

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра МИТ**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе № 1**  
**по дисциплине «Основы электроники и радиоматериалы»**  
**ТЕМА: СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**  
**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА**  
**ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДОВ**

Студент гр. 9191

\_\_\_\_\_

Добжанский К.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Буянтуев Б. С.

Санкт-Петербург

2021

## Цель работы:

Цель данной лабораторной работы заключалась в том, что было необходимо провести анализ прямой ветви вольт-амперных характеристик трех диодов, включенных в электрическую цепь, изучив при этом статистические характеристики полупроводниковых диодов и рассмотрев влияние температуры на вольт-амперные характеристики диодов.

## Основные теоретические положения.

На рисунке 1.1 представлено схематическое изображение структуры  $p$ - $n$ -перехода (а) и его вольт-амперная характеристика (б). Обратный ток перехода  $I_0$  для кремниевых  $p$ - $n$ -переходов составляет обычно доли или единицы миллиампер, для германиевых - микроампер.

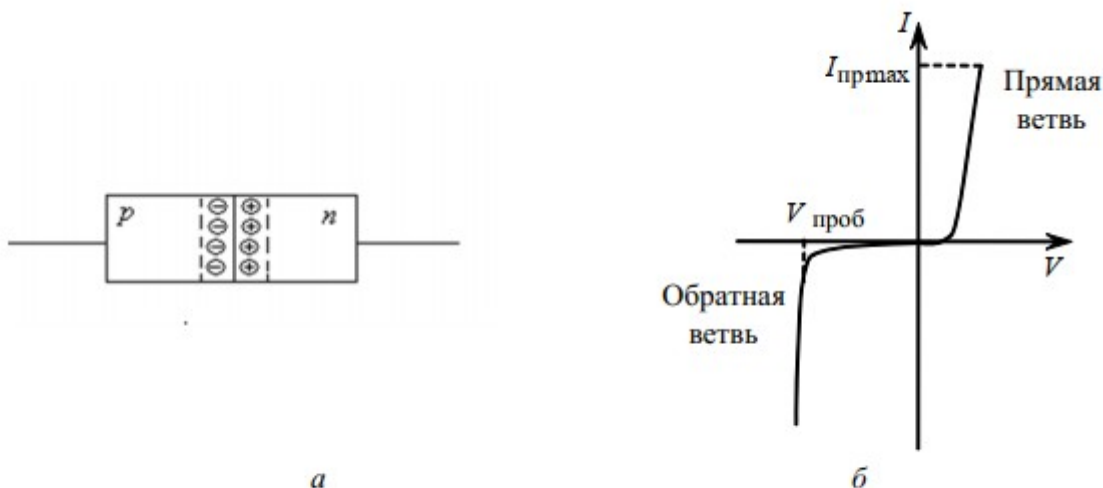


Рисунок 1.1 - Схематическое изображение структуры  $p$ - $n$ -перехода (а) и его вольт-амперная характеристика (б)

Выражение для прямого тока  $I$  через переход представляют в виде

$$I = I_0 \exp(V/\phi_0),$$

где  $V$  - прямое напряжение на переходе;  $\phi_0 \approx 25$  мВ - температурный потенциал при 20 °С. Если обратное напряжение,

приложенное к  $p$ - $n$ -переходу, превосходит некоторое предельное значение, то возникает пробой перехода.

## Экспериментальные результаты

### 1.1. Построение прямой ветви вольт-амперных характеристик диодов

Построение прямой ветви вольт-амперных характеристик (ВАХ) диодов выполняется при использовании схемы, представленной на рисунке 1.2. Диоды  $D_1$  (кремниевый, модель 1N4148),  $D_2$  (германиевый, модель 10TQ045\_IR) и  $D_3$  (диод Шоттки, модель 1N5819) через токоограничивающие резисторы  $R_1 = 2000 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2000 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 2000 \text{ Ом}$  подключены к источнику напряжения  $V1$  с номиналом в 20В в прямом направлении ( $p$ -слой – к «плюсу»,  $n$ -слой – к «минусу» источника). При напряжении на диоде, компенсирующем контактную разность потенциалов, через  $p$ - $n$ -переход проходит прямой ток.

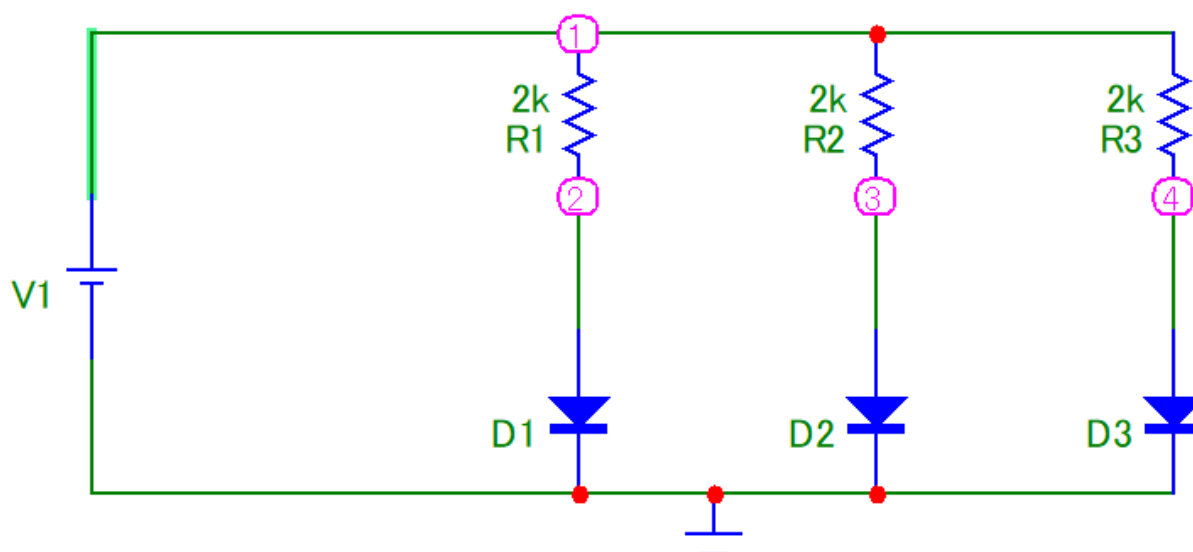
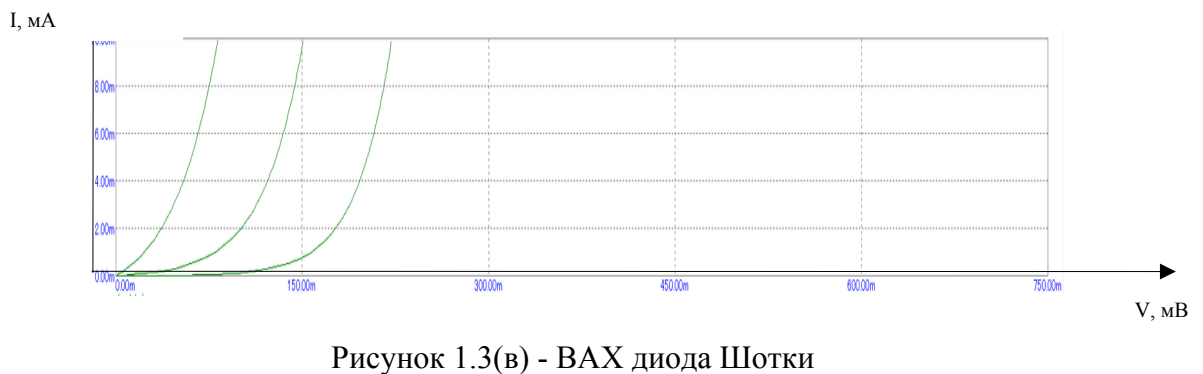
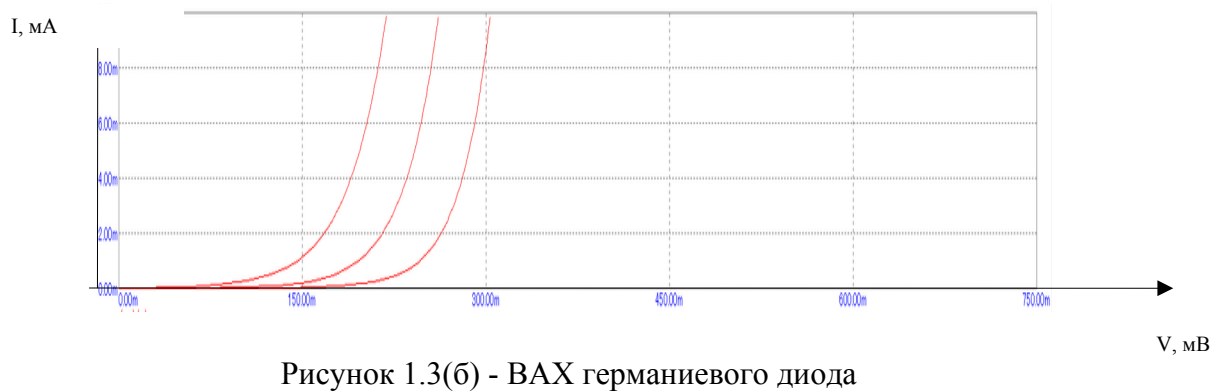
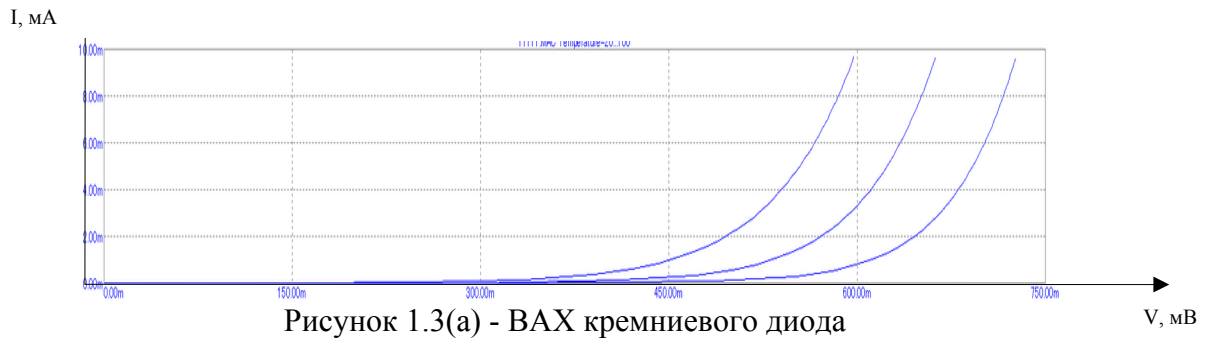


Рисунок 1.2 - Общая схема цепи

Перейдем в режим анализа ВАХ диодов по постоянному току (рисунок 1.3).

На трёх графиках, приведенных ниже все горизонтальные оси отвечают за значение  $V(D1)$ ,  $V(D2)$ ,  $V(D3)$  соответственно сверху вниз, а вертикальные оси - значения токов, протекающих через диоды, которые представлены на

«рисунке 1.2».(I(D1), I(D2), I(D3)). Все значения токов приведены в мА, а напряжения в мV. Где  $m = 10^{-3}$



Воспользуемся функцией считывания координат точек на графике с помощью режима электронного курсора, точки на графиках были выбраны в произвольном порядке и заданы в процессе выполнения работы преподавателем, данные с этих точек можно увидеть на рисунке 1.4 (а, б, в), каждый их графиков соответствует своему диоду, на рисунках они подписаны. Их значения и дальнейшие расчеты по ним в таблице ниже.

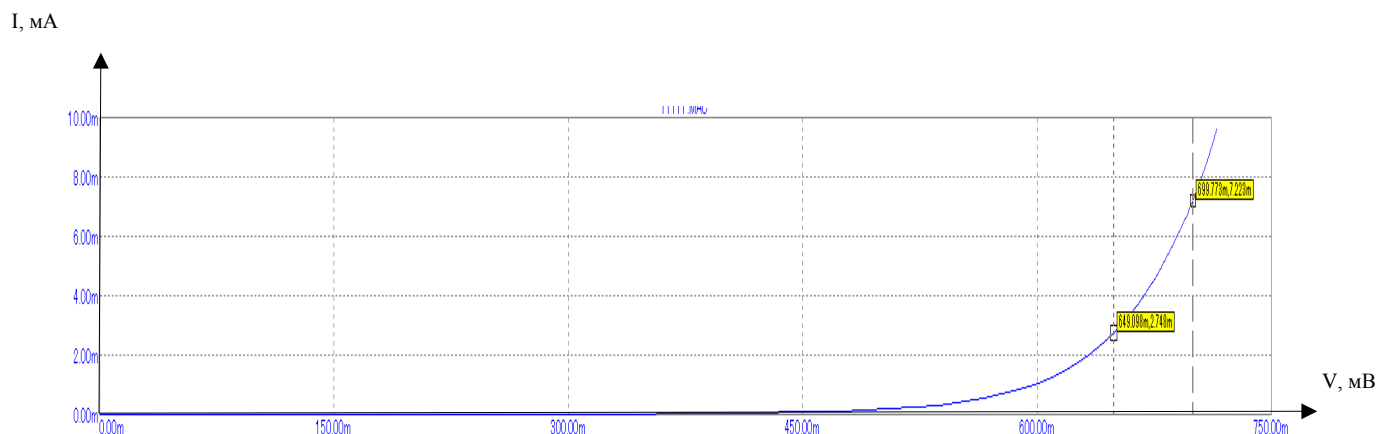


Рисунок 1.4(а) – Зависимость  $I(D1)$  от  $V(D1)$  для кремниевого диода

На рисунке 1.4.(а) построен график для кремниевого диода, вертикальная ось  $I(D1)$ , мА, а горизонтальная ось  $V(D1)$ , мВ. По заданию преподавателя выбираем две точки на графике и их значения заносим в Таблицу 1 в первую строчку для D1.

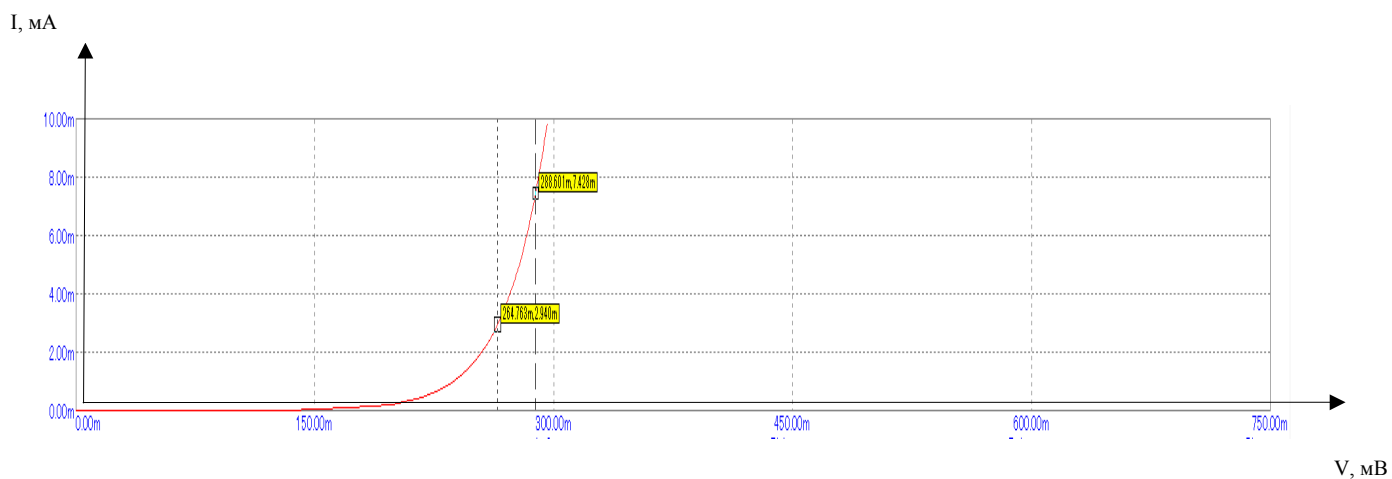


Рисунок 1.4(б) – Зависимость  $I(D2)$  от  $V(D2)$  для германиевого диода

На рисунке 1.4.(б) Построен график для германиевого диода, вертикальная ось  $I(D2)$ , мА, а горизонтальная ось  $V(D2)$ , мВ. По заданию преподавателя выбираем две точки на графике и их значения заносим в Таблицу 1 во вторую строчку для D2.

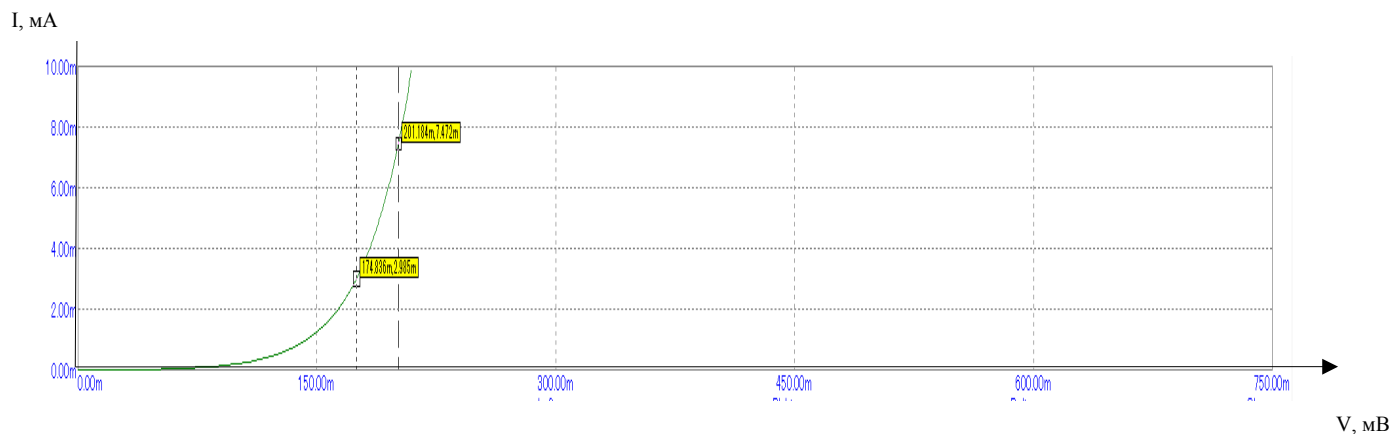


Рисунок 1.4(в) – Зависимость  $I(D3)$  от  $V(D3)$  для диода Шотки

На рисунке 1.4.(в) Построен график для диода Шотки, вертикальная ось  $I(D3)$ , мА, а горизонтальная ось  $V(D3)$ , мВ. По заданию преподавателя выбираем две точки на графике и их значения заносим в Таблицу 1 в третью строчку для  $D3$ .

С помощью маркеров измерим ВАХ трех диодов и занесем в таблицу протокола соответствующие значения.

Таблица 1. Значения токов и напряжений для диодов кремниевого, германиевого и Шотки соответственно.

Диод	Левая точка на графике		Правая точка на графике	
	$I_1$ , мА	$V_1$ , мВ	$I_2$ , мА	$V_2$ , мВ
$D_1$ кремниевый	2,748	649,098	7,223	699,773
$D_2$ германиевый	2,940	264,763	7,428	288,601
$D_3$ Шотки	2,985	174,836	7,472	201,184

Оценим диапазон изменения сопротивления каждого из диодов  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ , где  $I_1$  и  $I_2$  - значения тока и  $V_1$  и  $V_2$  - значения напряжения в заданном интервале.

## Обработка результатов эксперимента

Расчет изменения сопротивления кремневого диода D1. Для этого из таблицы 1, первой строчки, берем значения соответствующих токов и напряжений и по формулам приведенным ниже рассчитываем наши значения.

$$r_1 = V_1 / I_1 = 649,098 / 2,748 = 236,20 \text{ [Ом]}$$

$$r_2 = V_2 / I_2 = 699,773 / 7,223 = 96,88 \text{ [Ом]}$$

Расчет изменения сопротивления германиевого диода. Для этого из таблицы 1, второй строчки, берем значения соответствующих токов и напряжений и по формулам приведенным ниже рассчитываем наши значения.

$$r_1 = V_1 / I_1 = 264,763 / 2,940 = 90,05 \text{ [Ом]}$$

$$r_2 = V_2 / I_2 = 288,601 / 7,428 = 38,85 \text{ [Ом]}$$

Расчет изменения сопротивления диода Шотки. Для этого из таблицы 1, третьей строчки, берем значения соответствующих токов и напряжений и по формулам приведенным ниже рассчитываем наши значения.

$$r_1 = V_1 / I_1 = 174,836 / 2,985 = 58,57 \text{ [Ом]}$$

$$r_2 = V_2 / I_2 = 201,184 / 7,472 = 26,92 \text{ [Ом]}$$

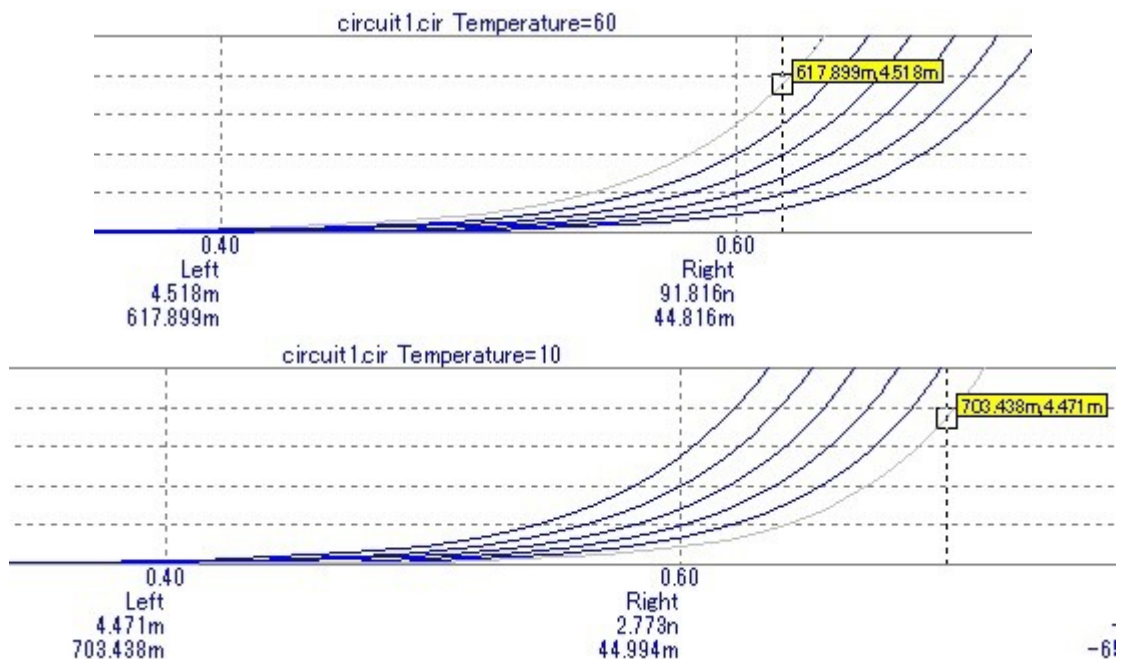


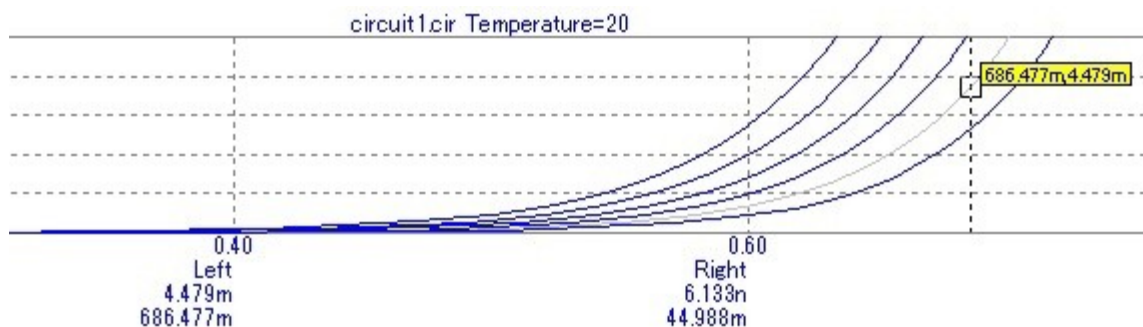
## Вывод по подразделу 1.1

Из полученных ВАХ можно сделать следующий вывод, что из трех типов рассмотренных диодов кремниевые имеют максимальную величину контактной разности потенциалов и изменения сопротивления, диоды Шоттки – минимальную величину, а германиевые занимают промежуточное значение.

### 1.2. Зависимость ВАХ диодов от температуры

Построим семейство ВАХ каждого диода в зависимости от температуры (рисунок 1.5), используя схему, изображенную на рисунке 1.2, где  $I$  - постоянный ток, заданный преподавателем,  $V$  - напряжение на диоде с изменением температуры  $T$ . И данные снятый с графика занесем в соответствующую таблицу.





Рисунки 1.5 - Графики зависимости токов и напряжений кремниевого диода  $I(D)$ ,  $V(D)$  от температуры  $T$ , при постоянном токе,  $I(D) = 4$  мА

По графикам, представленным на рисунке 1.5 снимаем значения напряжений при температурах  $T = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $100^{\circ}\text{C}$  и при постоянном токе, заданным преподавателем  $I(D) = 4$  мА. Значения снимаем только для кремниевого диода, то есть для первого графика, в чем можно убедиться, вернувшись к «рисунку 1.4.(а)» Далее эти значения заносим в таблицу 2 и по этим значениям производим вычисления, представленные ниже. Самый правый график для кремниевого диода  $T = 20^{\circ}\text{C}$ , по середине график  $T = 60^{\circ}\text{C}$ , самый левый  $T = 100^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 2. Зависимость напряжения кремниевого диода от температуры при  $I = const$

$I, \text{ мА (const)}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$	$V(D1), \text{ мВ}$	$V(D2), \text{ мВ}$	$V(D3), \text{ мВ}$
4	20	680,519	280,519	196,104
	60	611,039	235,065	122,078
	100	539,610	189,610	54,545

### Обработка результатов эксперимента

Исходя из снятых значений с рисунка 1.5 и в последствии занесенных их в таблицу 2, выполним расчет изменения напряжения на диоде с изменением температуры на  $1^\circ\text{C}$ , данные расчёты представлены ниже

$$1) \Delta V_1(D1) / \Delta T_1 = 680,519 / 21 = 32,406 \text{ мВ}$$

$$\Delta V_1(D2) / \Delta T_1 = 280,519 / 21 = 13,341 \text{ мВ}$$

$$\Delta V_1(D3) / \Delta T_1 = 196,104 / 21 = 9,338 \text{ мВ}$$

$$2) \Delta V_2(D1) / \Delta T_2 = 611,039 / 61 = 10,017 \text{ мВ}$$

$$\Delta V_2(D2) / \Delta T_2 = 235,065 / 61 = 3,853 \text{ мВ}$$

$$\Delta V_2(D3) / \Delta T_2 = 122,078 / 61 = 2,001 \text{ мВ}$$

$$3) \Delta V_3(D1) / \Delta T_3 = 539,610 / 99 = 5,451 \text{ мВ}$$

$$\Delta V_3(D2) / \Delta T_3 = 189,610 / 99 = 1,915 \text{ мВ}$$

$$\Delta V_3(D3) / \Delta T_3 = 54,545 / 99 = 0,551 \text{ мВ}$$

### Вывод по подразделу 1.2

Из проведенных выше расчётов и измерений можно сделать вывод о том, что при увеличении температуры при поддержании неизменного тока через диод приводит к уменьшению падения напряжения на диоде, в нашем случае кремниевом, что мы можем наблюдать из расчётов, т.к. при температуре в  $20^\circ\text{C}$  значение падения напряжения примерно равно  $34 \text{ мВ}$ , а уже при более высокой температуре, т.е.  $100^\circ\text{C}$ , значение падения напряжения становится меньше практически в 7 раз.

#### 1.4. Задание

В схеме на рисунке 1.2 определим необходимое напряжение источника  $V_1$  для обеспечения в цепи, состоящей из элементов  $R_1$  и  $D_1$ , тока, заданного преподавателем, используя совместные ВАХ диода и резистора. На графике ВАХ диода отмечается точка 1 с заданным током  $I_1$  и определяется соответствующее падение напряжения на диоде  $V_1(D)$  рисунок 1.6. Затем рассчитывается падение напряжения на резисторе  $V_1(R)$  при заданном токе  $I_1$  [ $V_1(R) = I_1 R_1$ ] и откладывается по оси напряжений от точки  $V_1(D)$ . Полученная сумма  $V_1(1) = V_1(D) + V_1(R)$  определяет напряжение, создающее заданный ток в цепи.

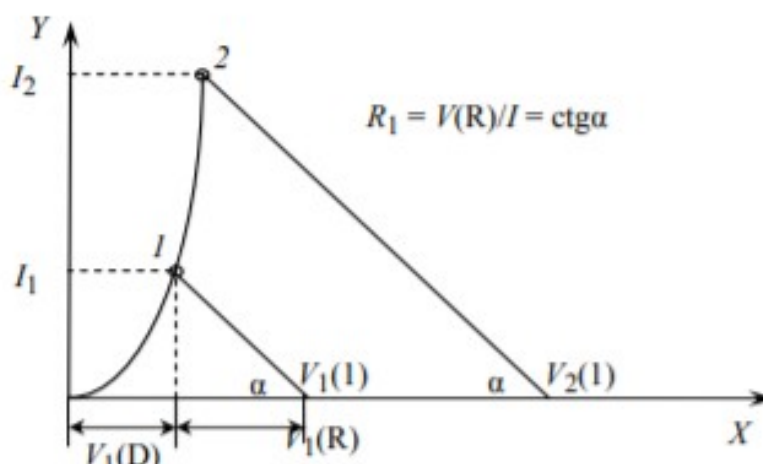


Рисунок 1.6 - График ВАХ диода, по вертикальной оси откладывается  $I$ , по горизонтальной  $V$ .

Наклонная прямая с началом в точке  $V_1(1)$  на оси  $X$ , проходящая через точку 1, является графиком ВАХ резистора, направленным встречно графику ВАХ диода. С ростом заданного тока рабочая точка диода перемещается вверх по графику ВАХ. Прямая ВАХ резистора с углом наклона  $\alpha$  переносится в новую рабочую точку. Ее пересечение с осью  $X$  дает новое значение источника напряжения  $V_2(1)$ .

Все дальнейшие значения для расчётов берутся из Таблица 1 для D1 – кремниевого диода, а значения сопротивлений из расчётов приведенных ниже Таблицы 1, также для кремниевого диода.

$$V1(R) = I1 * R1 = 1,102 * 546,31 = 602,06 \text{ [мВ]}$$

$$V2(R) = I2 * R2 = 6,883 * 101,29 = 697,17 \text{ [мВ]}$$

$$V1(D) = 578,25 \text{ [мВ]}$$

$$V1(1) = V1(D) + V1(R) = 602,06 + 578,25 = 1180,31 \text{ [мВ]}$$

### **Вывод**

В ходе данной лабораторной работы была построена цепь с тремя разными диодами: D1 – кремниевый диод, D2 - германиевый и, соответственно, D3 - диод Шоттки, определена и графически проанализирована их вольт-амперная характеристика. Из ВАХ был сделан вывод, что из трех типов рассмотренных диодов кремниевые имеют максимальную величину контактной разности потенциалов, диоды Шоттки – минимальную величину, а германиевые занимают промежуточное значение. Также изучили зависимость напряжения на диоде от температуры, сделав вывод о том, что при увеличении температуры напряжение на диоде падает при постоянном токе, построили для этого случая ВАХ.