

Лекция 2. Полупроводниковые диоды

2.1 Полупроводниковые диоды. Классификация.

2.2 Выпрямительные диоды. Статистические характеристики.

2.3 Стабилитроны и стабилитроны. Статистические характеристики.

2.4 Варикапы. Статистические характеристики.

2.1 Полупроводниковые диоды. Классификация.

Полупроводниковым диодом называется прибор, который имеет два вывода и содержит один $p-n$ -переход.

Классификация полупроводниковых диодов производится по следующим признакам [2]:


- по методу изготовления перехода диоды делятся на: сплавные, диффузионные, планарные, точечные, диоды Шоттки и др.;
- по материалу – на германиевые, кремниевые, арсенидо-галлиевые и др.;
- по физическим процессам, на которых основана работа диода – на туннельные, лавинно-пролетные, фотодиоды, светодиоды, диоды Ганна и др.;
- по назначению диоды бывают: выпрямительные, детекторные, универсальные, импульсные, стабилитроны, параметрические, смесительные, СВЧ-диоды и др.

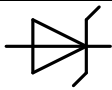
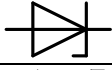
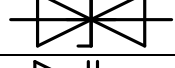

Однако основным признаком для классификации служит назначение прибора. Некоторые типы диодов с их основными характеристиками и условно-графическими обозначениями (УГО) в соответствии с ГОСТ 2.730-73 приведены в табл. 2.1.

В электрических схемах позиционное обозначение полупроводниковых диодов принято писать как VD_1 , VD_2 и т.д.

Диоды – исторически первые полупроводниковые приборы. Экспериментально обнаруженный факт (О.В. Лосев, 1922 г.) – выпрямление слабых переменных сигналов при соприкосновении металлической иглы с кристаллами некоторых естественных минералов – стал основой их практического применения. Широкое внедрение полупроводниковых диодов в радиоэлектронику началось примерно с 1940 г., когда для целей радиолокации был впервые создан кристаллический детектор сантиметрового диапазона.

Таблица 2.1 - Основные типы полупроводниковых диодов и система обозначений

Наименование	УГО
Диод выпрямительный Общее обозначение	

Диод Шоттки	
Стабилитрон односторонний	
Стабилитрон двухсторонний	
Варикап	

Светоизлучающие и фотоприемные диоды, а также оптроны будут рассмотрены в пункте 2.8.

Большинство диодов выполняют на основе несимметричных $p-n$ -переходов. В этом случае в одной из областей концентрация примеси, определяющей тип проводимости, значительно больше, чем в другой области. Область с высокой концентрацией примеси называют *эмиттером*, и она имеет малое объемное сопротивление. Область с низкой концентрацией называют *базой*, и эта область имеет значительное объемное сопротивление. Область p является анодом, а область n катодом. Функцию эмиттера может выполнять как анод, так и катод диода, в зависимости от того, какая из областей (p или n) имеют большую концентрацию примеси.

2. 2. Выпрямительные диоды. Статистические характеристики.

Выпрямительными обычно называют диоды, предназначенные для преобразования переменного напряжения в постоянное. В зависимости от частоты и формы переменного напряжения они делятся на низкочастотные, высокочастотные и импульсные. Низкочастотные служат для выпрямления напряжения промышленной частоты (50 или 400 Гц). В высокочастотных частота выпрямляемого напряжения составляет десятки кГц. Основой диода является обычный $p-n$ -переход. В плоскостных диодах $p-n$ -переход имеет достаточную площадь для того, чтобы обеспечить большой прямой ток. Для получения больших обратных (пробивных) напряжений диод обычно выполняется из высокоомного материала [4].

Основными параметрами, характеризующими выпрямительные диоды, являются (рис. 2.1):

- максимальный прямой ток $I_{ПР\ MAX}$;
- падение напряжения $U_{ПР}$ на диоде при заданном значении прямого тока $I_{ПР}$ (или наоборот) ($U_{ПР} \approx 0,3-0,7$ В для германиевых и $U_{ПР} \approx 0,8-1,2$ В для кремниевых диодов);
- максимально допустимое постоянное обратное напряжение диода $U_{ОБР\ MAX}$;
- обратный ток $I_{ОБР}$ при заданном обратном напряжении $U_{ОБР}$ (значение обратного тока германиевых диодов на два-три порядка больше, чем у кремниевых);

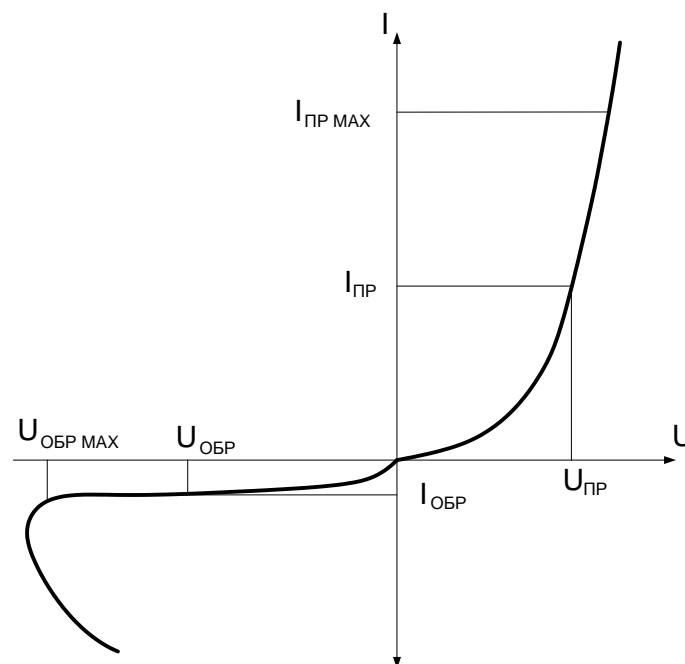


Рис. 2.1. К определению параметров выпрямительных диодов

- барьерная емкость диода при подаче на него обратного напряжения некоторой величины;
- диапазон частот, в котором возможна работа диода без существенного снижения выпрямленного тока;
- рабочий диапазон температур (германиевые диоды работают в диапазоне $-60...+70^{\circ}\text{C}$, кремниевые – в диапазоне $-60...+150^{\circ}\text{C}$, что объясняется малыми обратными токами кремниевых диодов).

Схема простейшего выпрямителя и его нагрузочной характеристики (при прямом постоянном смещении напряжения на диоде) имеют вид в соответствии с рис. 2.2 и 2.3. Схема состоит из генератора переменного напряжения, диода и последовательно включенного с диодом нагрузочного резистора. При этом напряжение генератора U_{Γ} делится между нагрузочным сопротивлением и диодом

$$U_{\Gamma} = U_{\text{д}} + U_{\text{R}}. \quad (2.1)$$

Учитывая, что $U_{\text{R}} = I \cdot R$ и $U_{\text{R}} = U_{\Gamma} - U_{\text{д}}$,

$$I = \frac{U_{\Gamma} - U_{\text{д}}}{R}. \quad (2.2)$$

Это есть уравнение нагрузочной прямой (рис. 2.2). ВАХ диода (прямая ветвь) имеет экспоненциальный вид. Очевидно, что ток, текущий в резисторе и диоде, должен быть одинаковым. Точка А на ВАХ, для которой выполняется это условие, называется *рабочей точкой*, а величина $R_0 = U_{\text{д}}/I_{\text{д}}$ – *сопротивлением цепи по постоянному току*.

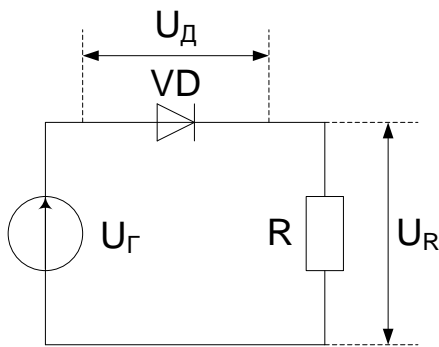


Рис. 2.2. Схема включения диода с нагрузкой

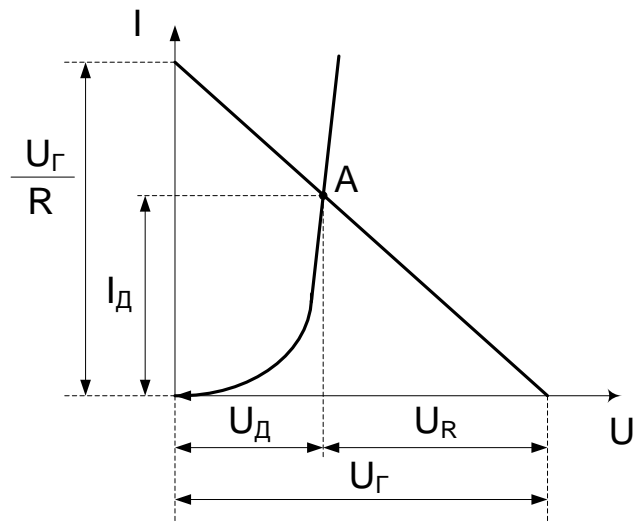


Рис. 2.3. К определению параметров схемы включения диода с нагрузкой

При работе с переменным сигналом (входное напряжение есть $U_{\Gamma}(t)$, а выходное – $U_R(t)$) в промежутки времени, когда к диоду приложено прямое напряжение (положительный полупериод), его сопротивление оказывается небольшим, и все входное напряжение практически будет падать на резисторе. Форма тока цепи будет повторять форму входного напряжения в соответствии с рис. 2.4.

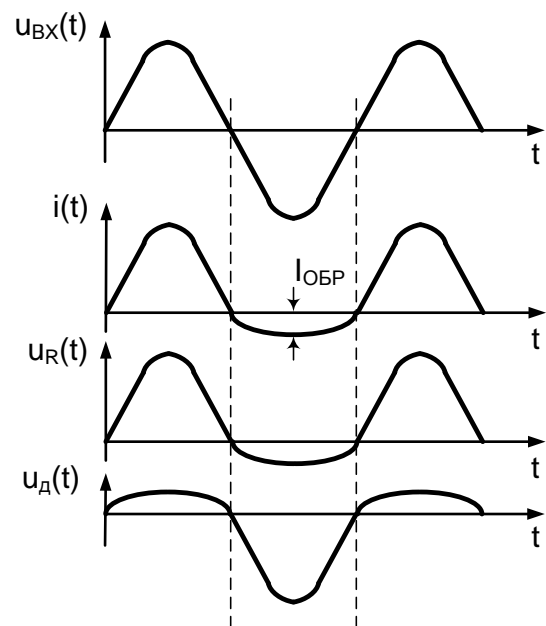
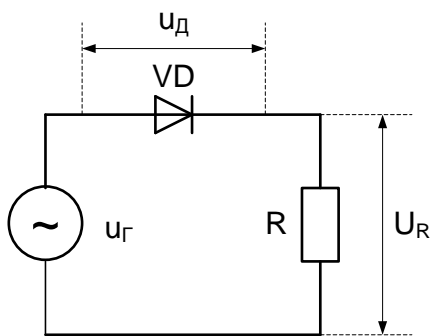


Рис. 2.4. Схема включения диода на переменном токе и эпюры напряжений и токов

При отрицательном полупериоде диод смещен в обратном направлении, его сопротивление достаточно велико, ток в цепи практически становится равным обратному току диода, и большая часть входного напряжения упадет на диоде.

Для того чтобы из пульсирующего напряжения выделить постоянную составляющую, в схему выпрямления параллельно резистору включают конденсатор. Тогда выходное напряжение при положительном полупериоде станет определяться напряжением на емкости нагрузки C_H и конденсатор при этом будет заряжаться током диода, а при отрицательном полупериоде – разряжаться. Величины C_H и R подбирают таким образом, чтобы выходное напряжение оставалось практически постоянным во времени.

При протекании больших прямых токов $I_{ПР}$ и определенном падении напряжения на диоде $U_{ПР}$ в нем выделяется большая мощность. Для отвода данной мощности диод должен иметь большие размеры p – n -перехода, корпуса и выводов. Для улучшения теплоотвода используются радиаторы или различные способы принудительного охлаждения (воздушного или даже жидкостного).

Среди выпрямительных диодов следует особо выделить диод с барьером Шоттки. Этот диод характеризуется высоким быстродействием и малым падением напряжения ($U_{ПР} < 0,6$ В). К недостаткам диода следует отнести малое пробивное напряжение и большие обратные токи.

Выпрямительные диоды обычно подразделяются на диоды малой, средней и большой мощности, рассчитанные на выпрямленный ток до 0,3 А, от 0,3 А до 10 А и свыше 10 А соответственно.

Для работы с высокими напряжениями (до 1500 В) предназначены выпрямительные столбы, представляющие собой последовательно соединенные p – n -переходы, конструктивно объединенные в одном корпусе. Выпускаются также выпрямительные матрицы и блоки, имеющие в одном корпусе по четыре или восемь диодов, соединенные по мостовой схеме выпрямителя и имеющие

$I_{ПР\text{ МАХ}}$ до 1 А и $U_{ОБР\text{ МАХ}}$ до 600 В.

2.3. Стабилитроны и стабилитроны. Статистические характеристики.

Стабилитроном называется полупроводниковый диод, на обратной ветви ВАХ которого имеется участок с сильной зависимостью тока от напряжения (рис. 2.5), т.е. с большим значением крутизны $\Delta I/\Delta U$ ($\Delta I = I_{СТ\text{ МАХ}} - I_{СТ\text{ МИН}}$). Если такой участок соответствует прямой ветви ВАХ, то прибор называется *стабилитроном*.

Стабилитроны используются для создания стабилизаторов напряжения.

Напряжение стабилизации $U_{СТ}$ соответствует напряжению электрического (лавинного) пробоя p – n -перехода при некотором заданном токе стабилизации $I_{СТ}$ (рис. 2.5). Возможности получения стабильного напряжения характеризуются дифференциальным сопротивлением стабилитрона $r_D = \Delta U/\Delta I$, которое должно быть как можно меньше [2,4].

К параметрам стабилитрона относятся: напряжение стабилизации $U_{СТ}$, минимальный и максимальный токи стабилизации $I_{СТ\text{ МИН}}$, т.е. минимальный ток, соответствующий устойчивому пробоя, и $I_{СТ\text{ МАХ}}$, определяемый предельно допустимой рассеиваемой мощностью, дифференциальное сопротивление r_D , а так же температурный коэффициент напряжения

стабилизации (ТКУ) – относительное изменение напряжения стабилизации $\Delta U_{СТ}$ при изменении температуры корпуса прибора на 1 °С.

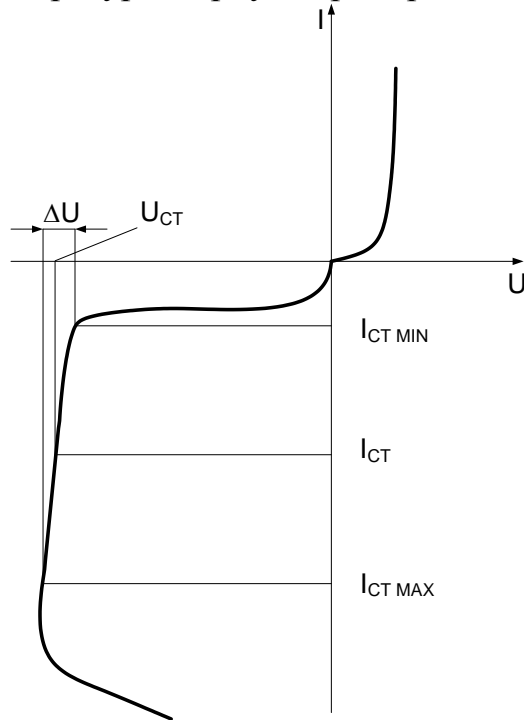


Рис. 2.5. К определению параметров стабилитронов

Промышленностью выпускаются стабилитроны с параметрами: $U_{СТ}$ от 1,5 до 180 В, $I_{СТ}$ от 0,5 мА до 1,4 А.

Выпускаются также двуханодные стабилитроны, служащие для стабилизации разнополярных напряжений и представляющие собой встречно включенные $p-n$ -переходы.

Для стабилизации напряжения стабилитрон используют согласно схеме, представленной на рис. 2.6.

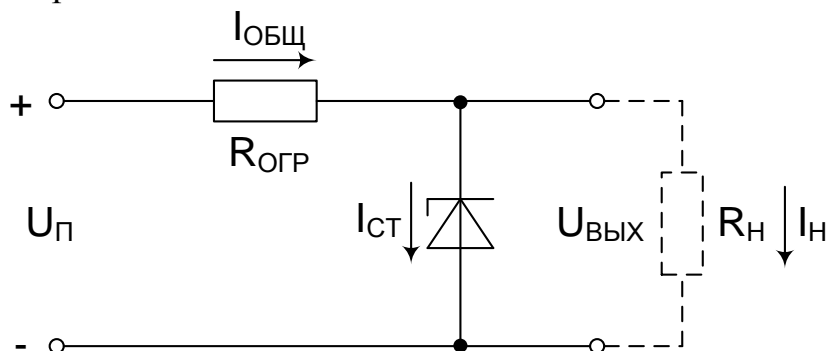


Рис. 2.6. Схема включения стабилитрона

2.4. Варикапы. Статистические характеристики.

Варикапом называется полупроводниковый диод, используемый в качестве электрически управляемой емкости с достаточно высокой добротностью в диапазоне рабочих частот. В нем используется свойство $p-n$ -

перехода изменять барьерную емкость под действием внешнего напряжения (рис. 2.7).

Основные параметры варикапа: номинальная емкость C_H при заданном номинальном напряжении U_H (обычно 4 В), максимальное обратное напряжение $U_{OБР\ MAX}$ и добротность Q [2,4].

Для увеличения добротности варикапа используют барьер Шоттки; эти варикапы имеют малое сопротивление потерь, так как в качестве одного из слоев диода используется металл.

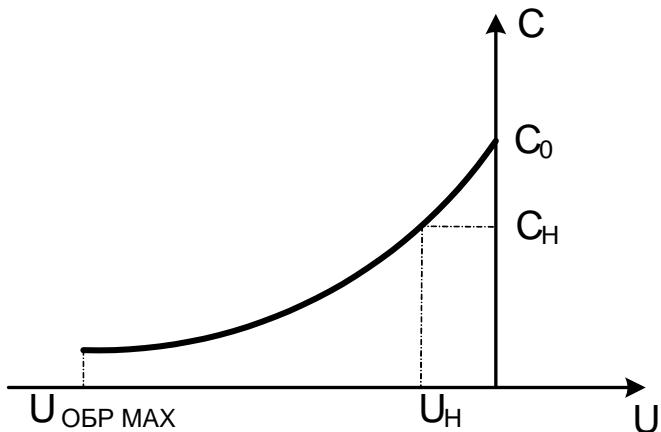


Рис. 2.7. Зависимость емкости варикапа от напряжения.

Основное применение варикапов – электрическая перестройка резонансной частоты колебательных контуров. Включение варикапа в цепь для этой цели выполняют по схеме в соответствии с рис. 2.8.

Обратное напряжение на варикап подается через высокоомный резистор R , предотвращающий шунтирование контура малым внутренним сопротивлением источника питания, и тем самым исключается снижение добротности контура. Постоянный конденсатор C необходим для того, чтобы исключить короткое замыкание варикапа индуктивностью по постоянному напряжению. Его величина всегда много больше переменной емкости варикапа. Изменяя величину обратного напряжения, можно регулировать емкость варикапа и, следовательно, резонансную частоту контура.

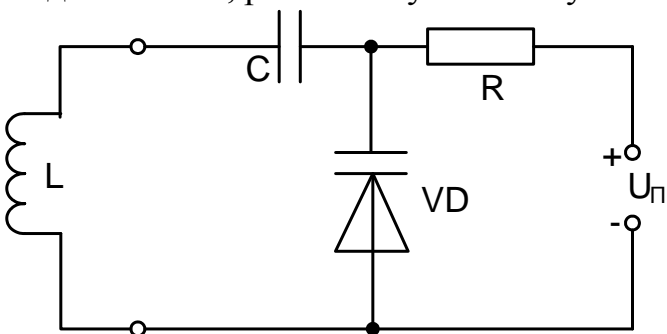


Рис. 2.8. Схема включения варикапа в колебательный контур

Параметры схемы выбирают на основе соотношений

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C_{\text{ЭКВ}}}} \quad ,$$

$$\frac{1}{C_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C_{\text{VD}}} \quad .$$
(2.3)

Основным полупроводниковым материалом для изготовления варикапов служит кремний. Используется также арсенид галлия, обеспечивающий меньшее сопротивление базы.

В настоящее время существует несколько разновидностей варикапов, применяемых в различных устройствах непрерывного действия. Это параметрические диоды, предназначенные для усиления и генерации СВЧ-сигналов, и умножительные диоды, предназначенные для умножения частоты в широком диапазоне частот. Иногда в умножительных диодах используется и диффузионная емкость.