

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

Уральский Государственный Лесотехнический Университет

**С.П. Санников, Г.Ж. Ордуянц**

**АНАЛОГОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

**1. Исследование характеристик полупроводниковых диодов  
на постоянном и переменном токе**

Методические указания к лабораторным работам

Часть 1

Екатеринбург, 2022 г.

## Содержание

1. Общие сведения
2. Экспериментальная часть
  - 2.1. Задание
  - 2.2. Порядок выполнения эксперимента
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.

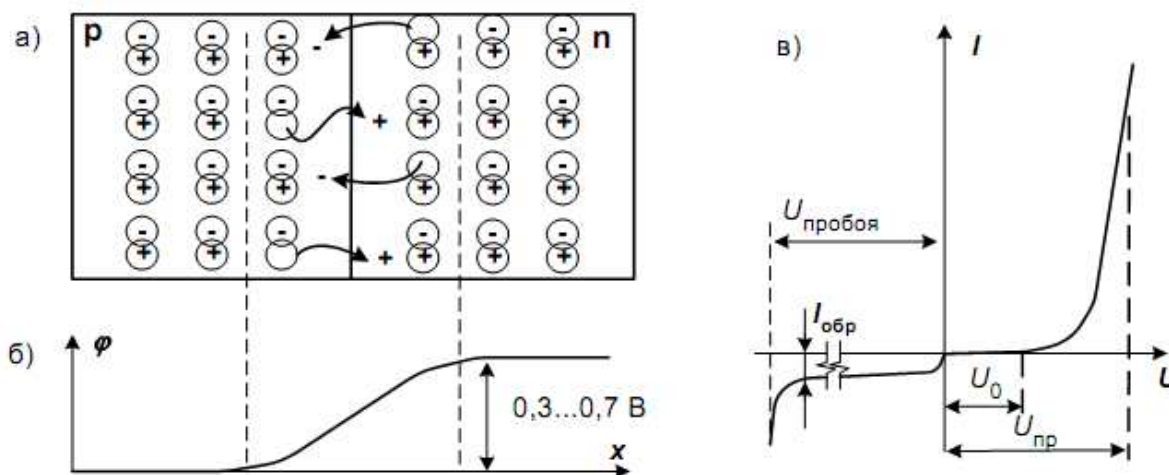


Рис. 1. Потенциальный барьер (а) и характеристики (б, в)

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.).

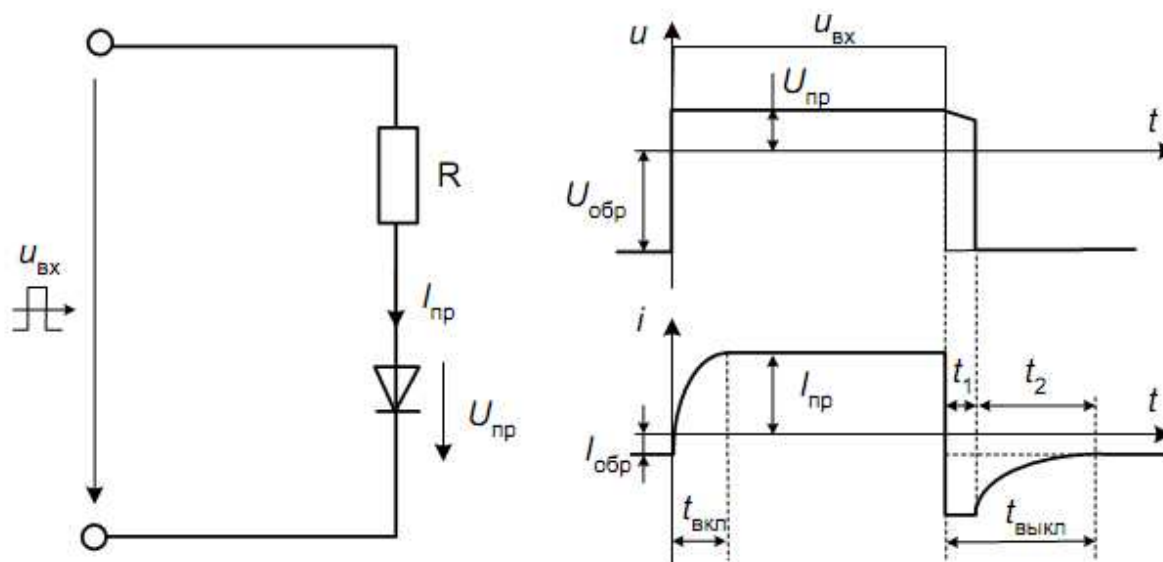


Рис. 2. Переходные характеристики при исследовании диода

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

$t_{\text{выкл}} = t_1 + t_2$ . 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 Шотки (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 пронаблюдать 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 по варианту из Приложения 1.

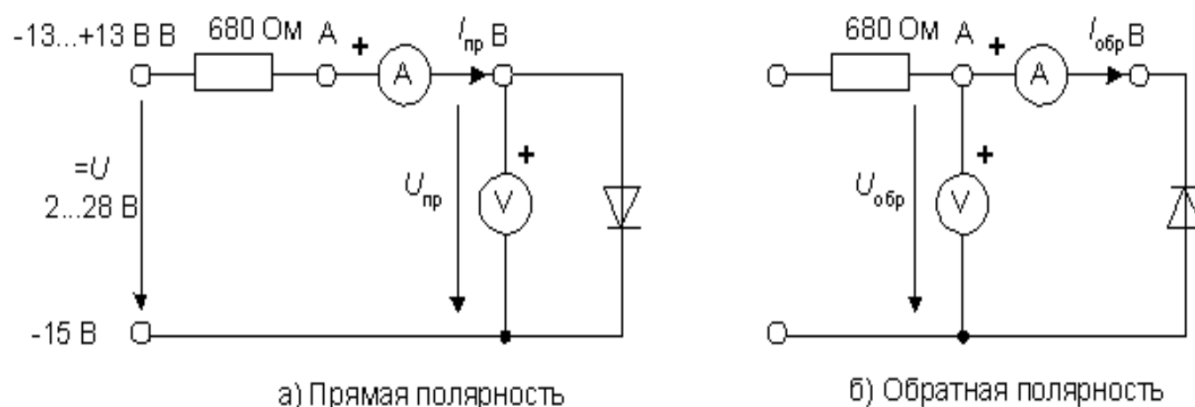


Рис. 3. Схема принципиальная, для выполнения эксперимента ВАХ

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)

Упит, В		2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Xп
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 указана в Приложении 1.

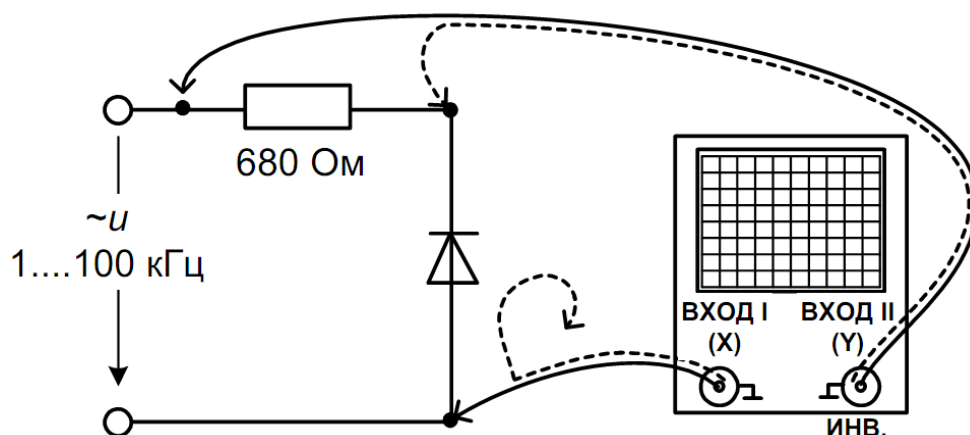


Рис. 5. Схема внешних соединений осциллографа

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)													

\*Примечание: Величина напряжения питания и балансное сопротивление по варианту из Приложения 1. Шкала напряжения в табл.2 в зависимости от максимального по варианту.

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  $t_{\text{выкл}}$ .

### 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.

Вариант	Компонент	Зарубежный	Отечественный	$U_{пт., В}$	$R_{баланс.}$	Частота, Гц
1.	Диод	FJH1102 (1N1102)	КД102А	250	2,5 кОм	100000
2.	Диод	1N4001	Д226В	300	680 Ом	50000
3.	Диод	0507 (1N3228)	КД105Г	800	10 Ом	60
4.	Диод	0604 (BR106A) (1N4438)	КД206В	600	60 Ом	50
5.	Диод	100D10	МД218	800	180 Ом	40000
6.	Диод	100R48	КД411Г	15	680 Ом	20000
7.	Диод	100R5B	КД411ГМ	35	680 Ом	40000
8.	Диод	100K10 (1N3282)	МД218	1000	100 Ом	1000
9.	Диод	101P02	Д215Б	200	42 Ом	100
10.	Диод	10CTQ169	КД238ВС	20	680 Ом	2000
11.	Диод	10F5	Д304	100	20 Ом	30000
12.	Диод	10L60	КЦ105В	100	680 Ом	50000
13.	Диод	10PM2	Д243	150	15 Ом	100
14.	Диод	10PM4	Д246Б	100	20 Ом	100
15.	Диод	10PM6	КД206В	600	60 Ом	100
16.	Диод	10R10B (S210)	МД218А	1200	12 кОм	50000
17.	Диод	10R6B	Д211	600	6,0 кОм	40000
18.	Диод	10S20	КЦ106Д	35	680 Ом	30000
19.	Диод	10SP04	Д231Б	300	60 Ом	1000
20.	Диод	10SP06	Д223Б	150	3,0 кОм	50000
21.	Диод	10SR01	Д214Б	100	20 Ом	1000
22.	Диод	10TQ045	КД271Б	32	680 Ом	40000
23.	Диод	10A400	Д232	400	40 Ом	5000
24.	Диод	10A400 (1N5209)	Д223А	100	2,0кОм	100000
25.	Диод	10CTQ169	КД238ВС	20	680 Ом	2000
26.	Диод	11R2S (1S162) (1N4002)	Д243	200	20 Ом	1000
27.	Диод	11R3S (1S163)	Д245	300	30 Ом	1000
28.	Диод	11R4S (1N4437)	Д246Б	400	80 Ом	1000
29.	Диод	13193 (1S032) (1N3193)	КД205Л	200	280Ом	15000
30.	Диод	SD11	Д101	75	2,5 кОм	15000
31.	Диод	1N4001	Д226В	30	680 Ом	1000
32.	Диод	10PM6	КД206В	50	60 Ом	100
33.	Диод	10A400	Д232	400	40 Ом	500
34.	Диод	10R6B	Д211	100	260 Ом	200
35.	Диод	10SP04	Д231Б	100	420 Ом	50
36.	Диод	10SP06	Д223Б	150	300 Ом	150

37.	Диод	10A400 (1N5209)	Д223А	100	200 Ом	1000	
38.	Диод	10F5	Д304	100	20 Ом	1000	
39.	Диод	10L60	КЦ105В	100	680 Ом	200	
40.	Диод	11R4S (1N4437)	Д246Б	200	80 Ом	1000	
41.	Диод	10PM6	КД206В	400	300 Ом	1000	
42.	Диод	100R5В	КД411ГМ	100	680 Ом	5000	
43.	Диод	10SR01	Д214Б	100	120 Ом	1000	
44.	Диод	10TQ045	КД271Б	50	680 Ом	40000	
45.	Диод	10PM6	КД206	15	320 Ом	500	

## 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	Ипр.макс. (Ипр.и.макс.) mA	Ипрг. А	fраб. (fмакс.) мГц	Uпр. В	при Ипр. mA	Ioобр. 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 Шотки 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?