



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра «Общей физики»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № _____

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: _____

Отметка о защите: _____

Брянск 20 ____



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Брянский государственный технический университет

Утверждаю
Ректор университета

_____ А.В. Лагереv

« ____ » _____ 2012 г.

ФИЗИКА

**СНЯТИЕ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА И ОЗНАКОМЛЕНИЕ
С РАБОТОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЯ НА
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДАХ**

**Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 26
для студентов очной и очно-заочной форм обучения
технических специальностей**

Брянск 2012

Цель работы: снятие вольтамперной характеристики полупроводникового диода, а также изучение работы одно- и двухполупериодных выпрямителей.

Теоретическое введение

Все твердые тела по проводимости можно разделить на три группы: проводники, полупроводники и диэлектрики. Электропроводность твердого тела можно описать следующим образом на основе квантово-механических представлений.

Согласно принципам квантовой механики, электроны в атоме могут принимать лишь определенные (разрешенные) значения энергии, называемые энергетическими уровнями. Переход электрона из одного состояния в другое происходит скачкообразно с изменением энергии на конечную величину. Разрешенных энергетических уровней в атоме бесконечно много. Наиболее высокий из заполненных электронами уровней энергии называется валентным. В основном состоянии все уровни энергии выше валентного свободны.

Пока атомы изолированы друг от друга, они имеют полностью совпадающие схемы энергетических уровней. Уровни заполняются электронами в каждом атоме независимо от заполнения аналогичных уровней в других атомах. По мере сближения атомов между ними усиливается взаимодействие, которое приводит к коллективизации электронов и изменению положения уровней. Вместо одного одинакового для всех атомов уровня энергии возникает N очень близких несовпадающих уровней. Таким образом, в кристалле, решётка которого образована из N атомов, каждый атомный уровень расщепляется на N близко расположенных подуровней, образующих зону.

Валентная зона образуется при расщеплении валентного уровня и заполняется валентными электронами, участвующими в проводимости.

При расщеплении свободного (следующего за валентным) уровня при $T=0\text{K}$ образуется зона свободных уровней или свободная зона. Разрешенные энергетические зоны разделены зонами запрещенных значений энергии, называемыми запрещенными энергетическими зонами. Такие значения энергии электроны принимать не могут. Ширина запрещенной зоны в

различных кристаллах может быть различной: от нуля (свободная и валентная зоны перекрываются) до нескольких электрон-вольт.

Ширина разрешенных зон имеет величину порядка нескольких электрон-вольт, следовательно, если кристалл содержит 10^{23} атомов, расстояние между соседними подуровнями в зоне составляет $\sim 10^{-23}$ эВ.

Электрические свойства кристаллов определяются величиной запрещенной зоны и неодинаковым заполнением электронами разрешенных зон. Все кристаллы можно разбить на 3 группы. Первая группа (рис. 1а) включает кристаллы элементов с нечетной валентностью. При образовании такого кристалла из N атомов число уровней в валентной зоне будет в 2 раза больше, чем число пар электронов. Следовательно, в этих кристаллах при $T=0\text{К}$ в валентной зоне половина уровней окажется незаполненной. У ряда элементов с четной валентностью свободная зона и валентная (полностью заполненная электронами) перекрываются (рис. 1б), что приводит к образованию общей зоны с частично незаполненными уровнями. В обоих случаях достаточно сообщить электронам совсем небольшую энергию ($10^{-23} - 10^{-22}$ эВ), чтобы перевести их на более высокие свободные подуровни. Таким образом, электроны могут ускоряться электрическим полем, что приводит к появлению направленного движения зарядов – электрическому току. В первом случае зоной проводимости является валентная зона, во втором – общая зона, образовавшаяся в результате перекрытия свободной и валентной зон.

Вторую группу образуют элементы с четной валентностью, в кристаллах которых валентная зона и свободная не перекрываются (рис. 1в) и далеко отстоят друг от друга: ширина запрещенной зоны составляет несколько электрон-вольт. Валентная зона заполнена полностью. Тепловое движение (энергия теплового движения при комнатных температурах составляет 0,025 эВ) не может перевести электроны из валентной зоны в свободную. Электроны, получая энергию малыми порциями со стороны электрического поля, попадали бы в запрещенную зону, что невозможно. Следовательно, они не разгоняются электрическим полем. В этом случае кристалл является изолятором.

Третью группу составляют элементы, в которых валентная зона полностью заполнена электронами, а свободная зона расположена близко к валентной зоне (ширина запрещенной зоны

порядка несколько десятых эВ) (рис. 1г). В таких кристаллах некоторые электроны, имеющие энергию теплового движения выше средней, т.е. сравнимой с шириной запрещенной зоны ΔE , могут перейти в свободную зону. В обеих зонах внешнее электрическое поле влияет на движение электронов так же, как и в проводниках. Такие кристаллы называются полупроводниками.

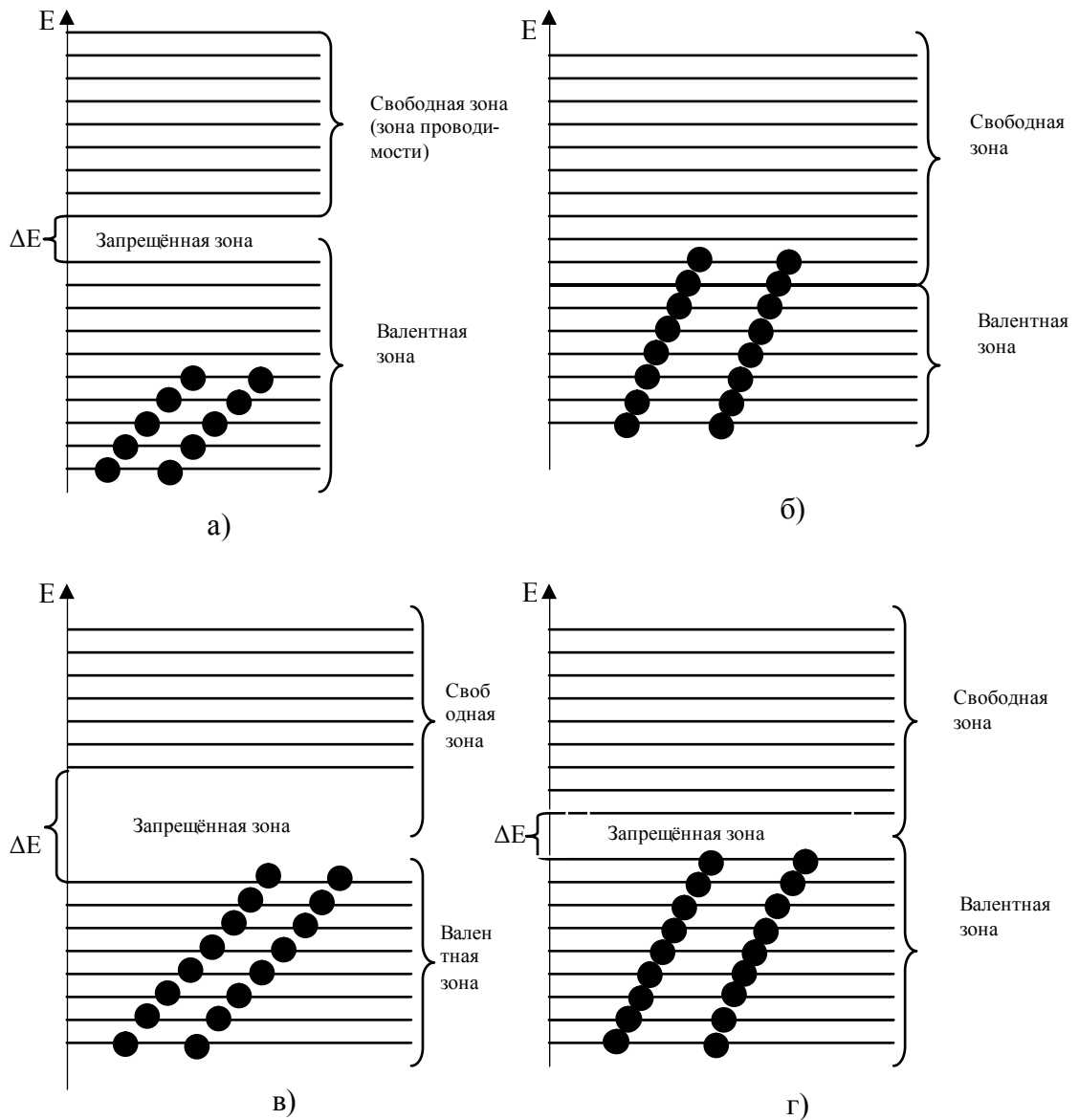


Рис. 1 (при $T=0K$)

Чем выше температура T электронов, тем больше число электронов преодолевает запрещённую зону и проникает в зону проводимости, тем выше проводимость σ полупроводников. Зависимость σ от T определяется формулой

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{2kT}},$$

где k – постоянная Больцмана; σ – является важнейшей характеристикой полупроводников.

Электрон, переходя из валентной зоны в свободную зону, оставляет вакантное место, получившее название "дырки" (рис. 2). Под «дыркой» понимают квазичастицу, обладающую положительным зарядом.

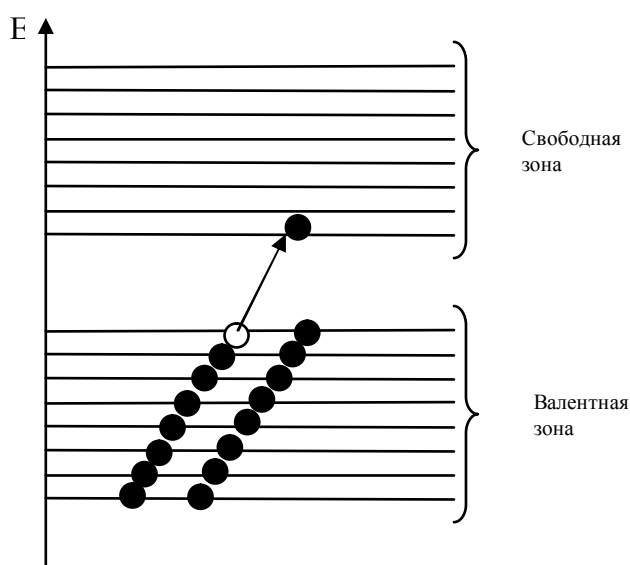


Рис. 2 (при $T \neq 0\text{K}$)

Очевидно, что число «дырок» в валентной зоне равно числу электронов, перешедших в свободную зону в чистом полупроводнике. Таким образом, появились носители зарядов в обеих зонах: электроны в свободной зоне, "дырки" в валентной зоне. При наложении внешнего электрического поля электроны придут в направленное движение в сторону более высокого потенциала, а дырки - в противоположную сторону. Можно сказать, что полупроводник обладает электронно-дырочной проводимостью, которая называется собственной. Чистые полупроводники (Ge, Si, Se, Te) при комнатной температуре имеют концентрацию электронов в свободной зоне порядка 10^{13} см^{-3} (у металлов она порядка 10^{22} см^{-3}), поэтому чистые полупроводники обладают слабой проводимостью. Особенностью полупроводников является возможность широкого изменения величины электропроводимости введением в них примесей. Примесь может

создать в полупроводнике либо избыток электронов, либо избыток дырок. Примесь, приводящая к увеличению числа электронов в свободной зоне, называется донорной, а полупроводник с избытком электронов над дырками – полупроводником n -типа. Примесь, приводящая к образованию дырок в валентной зоне, называется акцепторной, а полупроводник с избытком дырок над электронами – полупроводником p -типа. Проводимость таких полупроводников называется примесной.

С точки зрения зонной теории донорные примеси приводят к появлению дискретных энергетических уровней в запрещённой зоне вблизи дна свободной зоны (рис. 3а) (донорные уровни). В этом случае энергия теплового движения даже при обычных температурах оказывается достаточной для того, чтобы перевести электрон с донорного уровня в зону проводимости.

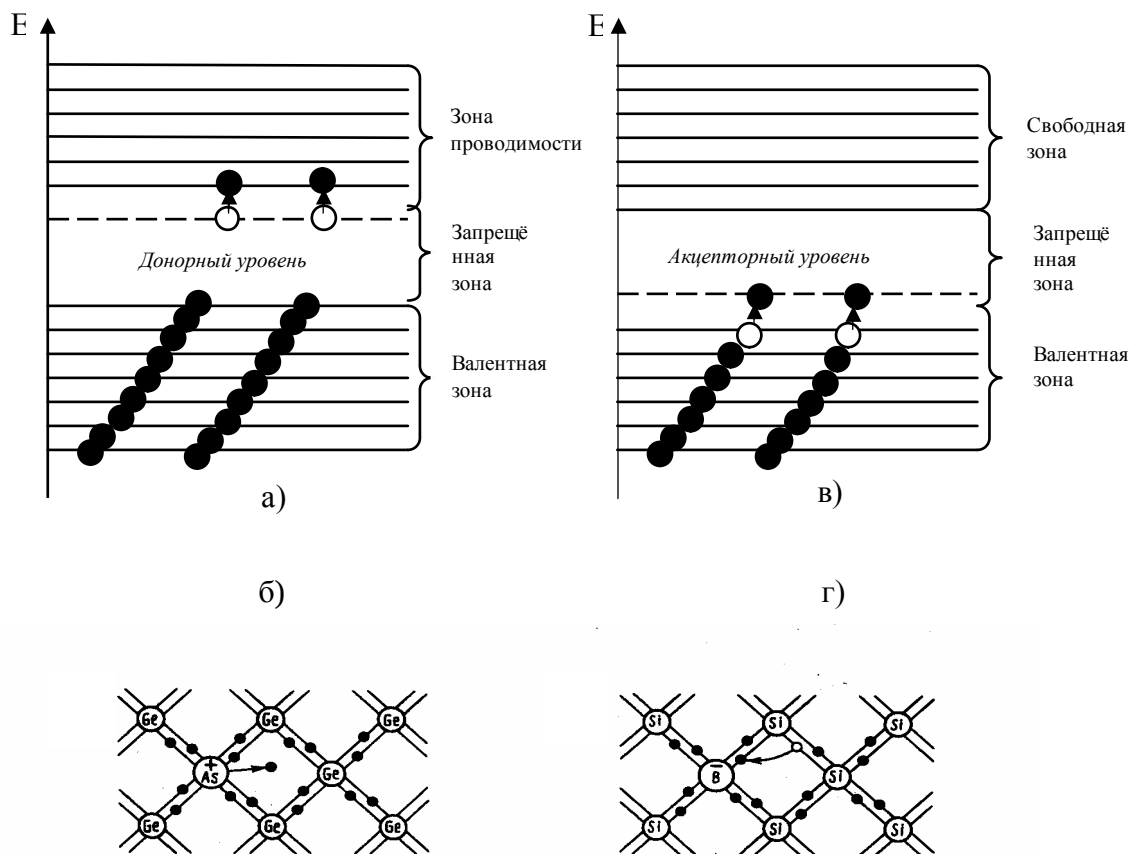


Рис. 3

Для образования донорного уровня примесь должна иметь валентность на 1 больше, чем у основных атомов полупроводника. Например, при замещении атома германия пятивалентным атомом мышьяка (рис. 3б) один электрон не может образовать ковалентной связи, он оказывается лишним и может быть легко при тепловых колебаниях решетки отщеплен от атома, т.е. стать свободным. Образование свободного электрона не сопровождается нарушением ковалентной связи; следовательно, дырка не возникает. Избыточный положительный заряд, возникающий вблизи атома примеси, связан с атомом примеси и поэтому перемещаться по решетке не может.

При добавлении акцепторной примеси в кристалл полупроводника в запрещенной зоне возникает уровень вблизи потолка валентной зоны (акцепторный уровень) (рис. 3в). При переходе электрона из валентной зоны на близлежащий акцепторный уровень (тепловой энергии достаточно для перехода) в валентной зоне образуется дырка. Валентность акцепторной примеси на 1 меньше, чем у основных атомов полупроводника. Предположим, что в решетку кремния введен примесный атом с тремя валентными электронами, например бор (рис. 3г). Для образования связей с четырьмя ближайшими соседями у атома бора не хватает одного электрона, одна из связей остается неупакованной и четвертый электрон может быть захвачен от соседнего атома основного вещества, где соответственно образуется дырка. Последовательное заполнение образующихся дырок электронами эквивалентно движению дырок в полупроводнике, т.е. дырки не остаются локализованными, а перемещаются в решетке кремния как свободные положительные заряды. Избыточный же отрицательный заряд, возникающий вблизи атома примеси, связан с атомом примеси и по решетке перемещаться не может.

В *n*-полупроводнике электронов в свободной зоне значительно больше, чем дырок в валентной зоне, электроны здесь являются основными носителями тока, а дырки – неосновными. В *p*-полупроводнике основными носителями являются дырки, неосновными – электроны.

Кристаллы полупроводников *n*- и *p*- типа, взятые порознь, используют сравнительно редко. Широко используются в

электронике кристаллы, внутри которых имеется контакт полупроводников n - и p -типа, приводящие к значительным явлениям. Контакт полупроводников обычно называется p - n -переходом. p - n -переход хорошо пропускает ток только в одном направлении и применяется для выпрямления переменного тока. Принцип действия p - n -перехода заключается в следующем.

В p -области основными носителями тока являются дырки, образовавшиеся в результате захвата электронов атомами примеси (акцепторы при этом становятся отрицательными ионами); кроме того, в этой области имеется небольшое число неосновных носителей – электронов (за счет собственной проводимости). В n -области основные носители тока электроны, отданные донорами в зону проводимости (доноры при этом превращаются в положительные ионы); имеется также небольшое число неосновных носителей – дырок, образовавшихся при переходе электронов из валентной зоны в зону проводимости за счет теплового движения.

Пусть p и n полупроводники соприкасаются по плоскости. Диффундируя во встречных направлениях через пограничный слой, дырки и электроны рекомбинируют друг с другом, поэтому p - n -переход оказывается сильно обедненным носителями тока и приобретает большое сопротивление. Одновременно на границе между областями возникает двойной электрический слой, образованный отрицательными ионами акцепторной примеси, заряд которых теперь не компенсируется дырками, и справа от плоскости S-S (см. рис. 4) – положительными ионами донорной примеси, заряд которых теперь не компенсируется электронами. Электрическое поле в этом слое направлено так, что противодействует дальнейшему переходу через слой основных носителей.

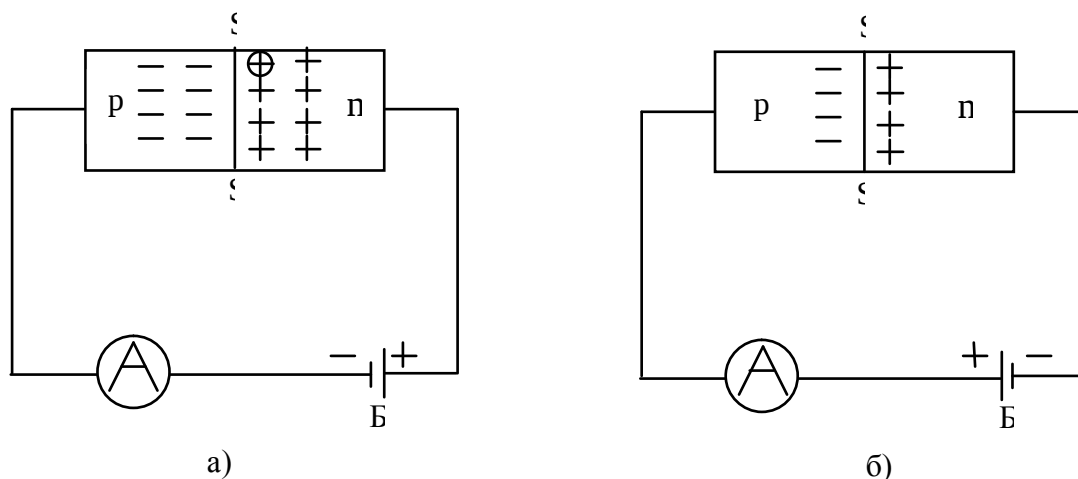


Рис. 4

Если теперь к p - n -переходу приложить внешнее напряжение такого направления, чтобы «+» был подключён к n -области, а «-» был подключен к p -области (такое напряжения называется обратным) (рис. 4а), то напряжённость поля в зоне p - n -перехода, препятствующая движению основных носителей тока через переход, ещё больше возрастает. Поле, возникшее при наложении обратного напряжения, «оттягивает» основные носители от границы между областями, что приводит к возрастанию ширины переходного слоя, обедненного носителями. Соответственно увеличивается и сопротивление перехода. Тока в цепи за счет основных носителей, не будет. p - n -переход пропускает слабый ток, целиком обусловленный неосновными носителями.

Изменим полярность приложенного напряжения (рис. 4б) (такое напряжение называется прямым). При таком подключении источника внешнее электрическое поле направлено противоположно полю контактного слоя, оно вызывает движение электронов в n -полупроводнике и дырок в p -полупроводнике к границе p - n -перехода навстречу друг другу. В этой области они рекомбинируют, толщина контактного слоя и его сопротивление уменьшаются, т.е. при прямом напряжении электрическое поле контактного слоя уменьшается, и соответственно ток основных носителей растет.

В данной работе необходимо снять и построить вольтамперную характеристику полупроводникового диода и с помощью осциллографа изучить работу одно- и двухполупериодных выпрямителей. Работа состоит из 2-х частей.

Экспериментальная часть

ЧАСТЬ I

Снятие вольтамперной характеристики германиевого диода

Важнейшей характеристикой всякого выпрямителя является зависимость тока от величины и полярности приложенного напряжения. Такая характеристика называется вольтамперной. На рис. 5 даны принципиальные схемы для снятия вольтамперной характеристики диода при прямом (рис. 5а) и обратном (рис. 5б) направлениях тока.

Обе схемы смонтированы вместе. С помощью переключателей можно пропускать ток как в прямом, так и в обратном направлении. Для измерения сравнительно большого тока в прямом направлении применен миллиамперметр. Сравнительно малый обратный ток измеряется микроамперметром. Напряжение подаётся от выпрямителей.

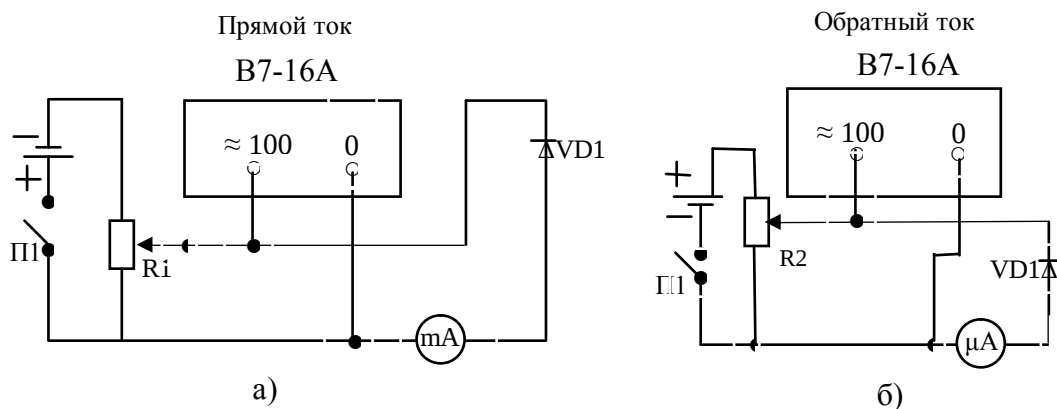


Рис. 5. Принципиальные схемы для снятия вольтамперной характеристики диода при прямом и обратном направлениях тока

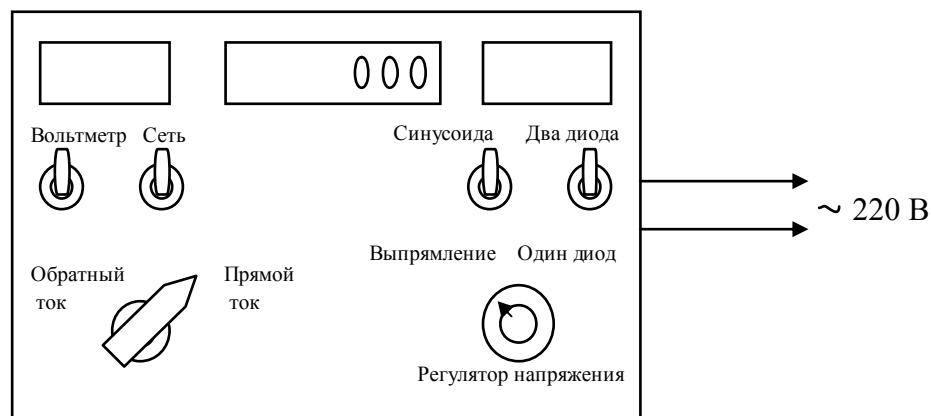


Рис. 6 Блок питания и управления

Техника безопасности

Строго соблюдать общие правила техники безопасности при работе на электроустановках.

Порядок выполнения работы

1. Включить электропит нажатием белой кнопки.
2. Включить вилку шнура блока питания в розетку (220 В) распределительного щитка на столе. Поставить переключатель подачи напряжения на розетку щитка в положение «ВКЛ.».
3. Включить на блоке питания тумблеры «СЕТЬ» и «ВОЛЬТМЕТР» (рис. 6).
4. Поставить переключатель П1 в положение "прямой ток" таким образом, чтобы цепь замкнулась для снятия характеристики при прямом направлении тока. Полностью вывести потенциометр R1 так, чтобы цифровой вольтметр показал «0000».
5. Отметить соответствующие значения тока по миллиамперметру, увеличивая напряжение на диоде от 0 до 0,6 В через каждые 0,05 В. Те же измерения провести в обратном порядке. Для каждого значения напряжения на диоде найти среднее значение тока из 2-х измерений.
6. Поставить переключатель П1 в положение "обратный ток". Тем самым включается цепь обратного тока (рис. 5б), напряжение на диод подается с потенциометра R1 и измеряется тем же

цифровым вольтметром. Полностью вывести потенциометр так, чтобы цифровой вольтметр показал "0000".

7. Отметить значения тока диода по микроамперметру увеличивая напряжение на диоде от 0 до 5,5 через 0,01 В. Получив 5-6 значений тока, далее увеличить напряжение на диоде через 0,5 В, отмечая значения тока по микроамперметру. Те же измерения повторить в обратном порядке.

8. По данным измерений построить вольтамперную характеристику диода, откладывая прямое напряжение вправо по оси X, а обратное влево, прямой ток вверх по оси Y, а обратный – вниз. Чтобы обе части характеристики изобразить на одном графике, масштаб тока в прямом направлении следует взять в тысячу раз меньше, чем в обратном, а масштаб обратного напряжения взять в 10 раз меньше, чем прямого.

ЧАСТЬ II

Ознакомление с работой выпрямителя на полупроводниковых диодах с помощью электронного осциллографа

Выпрямители переменного тока – это приборы, превращающие переменный ток в ток пульсирующий постоянного направления. С помощью специальных устройств (электрических фильтров) пульсирующий ток можно сделать постоянным и по величине.

В настоящее время в различных типах выпрямителей, необходимых для физических экспериментов, радио, телевидения и промышленных установок, широко применяются полупроводниковые диоды.

Однополупериодный выпрямитель (рис.7)

Источник переменного тока включается в выпрямительную цепь через трансформатор. Ток в цепи диода течет в течение тех полупериодов, когда к диоду приложено напряжение в пропускном направлении, в другие (отрицательные) полупериоды тока нет, так как диод оказывается включенным в запирающем направлении.

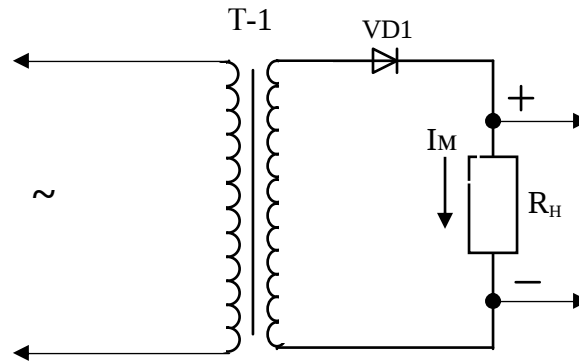


Рис. 7. Однополупериодный выпрямитель

Двухполупериодный выпрямитель (рис.8)

В тот полупериод, когда на контакте I обмотки трансформатора оказывается потенциал более высокий, чем на контакте II, ток течет только через диод VD1, от контакта I через сопротивление нагрузки к контакту II. Через диод VD2 ток не проходит.

Во второй полупериод, когда полярность меняется, ток проходит только через диод VD2 от контакта II через сопротивление нагрузки R_H к контакту I. Таким образом, через нагрузочное сопротивление R_1 в течение любого полупериода ток I_H проходит в одном и том же направлении.

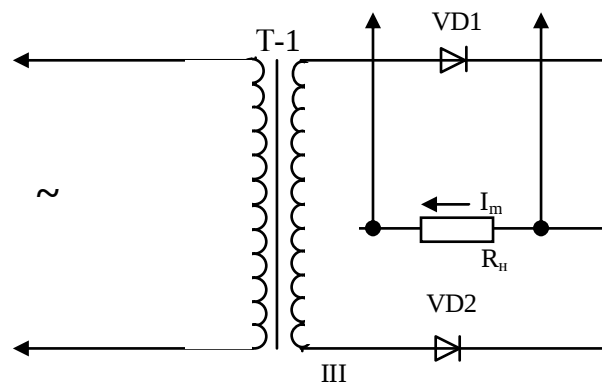


Рис. 8. Двухполупериодный выпрямитель

Порядок выполнения работы

1. Включить вилку шнура питания осциллографа в гнездо 220 В на щитке стола.
2. Включить осциллограф (нажать кнопку «ON» на лицевой панели осциллографа).
3. Ручками «POSITION» получить прямую линию по оси «X».
4. На блоке питания включить тумблер «Сеть», выставить тумблер в положение «Синусоида».
5. Подключить провод от блока питания к левому входу осциллографа (т.е. подать на осциллограф сигнал переменного напряжения).
6. Ручками «VOLTS/DIV» и «TIME/DIV» выставить необходимый предел измерения и частоту для получения синусоиды на экране осциллографа.
7. Зарисовать полученную синусоиду, после чего переключить тумблер в положение «Выпрямление» при включенном тумблере «Один диод».
8. На экране получить изображение однополупериодного выпрямления. Зарисовать полученное изображение.
9. Переключить тумблер в положение «Два диода», на экране получить изображение двухполупериодного выпрямления. Зарисовать полученное изображение и показать графически принцип одно- и двухполупериодных выпрямлений.
10. По окончании работы выключить осциллограф и блок питания установки.

Контрольные вопросы

1. Дайте понятие проводника, полупроводника, диэлектрика с точки зрения зонной теории.
2. Объясните с точки зрения зонной теории возникновение проводимости n – и p – типа.
3. Объясните принцип работы полупроводникового диода.
4. Объясните принцип работы одно- и двухполупериодных выпрямителей на полупроводниках.

Список рекомендуемой литературы

1. Фриш, С.Э. Курс физики / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. – М.: Наука, 2009. – Т.2: § 160-161, 163-171.
2. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела / Г.И. Епифанов. – М.: Лань, 2010. – С. 156-157, 177-183.
3. Калашников, С.Г. Электричество / С.Г. Калашников. – М.: Физматлит, 2003. – § 159,160, 166-168.
4. Савельев, И.В. Курс физики / И.В. Савельев. – М.: Наука, 2008. – Т.3: § 55-59.
5. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – М.: ACADEMIA, 2008. – § 241-243, 249-250.