

# Лабораторная работа 1

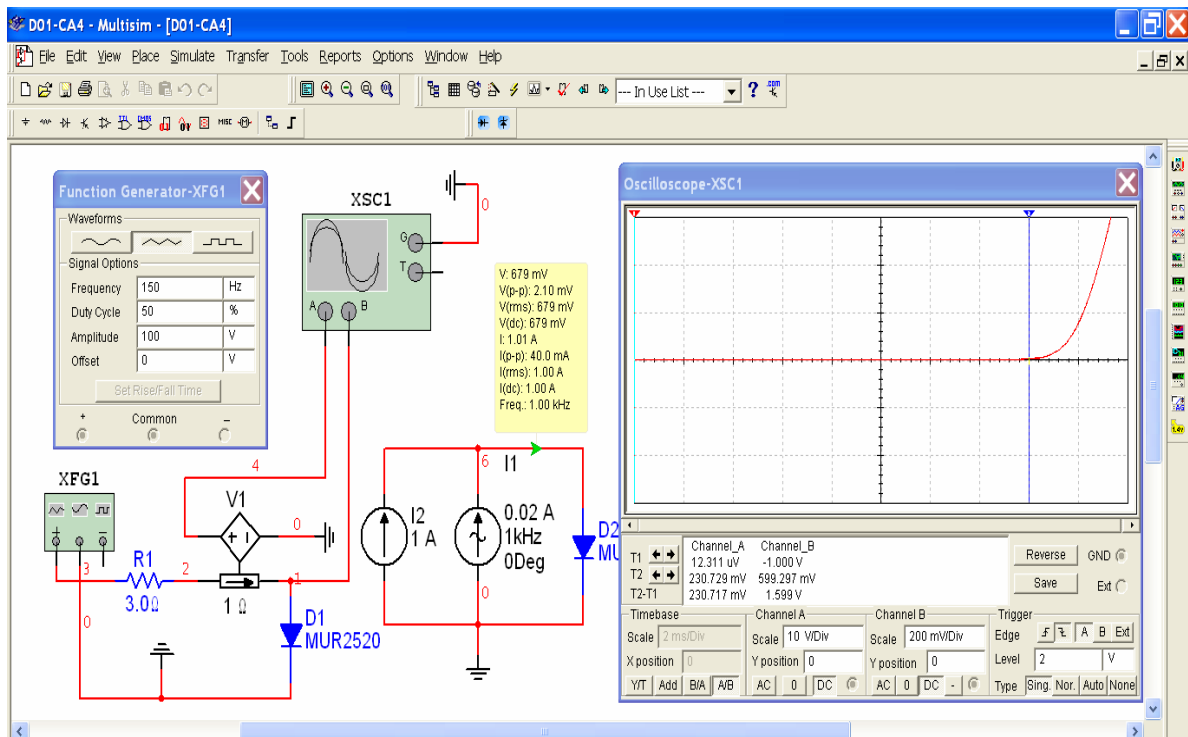
## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

*Цель работы:* получение вольт-амперных и переходных характеристик полупроводниковых диодов, определение по ним статических и динамических параметров.

### Описание виртуальной лабораторной установки и методики измерений

Лабораторная установка для исследований, предусмотренных содержанием работы, показана на рис. 1. Она содержит:

- функциональный генератор сигналов (Function Generator – XFG1);
- двухлучевой осциллограф (Oscilloscope – XSC1);
- модели реальных односторонних диодов;
- датчик V1 тока, протекающего через диод D1;
- идеальные источники переменного синусоидального  $I_1$  тока и постоянного тока. Амплитуда переменного тока 0,02 А, частота 1 кГц;
- ограничительное сопротивление R1, равное 3 Ом, и задающее прямой ток диода;
- измерительный пробник.



а

б

Рис. 1. Установка для исследований силовых диодов (а) и график ВАХ (б)

Снятие ВАХ диодов осуществляется в два этапа. На первом получают изображение ВАХ диодов на экране осциллографа следующим образом. Функциональный генератор сигналов XFG1 формирует переменное треугольное напряжение амплитудой 1 В, частотой 150 Гц. Отрицательная часть этого напряжения реализует режим обратного смещения диода D1, а положительная часть создает прямой ток диода. Импульсы прямого тока  $i_{D1}$ , следующие с частотой 150 Гц, преобразуются датчиком тока V1 в пропорциональное напряжение  $u_A = i_{D1} \cdot R_{V1}$ , где  $R_{V1}$  – передаточное сопротивление датчика тока, поступающее на канал «А» осциллографа XSC1. Так как сопротивление  $R_{V1}$  равно 1 Ом, то напряжение  $u_A$  численно совпадает с током исследуемого диода. В режиме развертки «А/В» при значениях прочих регулировок осциллографа XSC1, соответствующих рис. 1, на его экране воспроизводится изображение зависимости  $u_A = f(u_D)$ , численно совпадающей с ВАХ диода D1. При этом на правой полуплоскости экрана располагается прямая ветвь ВАХ диода D1 (рис. 1), а на левой полуплоскости – обратная (непроводящая) ветвь. Визирная линия отмечает на экране пороговое напряжение  $U_{го}$  (точку перегиба ВАХ), составляющее примерно 0,6 В.

На втором этапе измеряются координаты точек прямой ветви ВАХ диода D2, идентичного диоду D1, путем задания с помощью источника тока I2 значений прямого тока  $i_{D2}$  и регистрации соответствующих им значений напряжения  $V_{dc}$  измерительным пробником, подключенным в анодную цепь диода D2. Задавая значения прямого тока  $i_{D2}$ , важно не пропустить точку перегиба ВАХ, предварительно измеренную с помощью визирной линии на экране двухлучевого осциллографа XSC1.

Для определения динамического сопротивления диода D2 в режиме малых приращений токов и напряжений в различных точках прямой ветви ВАХ в состав виртуальной установки введен источник переменного тока I1 частоты 1 кГц с амплитудой 0,02 А, малой в сравнении с величинами постоянного тока диода D2, задаваемого источником тока I1. Динамическое сопротивление определяется по показаниям измерительного пробника:  $r_d = V_{(p-p)} / 0,02$ .

Для измерения координат обратной ветви ВАХ диода D2 необходимо заменить в установке (рис. 1) источник прямого тока I2 на источник обратного напряжения (источник тока I1 из схемы исключить), изменять его величину и с помощью измерительного пробника регистрировать значения обратного напряжения  $V_{dc}$  и обратного тока  $I_{dc}$  диода D2.

Схема для снятия переходной характеристики запирающих диодов приведена на рис. 2. Функциональный генератор сигналов XFG1 формирует последовательность импульсов напряжения прямоугольной формы с амплитудой 10 В и частотой повторения 150 Гц. Она периодически коммутирует диод D1 в проводящее и непроводящее состояние. Как видно из осциллограммы тока диода (рис. 3), при его

щее состояние. Как видно из осциллограммы тока диода (рис. 3), при его коммутации появляется обратный выброс, длительность которого определяет время обратного восстановления  $t_{rr}$ .

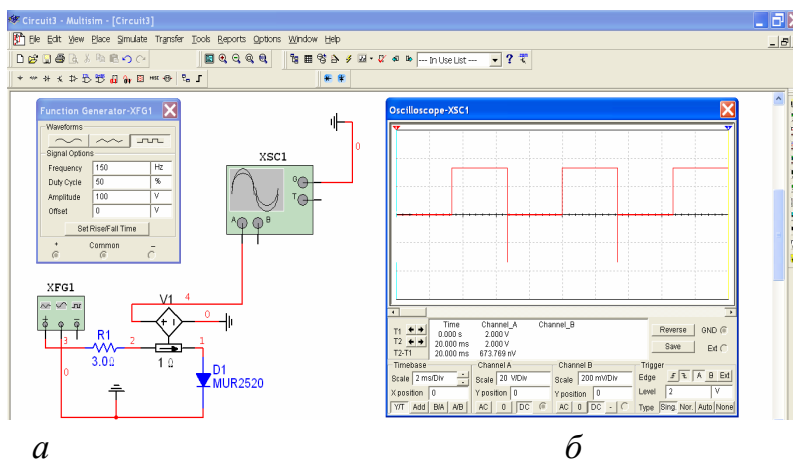


Рис. 2. Установка для измерения динамических параметров силовых диодов (а) и осциллограмма коммутации диодного тока (б)

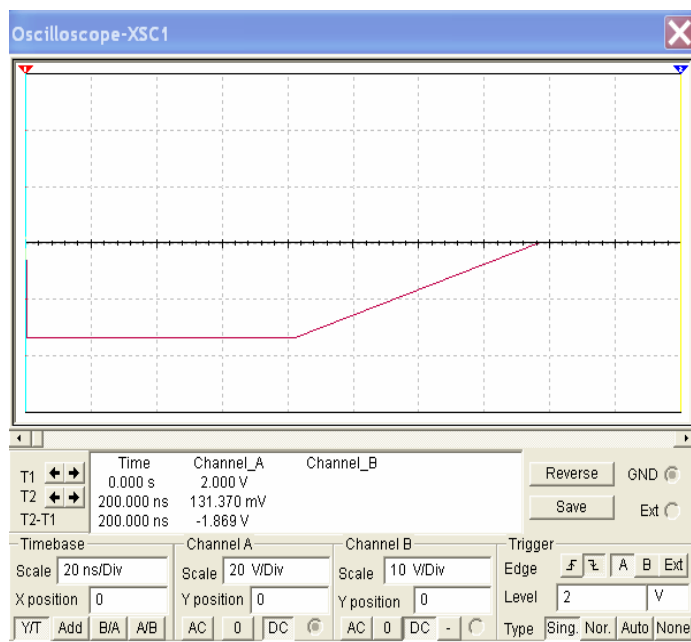


Рис. 3. Осциллограмма переходного процесса восстановления запирающих свойств силового диода MUR2520

Эту длительность можно измерить путем установки скорости горизонтальной развертки осциллографа, равной 20 ns/div. Например, из осциллограммы на рис. 3 видно, что время рассасывания  $t_s$  зарядов у диода при обратном токе 33,57 А составляет 80 нс, а время спада обратного тока равно 75 нс. Таким образом, время обратного восстановления диода

$$t_{rr} = t_s + t_f = 80 + 75 = 155 \text{ нс.}$$

Заряд восстановления запирающих свойств диода определяется как

$$Q_{rr} = I_{rr} \cdot t_s + 0,5 I_{rr} \cdot t_f = 33,57 \cdot (80 + 0,5 \cdot 75) = 369 \text{ мкКул.}$$

Заметим, что  $Q_{rr} = Q_s + Q_f$ ,

где  $Q_s$  - заряд рассасывания неосновных носителей,  $Q_f$  - заряд спада обратного тока (рис. 4).

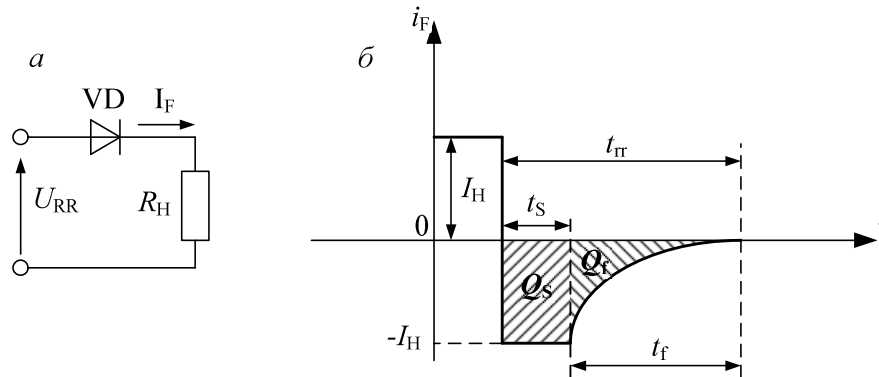


Рис. 4. Испытательная схема (а) и временная диаграмма спада обратного тока (б) диодов

### Рабочее задание

1. Собрать схему виртуальной лабораторной установки (рис. 1) и выбрать из библиотеки компонентов диод 1N3064, ввести этот диод в состав установки взамен диодов D1 и D2 типа MUR2520, показанного на рис. 1 и рис. 2. Настройки генератора: амплитуда импульсов - 7 В, частота импульсов – 100 Гц.

2. Установить органы управления двухлучевым осциллографом (пример показан на рис. 1) и включить виртуальную лабораторную установку. На ВАХ, появившейся на экране, по горизонтали отсчитывается напряжение на диоде, по вертикали – прямой ток. С помощью визирной линии определите величину порогового напряжения диода – максимально возможное напряжение на диоде, при котором ток примерно равен нулю.

Замечание: осциллограф перевести в режим А/В, установить смещение по каналу А на уровне -1 дел., по каналу В на уровне -2 дел. для лучшей визуализации характеристики.

3. Снять по точкам прямую ветвь ВАХ диода D2, устанавливая последовательно источником прямой ток  $I_F$  диода в количестве 7 значений и измеряя пробником прямые напряжения  $U_F$  диода. Результаты измерений занести в табл. 2 и построить по ним график прямой ветви ВАХ.

4. Для указанных в табл. 2 значений прямого тока измерить с помощью пробника переменную составляющую  $V_{(p-p)}$  прямого напряжения выпрямительного диода и рассчитать его динамическое сопротивление для этих значений прямого тока.

5. Заменить в схеме установки (рис. 1) источник тока  $I_2$  на источник обратного напряжения. Снять по точкам обратную ветвь ВАХ диода D2, устанавливая этим источником значения напряжения  $U_r$  (табл. 2), и измеряя пробником обратный ток  $I_r$ . Результаты измерений занести в табл. 2 и построить график обратной ветви ВАХ для D2.

## Результаты измерений и расчетов

$i_F, A$							
$V_F, B$							
$U_{TO}, B$							
$V_{(p-p)}, MB$							
$r_d, Ом$ (расчет)							
$U_r, B$							
$I_r, мкА$							

6. Провести аналогичные измерения и построения для стабилитрона 1N4464 и диода Шотки 1N5820.

7. Собрать схему рис. 2, а для измерения динамических параметров диодов 1N3064 и 1N5820, установить органы управления осциллографом XSC1 (пример показан на рис. 2, б); перевести генератор сигналов в режим формирования выходного переменного напряжения прямоугольной формы с амплитудой 3 В и частотой следования 150 Гц. Включить моделирующую установку и снять осциллограмму коммутации тока (рис. 3).

7. Подбором соответствующей скорости развертки получить осциллограммы переходного процесса коммутации тока диодов. Определить по ним время рассасывания  $t_S$ , время спада обратного тока  $t_f$ , время обратного восстановления  $t_{rr}$  и амплитуду обратного тока у диода; рассчитать заряд  $Q_{rr}$ . Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.

Таблица 3

## Результаты измерений и расчетов динамических параметров

Диод	Параметры					
	$t_S$	$t_f$	$t_{rr}$	$Q_S$	$Q_f$	$Q_{rr}$
	нс			мкКул		
1N4461						
1N5820						

## Содержание отчета

1. Схемы установок (рис. 1 и 2).
2. Осциллограммы и графики ВАХ исследуемых диодов.
3. Таблицы 1, 2 и 3.
4. Осциллограммы переходных процессов запириания исследуемых диодов.