

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА»

М.М. Кумыш, А.Л. Суркаев

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Методические указания



Волгоград
2015

УДК 53 (075.5)

Рецензент:

Канд. физ.-мат. наук, доцент Т.А. Сухова

Издается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

М.М. Кумыш, **Изучение полупроводникового выпрямителя** [Электронный ресурс]: методические указания / М.М. Кумыш, А.Л. Суркаев //Сборник «Методические указания» Выпуск 3.-Электрон. текстовые дан.(1файл:141Kb) – Волжский: ВПИ (филиал) ГОУВПО ВолгГТУ, 2015.-Систем.требования:Windows 95 и выше; ПК с процессором 486+; CD-ROM.

Методические указания содержат рекомендации к выполнению лабораторной работы, представленной во второй части практикума кафедры «Прикладная физика и математика» Волжского политехнического института.
Предназначены для студентов всех форм обучения.

©Волгоградский
государственный
технический
университет, 2015
© Волжский
политехнический
институт, 2015

Лабораторная работа № 236

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

236.1. Цель работы

Изучение свойств p - n -перехода, принципа работы полупроводниковых диодов и исследование работы одно - и двухполупериодного выпрямителя переменного тока.

236.2. Теория вопроса

Контакты металл-полупроводник (М-ПП) и полупроводник-полупроводник (ПП-ПП) обладают односторонней проводимостью электрического тока. Это свойство используется в полупроводниковых выпрямителях, предназначенных для выпрямления переменного тока в постоянный.

Контакт металл-полупроводник (М-ПП)

В контактах М-ПП используются как полупроводники (ПП) с дырочной проводимостью, то есть полупроводники p -типа, так и ПП с электронной проводимостью, то есть ПП n -типа. Например, при соприкосновении ПП p -типа с металлом на границе раздела возникает контактная разность потенциалов, обусловленная различиями работами выхода электронов из этих тел. Электроны из металла диффундируя в ПП рекомбинируют с дырками. Концентрация дырок в контактном слое ПП становится значительно меньше, чем в глубине ПП. Этот слой, обеднённый дырками, которые являлись основными носителями заряда, называется *запирающим*. Если теперь приложить внешнее электрическое напряжение так, чтобы на металл подавался положительный потенциал, а на ПП - отрицательный, то дырки будут уходить в глубь ПП, область запирающего слоя будет расширяться и электрическое сопротивление этого слоя будет возрастать. Ток, проходя-

щий через контакт при таких условиях, будет незначительным. Такой ток называется *обратным* ($J_{об}$). Если изменить полярность внешнего напряжения на обратное, то электроны из металла, а дырки из ПП будут перемещаться к контакту, рекомбинируя друг с другом, тем самым создавая значительный ток. Значит сопротивление контактного слоя уменьшается. Такое направление тока называется *прямым* ($J_{пр}$).

Выпрямители, построенные на контактах М-ПП, то есть, выпрямление у которых происходит на границе ПП с одним из электродов, называются *полупроводниковыми вентилями*. Наиболее распространёнными из них являются **селеновые** и **меднозакисные** выпрямители. На рис.1, а показано в продольном разрезе устройство селенового выпрямителя. Он состоит из железной шайбы (1), покрытой слоем никеля (2) и играющей роль контактного электрода. На этот электрод нанесён тонкий слой селена (3), который является ПП *p*-типа. Селен покрыт вторым металлическим электродом (4), выполненным из сплава легкоплавких металлов (например, сплав висмут-кадмий-олово), который называется *вентильным электродом*. На границе этого электрода с селеном в результате специальной термической

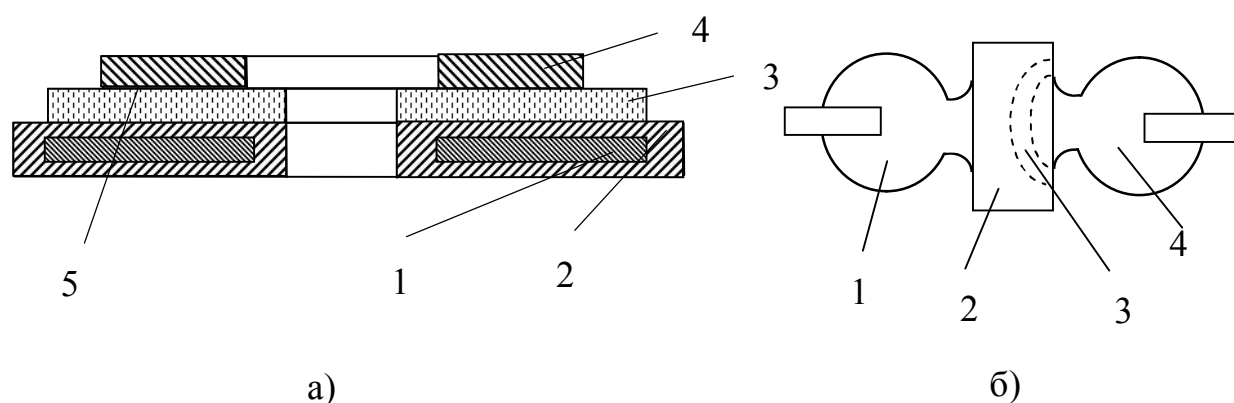


Рис. 1

и электрической обработки возникает запирающий слой (5). На границе же селена с контактным электродом выпрямление практически отсутствует. Роль контактного электрода заключается в обеспечении хорошего электрического контакта со слоем селена. Проходным направлением тока явля-

ется направление от селена к вентильному электроду. С селеновых выпрямителей снимают прямые токи 30-50 мА на 1 см² поверхности. Допустимые обратные напряжения на одну шайбу составляют 25-50 В. При необходимости выпрямления более высоких напряжений отдельные шайбы соединяют последовательно.

Контакт полупроводник-полупроводник (ПП-ПП)

Если в контакте находятся ПП разного типа (один *p*-, другой *n*-типа), то вследствие теплового движения электроны из *n*-области будут переходить в *p*-область и там рекомбинировать с дырками, а дырки получают возможность переходить из *p*-области в *n*-область и там рекомбинировать с электронами. Таким образом, в *n*-области, вблизи границы раздела, возникает положительный объёмный заряд, а в *p*-области – отрицательный объёмный заряд, и поэтому между ПП возникает контактная разность потенциалов. Такие контакты называют *электронно-дырочными переходами* или *p—n-переходами*. Возникающее при этом контактное электрическое поле противодействует дальнейшей диффузии основных носителей тока, поэтому оно называется *потенциальным барьером*. Высота потенциального барьера обычно составляет десятые доли вольта. Необходимо отметить, что такой контакт практически невозможно получить простым прижатием друг к другу двух ПП, так как из-за шероховатости поверхностей и воздушных зазоров соприкосновение будет возникать лишь в немногих точках. Поэтому для получения *p—n*-перехода в пластинку чистого ПП (например, германия или кремния) вводят две примеси - одну донорную, создающую электронную проводимость, а другую акцепторную, создающую дырочную проводимость, причём распределяют их так, чтобы в одном конце образовался избыток одной из примесей, а в другом конце - избыток другой. Между этими двумя областями возникает тонкий переходный слой. На рис. 1, б схематически представлено устройство германиевого диода. В

пластинку германия (2) с электронной проводимостью с одной стороны вварен шарик индия (4), который диффундирует в германий на некоторую глубину, сообщая последнему дырочную проводимость, а с другой стороны – шарик олова (1). Тогда на некоторой глубине в пластинке германия образуется выпрямляющий p — n -переход (3). Оловянный электрод служит только для включения выпрямителя в цепь тока. Чтобы предохранить выпрямитель от внешних воздействий его заключают в герметический патрон (на рисунке не показан). Прикладывая внешнее электрическое поле к переходному слою можно изменять высоту потенциального барьера. Если к p -области приложить положительный потенциал, а к n -области приложить отрицательный потенциал, то потенциальный барьер понижается (прямое смещение). С ростом напряжения ток через переход экспоненциально возрастает. Если изменить полярность внешнего напряжения на обратное (обратное смещение), то потенциальный барьер увеличивается и диффузия основных носителей тока через p — n -переход значительно падает. В результате чего ток становится незначительным и почти не зависит от напряжения. Этот ток обусловлен потоками неосновных носителей (ток насыщения). Таким образом, зависимость тока J через p — n -переход от приложенного напряжения U (*вольт-амперная характеристика*) обладает резко выраженной нелинейностью (рис. 2).

При изменении знака U значение тока через p — n -переход может изменяться до 10^6 раз. Итак, электронно-дырочный переход может применяться в качестве вентильного устройства для выпрямления переменного тока в постоянный (ПП диод). Впервые явления в p — n -переходе исследовал в 1938 г. Б.И. Давыдов, а современная теория и методы создания электронно-дырочных переходов были разработаны В. Шокли и его сотрудниками в 1949 г.

Полупроводниковые выпрямительные диоды по эксплуатационной надёжности и сроку службы значительно превосходят все остальные типы

вентилей.

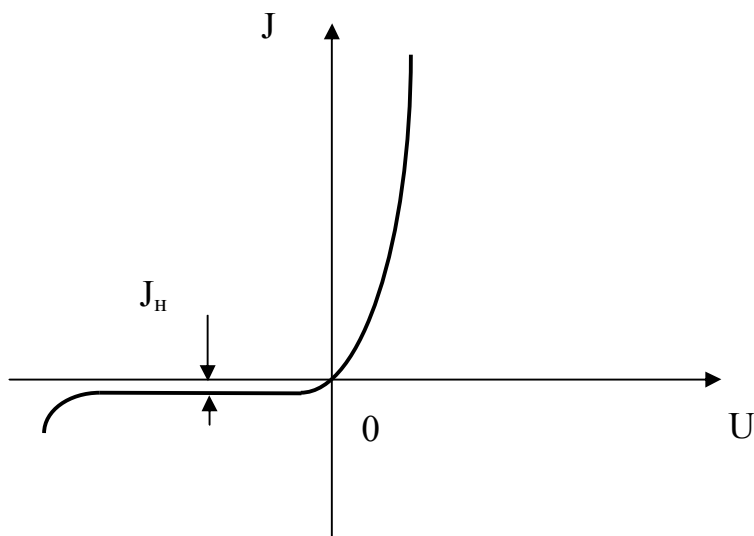


Рис. 2 Вольт - амперная характеристика $p-n$ перехода

Такие диоды при площади контакта в 1 мм^2 и напряжении 1 В дают проходные токи, больше 1 А , а обратные токи не превышают нескольких микроампер. При площади контакта в несколько квадратных сантиметров германиевые и кремниевые выпрямители могут пропускать токи до не-

скольких сотен ампер. А их пробойные напряжения достигают сотен и даже тысяч вольт.

Схемы включения

Простейшая (однополупериодная) схема выпрямления на ПП диоде показана на рис.3, а. Эта схема работает следующим образом: когда на диод подаётся прямое напряжение, он открывается и через него, а, следовательно, и через резистор R_n (сопротивление нагрузки) будет протекать ток. При изменении напряжения на обратное диод закрывается и ток прекращается. Таким образом, если в данной схеме будет подаваться переменное напряжение U , то через резистор R_n будет проходить пульсирующий ток J , протекающий в одном направлении и изменяющийся по величине от максимального значения до нуля. При этом ток через диод и резистор R_n протекает только в течение половины периода переменного напряжения, действующего на зажимах вторичной обмотки силового трансформатора (рис.3, б). Математический анализ (теорема Фурье) показывает, что ток в

виде отдельных импульсов можно представить как результат сложения постоянного тока и ряда переменных гармонических токов. Постоянная составляющая выпрямленного тока J_0 представляет собой среднее значение тока, протекающего за период через резистор R_n .

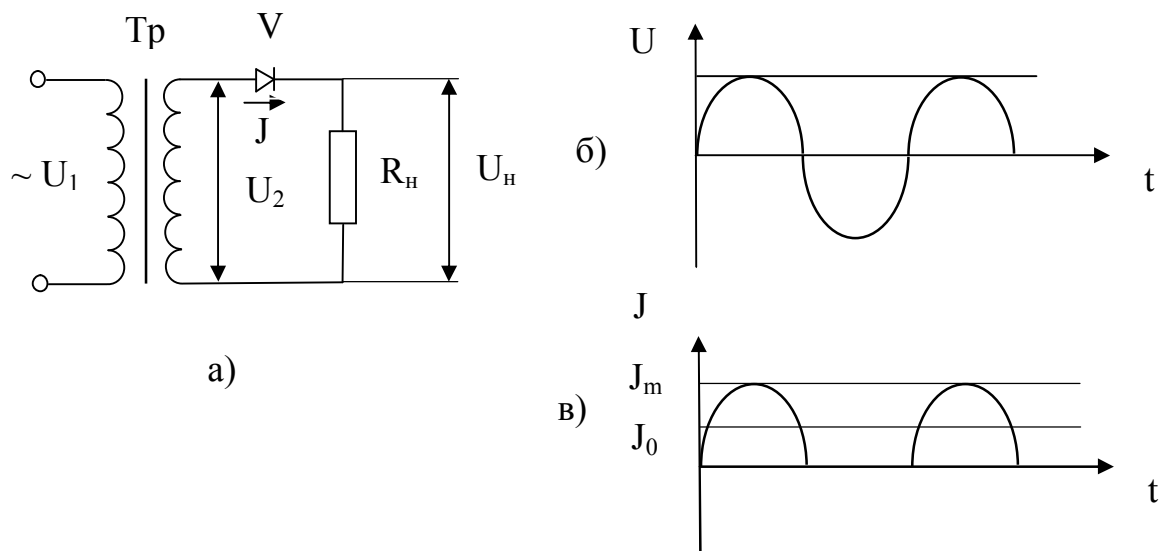


Рис. 3 Однополупериодный выпрямитель:

а – схема выпрямителя; б – график напряжения; в – график выпрямленного тока

Для повышения коэффициента полезного действия выпрямителя применяется двухполупериодное выпрямление. Две наиболее часто встречаемые схемы таких выпрямителей на ПП диодах показаны на рис. 4.

Схема со средней точкой (рис. 4, а) представляет собой сочетание двух однополупериодных выпрямителей, работающих на общую нагрузку R_n . Эту схему можно считать двухфазной, так как напряжения U_1 и U_2 , питающие диоды, равны по величине, но противоположны по фазе (имеют сдвиг 180°). В тот полупериод, когда конец обмотки А положителен по отношению к среднему выводу обмотки (точка О), ток J_1 проходит от вывода А, через диод $V1$, нагрузочное сопротивление R_n , точку О и замыкается на А. В следующий полупериод, когда конец обмотки Б положителен по отношению к среднему выводу, ток J_2 проходит от вывода Б, через диод $V2$,

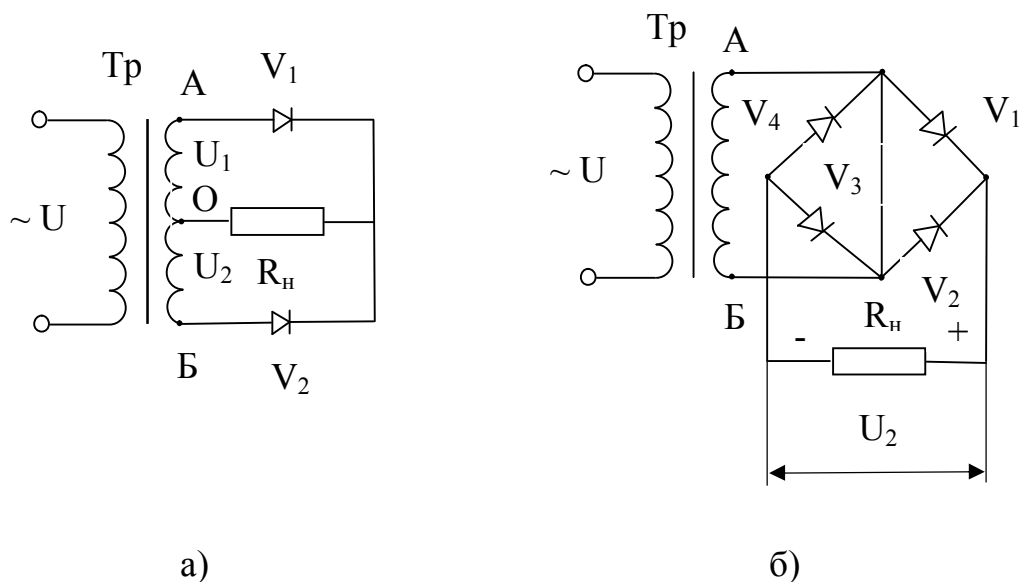


Рис. 4 Основные схемы двухполупериодных выпрямителей:

а – схема со средней точкой; б – мостовая схема

нагрузочное сопротивление R_n , точку О и замыкается на Б. Таким образом, через сопротивление R_n , токи J_1 и J_2 , чередуясь, проходят в оба полупериода в одном направлении, создавая на этом сопротивлении выпрямленное напряжение U_0 .

Мостовая схема выпрямителя (рис. 4, б) работает следующим образом. В тот из полупериодов, когда потенциал точки А положителен, а потенциал точки Б отрицателен, ток проходит от точки А, через диод V_1 , резистор R_n и диод V_3 к точке Б. В следующий полупериод, когда полярность в точках А и Б вторичной обмотки трансформатора поменяется, ток пройдёт от точки Б, через диод V_2 , резистор R_n и диод V_4 к точке А. Таким образом, направление тока, проходящего через резистор R_n , в течение обоих полупериодов остаётся неизменным. Поэтому здесь, как и в схеме со средней точкой имеет место двухполупериодное выпрямление. Мостовая схема получила широкое распространение в современных выпрямителях.

На рис. 5 приведены графики переменного напряжения U , подаваемого на двухполупериодный выпрямитель, и выпрямленного тока J , проходящего через сопротивление нагрузки. Выпрямленный ток J имеет форму синус-

соидальных импульсов, повторяющихся каждую половину периода переменного напряжения U . Пульсации тока «сглаживаются», если подключить конденсатор параллельно сопротивлению нагрузки.

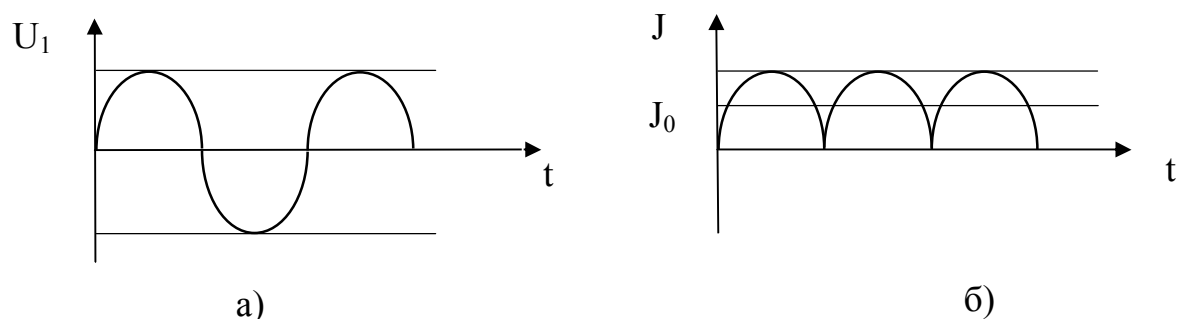


Рис. 5 Графики:

а – переменного напряжения; б – выпрямленного тока

236.3 Описание установки

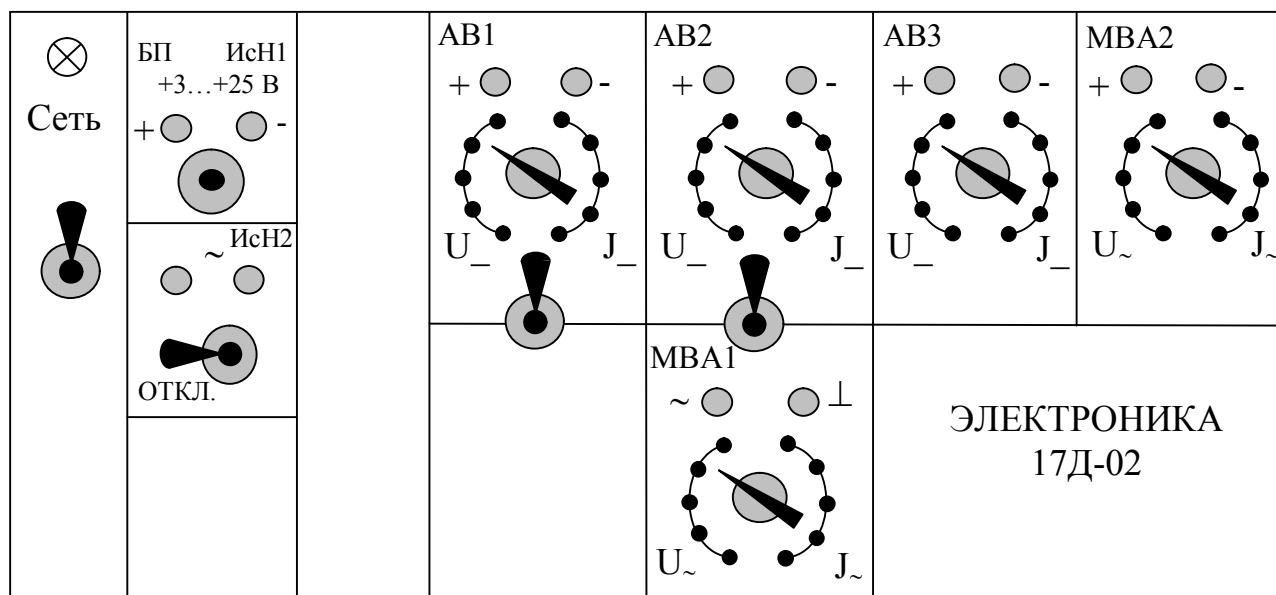
Настоящая лабораторная работа выполняется на комплекте демонстрационного оборудования "Электротехника 17Д-02" с использованием осциллографа.

В работе используются:

- 1) панель 1-10 (рис. 6);
- 2) источник постоянного напряжения, ИСН1 (3...25 В);
- 3) источник переменного напряжения, ИСН2 (15 В; 50 мА);
- 4) милливольтметр, МВА2 (0... 25 В; 0...100 мА);
- 5) милливольтметр, МВА1 (0...10 В; 0...100 мА);
- 6) ампервольтметр, АВ1 (0...25 В; 0...50 мА);
- 7) ампервольтметр, АВ2 (0...25 В; 0...25 мА);
- 8) ампервольтметр, АВ3 (0...10 В; 0...50 мА);
- 9) съёмные элементы:
 - диоды (КД103А): V1...V5
 - резисторы: $R_1=510 \text{ Ом}$; $R_2=680 \text{ Ом}$;

— конденсаторы: $C_1=C_2=10$ мкФ.

Панель 1-10 обеспечивает сборку двух схем выпрямления: однополупериодного и двухполупериодного выпрямителя переменного тока. Коммутация осуществляется с помощью проводов со штырьевыми наконечниками.



б)

Рис. 6 Внешний вид установки “Электроника 17Д-02”:

а) панель 1-10; б) пульт управления

236.4. Методика проведения эксперимента

1. В начале необходимо снять вольт-амперную характеристику ПП-диода. Для этого используется диод V1, устанавливаемый на панели 1-10 (см. рис.6). Подавая на него постоянное напряжение от источника ИсН1 с пошаговым увеличением измеряют силу тока J_1 , протекающего через этот диод. Ток измеряется амперметром АВ1. Измерения производятся как в прямом так и обратном направлениях. Далее составляется график вольт-амперной характеристики ПП-диода.

2. Изучение однополупериодной схемы выпрямления. На диод V1 по-

даётся переменное напряжение от источника ИсН2. С сопротивления R_1 напряжение U_2 подаётся на у-вход осциллографа. Наблюдать график зависимости $J_1(t)$ и зарисовать в протоколе работы. Затем вставить конденсатор C_1 и повторить наблюдение с зарисовкой в протоколе работы.

3. Изучение двухполупериодной схемы выпрямления. Подать переменное напряжение от источника ИсН2 на двухполупериодный мостовой выпрямитель, состоящий из четырёх диодов V_2 - V_5 . С сопротивления R_2 , напряжение U_4 подать на у-вход осциллографа. Наблюдать график зависимости $J_2(t)$ и зарисовать в протоколе работы. Затем вставить конденсатор C_2 и повторить наблюдение с зарисовкой в протоколе работы.

236.5. Порядок выполнения работы

1. Установить панель 1-10 на стенд, а на пульте управления тумблер блока ИсН2 переключить в положение «ОТКЛ.».

2. Вставить съёмные элементы (V_1 , R_1).

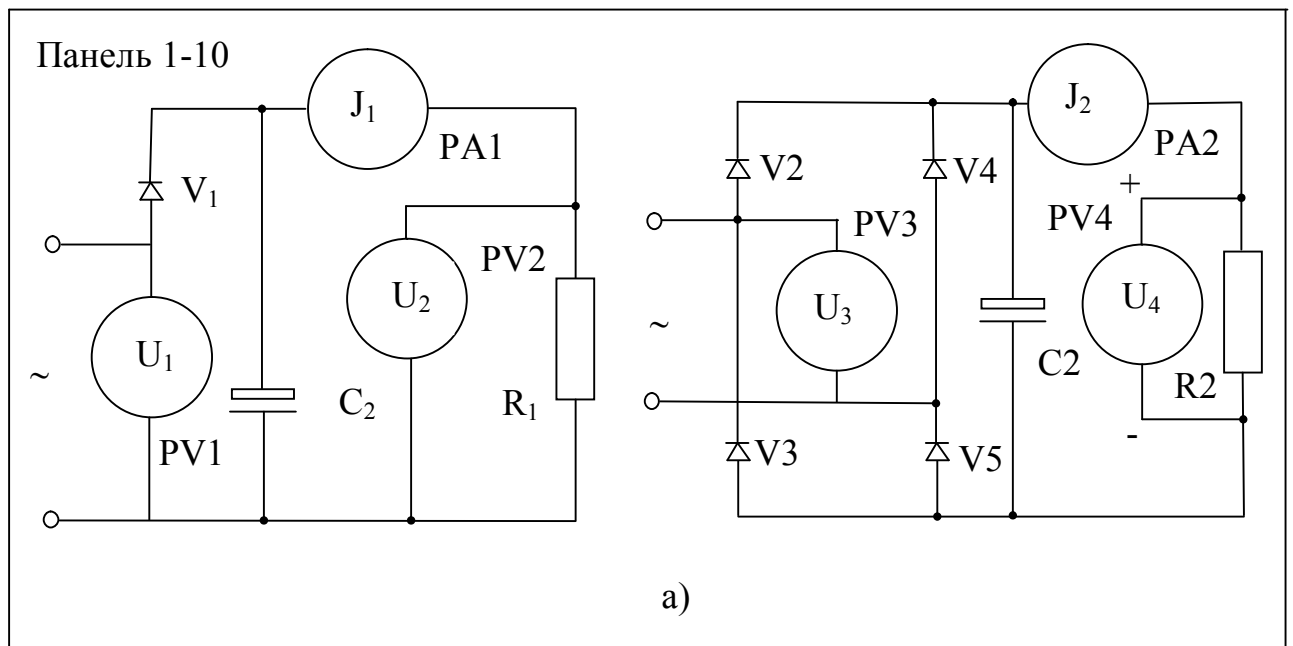
3. Подключить АВ1 к гнездам « U_1 » панели; установить его переключатель в положение 25 В;

4. Подключить АВ2 к гнездам « U_2 » панели, соблюдая полярность; установить его переключатель в положение 25 В;

5. Подключить АВ3 к гнездам « J_1 » панели, соблюдая полярность; установить его переключатель в положение 25 мА;

6. Подключить «ИсН1» к гнездам « U_3 » панели, соблюдая полярность.

7. Включить установку (тумблер «СЕТЬ») и изменяя напряжение U_1 от 3 В через 3 В до 24 В, измерять ток J_1 и напряжение U_2 . Данные занести в таблицу 236.1 протокола.



8. Изменить подключение диода V_1 на обратное направление и повторить п.7.

9. Перекоммутировать схему на однополупериодное выпрямление, для этого выключить установку, диод V_1 вновь установить в первоначальное положение и подключить:

- МВА2 к гнездам « U_1 » панели; установить его переключатель в положение 25 В;
- АВ3 к гнездам « J_1 » панели; установить его переключатель в положение 25 мА;

10. Подключить осциллограф к гнездам « U_2 » панели.

11. Включить установку, полученный на экране осциллографа график зависимости $J_I(t)$ зарисовать в протоколе.

12. Вставить конденсатор C_1 и повторить наблюдение с зарисовкой в протоколе работы.

13. Перекоммутировать схему на двухполупериодное выпрямление по мостовой схеме, для этого вставить съёмные элементы $V_2...V_5$ и R_2 и подключить:

- МВА2 к гнездам « U_3 » панели; установить его переключатель в положение 25 В;

- АВ1 к гнездам «J₂» панели; установить его переключатель в положение 25 мА;
14. Подключить осциллограф к гнездам «U₄» панели.
 15. Полученный на экране осциллографа график зависимости J₂(t) зарисовать в протоколе.
 16. Вставить конденсатор C₂ и повторить наблюдение с зарисовкой в протоколе работы.
 17. Выключить установку и разобрать схему.

236.6. Обработка результатов измерений

По ходу выполнения работы измеряемые величины необходимо вносить в таблицу 236.1.

Таблица 236.1

№№ п.п.	Напряжение U ₁ , приложенное к диоду, В	Прямой ток (J _{пр}), А	Обратный ток (J _{об}), А
1	3		
2	6		
...	...		
8	24		

По данным таблицы построить *вольт-амперную характеристику* диода.

236.7. Контрольные вопросы.

1. Что такое полупроводники *p*- и *n*-типа?
2. Что такое электронно-дырочный переход?
3. Что такое рекомбинация?
4. Объясните принцип работы полупроводникового диода.
5. Нарисуйте схему и объясните принцип работы однополупериодного выпрямителя на ПП диоде.
6. Нарисуйте мостовую схему двухполупериодного выпрямителя на ПП диодах и объясните принцип её работы.

7. Как включается конденсатор и какова его роль в схемах выпрямителей?

Литература, рекомендуемая для обязательной проработки: [1], §§11.1,..., 11.3; [2], §§231,..., 236; [3], §§II.8.1,..., II.8.3, III.6.1,..., III.6.4; [4], §§99, ..., 102; [5], §§126, 127; [6], §§143, 146.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иродов И.Е. Электromагнетизм. Основные законы: Учебное пособие для физич. спец. вузов. – 9-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 319 с.
2. Калашников С.Г. Электричество. – 6-е изд., стер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 624 с.
3. Кингсеп А.С, Локшин Г.Р., Ольхов О.А. Основы физики. Курс общей физики: Учебн. В 2 т. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика / Под ред. А.С. Кингсепа. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001, – 560 с.
4. Савельев И.В. Курс общей физики в 4-х томах. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: КноРус, 2012. – Т.2. – 576 с.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Электричество. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – Т.3. – 656 с.
6. Трофимова Т.И. Курс физики. – 20-е изд., стер. – М.: Изд-во «Академия», 2014. – 560 с.

Учебное издание

Михаил Маркович **Кумыш**
Анатолий Леонидович **Суркаев**

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Методические указания

в авторской редакции

Темплан 2007 г., поз.№ 27 . В

Лицензия ИД № 04790 от 18.05.2001 г.

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 1,16 .

Уч.-изд. л. 1,2 на магнитоносителе

Волгоградский государственный технический университет.
400131, г. Волгоград, просп. им. В.И. Ленина 28.

РПК “Политехник” Волгоградского государственного
технического университета.
400131, Волгоград, ул. Советская, 35.