

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

**ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3
ПО ДИСЦИПЛИНЕ:
ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ**

**Исследование характеристик и параметров
полупроводниковых диодов**

Студент _____ Палладий Е.И.

Группа _____ ИУ7-31Б

Название предприятия: НУК ИУ МГТУ им. Н. Э. Баумана

Студент	_____ Палладий Е.И.
Преподаватель	_____ Оглоблин Д.И.

2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы	2
2. Эксперимент 1	3
3. Эксперимент 2	8
4. Эксперимент 3	10
5. Эксперимент 4	15

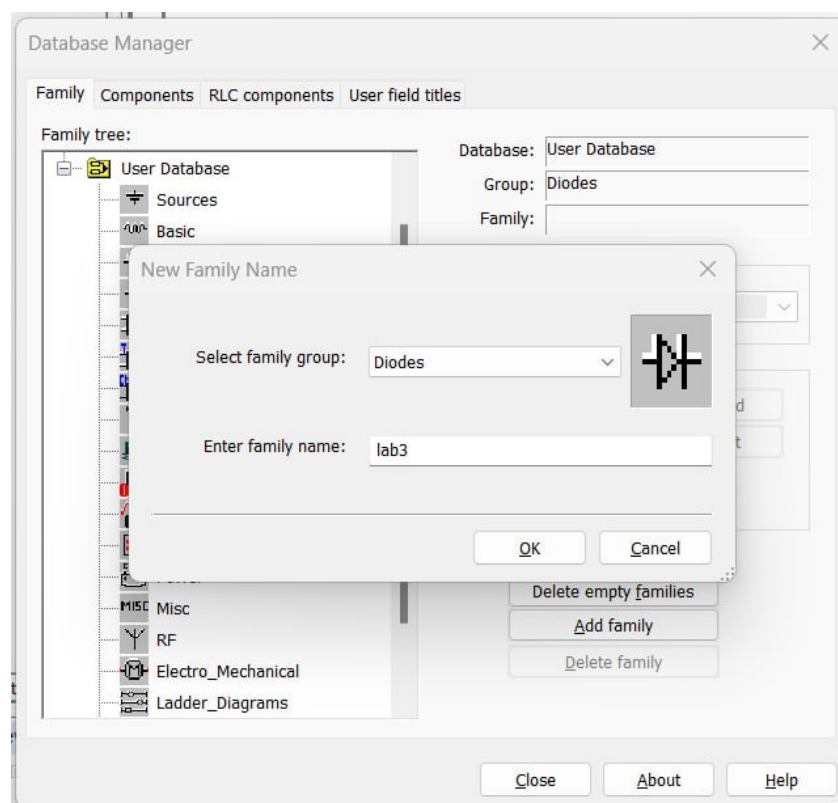
1 Цель работы

Получение и исследование статических и динамических характеристик германиевого и кремниевого полупроводниковых диодов с целью определение по ним параметров модели полупроводниковых диодов, размещения моделей в базе данных программ схемотехнического анализа. Приобретение навыков расчета моделей полупроводниковых приборов в программах *Multisim* и *Mathcad* по данным, полученным в экспериментальных исследованиях, а также включение модели в базу компонентов.

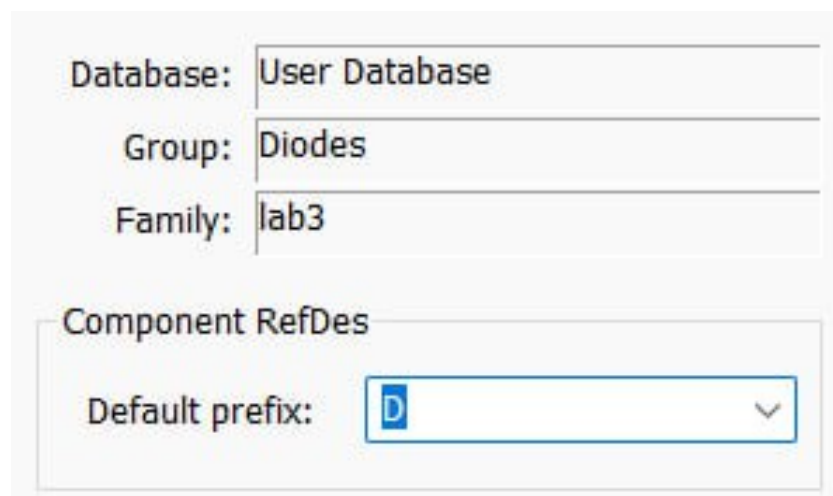
2 Эксперимент 1

Добавление модели полупроводникового диода, описанного в формате *PCPICE*, в базу данных *MULTISIM*

1. Я создал новое семейство компонентов в *User Database* и назвал его *lab3*.



2. Задал схемное обозначение элемента в окне *Component RefDes* как *D*.



3. Запустил мастер создания компонентов (*Component Wizard*).

Component Wizard - Step 1 of 7

Enter component information

Component name: D2d2998d

Function: Полупроводниковый диод

Author name: palladii

☐ Simulation and layout (model and footprint)

☒ Simulation only (model)

☐ Layout only (footprint)

☐ Simulation and PLD export (model and VHDL export)

Component type: Analog

Next > Cancel Help

Component Wizard - Step 2 of 7

Enter footprint information

Footprint manufacturer: Select a footprint

Footprint type:

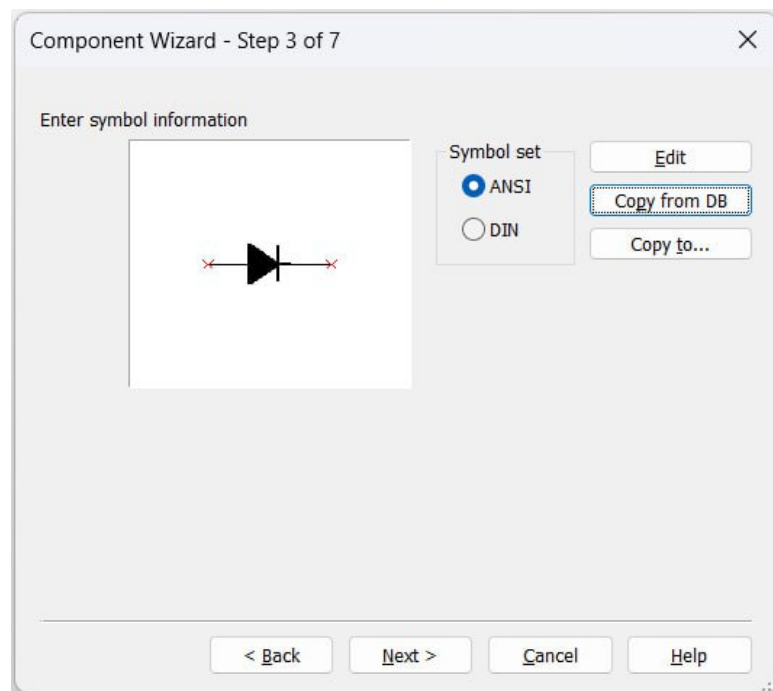
☒ Single section component

☐ Multi-section component

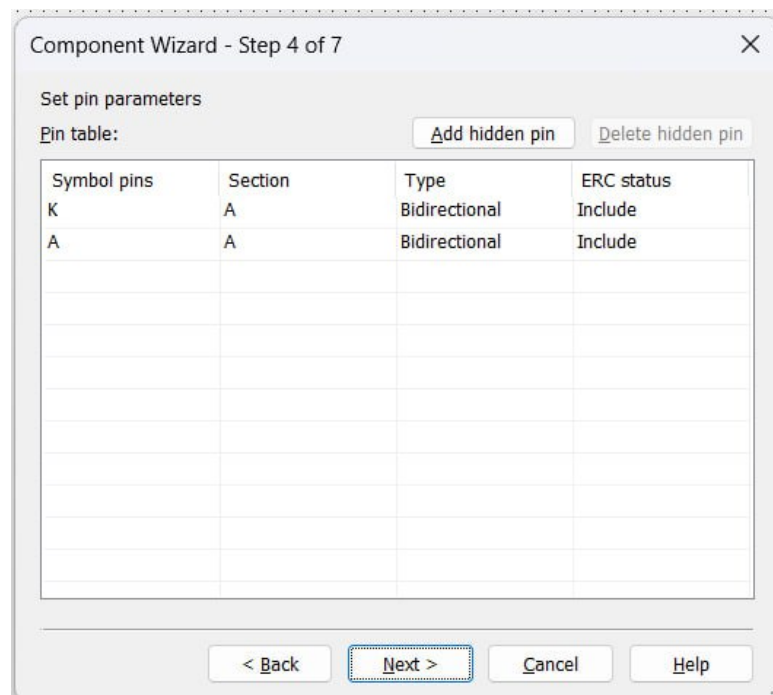
Number of pins: 2

< Back Next > Cancel Help

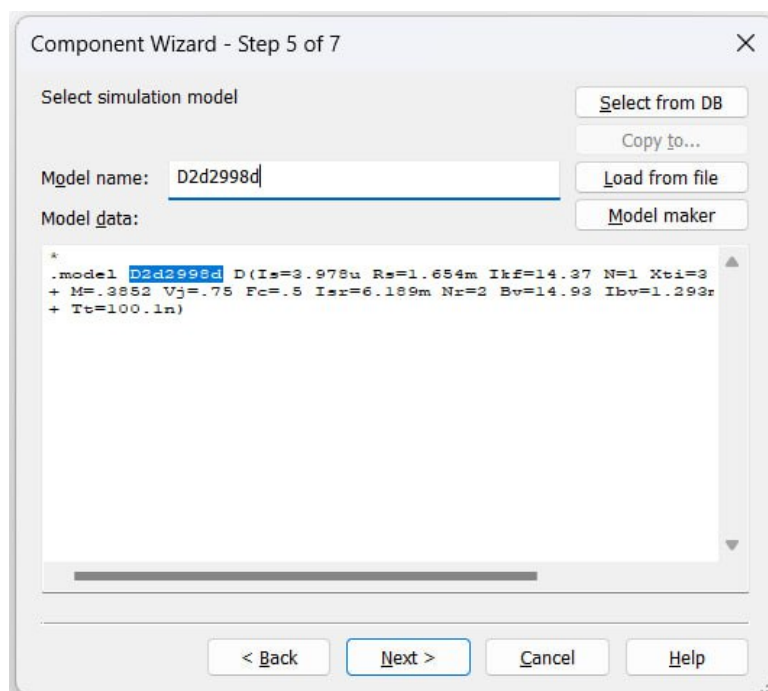
4. Настроил графическое представление компонента.



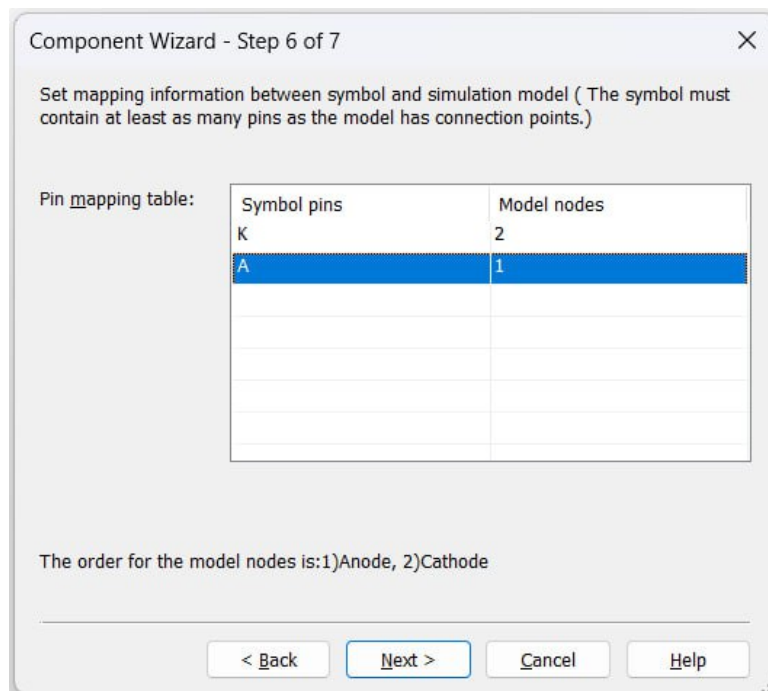
5. Определил параметры выводов компонента.



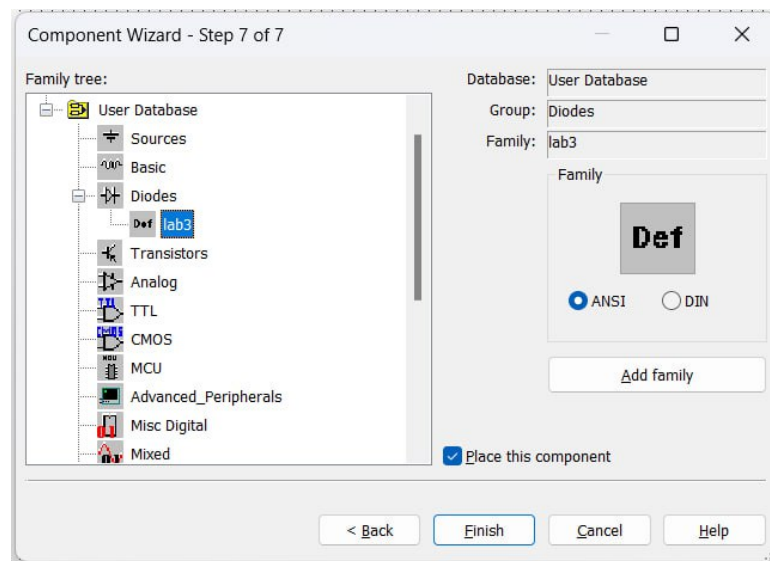
6. Загрузил данные для своего диода D2d2998d.



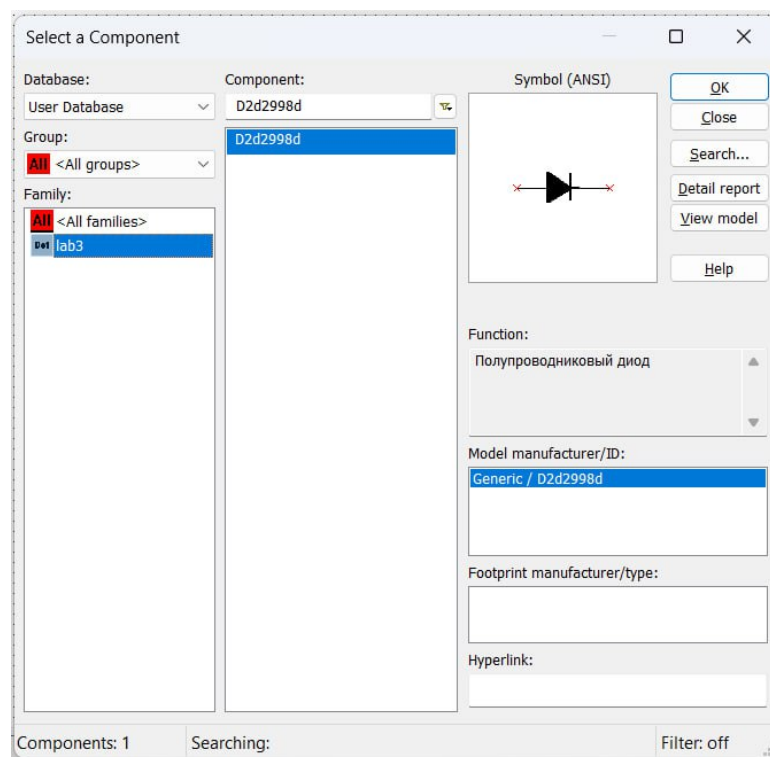
7. Связал символ на схеме с электрической моделью, поменяв местами контакты А и К.



8. Добавил готовый компонент в библиотеку *Multisim*.



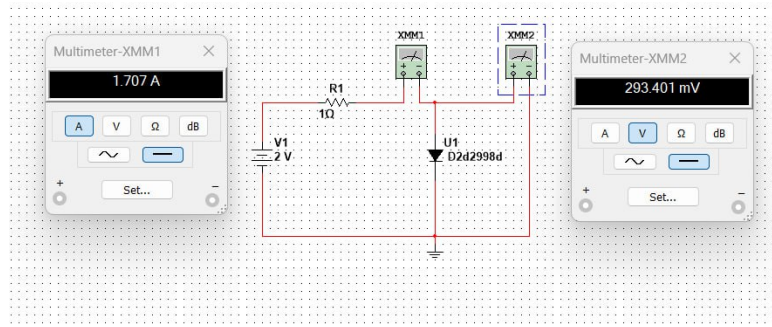
9. Проверил, что диод появился в базе данных.



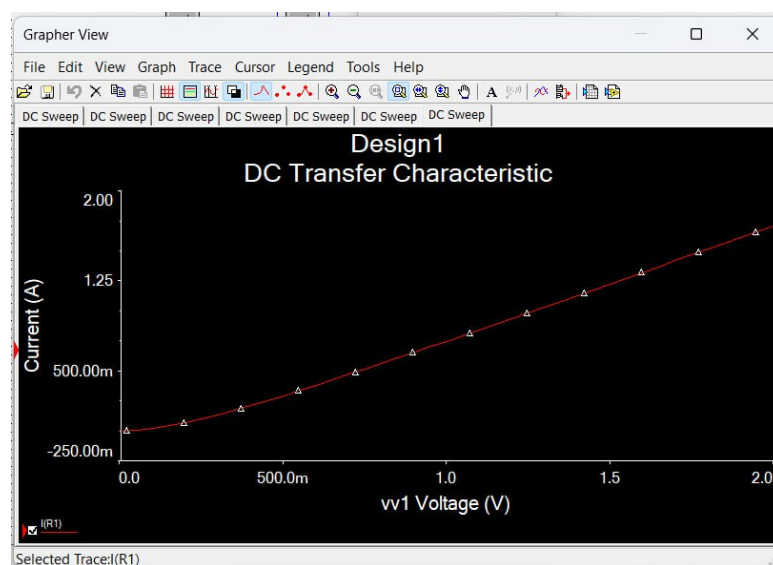
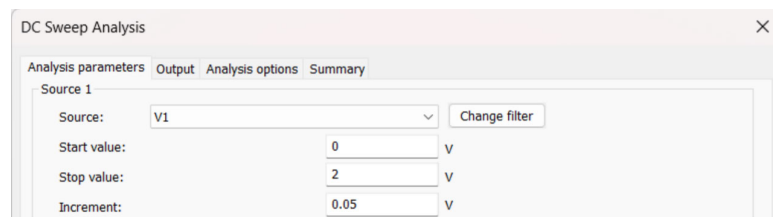
3 Эксперимент 2

Исследование ВАХ полупроводниковых диодов с использованием мультиметров

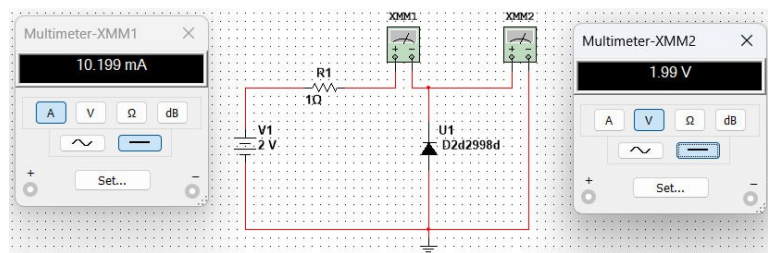
1. Сначала я собрал схему, которая включала два мультиметра, резистор на 1 Ом, источник напряжения на 2 В, заземление и диод KD209A для измерения прямого тока.



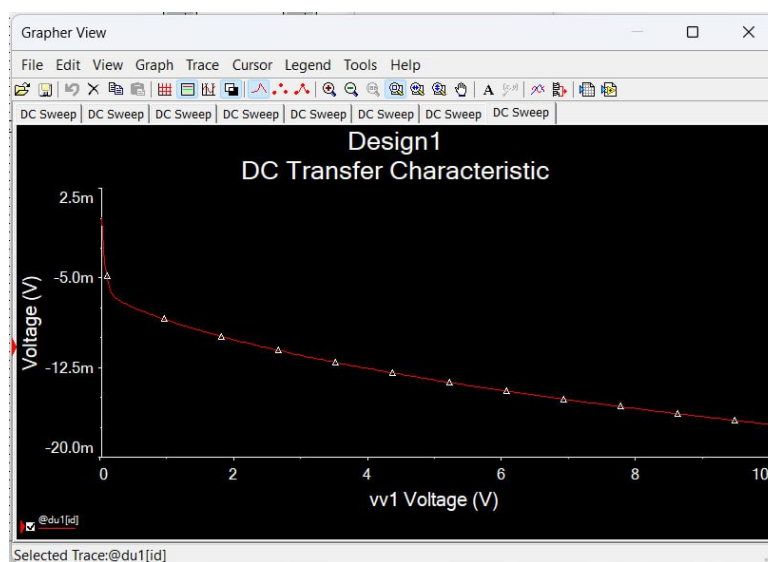
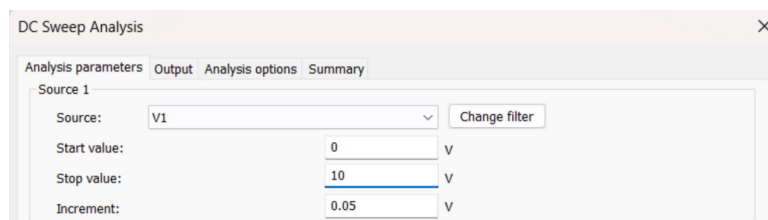
2. Затем провел измерения и построил вольт-амперную характеристику для прямого тока.



3. После этого пересобрал схему для измерения обратного тока, развернув диод.



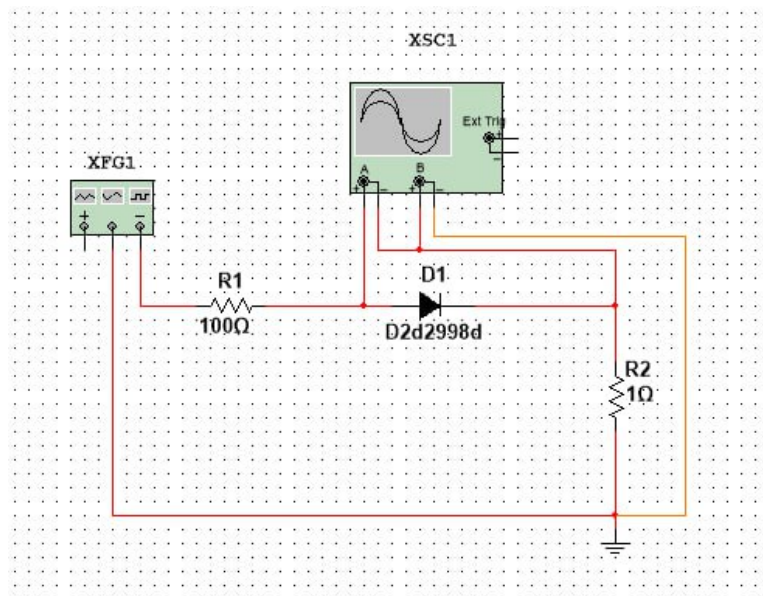
4. Затем выполнил измерения и построил вольт-амперную характеристику для обратного тока.



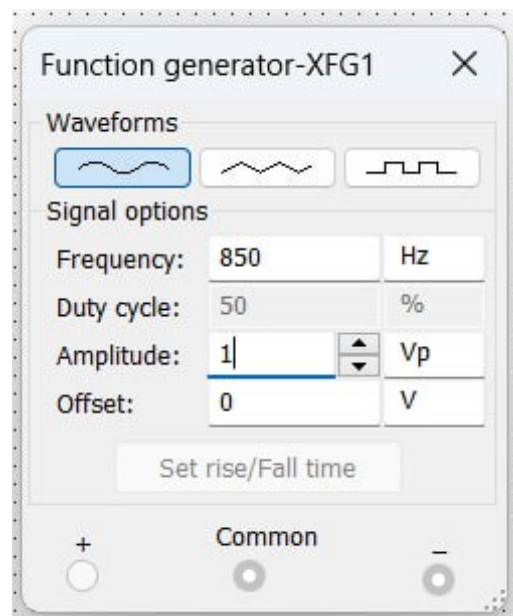
4 Эксперимент 3

Исследование ВАХ полупроводниковых диодов с использованием осциллографа и генератора

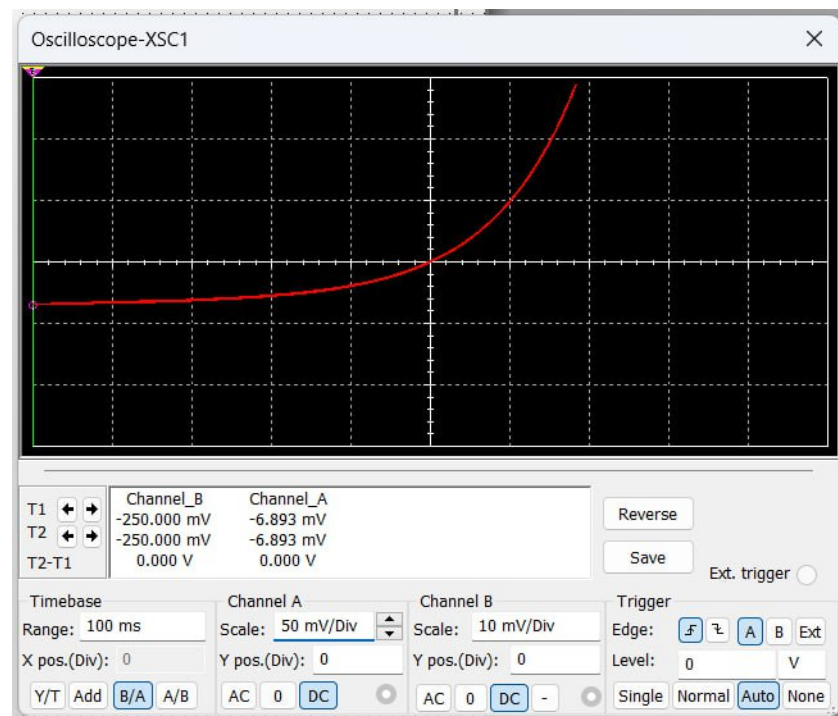
1. Смоделировал схему



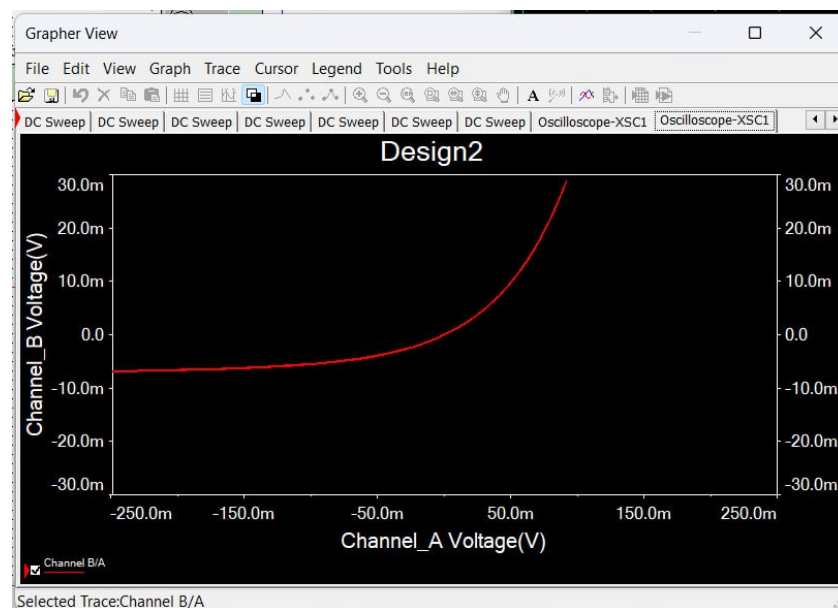
2. Настроил генератор



3. Настроил осциллограф и получил его ВАХ на экране



4. Получил следующий график в Grapher View



5. Сохраню полученные данные в текстовом файле и открыл его в *MathCAD*

VAX := READPRN("D:\BAX.txt")

+

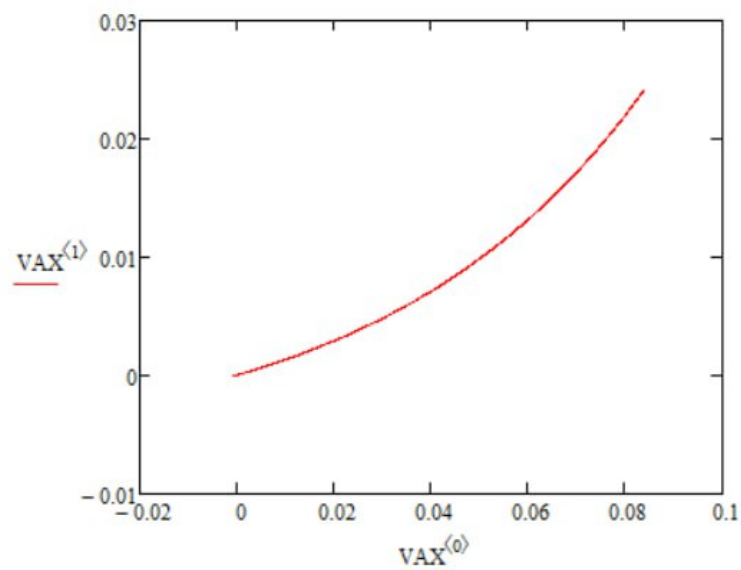
	0	1
0	$-6.183 \cdot 10^{-4}$	$-2.211 \cdot 10^{-5}$
1	$-5.183 \cdot 10^{-4}$	$-1.09 \cdot 10^{-5}$
2	$-4.183 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-7}$
3	$-3.183 \cdot 10^{-4}$	$1.15 \cdot 10^{-5}$
4	$-2.183 \cdot 10^{-4}$	$2.271 \cdot 10^{-5}$
5	$-1.183 \cdot 10^{-4}$	$3.391 \cdot 10^{-5}$
6	$-1.835 \cdot 10^{-5}$	$4.512 \cdot 10^{-5}$
7	$8.165 \cdot 10^{-5}$	$5.632 \cdot 10^{-5}$
8	$1.817 \cdot 10^{-4}$	$6.753 \cdot 10^{-5}$
9	$2.817 \cdot 10^{-4}$	$7.873 \cdot 10^{-5}$
10	$3.817 \cdot 10^{-4}$	$8.993 \cdot 10^{-5}$
11	$4.817 \cdot 10^{-4}$	$1.011 \cdot 10^{-4}$
12	$5.817 \cdot 10^{-4}$	$1.123 \cdot 10^{-4}$
13	$6.817 \cdot 10^{-4}$	$1.235 \cdot 10^{-4}$
14	$7.817 \cdot 10^{-4}$	$1.348 \cdot 10^{-4}$
15	$8.817 \cdot 10^{-4}$...

VAX =

	0
0	$-6.183 \cdot 10^{-4}$
1	$-5.183 \cdot 10^{-4}$
2	$-4.183 \cdot 10^{-4}$
3	$-3.183 \cdot 10^{-4}$
4	$-2.183 \cdot 10^{-4}$
5	$-1.183 \cdot 10^{-4}$
6	$-1.835 \cdot 10^{-5}$
7	$8.165 \cdot 10^{-5}$
8	$1.817 \cdot 10^{-4}$
9	$2.817 \cdot 10^{-4}$
10	$3.817 \cdot 10^{-4}$
11	$4.817 \cdot 10^{-4}$
12	$5.817 \cdot 10^{-4}$
13	$6.817 \cdot 10^{-4}$
14	$7.817 \cdot 10^{-4}$
15	...

VAX⁽⁰⁾ =

6. Построил BAX



7. Нашел теоретические характеристики диода, выбрав 3 произвольные точки на графике

$$\begin{aligned}
 U_{d1} &:= (VAX^{(0)})_{203} = 0.02 & U_{d2} &:= (VAX^{(0)})_{502} = 0.05 & U_{d3} &:= (VAX^{(0)})_{802} = 0.08 \\
 I_{d1} &:= (VAX^{(1)})_{203} = 2.886 \times 10^{-3} & I_{d2} &:= (VAX^{(1)})_{502} = 9.75 \times 10^{-3} & I_{d3} &:= (VAX^{(1)})_{802} = 0.022 \\
 R_b &:= \frac{U_{d1} - 2 \cdot U_{d2} + U_{d3}}{I_{d1}} & R_b &= 0.035 & + & \\
 NFt &:= \frac{3 \cdot U_{d2} - 2 \cdot U_{d1} - U_{d3}}{\ln(2)} & NFt &= 0.043 & & \\
 I_o &:= I_{d1} \cdot \exp\left(\frac{U_{d3} - 2 \cdot U_{d2}}{NFt}\right) & I_o &= 1.83 \times 10^{-3} & &
 \end{aligned}$$

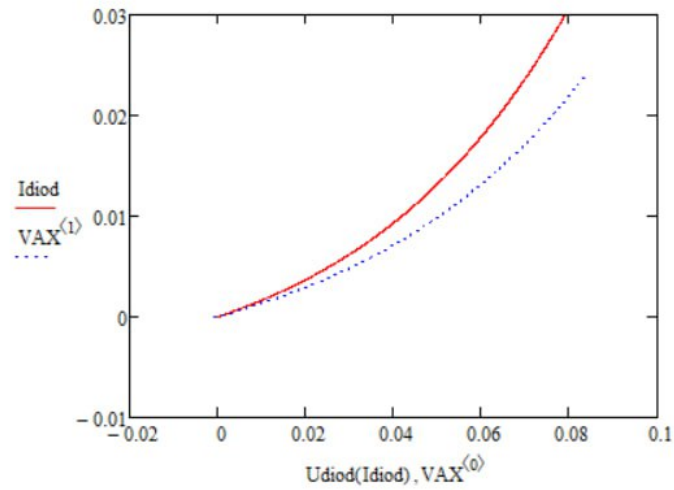
8. Взял четвертую точку и рассчитал характеристики диода методом *Given Minerr*

$$\begin{aligned}
 R_b &:= 1 & I_{s0} &:= 0.0001 & m &:= 2 & Ft &:= 0.02 & U_{d4} &:= (VAX^{(0)})_{652} = 0.065 \\
 \text{Given} & & & & & & & & I_{d4} &:= (VAX^{(1)})_{652} = 0.015 \\
 U_{d1} &= I_{d1} \cdot R_b + \ln\left(\frac{I_{s0} + I_{d1}}{I_{s0}}\right) \cdot m \cdot Ft & & & & & & & & \\
 U_{d2} &= I_{d2} \cdot R_b + \ln\left(\frac{I_{s0} + I_{d2}}{I_{s0}}\right) \cdot m \cdot Ft & & & & & & & & \\
 U_{d3} &= I_{d3} \cdot R_b + \ln\left(\frac{I_{s0} + I_{d3}}{I_{s0}}\right) \cdot m \cdot Ft & & & & & & & & \\
 U_{d4} &= I_{d4} \cdot R_b + \ln\left(\frac{I_{s0} + I_{d4}}{I_{s0}}\right) \cdot m \cdot Ft & & & & & & & & \\
 \text{Diod_P} &:= \text{Minerr}(I_{s0}, R_b, m, Ft) & \text{Diod_P} &= \begin{pmatrix} 6.561 \times 10^{-3} \\ 1.106 \times 10^{-1} \\ 3.747 \times 10^0 \\ 1.409 \times 10^{-2} \end{pmatrix} & & & & & & \\
 I_{s0} &:= 6.561 \cdot 10^{-3} & R_b &:= 0.1106 & m &:= 3.747 & Ft &:= 0.01409 & + &
 \end{aligned}$$

9. Выполнил сравнение практических и теоретических данных, в моем случае максимальное значение силы тока не превышает 0.03

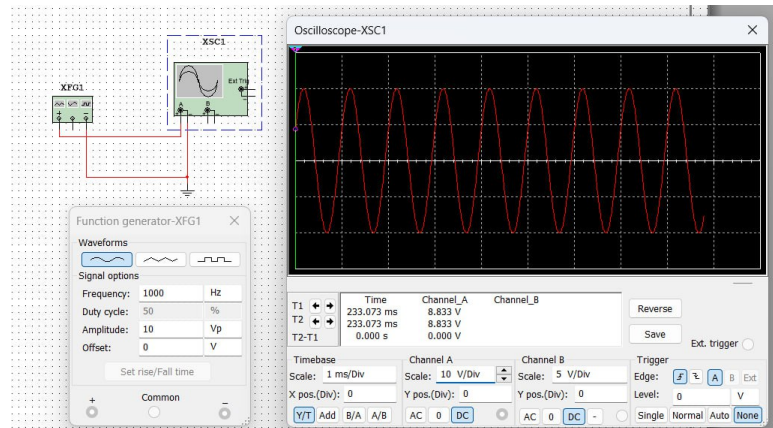
$$Idiod := 0,10^{-5} \dots 3 \cdot 10^{-2}$$

$$Udiod(Idiod) := Idiod \cdot Rb + Ft \cdot \ln\left(\frac{Idiod + Is0}{Is0}\right)$$

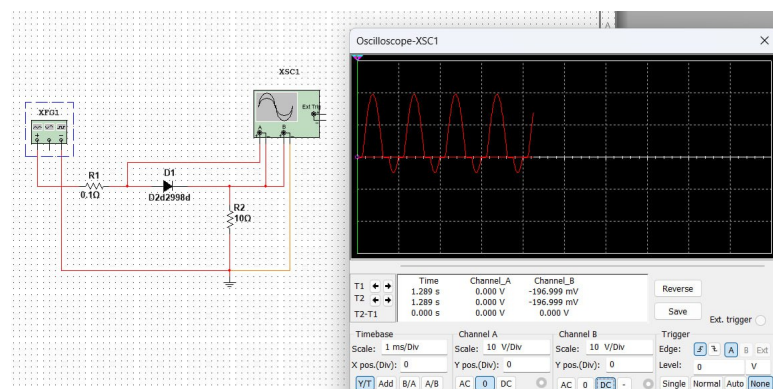
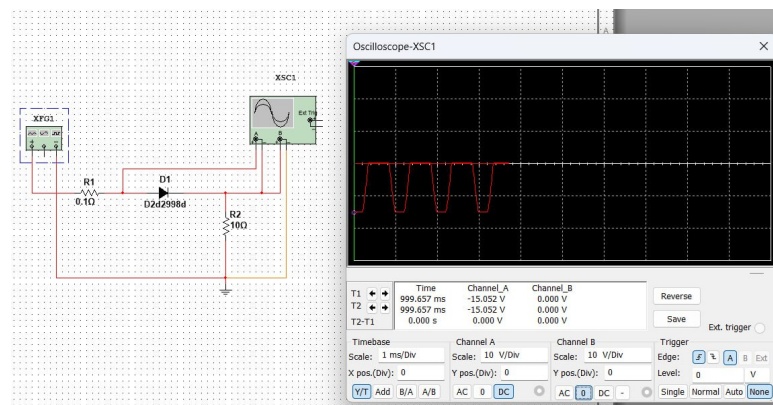


5 Эксперимент 4

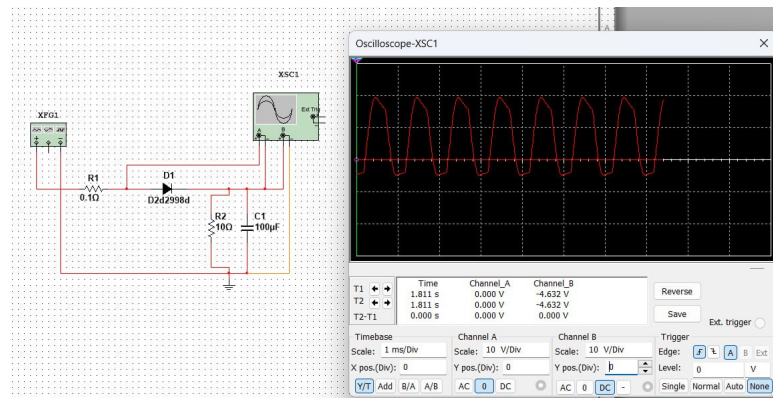
1. Настроил осциллограф на измерение временной развертки сигнала генератора: частота генератора 1кГц, амплитуда 10В.



2. Собрал схему со своим диодом



3. Параллельно нагрузочному резистору поставил накопительный конденсатор, среднее напряжение выросло. Получился однополупериодный выпрямитель.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данного исследования было получение и анализ статических и динамических характеристик германиевых и кремниевых полупроводниковых диодов с целью определения параметров модели полупроводниковых диодов и их последующего включения в базу данных программ для схемотехнического анализа. Я приобрел навыки расчета моделей полупроводниковых приборов с использованием программных средств, таких как *Multisim* и *Mathcad*, на основе данных, полученных в ходе экспериментальных исследований. Это позволило внедрить полученные модели в базу компонентов для будущих проектов и анализа полупроводниковых приборов.