

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение характеристик и параметров диодов – выпрямительного, Шоттки, стабилитрона и светодиода и устройств на их основе.

#### 2. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*Предварительное домашнее задание:*

а) изучить темы курса “*p-n-переход*”, “*Полупроводниковые диоды*”, “*Амплитудные ограничители*” и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы.;

б) получить передаточные характеристики диодных ограничителей, изображенных на рис. 4.6 и рис. 4.7.

#### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Диодами называют двухэлектродные элементы электрической цепи, обладающие односторонней проводимостью тока. Принцип действия полупроводникового диода основан на специфике процессов, протекающих в электронно-дырочном (*p-n*-) переходе.

Полупроводниковые диоды широко применяются для выпрямления переменного тока (выпрямительные диоды), для детектирования высокочастотных колебаний (высокочастотные диоды), для стабилизации напряжения (стабилитроны), для модуляции высокой частоты (варикапы), для преобразования формы импульсов (импульсные диоды), для генерации колебаний (туннельные диоды) и др.

Теоретический анализ показывает, что вольтамперная характеристика идеализированного диода описывается выражением:

$$I_a = I_S \cdot (e^{U_a/\varphi_T} - 1),$$

где  $I_a$  и  $U_a$  – ток и напряжение диода, соответственно;  $I_S$  – тепловой ток диода;  $\varphi_T$  – тепловой потенциал, (при температуре  $T = 300\text{K}$ ,  $\varphi_T \approx 26\text{ мВ}$ ).

Ток  $I_S = 0$  при  $T = 0\text{K}$ , его величина сильно зависит от температуры. Поэтому его называют **тепловым током**. При обратном напряжении обратный ток идеализированного диода равен  $I_S$  и не зависит от напряжения. Поэтому величину  $I_S$  еще называют **обратным током насыщения**.

Важной особенностью вольт-амперной характеристики идеализированного диода является очень крутая (экспоненциальная) прямая ветвь. Поэтому в качестве аргумента удобнее задавать ток и пользоваться выражением:

$$U_a = \varphi_T \cdot \ln\left(\frac{I_a}{I_s} + 1\right). \quad (3.1)$$

Тепловой ток кремниевых диодов значительно меньше, чем у германиевых, так как концентрация неосновных носителей у кремния существенно меньше, чем у германия при той же температуре. Это связано с тем, что ширина запрещенной зоны кремния больше по сравнению с германием. По той же причине падение напряжения на переходе при прямом его включении выше у кремниевых диодов.

Вольт-амперная характеристика диода отличается от характеристики идеализированного диода. Отличия обратной ветви характеристики связаны с процессами термогенерации носителей заряда в области перехода, поверхностными утечками, а также с явлениями пробоя перехода. Обратные ветви характеристик германиевого и кремниевого диодов приведены на рис. 3.1.

При увеличении обратного напряжения выше некоторой величины наблюдается резкое увеличение тока, носящее название пробой перехода.

В зависимости от причин, вызывающих появление дополнительных носителей заряда, различают туннельный, лавинный и тепловой пробой.

В основе туннельного пробоя лежит туннельный эффект, т.е. переход носителей в смежный слой, не преодолевая потенциального барьера. Туннельный пробой развивается в узких р–n-переходах, где при сравнительно небольшом обратном напряжении имеется высокая напряженность поля.

Лавинный пробой возникает в результате ударной ионизации, приводящей к лавинообразному размножению носителей. Лавинный пробой характерен для слабо легированных полупроводников. Туннельный и лавинный пробой являются обратимыми процессами. Это означает, что они не приводят к повреждению диода и при снижении напряжения его свойства сохраняются.

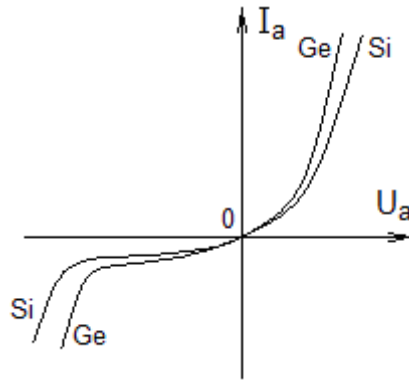


Рис. 3.1

Тепловой пробой возникает за счет интенсивной термогенерации носителей в р–n-переходе при недопустимом повышении температуры. Процесс развивается лавинообразно и ввиду неоднородности р–n-перехода обычно носит локальный характер. Лавинообразное развитие теплового процесса обуславливается тем, что увеличение числа носителей заряда за счет повышения температуры вызывает увеличение обратного тока и, следовательно, еще больший разогрев участка р-n-перехода. При тепловом пробое диод выходит из строя.

Кроме активного сопротивления полупроводниковый диод имеет емкость р–n-перехода, состоящую из двух слагаемых: **барьерной емкости и диффузионной**. Барьерная (или зарядная) емкость характеризуется сосредоточением по обе стороны границы раздела р- и n-слоев объемных зарядов, создаваемых ионами примесей. Барьерная емкость возрастает с уменьшением толщины р–n-перехода, т.е. при снижении обратного напряжения. Барьерная емкость гораздо выше при прямом включении диода, чем при обратном его включении. Величина барьерной емкости зависит также от площади р–n-перехода и может составлять десятки и сотни пикофарад. Зависимость барьерной емкости от обратного напряжения используется в варикапах, применяемых в качестве конденсаторов переменной емкости, управляемых напряжением.

При прямом напряжении на диоде к барьерной емкости добавляется еще диффузионная емкость. В отличие от барьерной емкости, определяемой шириной области объемного заряда р–n-перехода, диффузионная обусловлена изменением суммарных зарядов неравновесных электронов и дырок соответственно слева и справа от р–n-перехода в результате изменения напряжения на нем. Эти заряды создаются за счет диффузии (инжекции) носителей через р–n-переход.

Поэтому она существует только при прямом напряжении, когда носители заряда в большом количестве инжектируют через пониженный потенциальный барьер и, не успев рекомбинировать, накапливаются в  $n$  и  $p$  областях. Величина диффузионной емкости зависит от протекающего через  $p$ – $n$ - переход прямого тока и может составлять сотни и тысячи пикофарад, т.е. она существенно больше барьерной емкости.

Таким образом, при прямых напряжениях емкость  $p$ – $n$ - перехода определяется в основном диффузионной емкостью, а при обратных напряжениях, когда диффузионная емкость равна нулю, барьерной.

Наличие емкости  $p$ – $n$ -перехода оказывает существенное влияние на выпрямительные свойства диодов при их работе на повышенных частотах. В полупроводниковых диодах, работающих в выпрямительном режиме, при перемене полярности напряжения могут наблюдаться значительные импульсы обратного тока. Эти импульсы возникают по двум причинам. Во-первых, под влиянием обратного напряжения возникает импульс тока, заряжающего барьерную емкость  $p$ – $n$ -перехода. Во-вторых, при обратном напряжении происходит рассасывание неосновных носителей, накопившихся в  $n$  и  $p$  областях. Эти носители во время прохождения прямого тока инжектируются через переход и, не успев рекомбинировать, накапливаются в  $n$  и  $p$  областях. При обратном напряжении начинается процесс рассасывания, т.е. электроны начинают двигаться из  $p$  области в  $n$  область, а дырки из  $n$  области в  $p$  область. В результате возникает импульс обратного тока. Когда закончится процесс рассасывания носителей и завершится заряд барьерной емкости, через  $p$ – $n$ - переход будет протекать лишь ничтожно малый обратный ток.

На низкой частоте для каждого момента времени изменения синусоидального напряжения переходные процессы, связанные с рекомбинацией, успевают установиться. Ток диода протекает практически только в первом полупериоде.

На повышенной частоте выпрямляющие свойства  $p$ – $n$ -перехода ухудшаются. При таких частотах дырки, инжектированные в  $n$  базу за положительный полупериод, не успевают полностью рекомбинировать в базе. Во время отрицательного полупериода часть накопленных в  $n$  базе дырок рекомбинируют, а часть уходит в  $p$ -область, создавая всплеск обратного тока. Далее обратный ток спадает, стремясь к своему стационарному значению. На очень высоких частотах заряд дырок, введенных в  $n$  базу за положительный полупериод, полностью выводится во внешнюю цепь за отрицательный полупериод, и диод теряет выпрямительные свойства.

Довольно часто на практике для получения стабильного опорного напряжения используются *стабилитроны*. В полупроводниковых стабилитронах используется свойство незначительного изменения обратного напряжения на р–n-переходе при лавинном или туннельном пробое. Это связано с тем, что небольшое увеличение напряжения на р–n-переходе в режиме электрического пробоя вызывает более интенсивную генерацию носителей заряда и значительное увеличение обратного тока. Участок 1–2 на рис. 3.2 является рабочим участком вольтамперной характеристики стабилитрона.

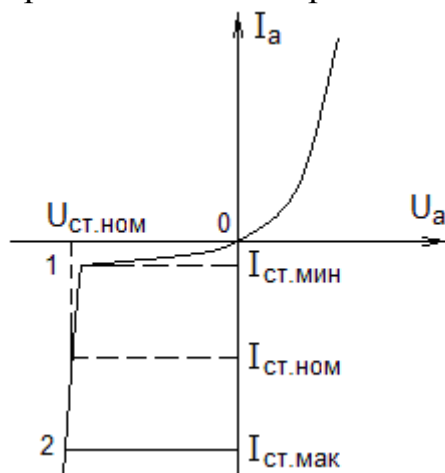


Рис. 3.2

Главным параметром прибора является напряжение стабилизации, равное напряжению пробоя. Точка 1 на характеристике соответствует минимальному току стабилитрона, при котором наступает пробой. Точке 2 соответствует максимальный ток стабилитрона, достижение которого еще не грозит тепловым пробоем р–n-перехода.

Параметром, характеризующим наклон рабочего участка характеристики, является динамическое сопротивление стабилитрона:

$$R_{д} = \frac{dU_{ст}}{dI_{ст}}$$

Величина  $R_{д}$  для низковольтных стабилитронов лежит в пределах 1–30 Ом, а для высоковольтных – 18–300 Ом. Влияние температуры оценивается температурным коэффициентом напряжения стабилизации (ТКН), который представляет собой относительное изменение напряжения  $U_{ст}$  при повышении температуры на один градус:

$$ТКН = \frac{dU_{ст}}{(U_{ст} \cdot dT)}$$

Величина  $U_{СТ}$  и значение ТКН зависят от удельного сопротивления основного полупроводника. Стабилитроны на малые напряжения (до 6–7 В) изготавливаются из кремния с малым удельным сопротивлением, т.е. с большой концентрацией примесей. В таких стабилитронах р-п-переход имеет малую толщину, в нем действует поле с высокой напряженностью и пробой происходит главным образом за счет туннельного эффекта. При этом ТКН получается отрицательным. Если использовать кремний с меньшей концентрацией примесей, то р-п-переход будет более широким. В этом случае пробой возникает при более высоких напряжениях и является лавинным. Для таких стабилитронов характерен положительный ТКН.

### Диоды Шоттки

В основе диодов Шоттки (рис. 3.3) лежит контакт между металлом и полупроводником. Причем этот контакт выпрямляющий. Приповерхностный слой полупроводника в таком контакте обеднен основными носителями и его сопротивление в равновесном состоянии намного больше сопротивления остальной части полупроводника.

Основное преимущество диодов Шоттки по сравнению с диодами с р-п-переходом является то, что у них отсутствует инжекция носителей при прямом включении, а значит и явления накопления и рассасывания носителей. Т.е. у диодов Шоттки отсутствует диффузионная емкость. Соответственно инерционность диодов Шоттки очень мала и обусловлено только барьерной емкостью контакта. Но барьерная емкость может быть уменьшена за счет уменьшения размеров структуры.

Рабочие частоты у диодов Шоттки малой мощности могут достигать значений 3÷15 Гигагерц, а времена переключения до 0,1 наносекунды. Обратные токи у этих диодов также весьма малы. Обратное допустимое напряжение лежит в пределах от 10 до 500 В. Прямое падение напряжения у диодов Шоттки ниже, чем у обычных диодов. Например, при прямом токе 50 ампер падение напряжения на силовом диоде Шоттки составляет всего ~ 0,5 В.

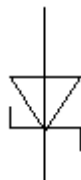


Рис. 3.3

При прямом и обратном смещении, ток в барьере Шоттки обусловлен основными носителями - электронами. Инжекция неосновных носителей в базу в таких диодах отсутствует. Ток образуется только электронами, движущимися из кремния в металл. По этой причине у 2 диодов Шоттки отсутствует накопление зарядов в базе (отсутствуют рекомбинационные и диффузионные процессы) и время переключения значительно меньше, чем время переключения диода с р-п переходом.

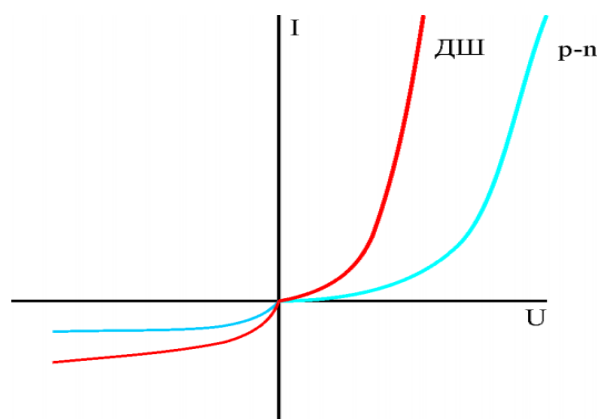


Рис. 3.4

### Светодиоды

Светодиодами называются полупроводниковые источники света, представляющие собой излучающие р-п-переходы, свечение которых вызвано рекомбинацией носителей заряда в базе при прямом смещении диода.

Излучающие полупроводниковые диоды делятся на два вида: светоизлучающие диоды, работающие в диапазоне видимого излучения (СИД) и диоды, работающие в инфракрасном диапазоне оптического излучения (ИК-диоды).

Излучающий диод – основной и наиболее универсальный излучатель некогерентной оптоэлектроники. Это обусловлено следующими его достоинствами:

- высокое значение КПД преобразования электрической энергии в оптическую;
- высокая для некогерентного излучателя направленность излучения;
- малые значения прямого падения напряжения;
- высокое быстродействие; малые габариты,

– технологическая совместимость с микроэлектронными устройствами,

– высокая надежность и долговечность.

Структура светодиода в упрощенном виде и схема подключения его к источнику питания показаны на рис. 3.5.

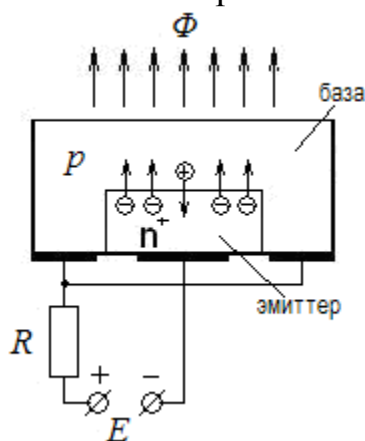


Рис. 3.5

При приложении прямого напряжения к светодиоду потенциальный барьер р–n-перехода понижается, и появляются диффузионные токи, как дырок, так и электронов, т.е. увеличивается инжекция носителей: дырок в n-область, электронов в р-область.

Обычно излучающей является область только по одну сторону р–n-перехода (р-область на рис. 3.5). Очевидно, желательно, чтобы количество инжектированных носителей было максимально именно в излучающей р-области. С этой целью в n-область вводят больше донорной примеси, чем акцепторной в р-область. Таким образом, в структуре инжекция практически односторонняя – из n-эмиттера в р-базу, и излучает базовая область.

Следует отметить, что наряду с рекомбинацией, которая обеспечивает генерацию оптического излучения, существует также рекомбинация, не дающая излучение.

К такому типу относится рекомбинация на глубоких центрах люминесценции, т.е. электрон может переходить в валентную зону не непосредственно, а через те или иные центры рекомбинации, образующие энергетические уровни в запрещенной зоне. Энергия рекомбинации в этом случае выделяется частично в виде длинноволновых фотонов, частично переходит в тепловые колебания кристаллической решетки. Такими центрами рекомбинации могут быть примеси и структурные дефекты кристаллической решетки.



## Характеристики и параметры излучающих диодов

### 1. Излучающая характеристика

Эффективность излучающего диода характеризуют зависимостями параметров оптического излучения от прямого тока через диод (излучающие характеристики) и от длины волны излучения (спектральные характеристики). Для ИК-диодов излучательная характеристика представляет собой зависимость потока излучения  $\Phi_e$  от прямого тока  $I_{np}$ .

Для СИД диодов излучательная характеристика представляет собой зависимость силы света  $J_V$  от прямого тока через диод (рис. 3.6, а).

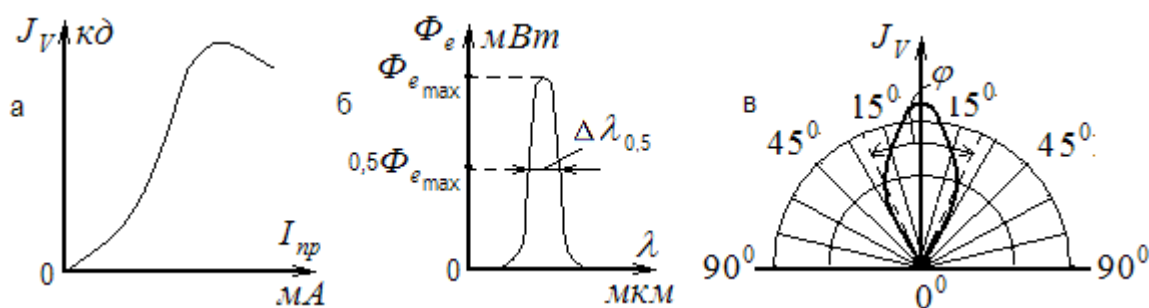


Рис. 3.6

При малых токах велика доля рекомбинаций без излучения квантов света и коэффициент инжекции мал. С ростом прямого тока поток излучения сначала быстро увеличивается – до тех пор, пока в токе диода не становится преобладающей диффузионная составляющая тока. Дальнейшее увеличение тока приводит к постепенному насыщению центров люминесценции и снижению излучательной способности диода. Кроме того, с ростом тока увеличивается вероятность ударной рекомбинации, что также уменьшает поток излучения.

Таким образом, излучательная характеристика имеет максимум при некотором токе. Максимальная сила излучения зависит от площади и геометрии излучающего р-перехода.

### 2. Спектральная характеристика

Спектральная характеристика представляет собой зависимость параметров излучения от длины волны излучения. В справочниках приводится зависимость потока излучения  $\Phi_e$ , т.е. мощности излучения (рис. 3.6, б) или яркости от длины волны. Длина световой волны, определяющая цвет свечения, зависит от разности энергий двух энергетических уровней, между которыми происходит переход

электронов при люминесценции. В связи с разной шириной запрещенной зоны у различных материалов, длина волны излучения различна в разных типах излучающих диодов.

Так как переход электронов при рекомбинации носителей зарядов происходит обычно между двумя группами энергетических уровней, то спектр излучения оказывается размытым.

Спектральный диапазон излучающего диода характеризуют шириной спектра  $\Delta\lambda_{0,5}$  измеряемой на высоте 0,5 максимума излучения (рис. 3.6, б).

### 3. Диаграмма направленности излучения

Эта диаграмма отражает зависимость силы света  $J_v$  от направления излучения, т.е. от угла излучения  $\varphi$  (рис. 3.6, в). В пределах угла излучения сила света составляет не менее половины ее максимального значения.

Вольтамперная характеристика излучающего диода подобна обычному диоду. Различия прямых ветвей ВАХ связаны с разницей в ширине запрещенной зоны применяемых материалов. Чем меньше длина волны излучения, тем больше прямое падение напряжения на излучающем диоде. Обратные ветви ВАХ имеют малое допустимое обратное напряжение, так как при высокой концентрации примеси ширина р–п-перехода в излучающих диодах незначительна.

При работе светодиода в схеме с высокими обратными напряжениями последовательно с излучающим диодом необходимо включать обычный диод, имеющий достаточное значение допустимого обратного напряжения. В результате обеспечивается защита светодиода в случаи недопустимых для него бросков обратного напряжения.

На рис. 3.7, а для сравнения показана ВАХ светодиода и пунктиром характеристика обычного диода.

Прямое напряжение на светодиоде обычно находится в пределах  $2 \div 4$  В. Значение прямого напряжения дается в справочниках для определенного значения прямого тока.

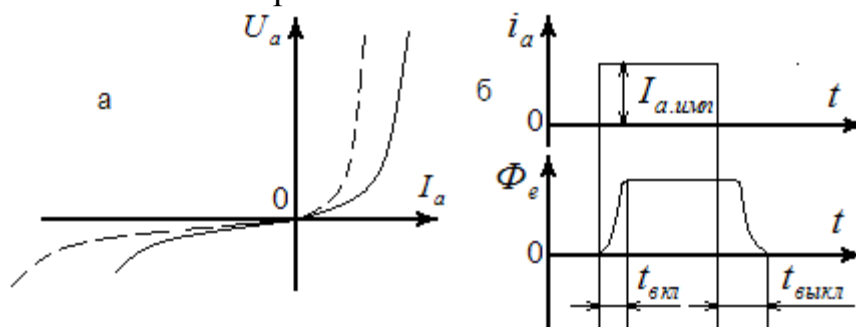


Рис. 3.7

Быстродействие излучающего диода определяется инерционностью возникновения излучения при подаче прямоугольного импульса прямого тока (рис. 3.7, б). Время переключения  $t_{пер}$  складывается из времени включения  $t_{вкл}$  и выключения  $t_{выкл}$  излучения. Инерционность излучающего диода определяется процессом перезаряда барьерной емкости и процессами накопления и рассасывания неосновных носителей в активной области диода.

Для светоизлучающих диодов (СИД) быстродействие является второстепенной характеристикой, так как инерционность человеческого глаза около 50 мс, что существенно больше времени переключения СИД. Для излучателей в оптопарах время переключения ИК-диодов стремятся сделать минимально возможным, так как это время входит составной частью в общее время переключения оптоэлектронного прибора.

Влияние температуры на параметры излучающего диода заключается в изменении длины волны излучения и мощности излучения. С ростом температуры длина волны излучения увеличивается, так как с ростом температуры уменьшается ширина запрещенной зоны полупроводника. Сила света светодиода с ростом температуры уменьшается, так как уменьшается мощность излучения вследствие увеличения длины волны.

#### 4. ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

##### 4.1. Исследование выпрямительного диода

а) собрать схему для исследования выпрямительного диода на постоянном токе в соответствии с принципиальной схемой рис. 4.1. Для измерения анодного тока и анодного напряжения используйте мультиметры в режиме измерения тока и напряжения соответственно. Последовательно с диодом включить токоограничивающий резистор  $R1$ . Для регулирования анодного тока используйте источник постоянного напряжения и потенциометр.

Снять вольтамперную характеристику выпрямительного диода на постоянном токе для прямой ветви (рис. 4.1). Диапазон изменения анодного тока диода ограничить значением 100 мА. Для снятия характеристики регулировать напряжение на выходе потенциометра  $R3$ . Результаты измерений занести в таблицу, по которым построить прямую ветвь ВАХ (10-15 точек);

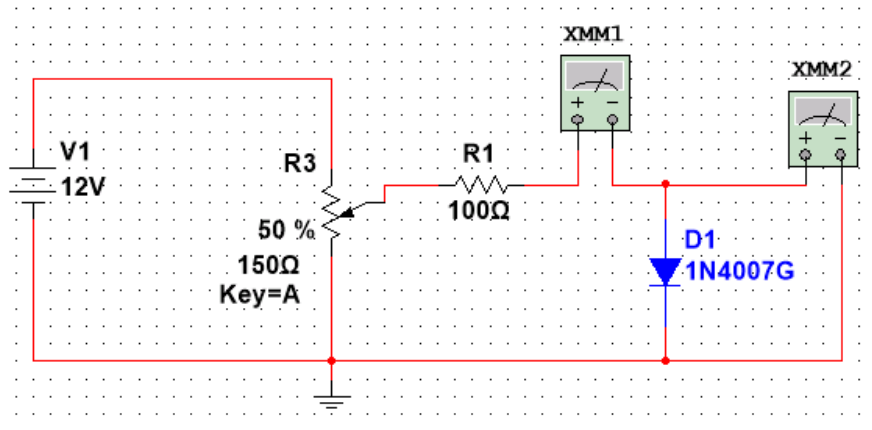


Рис. 4.1

б) собрать схему для снятия обратной ветви ВАХ  $D1$ , подключив к  $R3$  источник питания  $-12\text{В}$  (рис. 4.2); снять обратную ветвь ВАХ диода. Результаты измерений занести в таблицу, по которым построить обратную ветвь ВАХ.

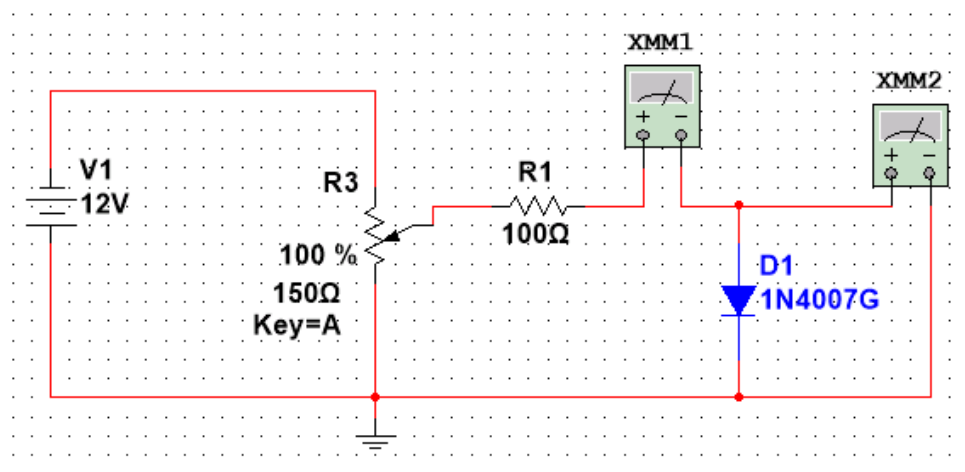


Рис. 4.2

в) определить параметры диода: максимальное напряжение между анодом и катодом в открытом состоянии  $U_{a\text{max}}$  при максимальном анодном токе  $I_{a\text{max}}$ , пороговое напряжение  $e_0$ , дифференциальное сопротивление  $r_d$  и статическое сопротивление  $R_{ст}$ . Сравнить дифференциальное и статическое сопротивление диода;

г) собрать схему для снятия ВАХ диода с использованием инструмента IV ANALYZER; снять ВАХ диода, настроив для

удобства наблюдения диапазон изменения анодного напряжения от  $-0,5\text{В}$  до  $0,8\text{В}$ ; полученную характеристику сохраните.

д) собрать схему для получения ВАХ диода на экране осциллографа. Исследование выпрямительного диода выполняется на переменном токе в соответствии с принципиальной схемой, изображенной на рис. 4.3. Вход Y (В) осциллографа подключить к шунту  $R_2$ , а корпус осциллографа (землю) соединить с общим проводом (землей) схемы. Вход X (А) осциллографа подключить к аноду диода. При этом переключатель развертки осциллографа должен быть установлен в положение X-Y (В/А). Сохранить изображение экрана осциллографа, определить масштабы по току и напряжению;

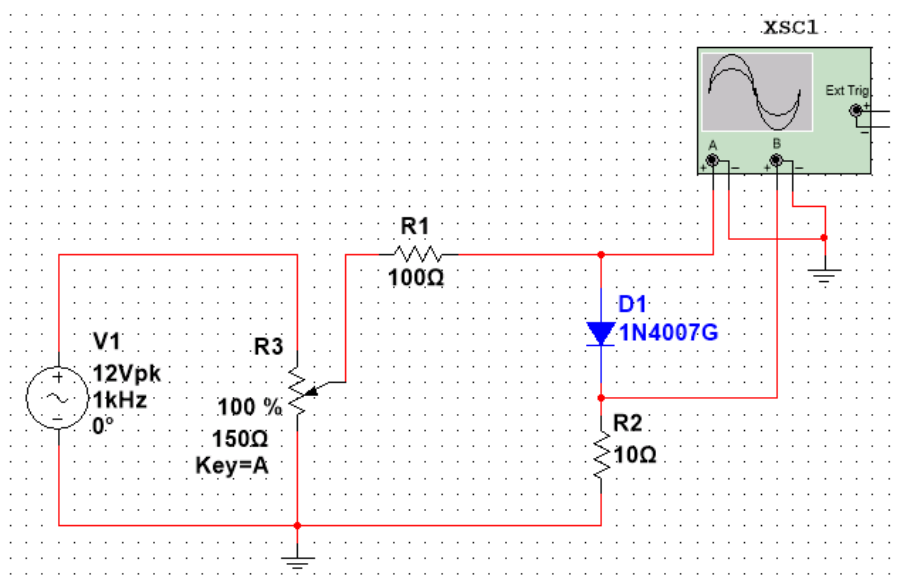


Рис. 4.3

д) определить по осциллограмме параметры диода: максимальное напряжение между анодом и катодом в открытом состоянии  $U_{a\max}$  при максимальном анодном токе  $I_{a\max}$ , пороговое напряжение  $e_0$  и дифференциальное сопротивление  $r_d$ , сравнить с результатами, полученными на постоянном токе.

## 4.2. Исследование диода Шоттки

Выполнить пункты 4.1, а-г для диода Шоттки (1N5819G), используя схему на рис. 4.1. ВАХ, снятую на постоянном токе, построить на том же рисунке, что и в п.4.1. Сравнить ВАХ и параметры диода Шоттки с параметрами и ВАХ обычного выпрямительного диода.

### 4.3. Исследование стабилитрона

Выполнить пункты 4.1, а,б для стабилитрона (BZX55C4V7), установив сопротивление резистора  $R1 = 1\text{кОм}$ . ВАХ, снятую на постоянном токе, построить на том же рисунке, что и в п.4.1. Сравнить ВАХ стабилитрона и ВАХ обычного выпрямительного диода. По ВАХ, снятой на постоянном токе, определить напряжение стабилизации  $U_{\text{ст}}$  и дифференциальное сопротивление  $r_{\text{д ст}}$ .

### 4.4. Исследование светодиода

Собрать схему для исследования прямой ветви ВАХ светодиода (LED\_green) на постоянном токе подобную рис. 4.1, установив сопротивление резистора  $R1 = 1\text{кОм}$ ; снять ВАХ и построить ее на том же рисунке, что и в п.4.1. Определить ток, при котором становится заметным свечение светодиода.

### 4.5. Исследование схем диодных ограничителей

а) собрать схему простейшего диодного ограничителя с нулевым пороговым напряжением с соответствии с рис. 4.4. Снять сфазированные осциллограммы напряжений входного, выходного, на диоде и анодного тока. (рис. 4.4). Для снятия напряжения на диоде и на выходе ограничителя используйте схему на рис. 4.5. Нарисовать сфазированные осциллограммы с указанием всех основных параметров;

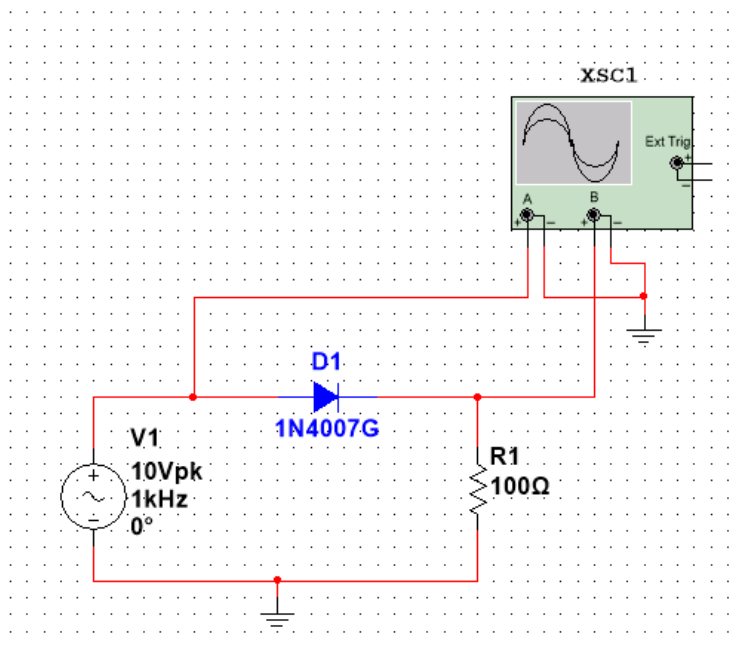


Рис. 4.4

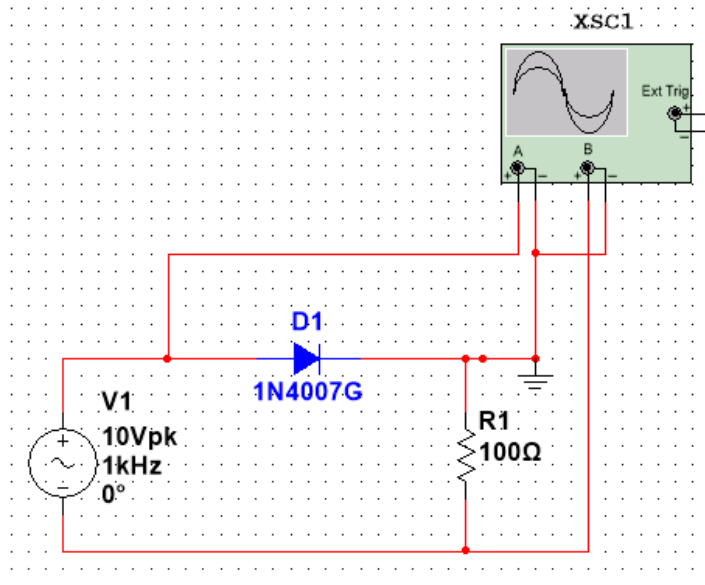


Рис. 4.5

б) собрать схему диодного ограничителя с ненулевым пороговым напряжением с соответствии с рис. 4.6. Снять сфазированные осциллограммы входного и выходного напряжений с указанием всех основных параметров. Перевести осциллограф в режим X-Y (В/А), получить передаточную характеристику ограничителя, сравнить с полученной в предварительном задании;

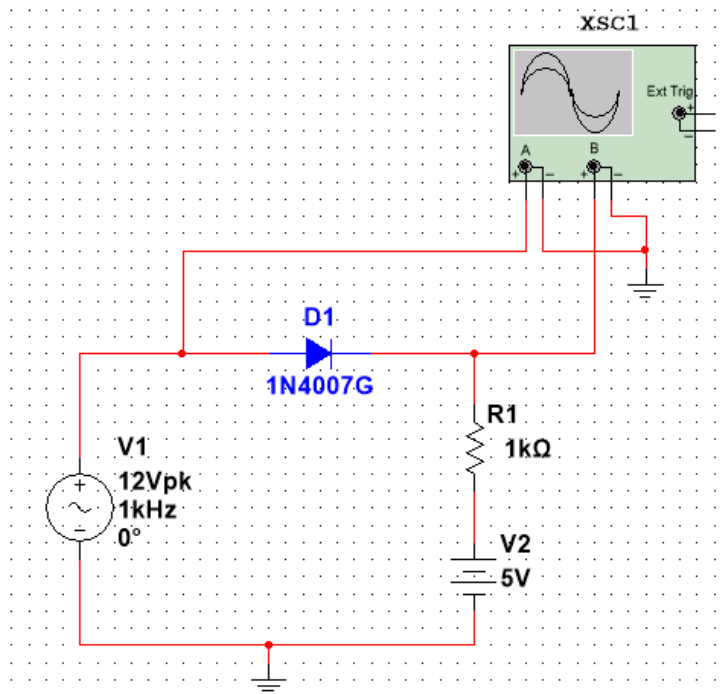


Рис. 4.6

в) собрать схему диодного ограничителя со стабилитронами соответствии с рис. 4.7. Снять сфазированные осциллограммы входного и выходного напряжений с указанием всех основных параметров. Перевести осциллограф в режим X-Y (В/А), получить передаточную характеристику ограничителя, определить пороговые напряжения, сравнить с характеристикой, полученной в предварительном задании.

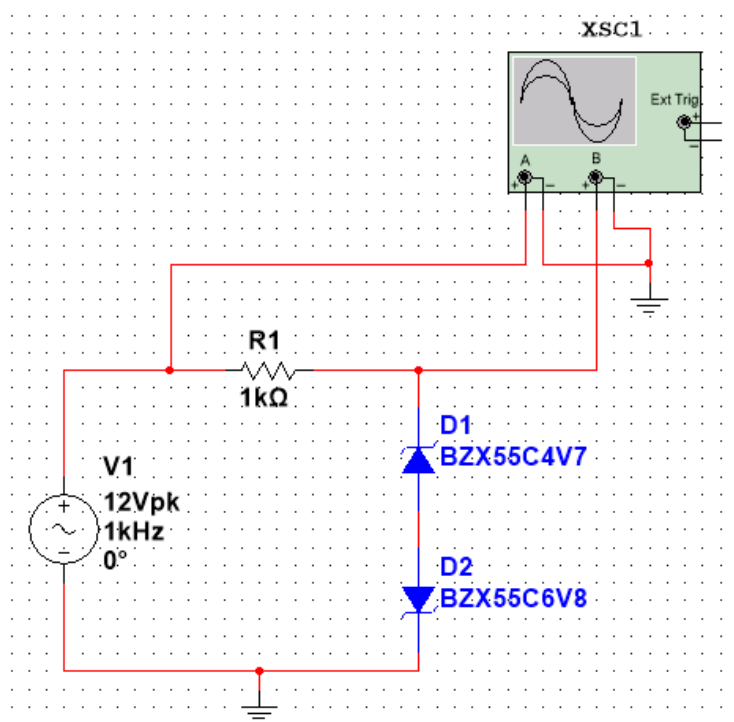


Рис. 4.7

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) краткая программа работы;
- в) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- г) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- д) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- е) обработанные осциллограммы;
- ж) выводы по работе.



## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Что такое р–n-переход и как он создается?
- 5.2. Чем определяются вентильные свойства р–n-перехода?
- 5.3. Каковы различия у вольт-амперных характеристик реального и идеализированного диода?
- 5.4. Перечислите виды пробоя р–n-перехода? Какова физическая сущность каждого вида пробоя? Какие виды пробоя относят к обратимым? Почему?
- 5.5. Чем обусловлен обратный ток диода? Как зависит от температуры и типа полупроводника?
- 5.6. Как влияет температура на различные участки ВАХ диода?
- 5.7. Чем определяются частотные свойства диода?
- 5.8. Перечислите типы полупроводниковых диодов. В чем выражаются их основные отличия?
- 5.9. Что показывает стрелка в условном графическом обозначении диода?
- 5.10. Приведите основные параметры полупроводниковых диодов.
- 5.11. Как снять по точкам ВАХ диода?
- 5.12. Как снять ВАХ диода с помощью осциллографа?
- 5.13. Какие погрешности можно ожидать при осциллографировании по схеме рис. 4.3?
- 5.14. Поясните вид ВАХ стабилитрона. Где находится рабочий участок на ВАХ стабилитрона? Как зависит напряжение стабилизации от температуры?
- 5.15. В чем отличие ВАХ выпрямительного диода, диода Шоттки и светодиода?
- 5.16. От чего зависит яркость свечения светодиода? Какой элемент обязателен в схеме индикатора на светодиоде?
- 5.17. Каким образом на экране осциллографа получают изображение функциональной зависимости двух напряжений?
- 5.18. Каким образом на экране осциллографа получается изображение периодической функции времени?
- 5.19. Предложите схему для проверки работоспособности диода, если у вас имеются в наличии: элемент питания (батарея или аккумулятор), лампа накаливания.
- 5.20. Нарисовать диаграммы тока и напряжений на элементах диодного ограничителя по заданию преподавателя.

5.21. Получить передаточную характеристику диодного ограничителя по заданию преподавателя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жеребцов И.П. Основы электроники. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 352 с.: ил.
2. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учеб. для вузов. – М.: Высш. Шк., 1987. – 479 с.
3. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника: Учеб. для вузов. – М.: Высш. Шк., 1986. – 304 с.
4. Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. Полупроводниковые приборы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
5. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. для вузов. – 5-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2008.– 798 с.: ил.
6. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: - справочник./А.В. Баюков, А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев и др.; под. общ. ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 744 с.
7. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Альянс, 2008.– 496 с.: ил.