

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Таныгин Максим Олегович

Должность: и.о. декана факультета фундаментальной и прикладной информатики

Дата подписания: 21.09.2025 15:14:04

Уникальный программный ключ:

65ab2af01784cfa8480e6e4cf88eddb5475e411a

**МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники



## **ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ И ВЫПРЯМИТЕЛИ**

Методические указания  
к лабораторной работе по дисциплинам  
«Электротехника электроника и схемотехника» и  
«Основы электроники»  
для студентов специальностей 09.03.01 и 09.03.04

**Курск 2019**

Составитель М.В. Бобырь

УДК 681.3

Рецензент

Доктор технических наук, профессор кафедры Информационных систем и технологий *С.В. Дегтярев*

Полупроводниковые диоды и выпрямители: Методические указания к лабораторной работе по дисциплинам «Электротехника электроника и схемотехника» и «Основы электроники» для студентов специальностей 09.03.01 и 09.03.04 / Юго-Зап. гос. ун-т; Сост. М.В. Бобырь. Курск, 2019. 11 с.

Описывается методика измерений статических характеристик и параметров полупроводниковых диодов и схем выпрямителей на диодах; приведены рекомендации по применению программы моделирования электронных схем **Electronics Workbench 5.0** при выполнении исследований характеристик диодов и выпрямителей.

Предназначены для студентов специальностей 09.03.01 и 09.03.04.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 30.04.19. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 0,5 Уч.-изд. л.0,4 Тираж 50 экз. Заказ 439 .

Юго-Западный государственный университета.  
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ И ВЫПРЯМИТЕЛИ

### 1. Цель работы

Изучение статических характеристик и параметров полупроводниковых диодов и схем выпрямителей переменного тока.

### 2. Основные теоретические положения и описание принципиальных схем

Полупроводниковый диод представляет собой полупроводниковый кристалл с двумя слоями проводимости, заключенный в корпус и снабженный двумя выводами для присоединения во внешнюю цепь. В основе структуры диода лежит электронно-дырочный (p-n) переход – область полупроводника, расположенная вблизи металлургической границы между p- и n-слоями. Вывод от p-слоя называется анодом, а от n-слоя – катодом.

Электронно-дырочный переход имеет несимметричную вольт-амперную характеристику (ВАХ). При малом прямом напряжении  $U_{пр}$  (плюс на аноде, минус на катоде) протекает большой прямой ток, при больших обратных напряжениях  $U_{обр}$  (плюс на катоде, минус на аноде) – малый тепловой ток. ВАХ полупроводникового диода близка к характеристике идеального вентиля, у которого имеют место нулевое падение напряжения при протекании прямого тока и нулевой ток при приложении обратного напряжения.

Выпрямительные диоды подразделяются на германиевые и кремниевые; последние более распространены, так как имеют более высокую предельную температуру ( $120^{\circ}\text{C}$  против  $55^{\circ}\text{C}$ ), обладают меньшими обратными токами и большими допустимыми обратными напряжениями. Однако кремниевые диоды имеют большее прямое падение напряжения (порядка  $0,7...1,0\text{В}$  против  $0,3...0,5\text{В}$  у германиевых). Эти отличия параметров кремниевых диодов обусловлены большей шириной запрещенной зоны у кремния.

На рис. 1 показана прямая ветвь, а на рис. 2 – обратная ветвь ВАХ диода.

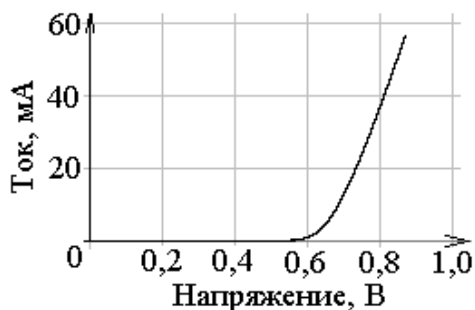


Рис. 1. Прямая ветвь вольт-амперной характеристики кремниевого диода

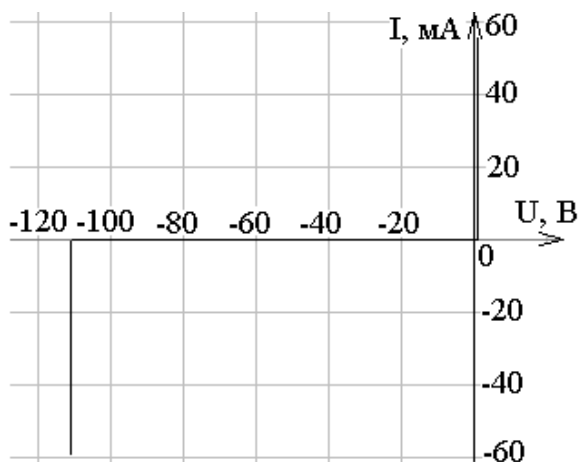


Рис.2. Обратная ветвь вольт-амперной характеристики полупроводникового диода

На обратной ветви ВАХ наблюдается участок электрического пробоя: резкое увеличение тока при мало изменяющемся напряжении. Для выпрямительных диодов характерен **лавинный** пробой, заключающийся в том, что под действием сильного электрического поля неосновные носители заряда, попавшие в переход, за время пробега между

столкновениями с узлами кристаллической решетки приобретают энергию, достаточную для ударной ионизации атомов. При этом образуется пара свободных носителей заряда. В свою очередь, эти носители, ускоряясь в поле, также могут произвести ионизацию. Процесс лавинного пробоя напоминает образование горной лавины. В результате ток через переход резко нарастает. При снятии напряжения  $U_{обр}$  ток через прибор прекращается и диод пригоден к дальнейшему использованию, т. е. лавинный пробой является обратимым.

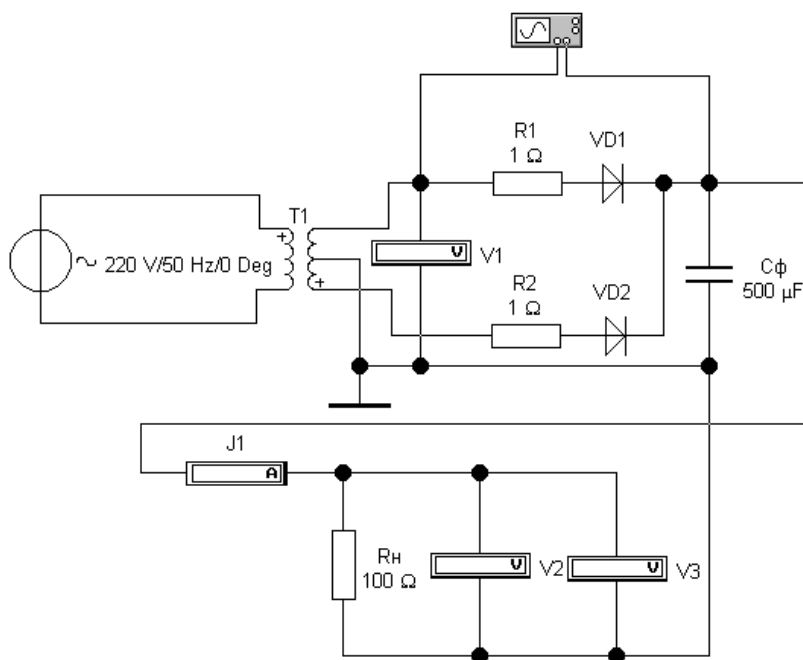


Рис.3. Схема двухполупериодного выпрямителя

Для питания электронных, измерительных и вычислительных устройств требуются источники постоянного тока мощностью от единиц до сотен ватт, которые обычно получают энергию от однофазной цепи переменного тока. Как правило, из первичного напряжения сети  $U_1$  с помощью трансформатора вырабатывают вторичное напряжения  $U_2$

требуемой величины, которое затем выпрямляют полупроводниковыми диодами. На рис. 3 приведена схема для исследования выпрямителя с активной нагрузкой и простым емкостным фильтром. Источником переменного напряжения для выпрямителя является трансформатор Т, вторичная обмотка которого имеет вывод от средней точки. Миллиамперметр в цепи тока нагрузки измеряет средневыпрямленное значение тока. Двухлучевой осциллограф позволяет наблюдать диаграммы входного переменного напряжения и выпрямленного выходного напряжения на нагрузке.

Если включен только один из диодов VD1 или VD2, то выпрямленный ток протекает только в одном полупериоде переменного напряжения; при использовании обоих диодов ток в нагрузку поступает в течение обоих полупериодов. При этом улучшается качество выпрямленного напряжения (уменьшаются его пульсации) и вдвое снижается средний ток через каждый диод.

Пиковое значение напряжения  $U_{\max}$  на конденсаторе  $C_{\phi}$  меньше амплитуды  $U_{2m}$  переменного напряжения на вторичной полуобмотке трансформатора Т на величину падения напряжения на диоде VD1 (или VD2) и сопротивлении R1 (R2). Эта разность составляет около 2 В (см. рис. 4).

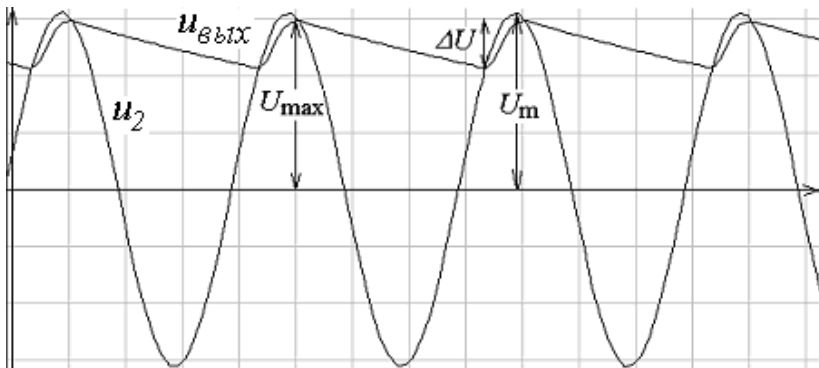


Рис. 4. Диаграммы напряжений в однополупериодном выпрямителе

После запираания диода происходит разряд конденсатора  $C_{\phi}$

током нагрузки  $I_n$ . За время разряда  $t_{\text{разр}}$  выходное напряжение снижается на величину

$$\Delta U = \frac{I_n t_{\text{разр}}}{C_\phi}. \quad (1)$$

Таким образом, амплитуда пульсаций составляет  $U_{\text{п.м}} = \Delta U / 2$ , а среднее значение напряжения на выходе выпрямителя равно  $U_{\text{вых}} = U_{\text{max}} - \Delta U / 2$ . Действующее значение напряжения пульсаций, которое показывает вольтметр переменного тока  $V3$ , в  $\sqrt{2}$  раз меньше амплитуды пульсаций, т.е.  $U_{\text{п}} = U_{\text{п.м}} / \sqrt{2}$ .

### 3. Программа исследований и порядок работы

#### 3.1. Исследование вольт-амперных характеристик диодов

Собрать на рабочем столе программы **Electronics Workbench** схему рис. 5 для построения прямой ветви ВАХ полупроводниковых диодов. Произвести измерения ВАХ кремниевого и германиевого диодов, модели которых заданы в таблице.

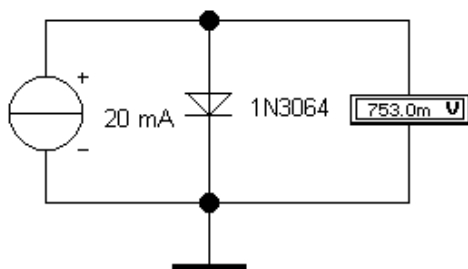


Рис. 5. Схема измерений прямой ветви ВАХ

Модели кремниевых диодов следует выбирать в библиотеке **national**, а германиевых – **motorol2**.

## Варианты заданий

Вариант	Модель диода		Параметры выпрямителя	
	Кремниевый	Гераниевый	$U_{\text{вых}}$ , В	$I_{\text{п}}$ , мА
1	1N3064	mbr10100	20	250
2	1N4009	mbr1060	12	150
3	1N4149	mbr1545ct	15	150
4	1N4150	mbr2545ct	18	225
5	1N4151	mbr340	13	130
6	1N4152	mbrb3030ct	10	125
7	1N4153	mbr7030wtl	22	220
8	1N4154	mbrb3030ctl	16	200
9	1N4305	mbrb4030	14	175
10	1N4446	mbrd1035ctl	25	250
11	1N4447	mbrd835	27	180
12	1N4448	mbrs130ltr	30	250
13	1N4449	mbrs140t3	24	200
14	1N4454	mbrs340t3	11	110

Изменяя значения прямого тока  $I_{\text{пр}}$  в пределах от 1 мА до 100 мА (10...12 точек), произвести измерения прямого напряжения  $U_{\text{пр}}$ . Построить характеристики  $I_{\text{пр}} = f(U_{\text{пр}})$  обоих диодов в одних координатах (напряжение – по горизонтали, ток – по вертикали).

Измерить напряжение электрического пробоя каждого из исследуемых диодов по схеме рис. 6. Полярность приложенного напряжения должна соответствовать обратной, а величина напряжения источника должна быть достаточной для пробоя диода.



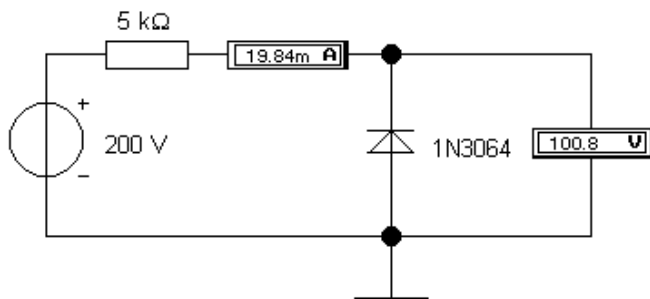


Рис. 6. Схема для измерения напряжения пробоя

### 3.2. Исследование схемы однополупериодного выпрямителя

Собрать на рабочем столе программы **Electronics Workbench** схему выпрямителя рис.3 с одним диодом. Установить переменное напряжение  $U_2$  на вторичной полуобмотке трансформатора Т в соответствии с заданной величиной выпрямленного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  и сопротивление нагрузки  $R_{\text{н}}$ , соответствующее заданному току  $I_{\text{н}}$  (см. таблицу).

Рассчитать емкость  $C_{\text{ф}}$  конденсатора фильтра, при которой пульсации выходного напряжения составляют не более 5 % от выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$ .

Зафиксировать показания приборов и сравнить с заданными значения  $U_{\text{ВЫХ}}$ ,  $I_{\text{н}}$  и напряжение пульсаций  $U_{\text{п}}$ . Изобразить диаграммы переменного напряжения  $U_2$  и напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  на нагрузке.

### 3.3. Исследование схемы двухполупериодного выпрямителя

Подключить в схему выпрямителя рис. 3 второй диод. Остальные компоненты оставить такие же, как и в схеме однополупериодного выпрямителя. Зафиксировать показания вольтметра V3, измеряющего напряжение пульсаций  $U_{\text{п}}$ .

Изобразить диаграммы переменного напряжения  $U_2$  и напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  на нагрузке.

#### 4. Методические указания

В схеме рис. 3 применяется трансформатор из магазина компонентов **Basic**. В свойствах трансформатора выбрать в библиотеке **default** модель **ideal** и в меню **Edit** установить требуемую величину коэффициента трансформации (**Primary-to-secondary turns ratio**) как отношение напряжения  $U_1$  на первичной обмотке к удвоенному напряжению  $U_2$  на каждой полуобмотке вторичной катушки:  $N = U_1 / (2 \cdot U_2)$ .

Задавшись допустимой величиной напряжения пульсации  $U_{\text{п}}$ , можно определить значение  $\Delta U = 2 \sqrt{2} U_{\text{п}}$ . Пиковое напряжение на конденсаторе  $U_{\text{max}} = U_{\text{вых}} + \Delta U / 2$ . Амплитуду напряжения на полуобмотке трансформатора можно найти по формуле  $U_{2\text{м}} \approx U_{\text{max}} + 2 \text{ В}$ , откуда действующее значение  $U_2 = U_{2\text{м}} / \sqrt{2}$ .

При расчете пульсаций выпрямленного напряжения  $U_{\text{вых}}$  можно допустить, что время заряда конденсатора  $C_{\text{ф}}$  занимает 25%, а время разряда – 75% от длительности периода пульсаций  $T_{\text{п}}$ . Период пульсаций в однополупериодной схеме равен периоду переменного тока в сети, а в двухполупериодной – половине периода.

Расчет емкости  $C_{\text{ф}}$  следует произвести, исходя из формулы (1).

#### 5. Контрольные вопросы

1. Что называют полупроводниковым диодом?
2. Какую область полупроводникового диода называют базой, а какую – эмиттером?
3. Какой электрод полупроводникового диода называют анодом, а какой – катодом?
4. Какие физические явления и свойства р-п перехода используются в выпрямительных диодах?
5. Чем характеризуются особенности прямой и обратной ветвей ВАХ выпрямительного диода?

6. На какую величину отличается пиковое значение выходного напряжения выпрямителя от амплитуды переменного напряжения при работе на резистивную нагрузку?

7. Как влияет емкость конденсатора фильтра на пульсации выходного напряжения выпрямителя?

8. Как и почему влияет ток нагрузки на величину пульсаций выходного напряжения?

9. Почему схема двухполупериодного выпрямителя обладает лучшими показателями, чем однополупериодная схема?

## **6. Содержание отчёта**

Отчёт должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) наименование работы и цель исследований;
- 3) схема и таблица результатов измерений и графики ВАХ кремниевого и германиевого диодов; значения напряжения пробоя диодов;
- 4) принципиальные электрические схемы одно- и двухполупериодных выпрямителей;
- 5) расчет компонентов схемы выпрямителя, осциллограммы напряжений в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей и показания измерительных приборов;

## **Литература**

1. Проектирование аналоговых и цифровых устройств: Учебное пособие / Титов В.С., Иванов В.И., Бобырь М.В. Москва: Инфра-М. – 2014. 143 с.
2. Электротехника и электроника: Учебное пособие / М.В. Бобырь, В.И. Иванов, В.С. Титов, А.С. Ястребов. В 2 кн. – Курск: Курск. гос. тех. ун-т. – 2009. Кн. 2. – Электроника. – 240 с.
3. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов. / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. Изд. 3-е. – М.: Высш. шк., 2004. – 790 с.