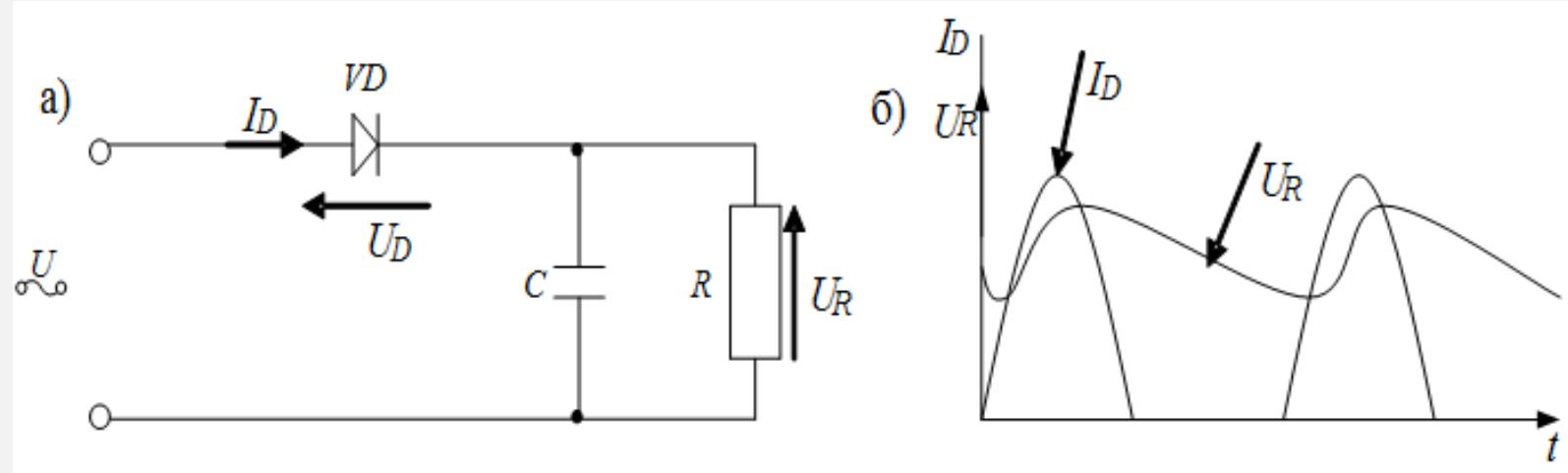


Рис. 7

Рис. 8

Промышленностью выпускается широкая номенклатура выпрямительных диодов на токи до нескольких ампер и обратные напряжения до 1000 В (например, 2Д210);

выпрямительные столбы, представляющие собой цепочку последовательно соединенных выпрямительных диодов, размещенных в едином корпусе (например, КЦ 202, имеющего  $U_{обр.\max} = 15000$  В при  $I_{пр.} = 0,5$  А);

выпрямительные блоки, состоящие из выпрямительных диодов, соединенных по определенной схеме, например, мостовой, и представляющие собой конструктивно завершенное устройство (например, КЦ 409А, трехфазный мост, имеющий  $U_{обр.\max} = 600$  В при  $I_{пр.} = 3$  А).

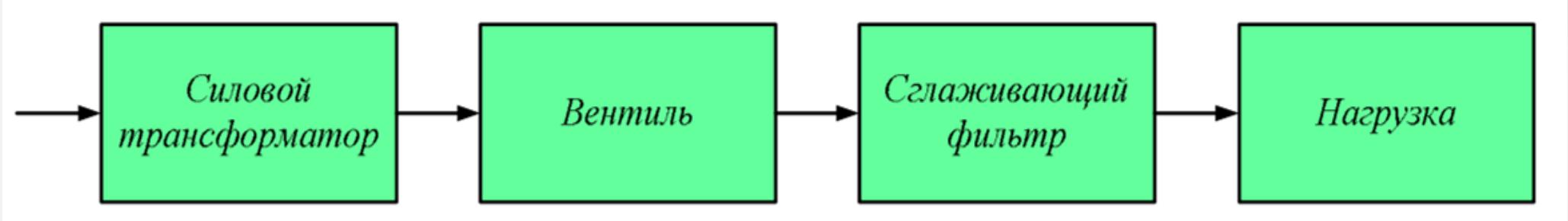


Рис. 9 Структурная схема выпрямителя

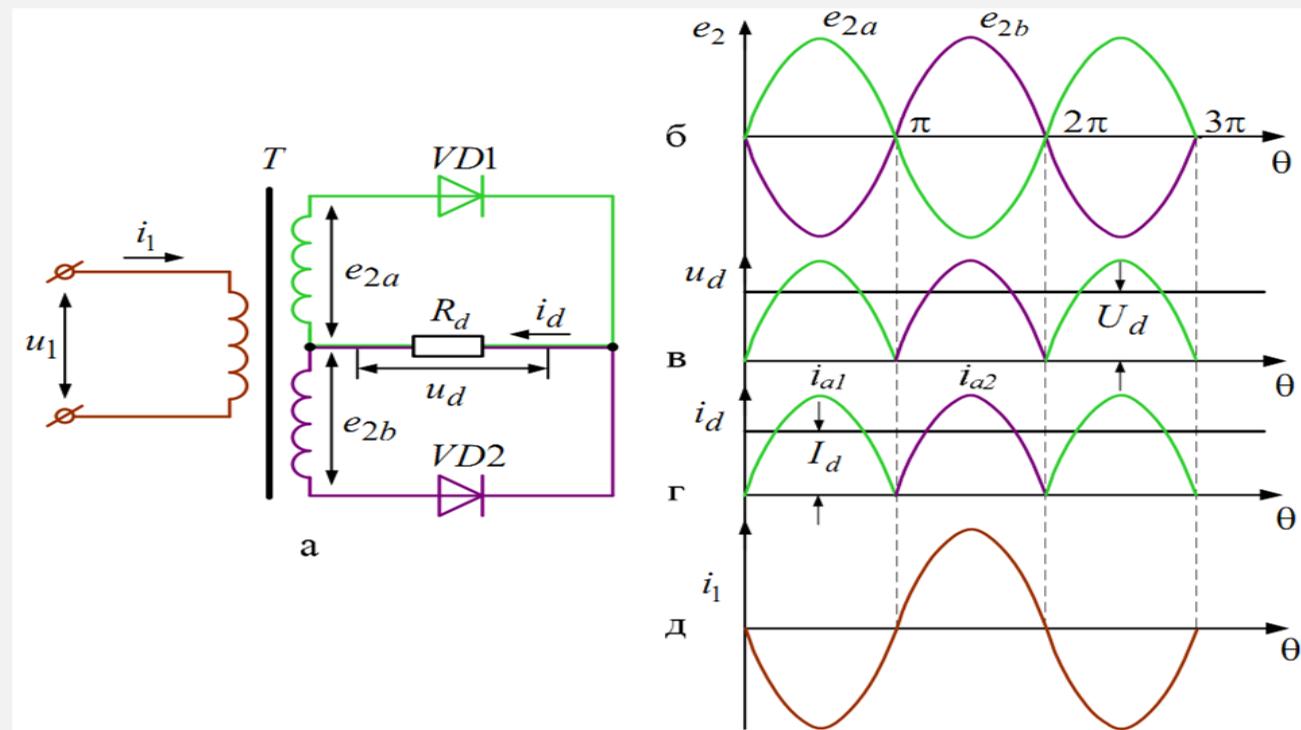


Рис. 10 Двухполупериодный выпрямитель

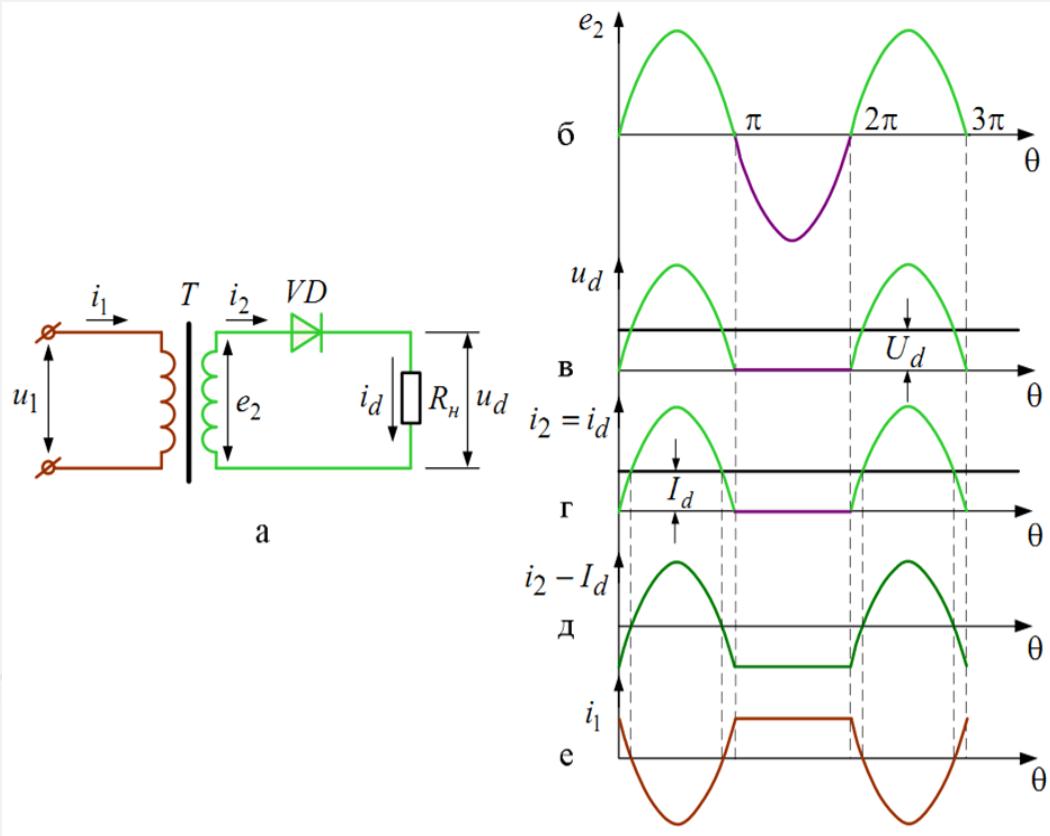


Рис. 11 Однополупериодный выпрямитель

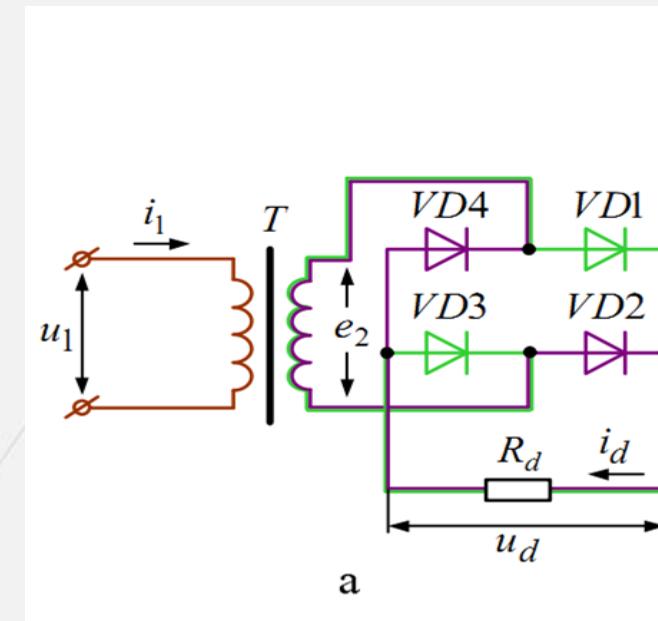


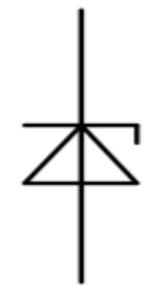
Рис. 12 Мостовой выпрямитель



## Раздел 2. СТАБИЛИТРОНЫ

## 2. СТАБИЛИТРОНЫ

**СТАБИЛИТРОНАМИ** называют диоды, применяемые для стабилизации напряжения и работающие в режиме электрического пробоя р-п перехода. Рабочим участком стабилитрона является обратная ветвь ВАХ.



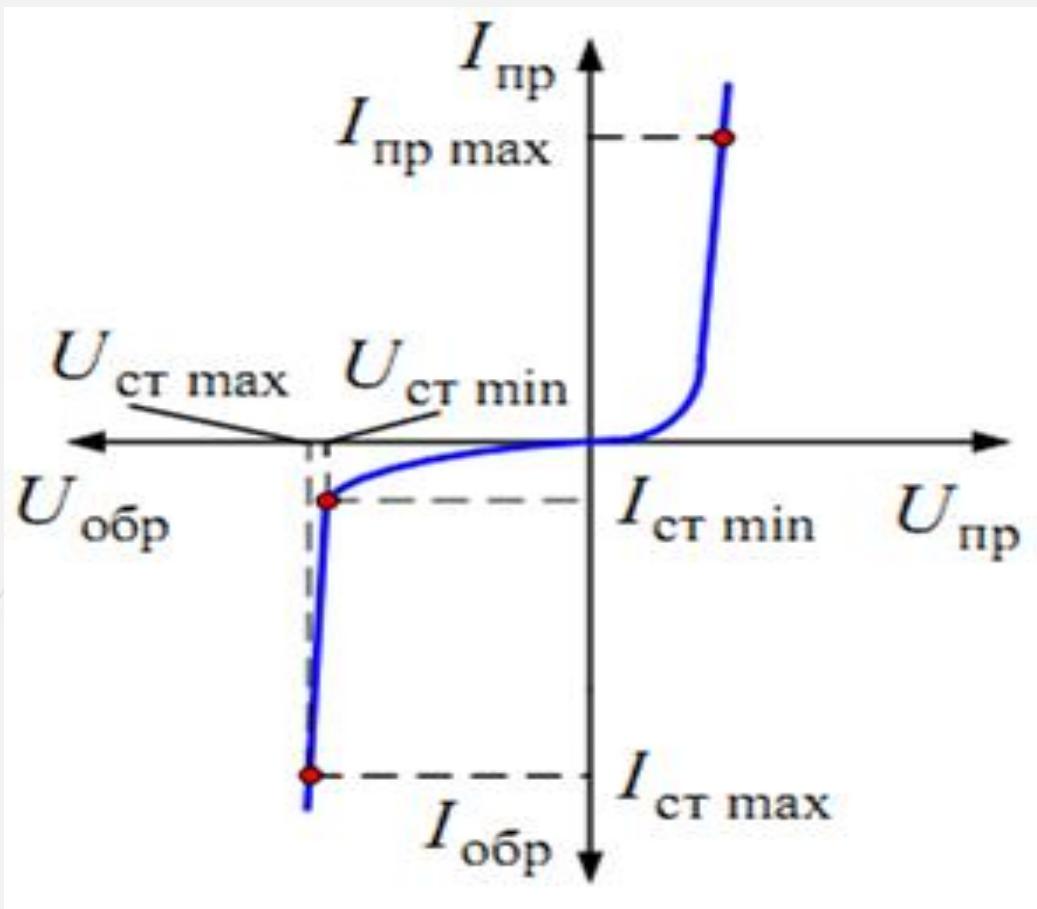


Рис. 13 Вольт-амперная характеристика (ВАХ) стабилитрона

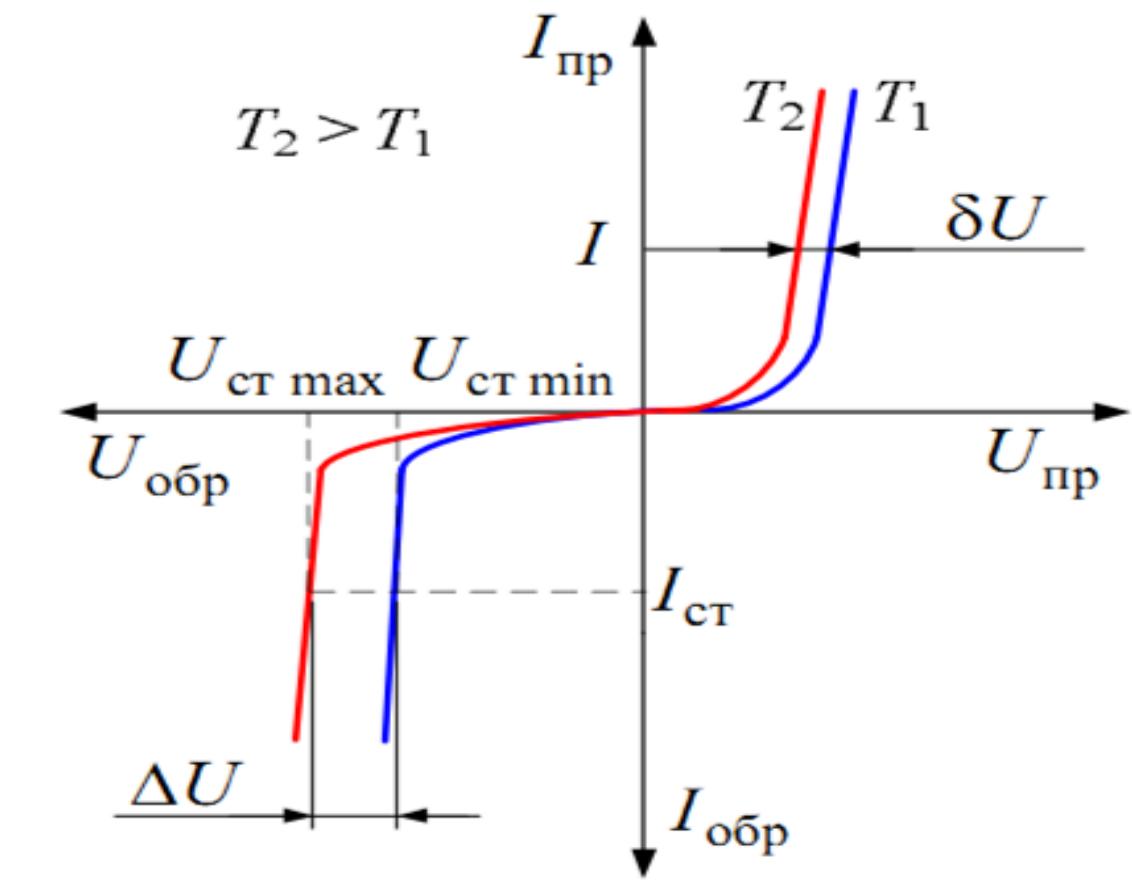


Рис. 14 Зависимость ВАХ стабилитрона от температуры

# Вольт-амперная характеристика стабилитрона

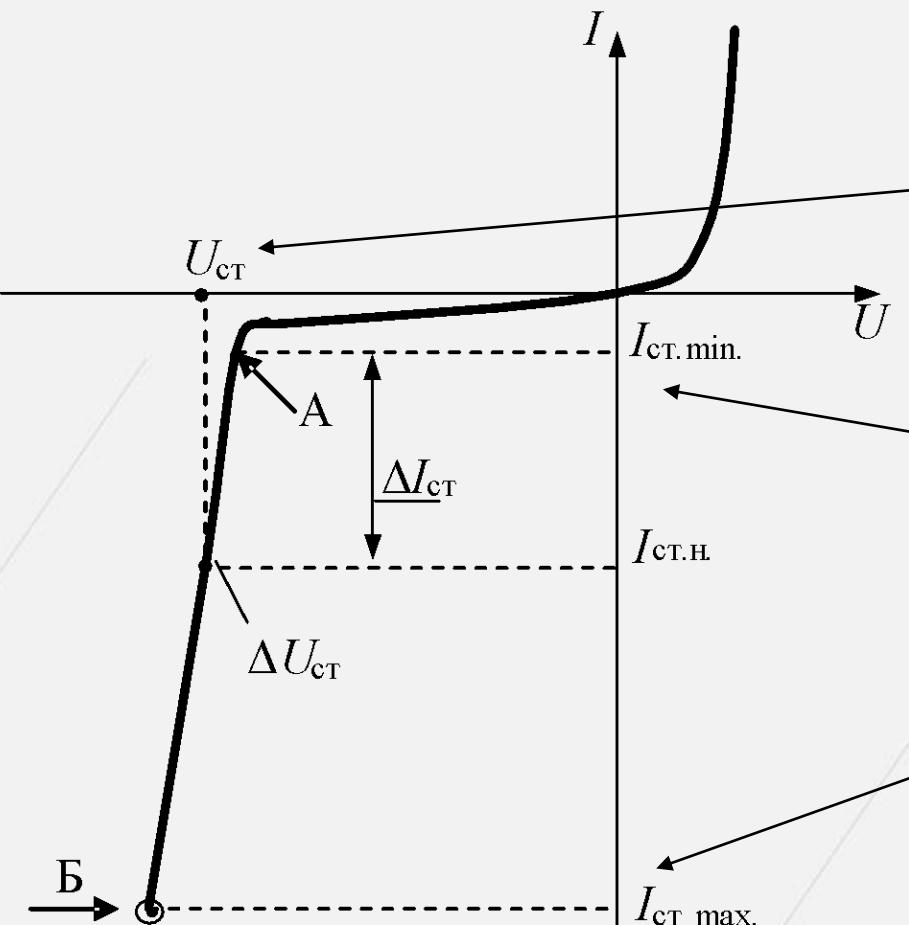


Рис. 15

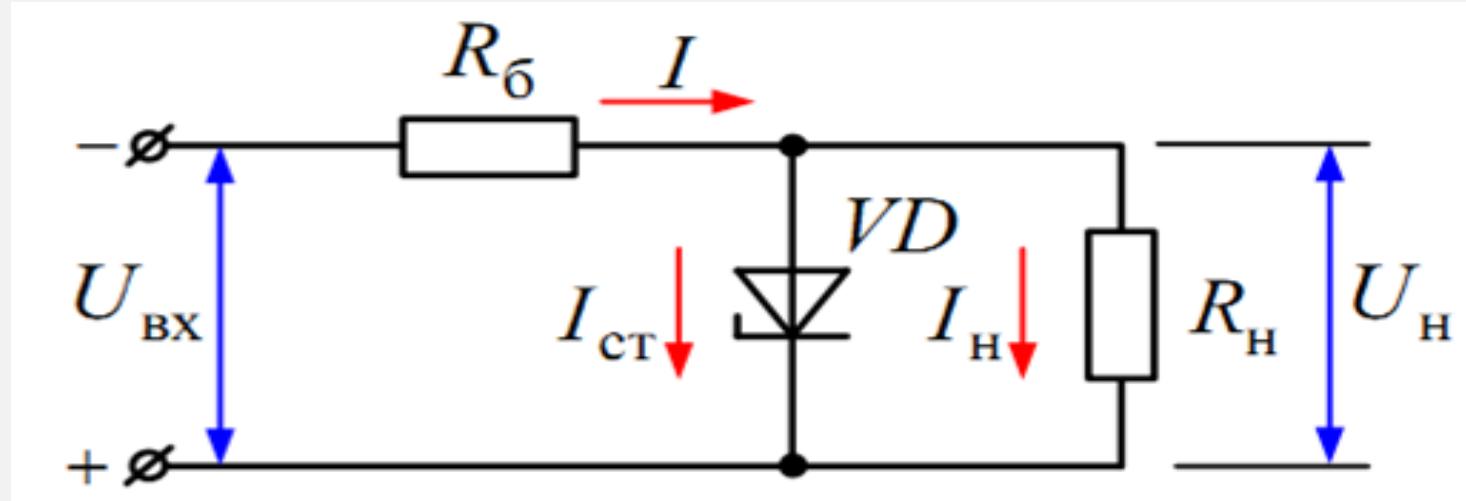
$$I_{\text{ст.макс.}} = P_{\text{max}} / U_{\text{ст}}$$

Основными параметрами стабилитрона являются:

- $U_{\text{ст.}}$  – напряжение стабилизации напряжение на стабилитроне в области стабилизации при номинальном значении тока  $I_{\text{ст.н.}}$ . (Из-за разброса напряжения стабилизации в большинстве случаев задается диапазон его возможных значений).
- $I_{\text{ст.мин.}}$  – минимальный ток стабилизации, ток через стабилитрон, при котором наступает устойчивый пробой. (Этот ток составляет обычно величину 50 – 100 мА).
- $I_{\text{ст.макс.}}$  – максимальный ток стабилизации, максимальное значение тока через стабилитрон, при котором мощность, рассеиваемая стабилитроном, не превышает допустимого значения  $P_{\text{max}}$ .

# Схема стабилитрона

Стабилитрон включают параллельно нагрузке  $R$ . Последовательно с ним включают балластное сопротивление  $r$ , принимающего на себя большую часть изменения входного напряжения  $E$ .



Для количественной оценки качества стабилизации запишем уравнение Кирхгофа для схемы:

$$E = U_{\text{ст}} + rI = U_{\text{ст}} + r(I_{\text{ст}} + I_H)$$

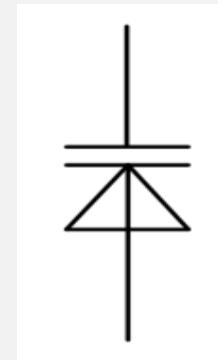
$$E = \Delta U_{\text{ст}} + r(\Delta I_{\text{ст}} + \Delta I_H) = \Delta U_{\text{ст}} + r(\Delta U_{\text{ст}} / R_i + \Delta U_{\text{ст}} / R)$$

$$\Delta U_{\text{ст}} = \Delta E / (1 + r/R_i + r/R)$$

## Раздел 3. ВАРИКАПЫ

### 3. ВАРИКАПЫ

**Варикапы** это полупроводниковые диоды, используемые в качестве электрического конденсатора, емкость которого зависит от приложенного к диоду обратного напряжения.



# Вольт-амперная характеристика варикапа

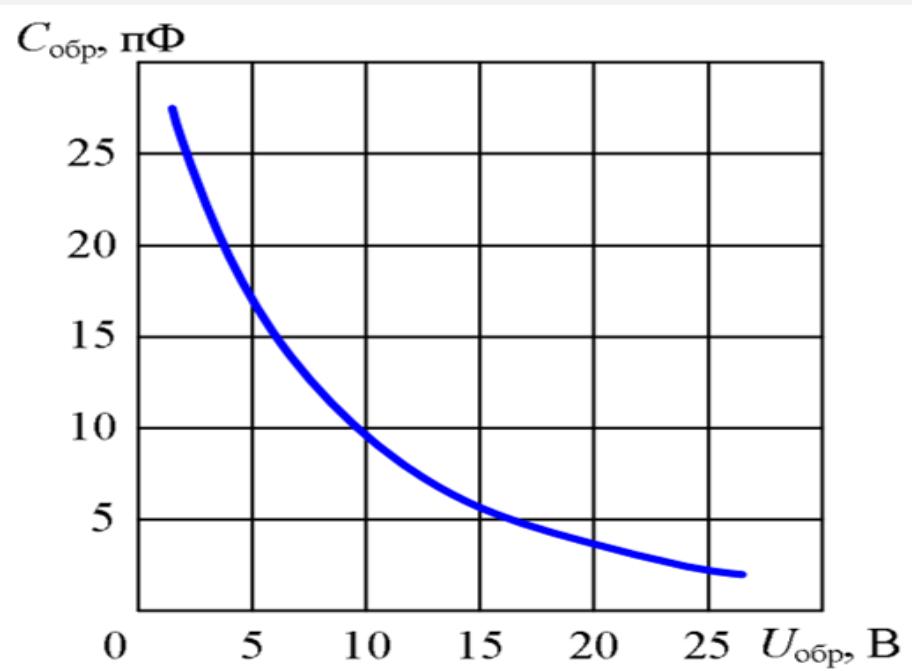
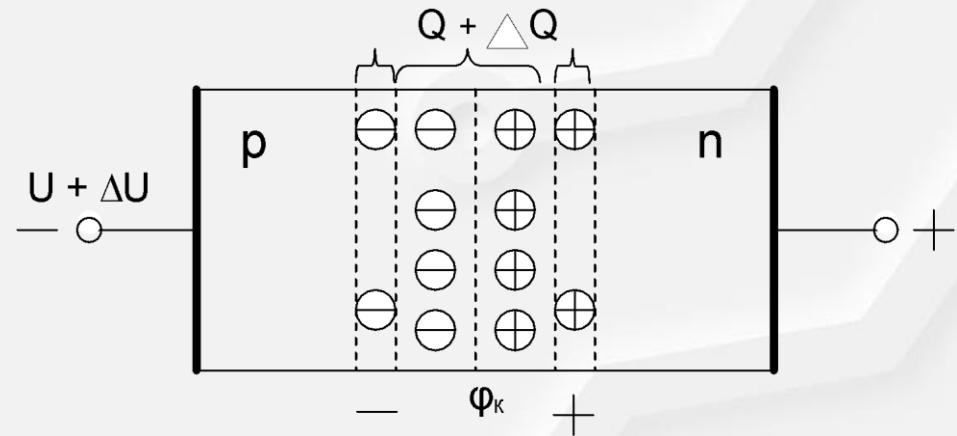


Рис. 16 Вольт-фарадная характеристика варикапа



Емкостные свойства придает неподвижный объемный заряд ионов акцепторов и доноров  $p-n$ -перехода. При изменении напряжения, приложенного к переходу, изменяется ширина перехода и величина объемного заряда

# Основные параметры варикапа

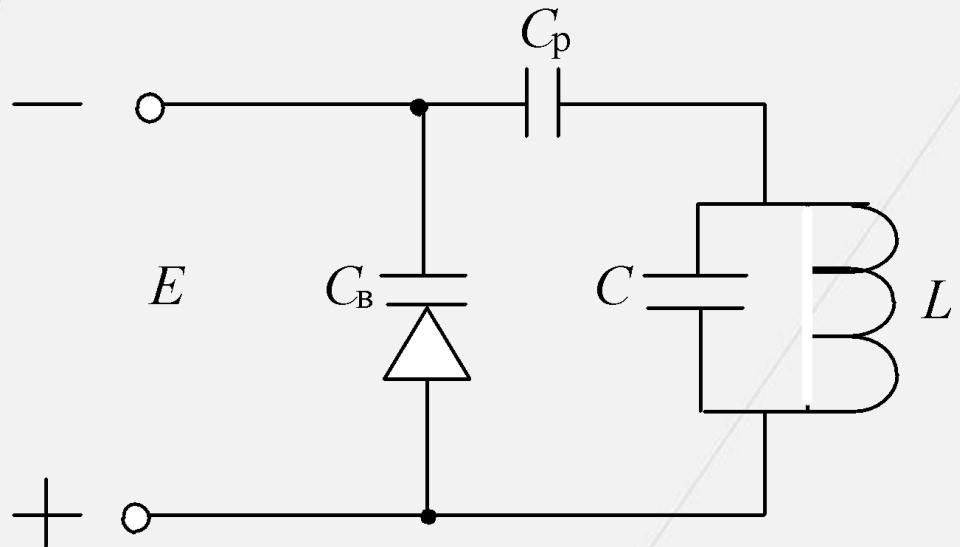
Барьерная емкость

$$C_{BAP} = \frac{\Delta Q}{\Delta U} = \Pi \sqrt{\frac{e\varepsilon N_d}{2(\varphi_k + U)}}$$

$$C_{BAP} = \frac{C_0}{\sqrt{1 + \frac{U}{\varphi_k}}}$$

Начальная емкость

$$C_0 = \Pi \sqrt{\frac{e\varepsilon N_d}{2\varphi_k}}$$



В схемах варикап включают параллельно конденсатору колебательного контура. Для исключения короткого замыкания источника напряжения  $E$ , управляемого емкостью варикапа, последовательно включают разделительный конденсатор большой емкости



$C_B$  – емкость вариакапа при заданном обратном напряжении  $U_{обр.}$ ;

$K_c = C_{\max} / C_{\min}$  - коэффициент перекрытия по емкости: отношение емкостей вариакапа при двух заданных обратных напряжениях;

$Q$  – добротность вариакапа: отношение реактивного сопротивления вариакапа на заданной частоте переменного напряжения к сопротивлению потерь при заданном значении емкости или обратном напряжении;

$I_{обр.}$  - постоянный обратный ток при заданном обратном напряжении;

$U_{обр.\max}$  – максимально допустимое постоянное обратное напряжение;

$P_{в\max}$  – максимально допустимая рассеиваемая мощность.

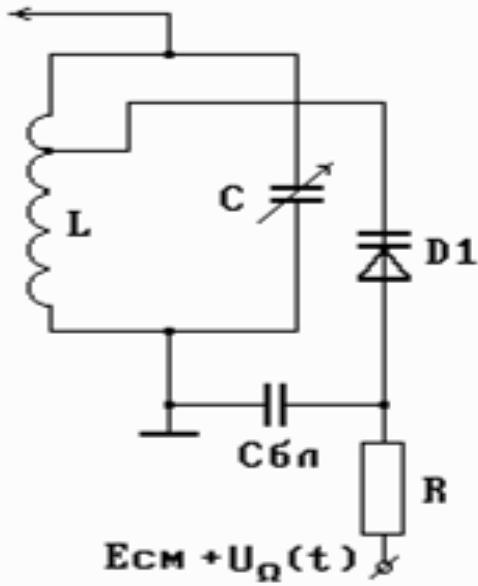


Рис. 17 (а) Включение вариакапов

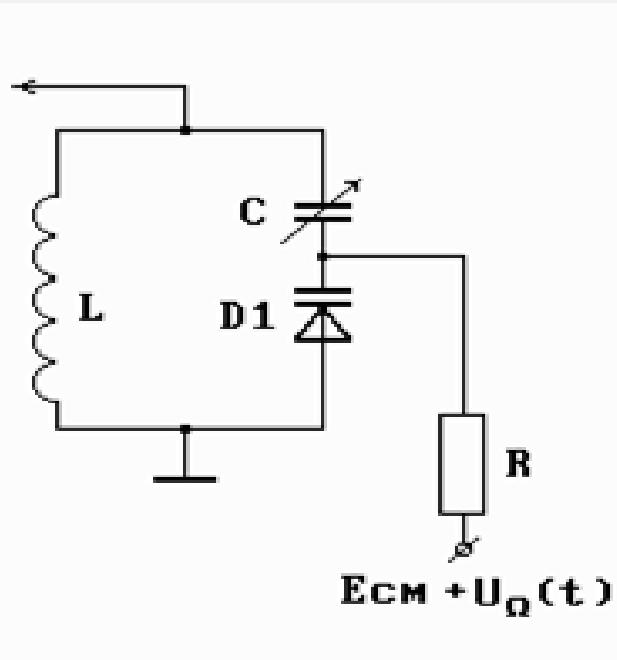


Рис. 17 (б) Включение вариакапов

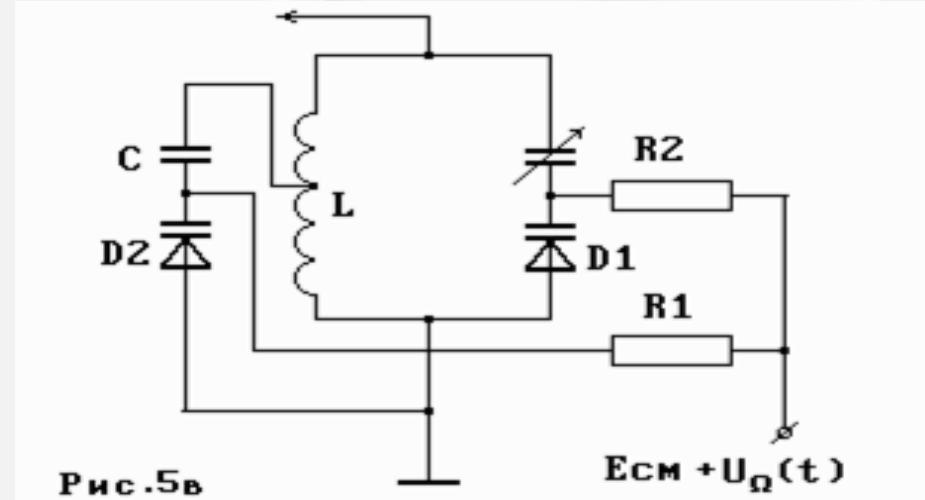


Рис. 5в

Рис. 17 (в) Включение вариакапов

- а - параллельное включение вариакапа;
- б - последовательное включение вариакапа;
- в - последовательно-параллельное включение вариакапа в р/ст Р- 161А2М.

# Раздел 4. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ диоды

# 4. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ДИОДЫ

- Высокочастотные диоды служат для обработки сигналов высокой частоты:
- выделение низкочастотного колебания из модулированного высокочастотного сигнала (детекторные диоды);
- изменение положения несущей частоты модулированного колебания в частотном спектре (смесительные диоды);
- модулирование высокочастотного колебания (модуляторные диоды).

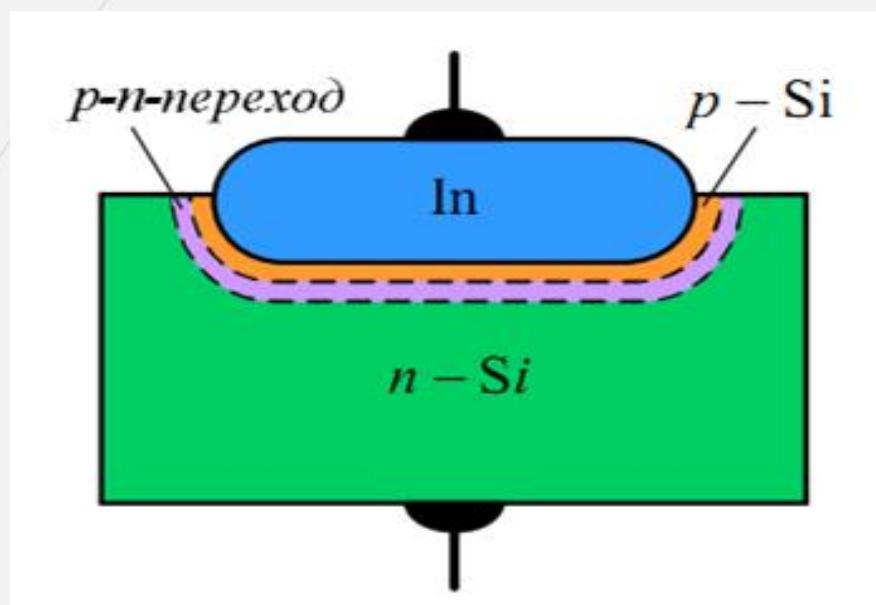


Рис. 17 Структура плоскостного диода  
изготовленного методом сплавления

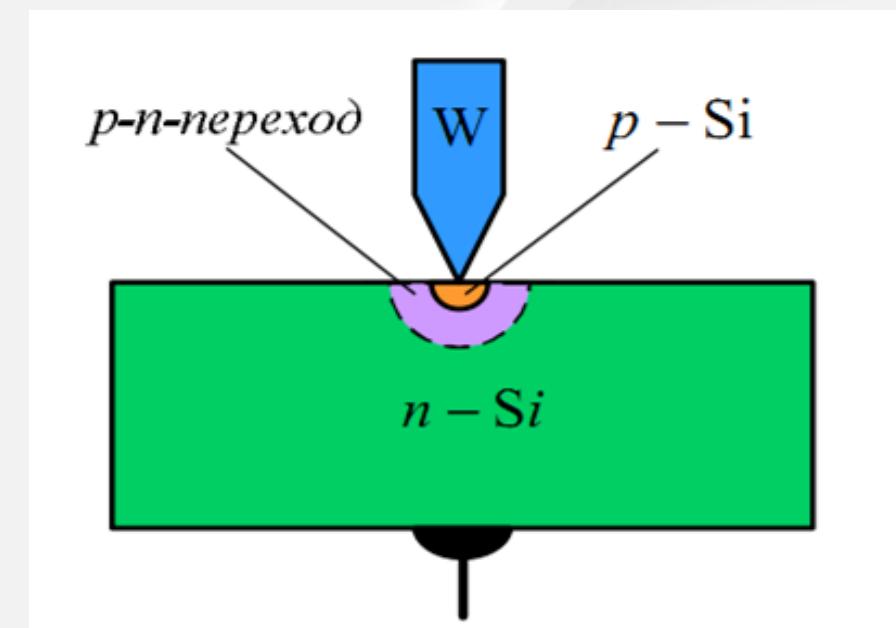


Рис. 18 Структура точечного  
диода 23



На высоких частотах применяются также так называемые **микросплавные диоды**, имеющие малую площадь перехода. От точечных они отличаются лучшей стабильностью параметров, но емкость перехода у них больше и предельные частоты ниже.

**Эпитаксиально-планарные** кремниевые диоды с емкостью перехода менее 1пФ позволяют работать на частотах до 300 МГц.

Для работы в диапазоне СВЧ используют арсенид-галлиевые **эпитаксиально-планарные диоды с барьером Шоттки** (переход металл-полупроводник).

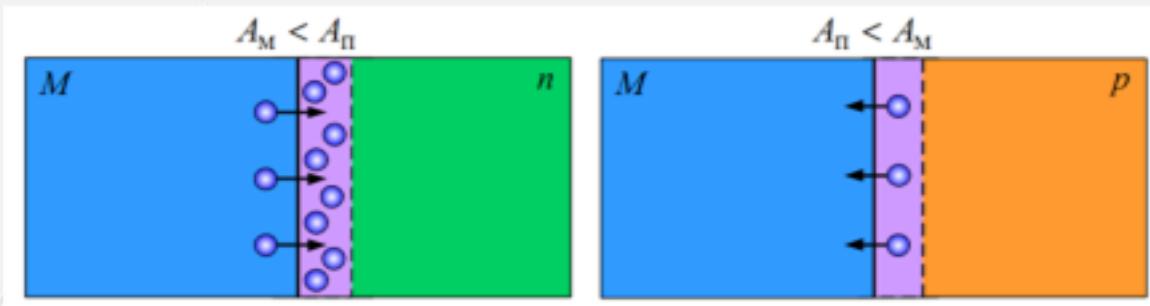


Рис. 19 Контакт металл-полупроводник не обладающий выпрямляющим свойством

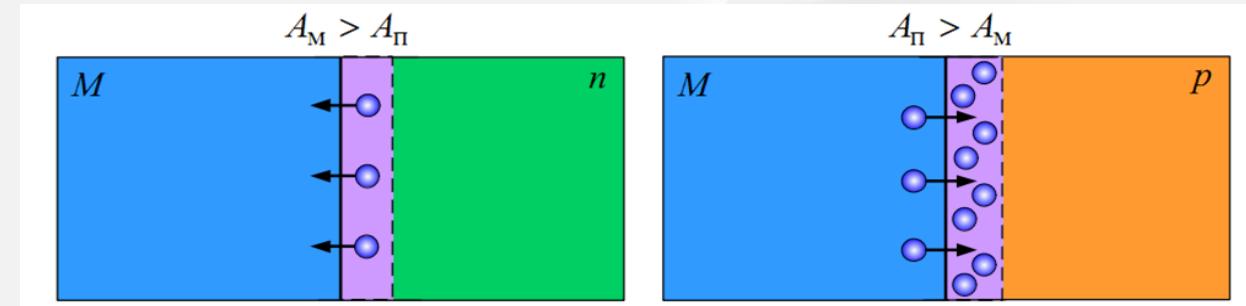
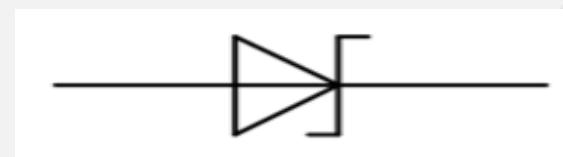
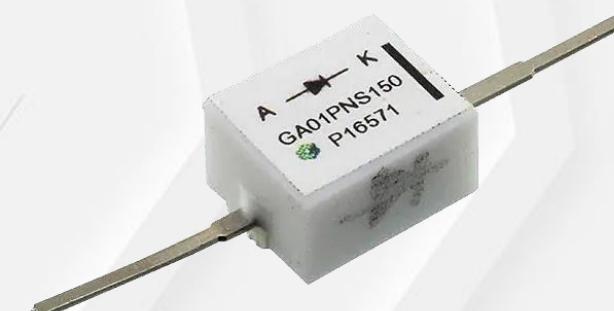


Рис. 20 Контакт металл-полупроводник обладающий выпрямляющим свойством



# Раздел 5. Светодиод

# Светодиоды

**Светодиод** — полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении.

Излучаемый светодиодом свет лежит в узком диапазоне спектра, т. е. светодиод изначально излучает практически монохроматический свет, излучающей более широкий спектр, от которой определённый цвет свечения можно получить лишь применением светофильтра.

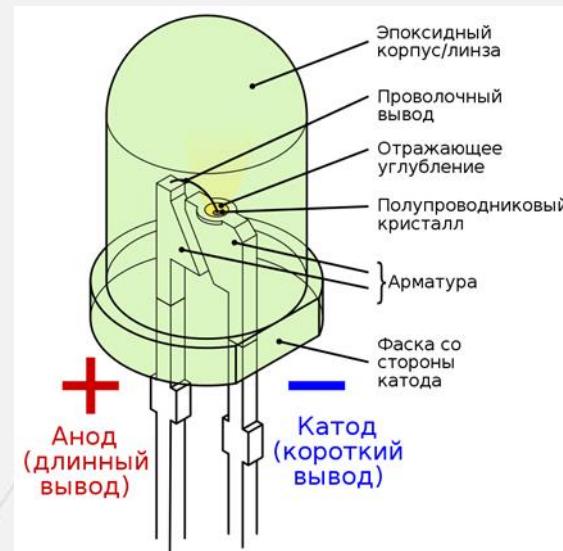


Рис.19 Конструкция светодиода

# Светодиоды в электрической схеме

Светодиод работает при пропускании через него тока в прямом направлении. Из-за круто возрастающей вольт-амперной характеристики р-п-перехода в прямом направлении светодиод должен подключаться к источнику тока. Подключение к источнику напряжения должно производиться через элемент ограничивающий ток, например, через резистор. Некоторые модели светодиодов могут иметьстроенную токоограничивающую цепь, в таком случае в спецификации для них указывается диапазон допустимых напряжений источника питания.

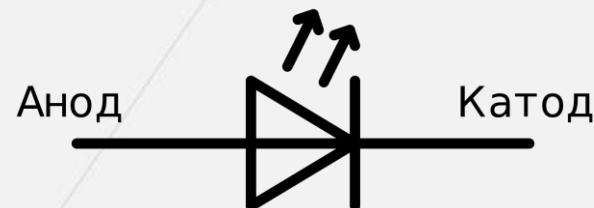


Рис.20 Условное графическое обозначение светодиода  
в электрических схемах



# Преимущества светодиода

- Высокая световая отдача.
- Высокая механическая прочность, вибростойкость.
- Длительный срок службы.
- Цветовая температура современных белых светодиодов может быть различной — от тёплого белого ~2700 К до холодного белого ~6500 К.
- Низкая стоимость индикаторных светодиодов.
- Экологичность.