



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

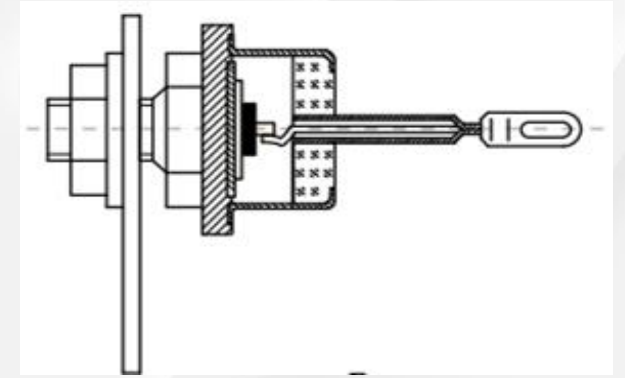


Рис. 2 Конструкция диода



Рис. 3 Выпрямительные диоды

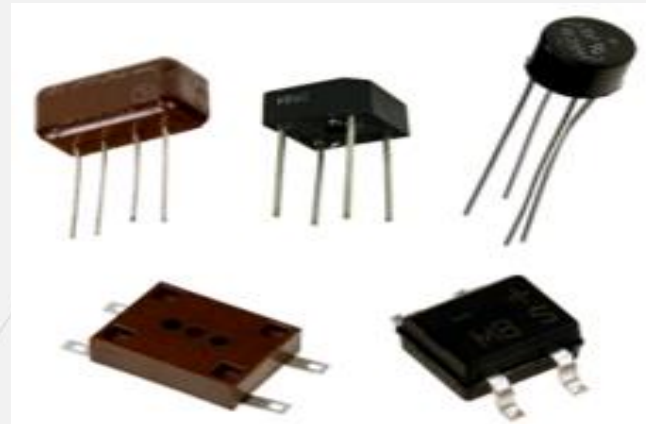


Рис. 4 Выпрямительные мосты



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;
- Тепловое сопротивление корпуса при различных вариантах монтажа;
- Максимально допустимая мощность рассеивания;
- Вольт-амперная характеристика (ВАХ).

# Вольт-амперная характеристика диода

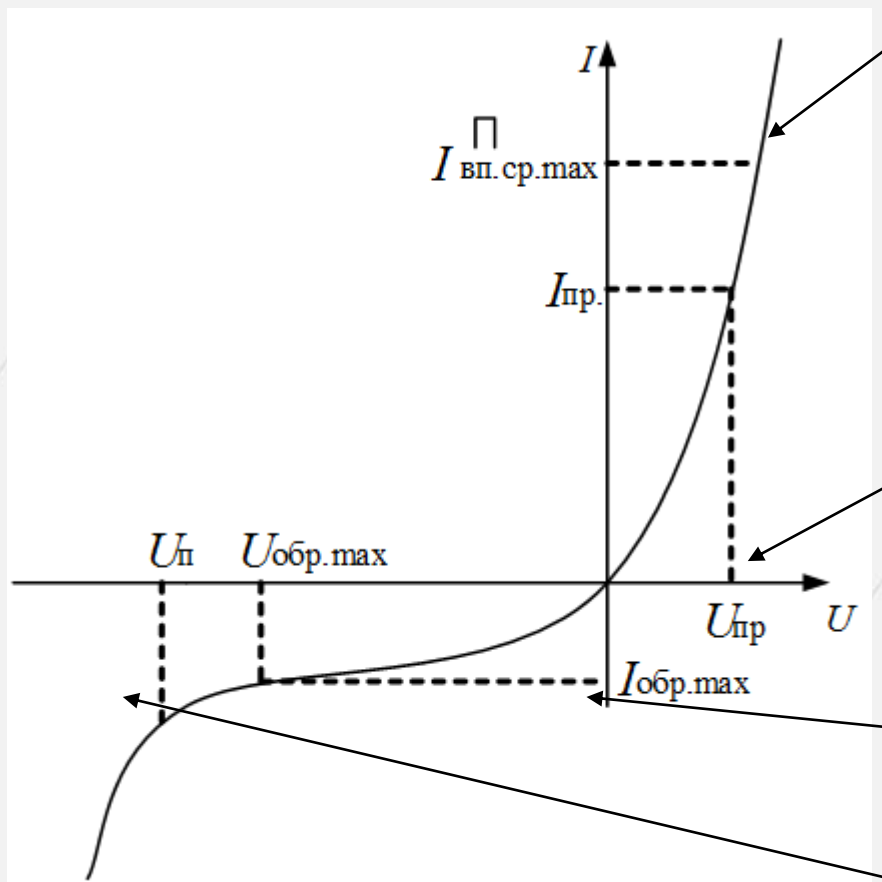


Рис. 6

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

$P_{мах}$  – максимально допустимая рассеиваемая мощность

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

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

$U_{обр.мах}$  – максимально допустимое постоянное обратное напряжение принимается величина напряжения, равная примерно 0,7 от напряжения пробоя  $U_{п}$ ;

# Схема однополупериодного выпрямителя

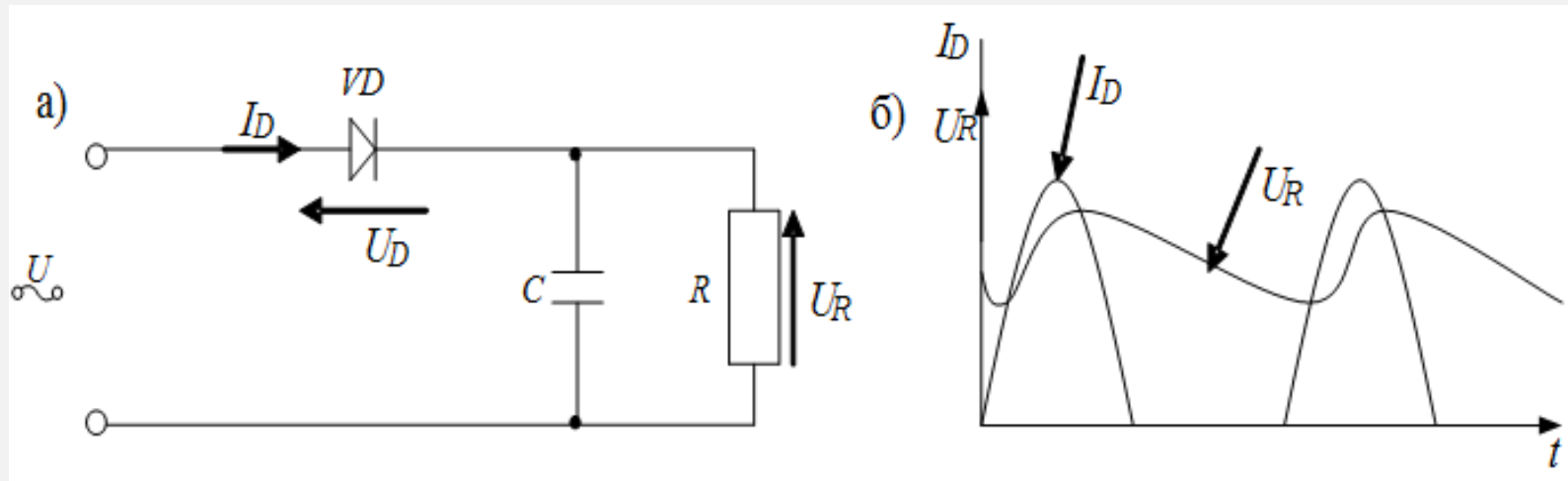


Рис. 7

Рис. 8

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

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

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



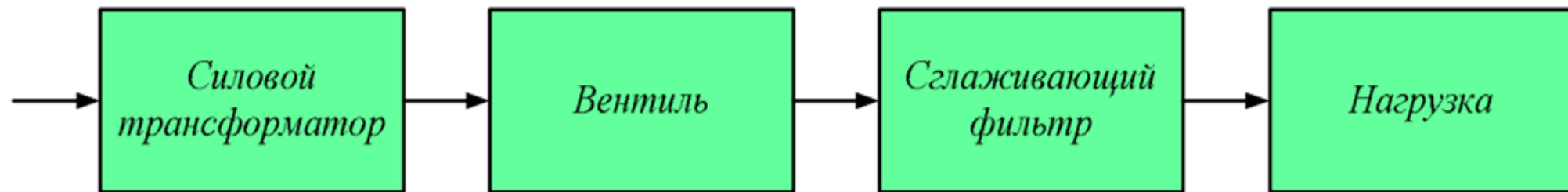


Рис. 9 Структурная схема выпрямителя

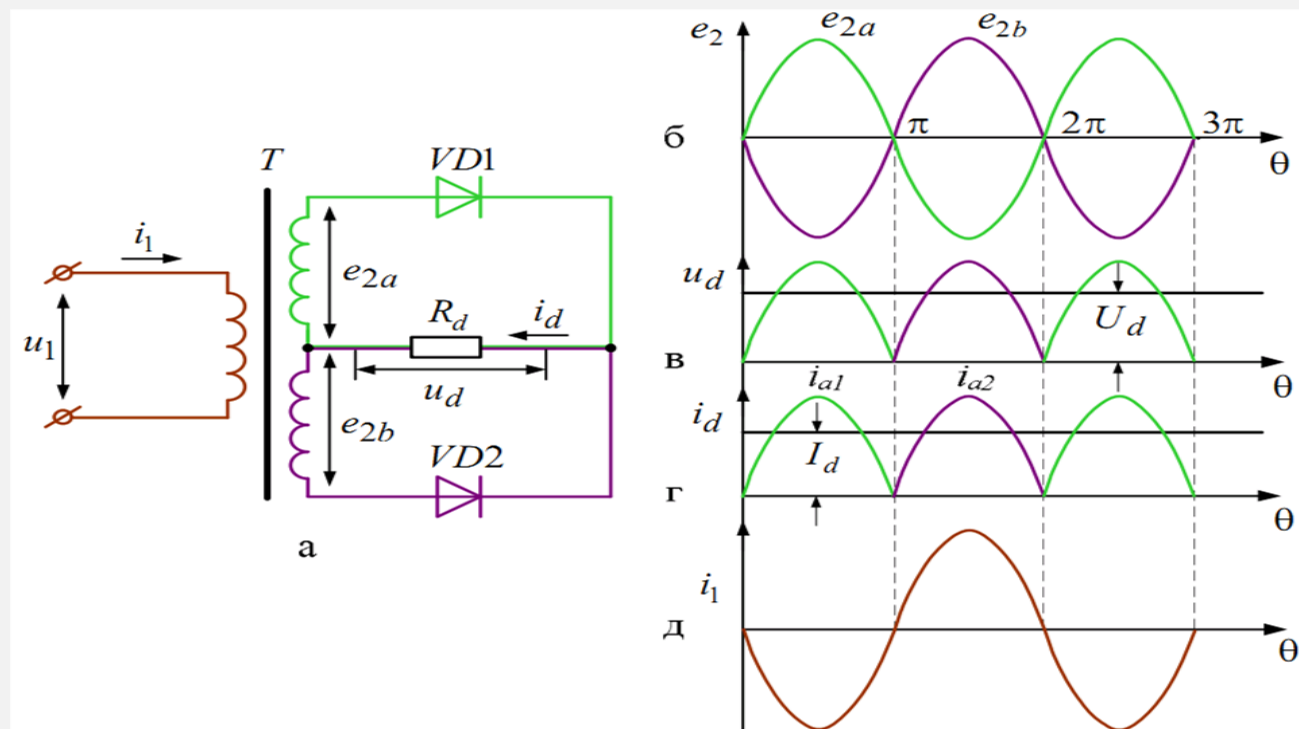


Рис. 10 Двухполупериодный выпрямитель

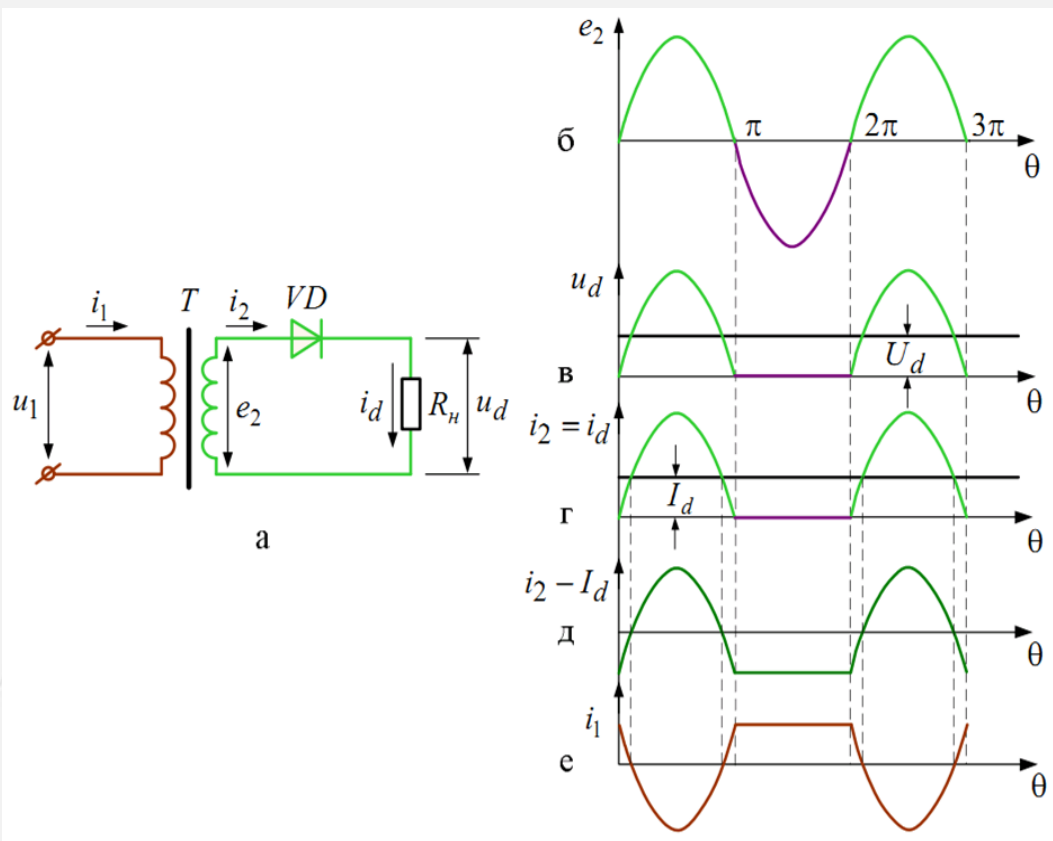


Рис. 11 Однополупериодный выпрямитель

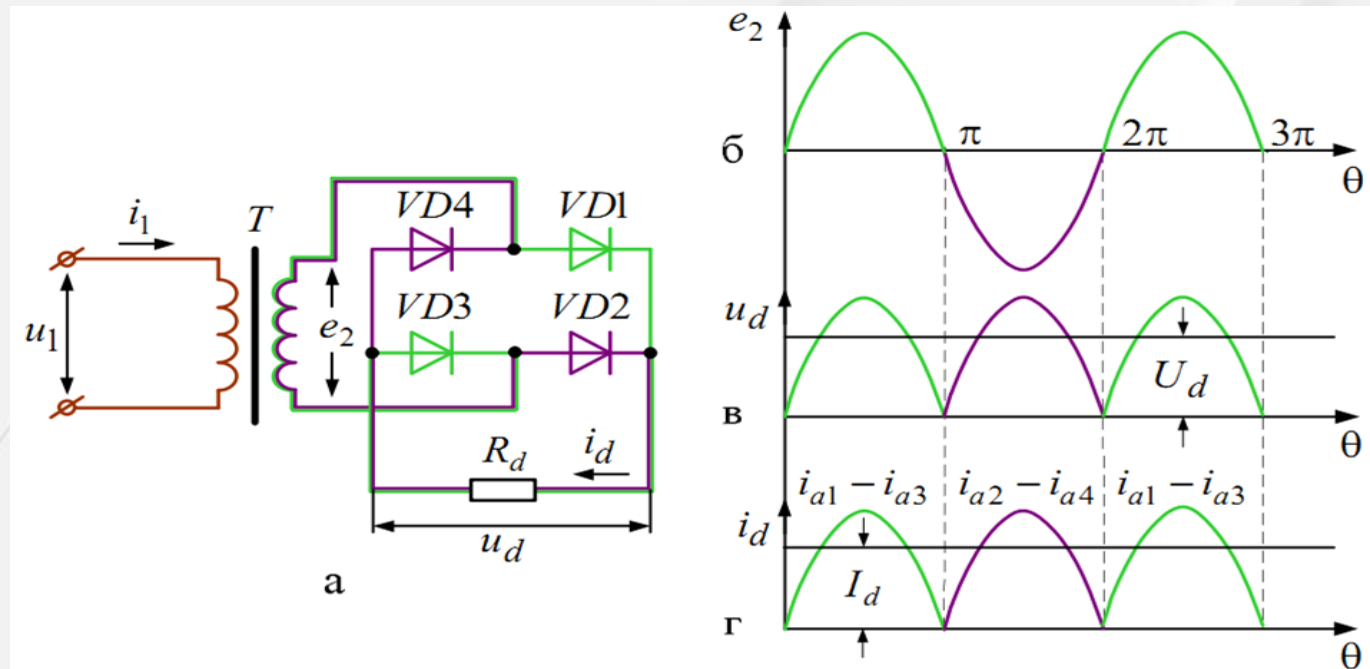


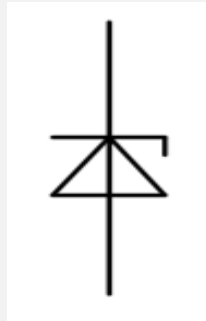
Рис. 12 Мостовой выпрямитель



# Раздел 2. СТАБИЛИТРОНЫ

## 2. СТАБИЛИТРОНЫ

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



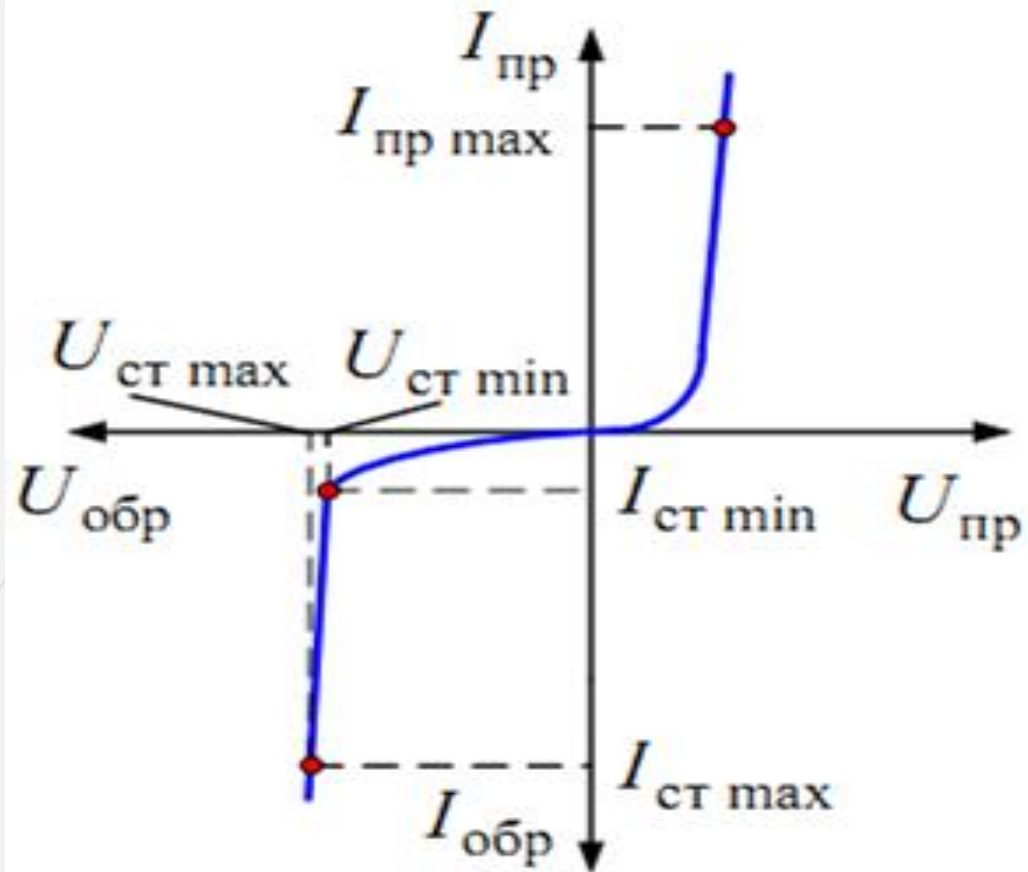


Рис. 13 Вольт-амперная характеристика (ВАХ) стабилизатора

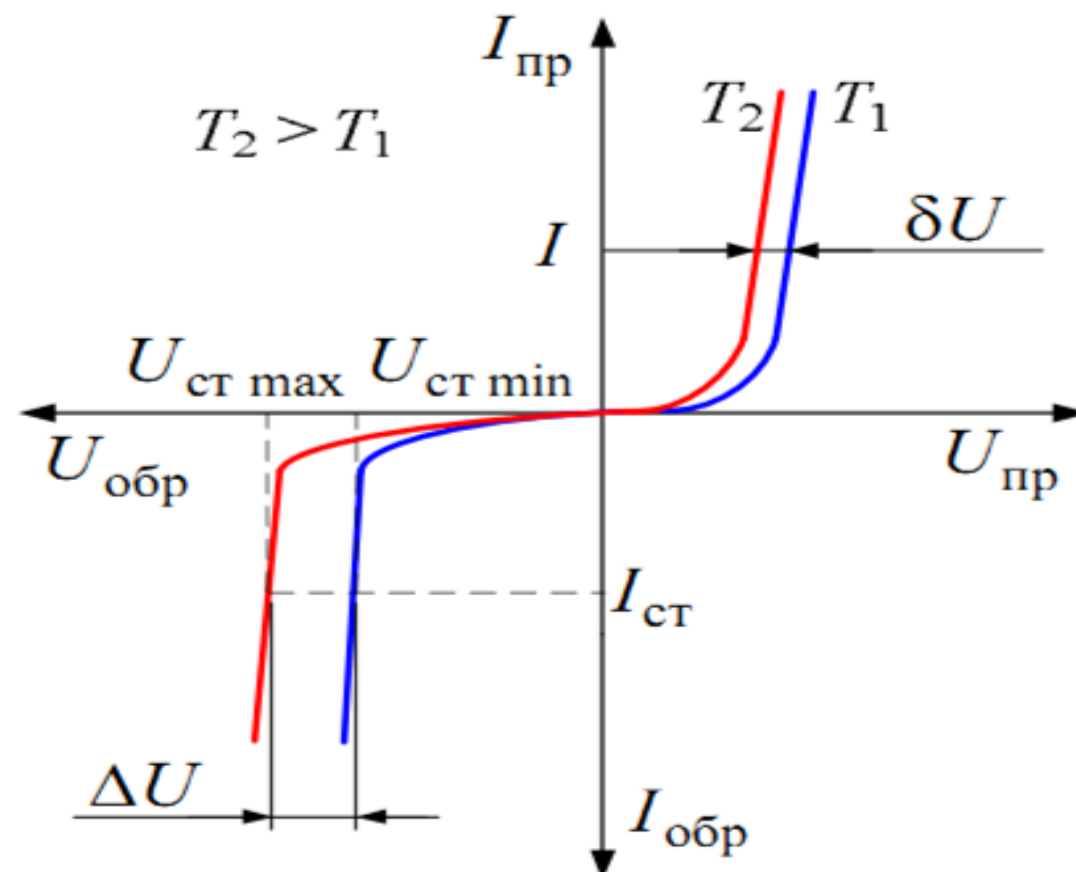


Рис. 14 Зависимость ВАХ стабилизатора от температуры

# Вольт-амперная характеристика стабилитрона

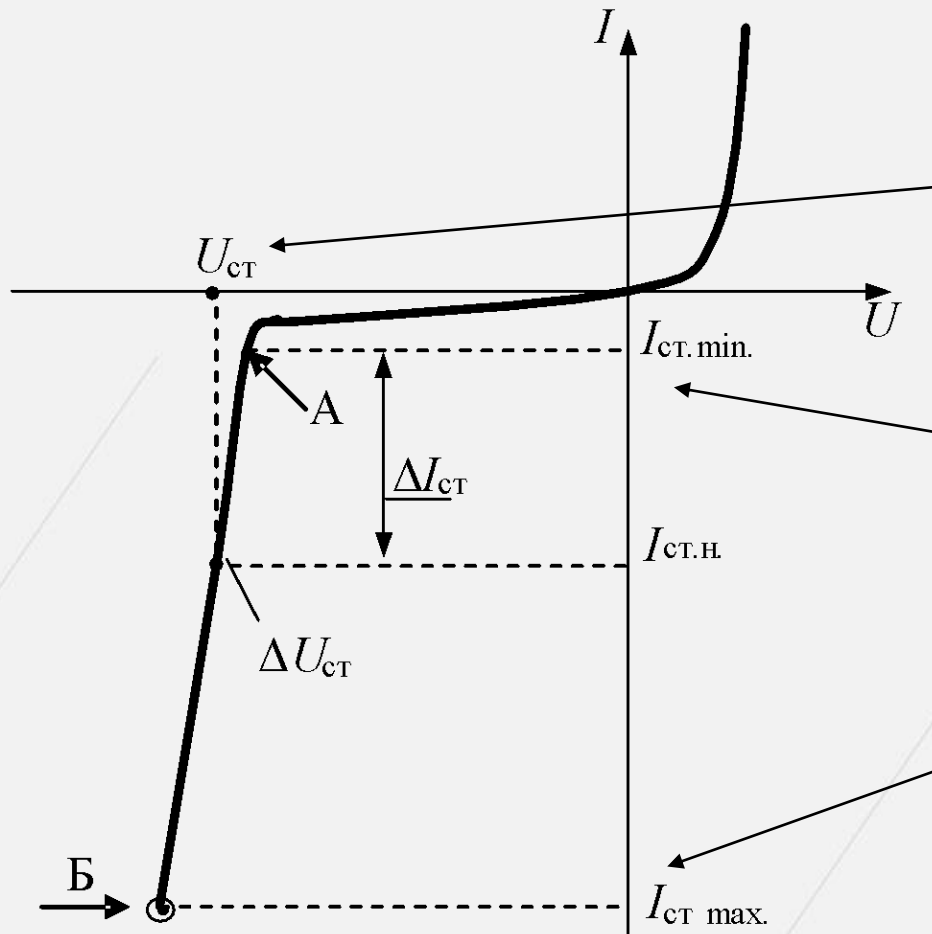


Рис. 15

$$I_{ст\max} = P_{\max} / U_{ст}$$

Основными параметрами стабилитрона являются:

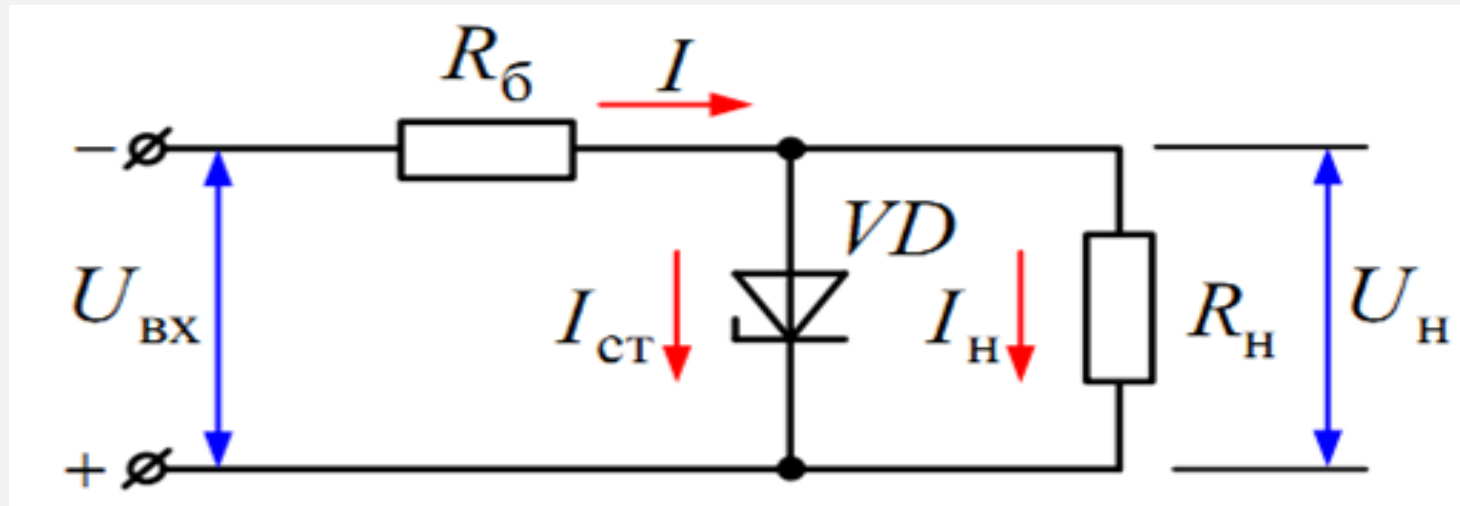
$U_{ст.}$  – напряжение стабилизации на стабилитроне в области стабилизации при номинальном значении тока  $I_{ст.н.}$  (Из-за разброса напряжения стабилизации в большинстве случаев задается диапазон его возможных значений).

$I_{ст.min.}$  – минимальный ток стабилизации, ток через стабилитрон, при котором наступает устойчивый пробой. (Этот ток составляет обычно величину 50 – 100 мкА).

$I_{ст.max.}$  – максимальный ток стабилизации, максимальное значение тока через стабилитрон, при котором мощность, рассеиваемая стабилитроном, не превышает допустимого значения  $P_{max}$ .

# Схема стабилизатора

Стабилизатор 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:

$$E = U_{CT} + rI = U_{CT} + r(I_{CT} + I_H)$$

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

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

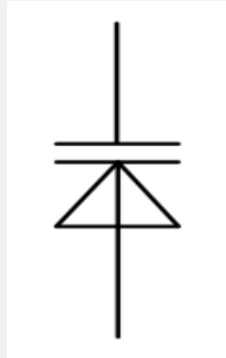


# Раздел 3. ВАРИКАПЫ



# 3. ВАРИКАПЫ

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



# Вольт-амперная характеристика варикапа

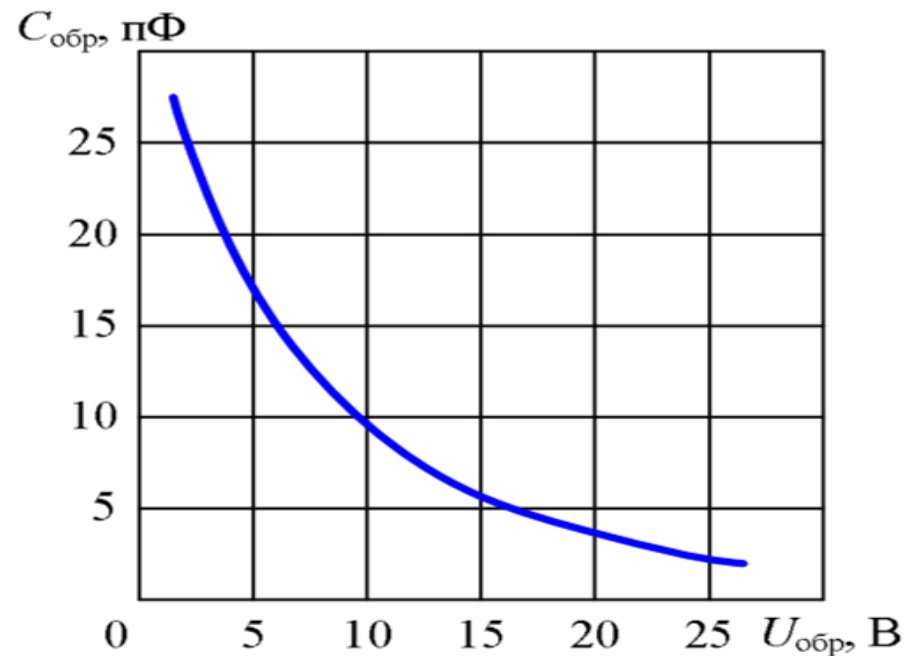
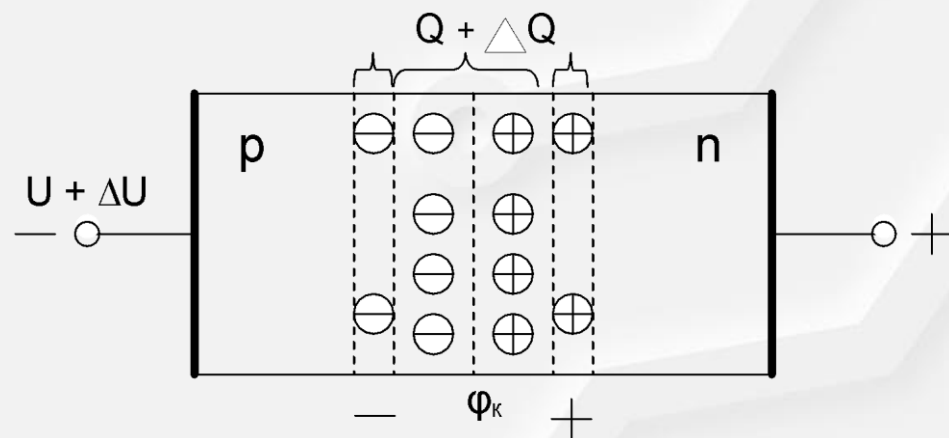


Рис. 16 Вольт-фарадная характеристика варикапа



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

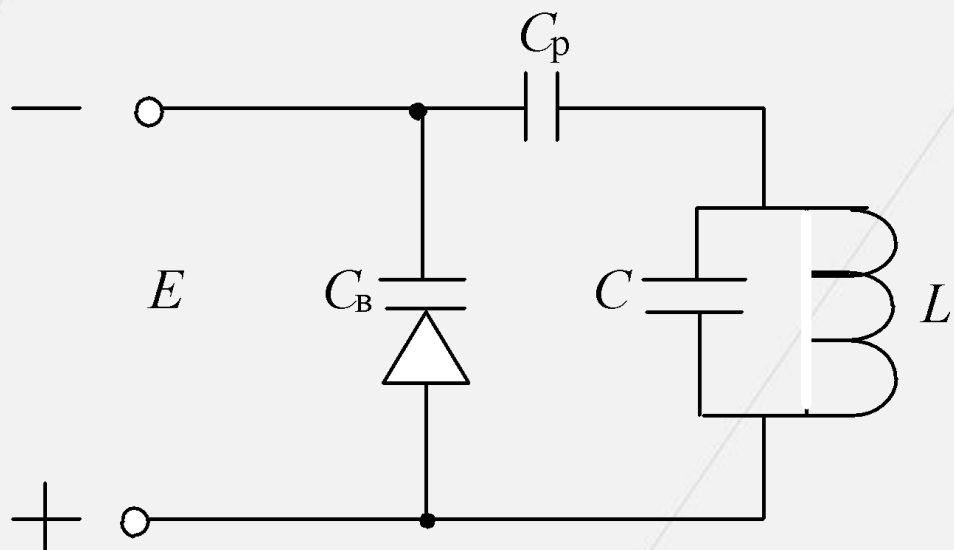
Барьерная емкость

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


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

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 варикапа при заданном обратном напряжении  $U_{обр.}$ ;

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

$Q$  – добротность варикапа: отношение реактивного сопротивления варикапа 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;

$P_{Bmax}$  – максимально допустимая рассеиваемая мощность.

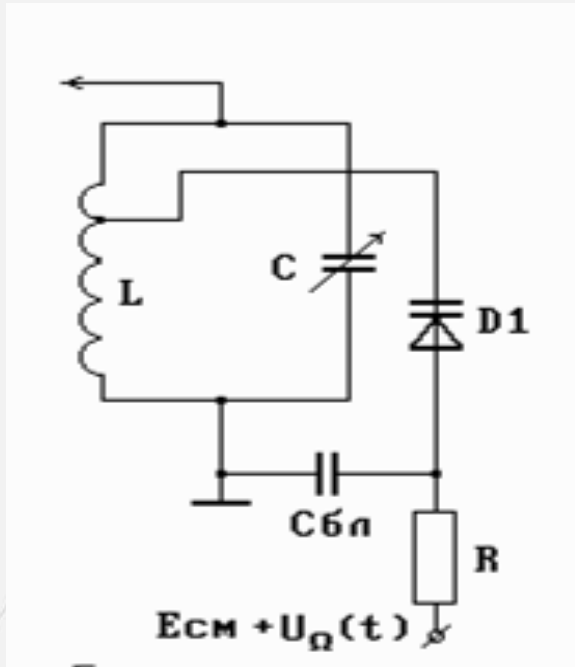


Рис. 17 (а) Включение варикапов

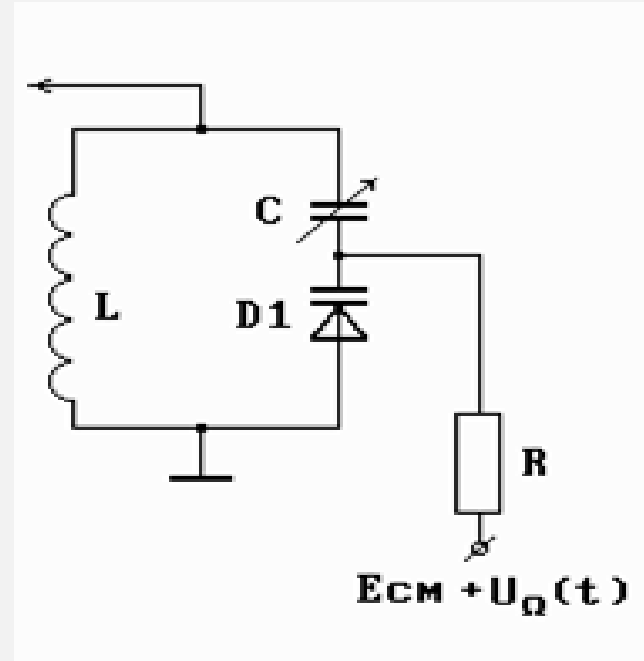


Рис. 17 (б) Включение варикапов

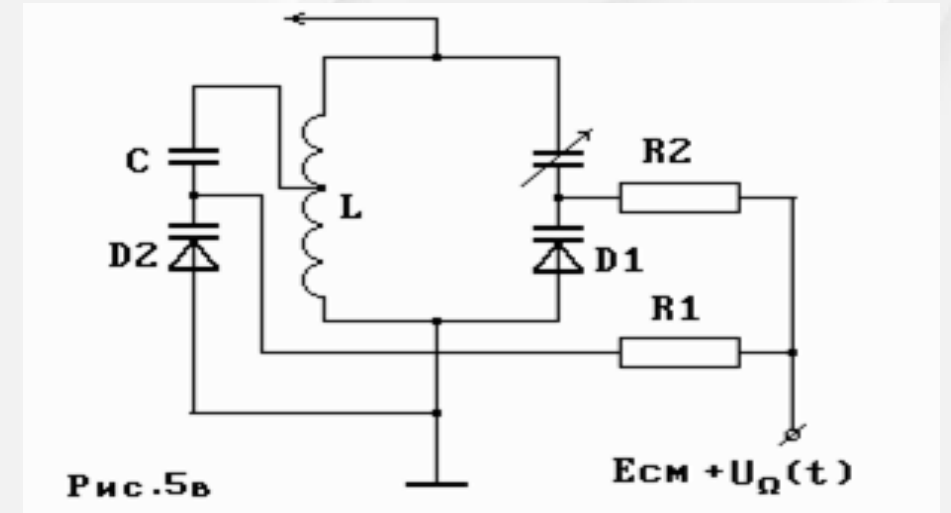


Рис. 17 (в) Включение варикапов

а - параллельное включение варикапа;

б - последовательное включение варикапа;

в - последовательно-параллельное включение варикапа 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).

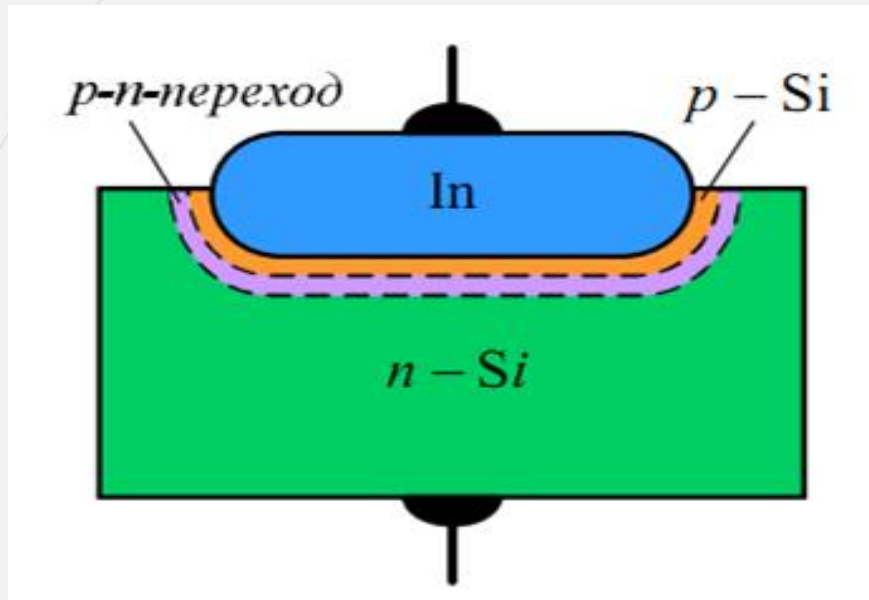


Рис. 17 Структура плоскостного диода изготовленного методом сплавления

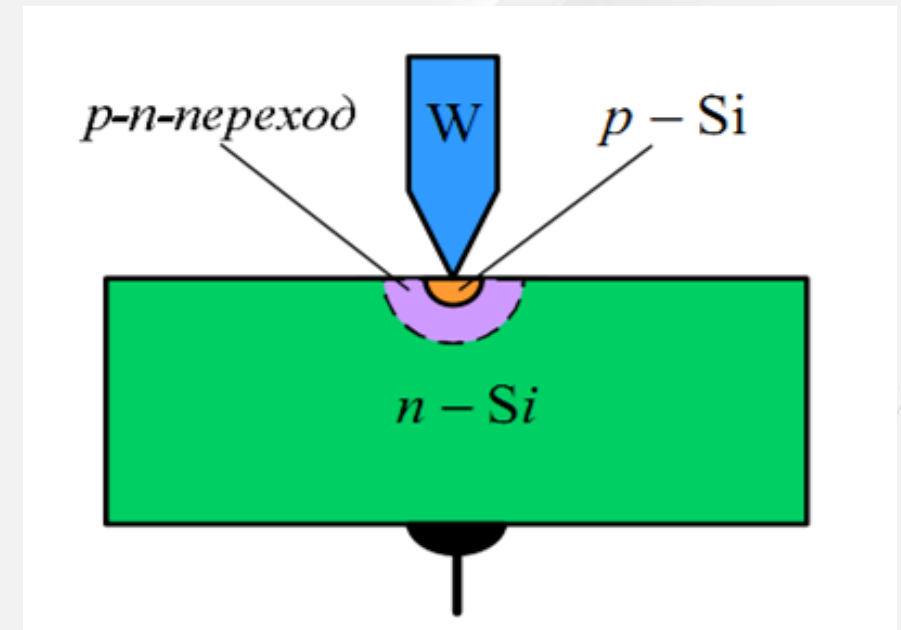


Рис. 18 Структура точечного диода

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  $1\text{пФ}$  позволяют работать на частотах до  $300\text{ МГц}$ .

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

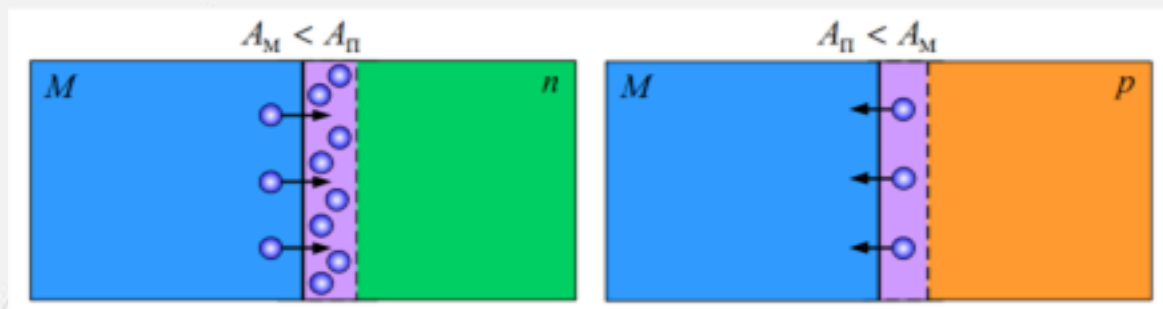


Рис. 19 Контакт металл-полупроводник не обладающий выпрямляющим свойством

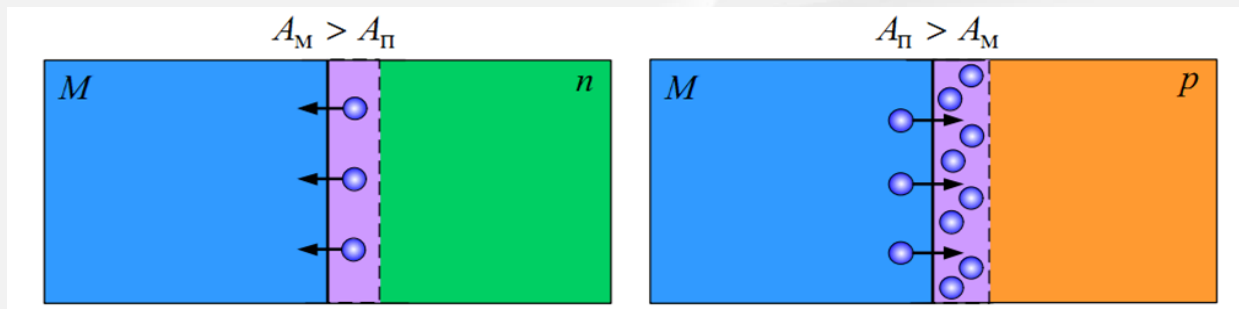
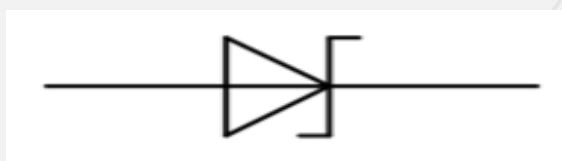
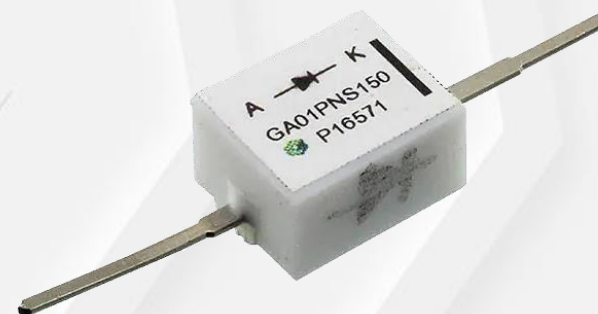


Рис. 20 Контакт металл-полупроводник обладающий выпрямляющим свойством







# 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.

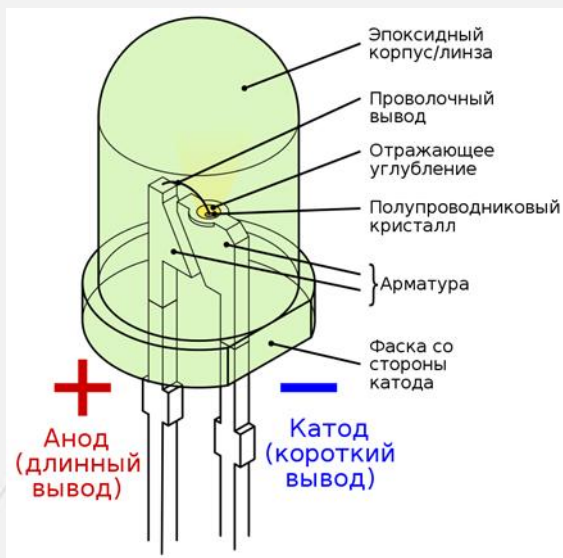


Рис.19 Конструкция светодиода

# 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 иметь встроенную 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  $\sim 2700$  К до холодного белого  $\sim 6500$  К.
- Низкая стоимость индикаторных светодиодов.
- Экологичность.