

Лабораторная работа - 01_ (вар.45)

Аналоговая электроника (АЭл.)

(2022—2023)

1. Исследование характеристик полупроводниковых диодов на постоянном и переменном токе

Содержание

1. Общие сведения
2. Экспериментальная часть
 - 2.1. Задание
 - 2.2. Порядок выполнения эксперимента
 - 2.3. Оформление Отчета
3. Приложения
 - 3.1. Варианты
 - 3.2. Параметры диодов
4. Контрольные вопросы

1. Общие сведения

Двухэлектродный полупроводниковый элемент диод содержит n - и p -проводящий слои (рис. 1). В n -проводящем слое в качестве свободных носителей заряда преобладают электроны, а в p -проводящем слое дырки. В результате диффузии электронов из n -области в p -область и, наоборот, дырок из p -области в n -область на границе создается потенциальный барьер (рис. 1, а и б).

При прямом приложенном напряжении («+» к слою p , «-» к слою n) потенциальный барьер уменьшается, и диод начинает проводить ток (диод открыт). При обратном напряжении потенциальный барьер увеличивается (диод заперт).

Вольт-амперная характеристика диода имеет вид, изображенный на рис. 1, в.

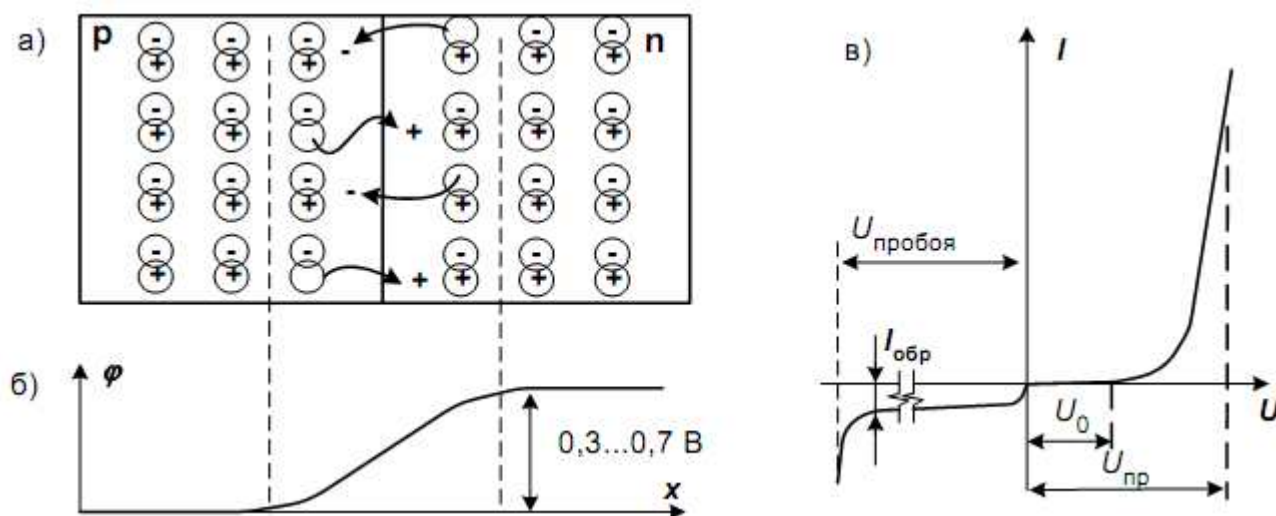


Рис. 1. Потенциальный барьер (а) и характеристики (б, в)

Прямой ток через p - n переход определяется носителями заряда, неосновными для того слоя, куда они проникают. В процессе движения они сталкиваются с основными носителями данного слоя и рекомбинируют. С увеличением прямого тока падение напряжения на диоде несколько возрастает. При рекомбинации может выделяться энергия в виде излучения. Это явление используется в светодиодах.

В обратном направлении через диод протекает только небольшой ток дрейфа, обусловленный неосновными носителями. С увеличением обратного напряжения выше предельно допустимого для данного типа диода наступает пробой p - n перехода. В диодах различных типов он протекает поразному: в обычных выпрямительных диодах – это необратимое разрушение p - n перехода в результате его перегрева, в лавинных – происходит лавинное размножение неосновных носителей, что приводит к резкому уменьшению обратного напряжения на нем и уменьшению нагрева, в стабилитронах – при увеличении обратного тока имеется достаточно протяженный участок вольт-амперной характеристики, на котором напряжение мало зависит от тока (зенеровский пробой).

Основные статические параметры диодов, такие как пороговое напряжение U_0 , прямое падение напряжения $U_{пр}$, дифференциальное сопротивление R_d , обратный ток $I_{обр}$, напряжение стабилизации стабилитрона $U_{ст}$, можно определить по вольт-амперной характеристике, снятой на постоянном или медленно изменяющемся токе. Переключение диода из закрытого состояния в открытое происходит не мгновенно. Это можно наблюдать на экране осциллографа, если приложить к диоду напряжение прямоугольной формы высокой частоты (рис. 2.).

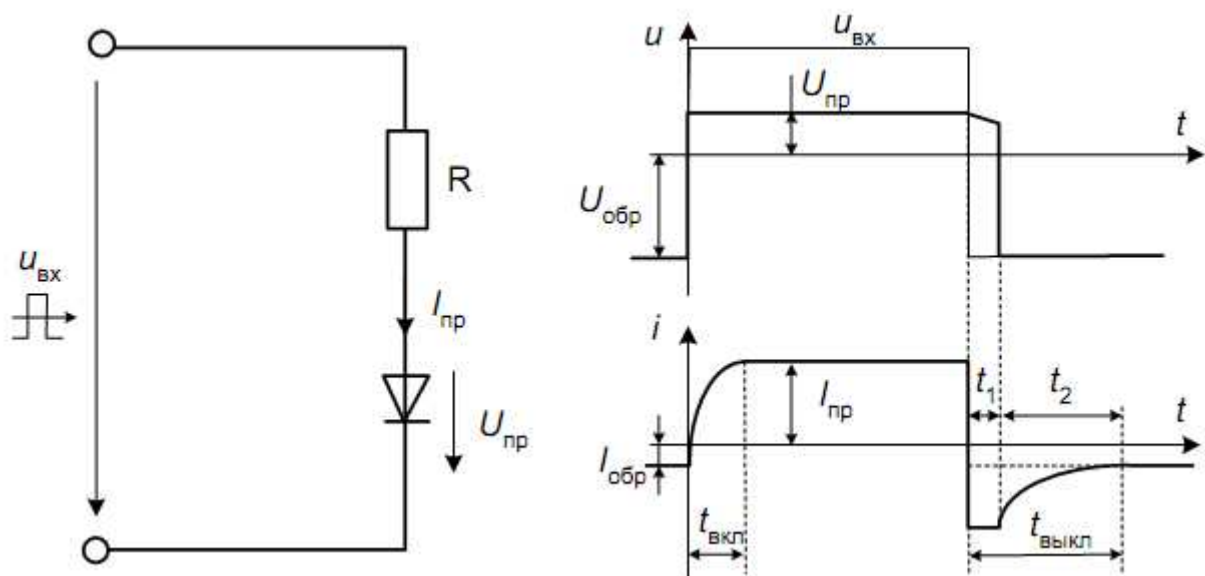


Рис. 2. Переходные характеристики при исследовании диода

При переходе из закрытого в открытое состояние необходимо время $t_{вкл}$, необходимое для рассасывания избыточных зарядов потенциального барьера и достижения диффузионного равновесия.

При переходе из открытого состояния в закрытое необходимо время t_1 , за которое рассасываются избыточные носители и время t_2 , за которое вновь устанавливается потенциальный барьер. Общее время выключения $t_{выкл} = t_1 + t_2$. На этапе t_1 через диод протекает большой обратный ток, а напряжение на нем убывает, сохраняя прямое направление. На этапе t_2 обратный ток убывает до нормального значения.

Реальная картина, наблюдаемая на экране осциллографа, может несколько отличаться от описанной из-за влияния входной емкости осциллографа и монтажа, но для моделирования электронных схем этим недостатком можно пренебречь.

2. Экспериментальная часть

Цель выполнение лабораторной работы — изучить основные характеристики различных диодов (выпрямительных, импульсных, туннельных, варикапов, стабилитронов, светодиодов), определить их достоинства и недостатки. Научиться моделировать, проектировать с использованием диодов различных электронных схем, а также выбирать соответствующие параметры (справочные данные).

Научиться снимать главные характеристики диодов в различных схемах включения.

Работу выполнить в виртуальном симуляторе (MultiSim или ему подобном), для этого в интернете необходимо подобрать аналог отечественному диоду (если в библиотеке симулятора таких диодов нет).

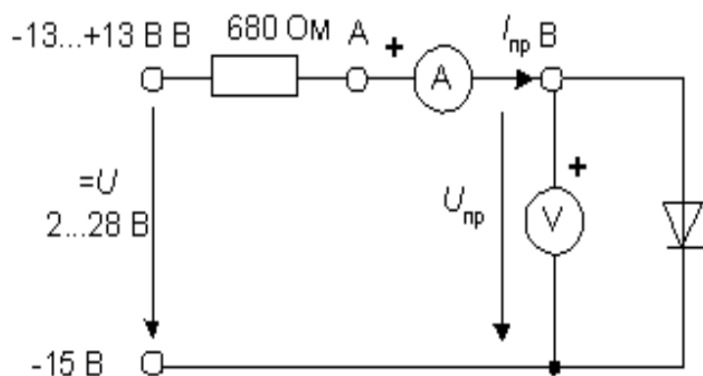
2.1. Задание

Снять вольт-амперные характеристики выпрямительного диода (типа КД226, 1N5408), импульсного диода (типа КД521, КД522, 1N4148), диода Шоттки (типа 1N5819), светодиода (типа АЛ304), как пример выполнения лабораторной работы. Варианты и параметры диодов взять из Приложения (см. ниже).

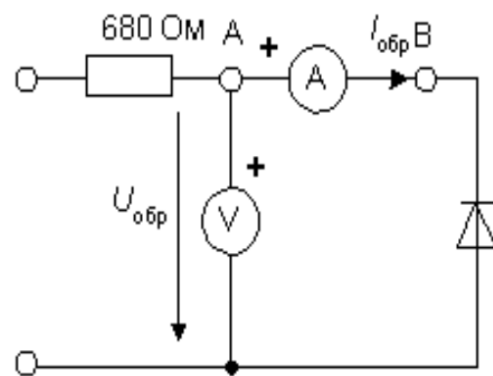
По характеристикам определить основные параметры и сравнить их. На экране осциллографа наблюдать процессы включения и выключения диода, определить время включения и выключения.

2.2. Порядок выполнения эксперимента

1. Соберите цепь (рис. 3, а) для снятия прямой ветви вольт-амперной характеристики диодов. Обратите внимание, что вольтметр этой схеме подключен к точке «В» (после амперметра) и на его показания не влияет падение напряжения на амперметре, которое соизмеримо с прямым падением напряжения на диоде. В то же время ток через вольтметр несоизмеримо мал с прямым током диода и не вносит заметной погрешности в показания амперметра. Величина напряжения питания и балансное сопротивление *рассчитать* по варианту из Приложения 1 по предельным значениям.



а) Прямая полярность



б) Обратная полярность

Рис. 3. Схема принципиальная, для выполнения эксперимента ВАХ

2. Устанавливая (изменяя) величину напряжения питания (DC-power), снимите прямую ветвь вольт-амперной характеристики диода по схеме (рис.3, а), затем, тоже самое для схемы (рис.3, б). Результаты занести в табл. 1.

Таблица 1 (как пример)

Uпит, В		2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Xn
рис.3а	Uпр, В													
	Iпр, мА													
рис.3б	Uобр, В													
	Iобр, мА													

*Примечание: Шкала напряжения в табл.1 выбрать, в зависимости от максимального значения по варианту. Желательно равномерную.

3. Соберите схему (рис. 3, б) для снятия обратной ветви вольт-амперных характеристик, переключив вольтметр в точку А (до амперметра) и перевернув диод в обратном направлении. В этой схеме через амперметр не протекает ток вольтметра, который теперь соизмерим и даже больше обратного тока через диод. В то же время падение напряжения на амперметре ничтожно мало по сравнению с обратным напряжением на диоде. Результаты занести в табл. 1.

4. Устанавливая (изменяя) величину напряжения питания (DC-power), снимите прямую ветвь вольт-амперной характеристики диода по схеме (рис.3, б). Результаты занести в табл. 1. Постройте графики для схем (рис.3, а) и для схемы (рис.3, б).

5. Соберите схему (рис. 5). Частота источника питания двухполярное (положительный и отрицательный полупериоды) по форме: синусоида (1); прямоугольная (2); треугольная (3). Частота генератора должна соответствовать диоду по варианту из Приложения 1, или установить равной 50 Гц; 100 Гц; 500 Гц; 1 кГц; 50 кГц; 100 кГц для исследования.

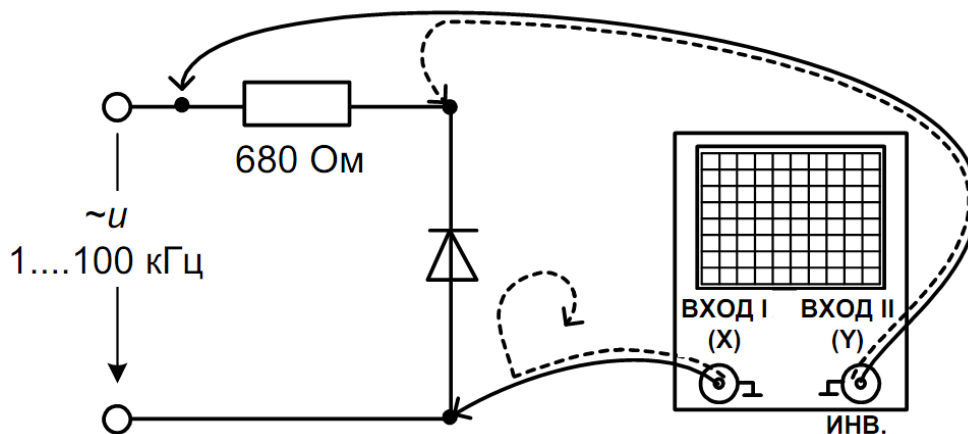


Рис. 5. Схема внешних соединений осциллографа

Добейтесь устойчивой синхронизации, чтобы на экране были видны кривые обоих каналов. Сделать «скрин» с экрана осциллографа и поместить в отчет.

6. Устанавливая (изменяя) величину напряжения питания (AC-power) до максимального значения при заданной частоте. Амперметр на схеме (рис. 5) условно не показан. Снимите показания и занесите в табл. 2. Постройте графики для схем (рис.5).

Таблица 2 (как пример)

U, В		2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Xn
I, мА	(1)													
	(2)													
	(3)													
	и т.д.													

*Примечание: Величина напряжения питания U и балансное сопротивление R_6 по варианту из Приложения 1. Шкала напряжения в табл.2 в зависимости от максимального (значение X_n) по варианту. Градацию выбрать таким образом, чтобы на графике хорошо читалось. График построить в Excel.

7. Настройте изображение, сделать «скрин» осциллограммы в отчет, не забыв указать масштабы (настройки осциллографа) по осям (масштаб по оси тока вычисляется как масштаб напряжения по каналу II, деленный на сопротивление, с которого снимается сигнал).

8. Определите по осциллограмме время включения $t_{\text{вкл}}$ и время выключения $t_{\text{выкл}}$.

2.3. Оформление Отчета

Отчет выполнения лабораторной работы выполнить (в электронном, в бумажном виде) в соответствии со всеми правилами по оформлении технической документации (§4; ГОСТ 7.32-2001).

Файлы моделей схем и расчета приложить к Отчету.

3. Приложения

Приложение 1

Примечание. В MultiSim базы элементов разнятся, в зависимости от ее версии. Поэтому, выбор диода произвести по близким параметрам для отечественного диода.

№ вар.	Диод	Параметры диода
1.	SB320	SI-D-S 20V 3A/100Ap
2.	UF4002	SI-D 100V 1A/50Ap 50ns
3.	MR850	SI-D 50V 3A <200ns
4.	MBR2530	SI-D-S 30V 25A
5.	GP10A..M	SI-D 50..1000V 1A
6.	MBR040	SI-D-S 40V 0.5A
7.	BYW80-..	SI-D 50..200V 10A <35ns
8.	BAX14	SI-D 40V 0.5A <30ns
9.	MBR030	SI-D-S 30V 0.5A
10.	BAV20	SI-D 200V 0.2A/.05Ap 50ns
11.	GP15A..M	SI-D 50..1000V 1.5A
12.	MBR2535	SI-D-S 35V 25A
13.	BYV26A..E	SI-D 200..1000V 1A/30Ap <75ns

14.	BAS19	SI-D 120V 0.2A <50ns
15.	BA318	SI-D 50V 0.1A/0.2Ap 4ns
16.	BYV10-..(A)	SI-D-S 20..60V 1A/25Ap 30ns
17.	BA220	SI-D 10V 0.2A/0.4Ap 4ns
18.	1N914	SI-D 100V 75mA 0.5W 4ns
19.	1N5400	SI-D 50V 3A/200Ap
20.	BA481	SI-D-S 4V 30mA 13R 1.1pF
21.	1N4933(GP)	SI-D 50V 1A <200ns
22.	1N3208	SI-D 50V 15A
23.	1N6097	SI-D-S 30V 50A
24.	1N3600	SI-D 50V 0.2A <4ns
25.	1N4154	SI-D 35V 0.2A <4ns
26.	1N6478	SI-D 50V 1A
27.	1N5391	SI-D 50V 1.5A
28.	1N6095	SI-D-S 30V 25A
29.	1N4305	SI-D 75V 0.1A <4ns
30.	BA482	C-D 35V 0.1A 0.7R 1.2pF

Примечание. Условные обозначения в таблице:

SI-D — кремниевый диод;

SI-D-S — кремниевый диод Шоттки;

GE-D — германиевый диод;

C-D — варикап;

A, mA — ток (Ампер; миллиАмпер);

Ap — ток пиковый;

V — напряжение;

W — мощность;

R — сопротивление электрическое;

pF — электрическая емкость, «пико-Фарад, нано-Фарад»;

ns, ms — время «нано-секунд; милли-секунд»;

Приложение 2

Характеристики диодов

Тип прибора	Предельные значения параметров при T=25C			Значения параметров при T=25C				Тк.мах (Тн.) C
	Uобр.макс. (Uобр.и.макс.) В	Iпр.макс. (Iпр.и.макс.) mA	Iпрг. А	fраб. (fмакс.) мГц	Uпр. В	при Iпр. mA	Iобр. mA	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Д101	75 (75)	30	-	200	2,0	2,0	10	125
Д211	(600)	100	-	-	1,0	100	50	125
МД218	1000	100	-	-	1,0	100	75	125
МД218А	1200	100	-	-	1,1	100	50	125
Д223	50	50	0,5	20	1,0	50	1,0	120
Д223А	100	50	0,5	20	1,0	50	1,0	120
Д223Б	150	50	0,5	20	1,0	50	1,0	120
АД110А	30 (50)	10	-	0,005	1,1	10	0,005	85
АД112А	50	300	-	-	3,0	300	100	250

ГД107А	15	20	-	-	1,0	10	20	60
ГД107Б	20	20	-	-	0,4	10	100	60
ГД113А	(115)	15	-	-	1,0	30	250	60
КД102А	250	100	-	-	1,0	50	0,1	100
КД102Б	300	100	-	-	1,0	50	1,0	100
КД103А	50	100	-	-	1,0	50	0,4	100
КД103Б	50	100	-	-	1,2	50	0,4	100
КД104А	300 (300)	10	1,0	-	1,0	10	3,0	70
КД105А	(200)	300	15	-	1,0	300	100	85
КД105Б	(400)	300	15	-	1,0	300	100	85
КД105В	(600)	300	15	-	1,0	300	100	85
КД105Г	(800)	300	15	-	1,0	300	100	85
КД205К	100	700	-	0,005	1,0	-	100	85
КД205Л	200	700	-	0,005	1,0	-	100	85
Д214Б	(100)	5000	50	1,1	1,5	5,0	3,0	130
Д215Б	(200)	5000	50	1,1	1,5	5,0	3,0	130
Д231	(300)	10000	100	1,1	1,0	10,0	3,0	130
Д231А	(300)	10000	100	1,1	1,0	10,0	3,0	130
Д231Б	(300)	5000	50	1,1	1,5	5,0	3,0	130
Д232	(400)	10000	100	1,1	1,0	10,0	3,0	130
Д243	(200)	10000	-	1,1	1,25	10,0	3,0	130
Д243А	(200)	10000	-	1,1	1,0	10,0	3,0	130
Д243Б	(200)	5000	-	1,1	1,5	5,0	3,0	130
Д245	(300)	10000	-	1,1	1,25	10,0	3,0	130
Д245А	(300)	10000	-	1,1	1,0	10,0	3,0	130
Д246А	(400)	10000	-	1,1	1,0	10,0	3,0	130
Д246Б	(400)	5000	-	1,1	1,5	5,0	3,0	130
Д303	(150)	3000	4,5	5,0	0,3	3,0	1,0	80
Д303А	(150)	3000	-	5,0	0,35	3,0	1,2	55
Д304	(100)	5000	12,5	5,0	0,25	5,0	2,0	80
Д305	(50)	10000	40	5,0	0,3	10,0	2,5	80
КД206А	400 (400)	10000	100	1,0	1,2	1,0	0,7	125
КД206Б	500 (500)	10000	100	1,0	1,2	1,0	0,7	125
КД206В	600 (600)	10000	100	1,0	1,2	1,0	0,7	125

4. Контрольные вопросы

1. Почему у диода Шоттки пороговое напряжение меньше, чем у выпрямительного диода и импульсного диода, а обратный ток больше?
2. Какой из испытанных диодов имеет наименьшее быстродействие и почему?
3. Чем отличается вольт-амперная характеристика диода, снятая при высокой частоте, от статической характеристики?