



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» (ИУ)

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии» (ИУ7)

**ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3**  
**«ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ**  
**ДИОДОВ В MULTISIM»**

по курсу:

**«ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»**

Вариант: 51

Студент:

Авдейкина Валерия Павловна, группа ИУ7-33Б

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Руководитель:

Преподаватель РК6

Оглоблин Дмитрий Игоревич

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Оценка: \_\_\_\_\_

# Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	1
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ .....	2
ВЫПОЛНЕНИЕ .....	3
Эксперимент 1: «Добавление диода в БД» .....	3
Эксперимент 2: «Исследование ВАХ полупроводниковых диодов с использованием мультиметров» .....	7
Эксперимент 3: «Исследование ВАХ полупроводниковых диодов с использованием осциллографа и генератора» .....	9
Эксперимент 4: «Исследование выпрямительных свойств диода при помощи осциллографа» .....	14
ВЫВОДЫ .....	16

## **Цель и задачи работы**

Цель работы: Получение и исследование статических и динамических характеристик германиевого и кремниевого полупроводниковых диодов с целью определения 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.

# Выполнение

## Эксперимент 1: «Добавление диода в БД»

В рамках данного эксперимента занесем полупроводниковый диод (*вариант 51*) в пользовательскую базу данных (в созданное заранее семейство диодов «IU7») программы Multisim. Для этого используем инструмент создания компонента – TOOLS/Component Wizard (рис. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7):

The screenshot shows the 'Component Wizard - Step 1 of 7' dialog box. It has a title bar with a close button. The main area is titled 'Enter component information'. It contains two text input fields: 'Component name:' with the value 'Diode' and 'Author name:' with the value 'valer'. To the right of these is a 'Function:' label and an empty list box. Below these are four radio button options: 'Simulation and layout (model and footprint)', 'Simulation only (model)' (which is selected), 'Layout only (footprint)', and 'Simulation and PLD export (model and VHDL export)'. At the bottom left is a 'Component type:' dropdown menu set to 'Analog'. At the bottom right are three buttons: 'Next >', 'Cancel', and 'Help'.

Рисунок 1. Component Wizard (1/7)

The screenshot shows the 'Component Wizard - Step 2 of 7' dialog box. It has a title bar with a close button. The main area is titled 'Enter footprint information'. It contains two text input fields: 'Footprint manufacturer:' and 'Footprint type:'. To the right of the 'Footprint manufacturer:' field is a button labeled 'Select a footprint'. Below these are two radio button options: 'Single section component' (which is selected) and 'Multi-section component'. At the bottom left is a 'Number of pins:' label and a spinner box set to the value '2'. At the bottom right are four buttons: '< Back', 'Next >', 'Cancel', and 'Help'.

Рисунок 2. Component Wizard (2/7)

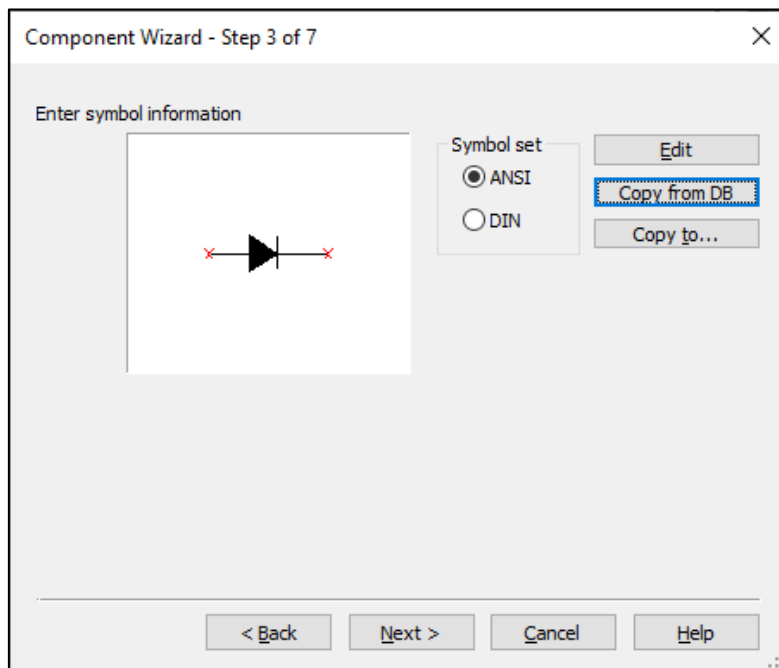


Рисунок 3. Component Wizard (3/7)

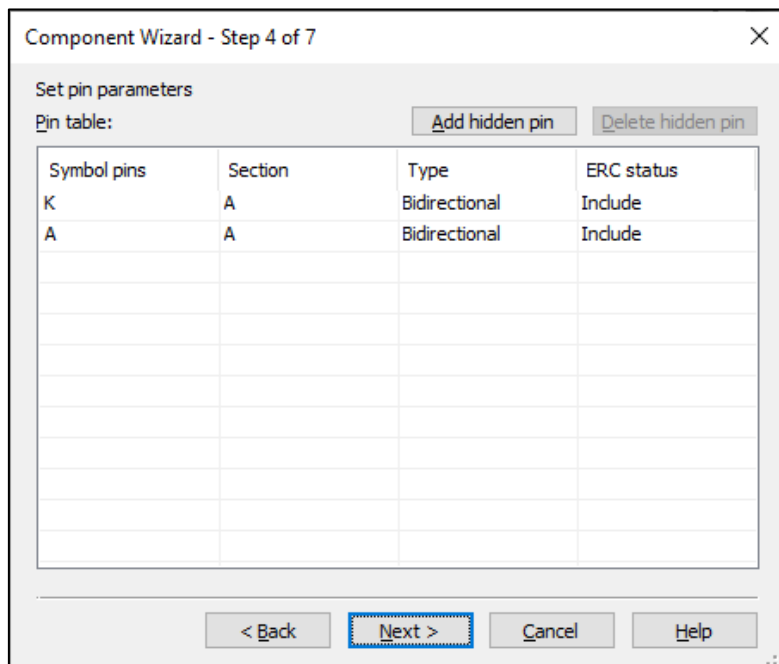


Рисунок 4. Component Wizard (4/7)

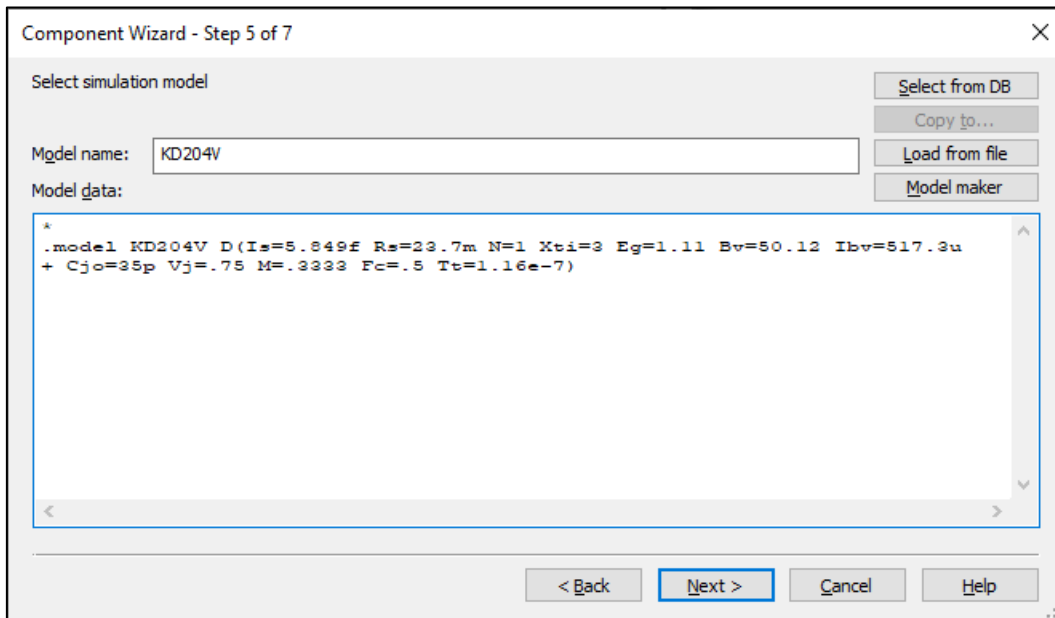


Рисунок 5. Component Wizard (5/7) – свойства модели

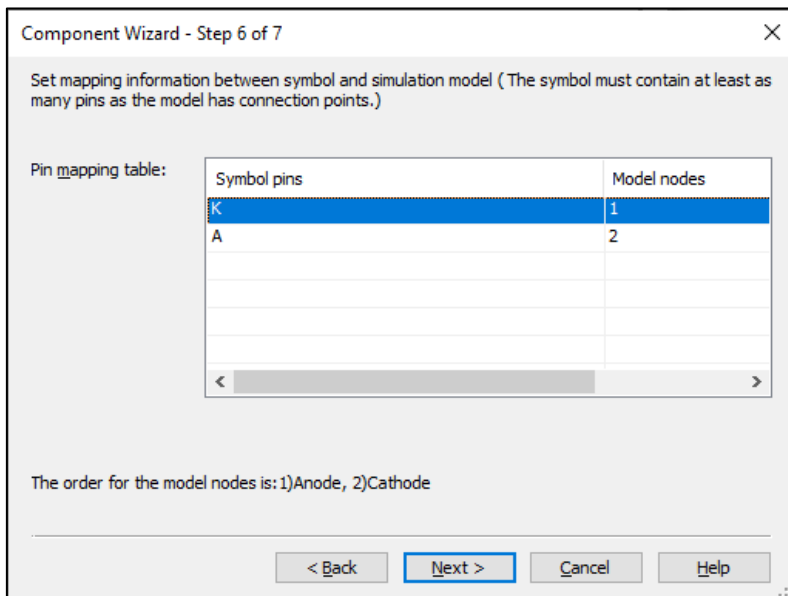


Рисунок 6. Component Wizard (6/7)

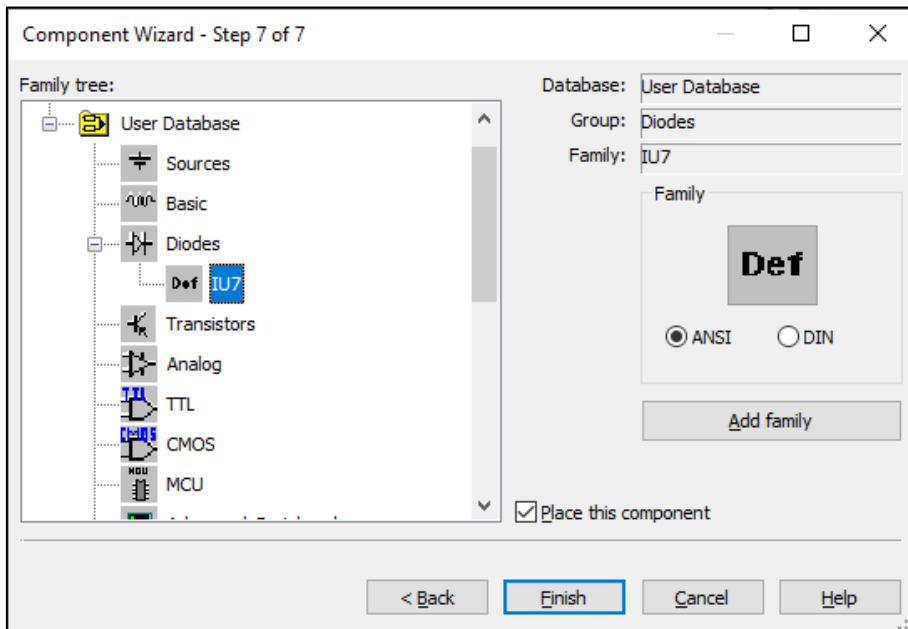


Рисунок 7. Component Wizard (7/7) – добавление в семейство

На рис. 8 отдельно показаны свойства модели добавленного диода.

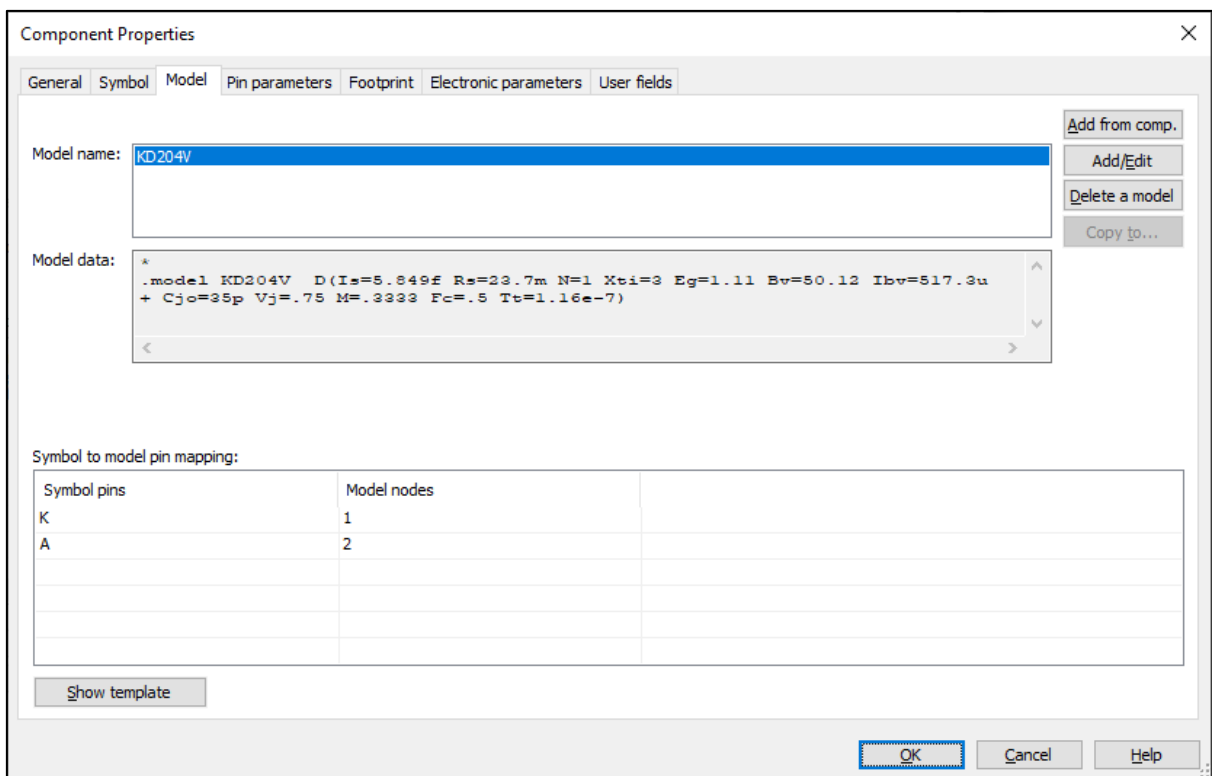


Рисунок 8. Полупроводниковый диод (B51)

## Эксперимент 2: «Исследование ВАХ полупроводниковых диодов с использованием мультиметров»

Для выполнения следующего эксперимента соберем следующую модель для получения прямой ветви ВАХ полупроводникового диода (рис. 9):

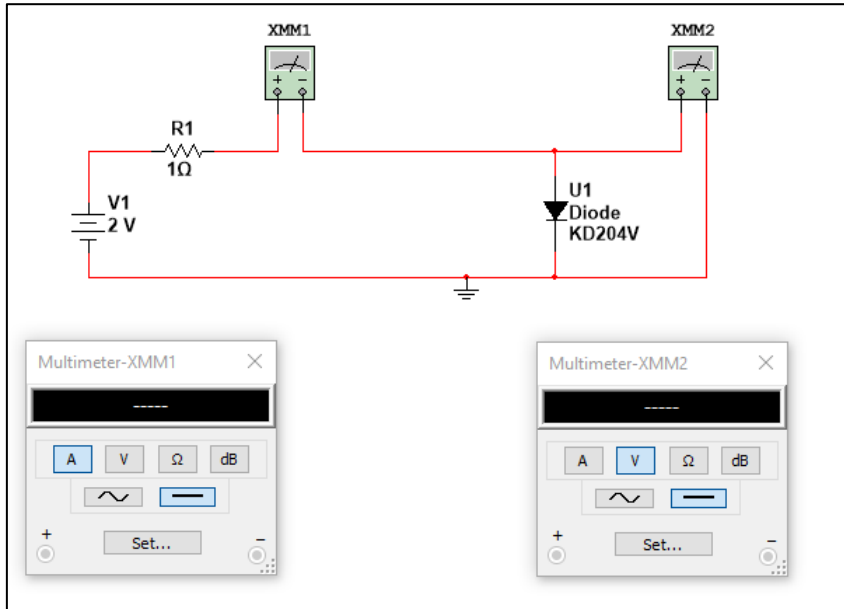


Рисунок 9. Схема установки эксперимента 2 (прямая ветвь)

Далее получим график прямой ветви ВАХ исследуемого диода с помощью инструмента Analyses/DC sweep (рис. 10):

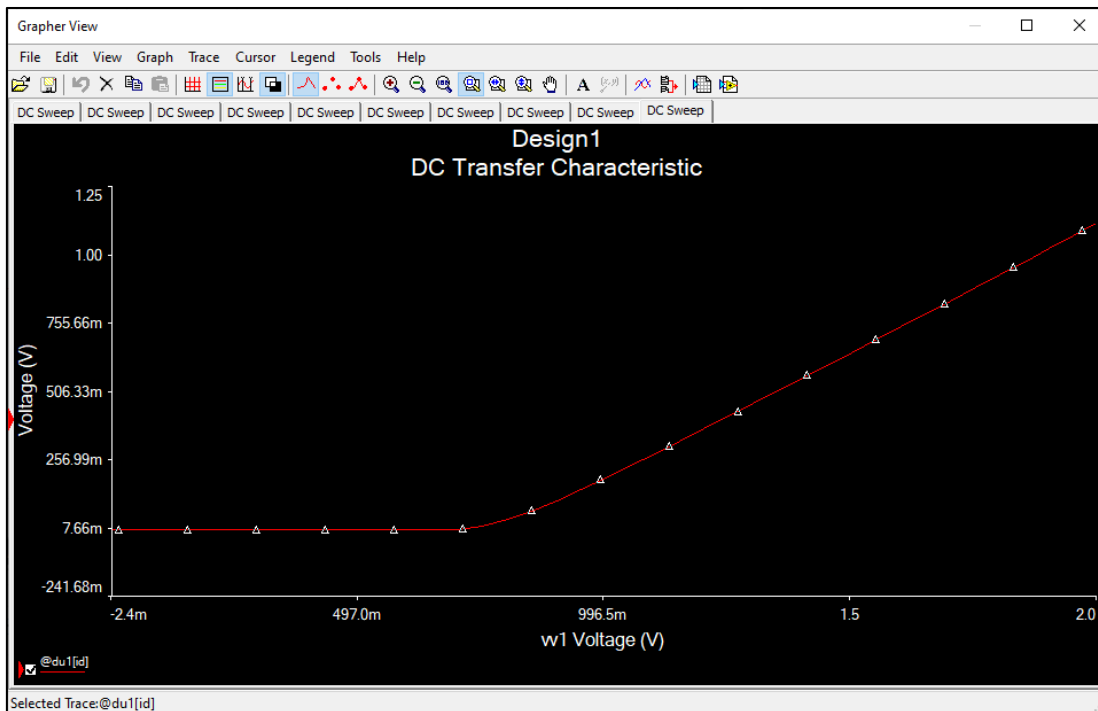


Рисунок 10. ВАХ диода (прямая ветвь)



Теперь построим схему для исследования обратной ветви ВАХ (рис. 11).  
График обратной ветви ВАХ получим аналогичным образом.

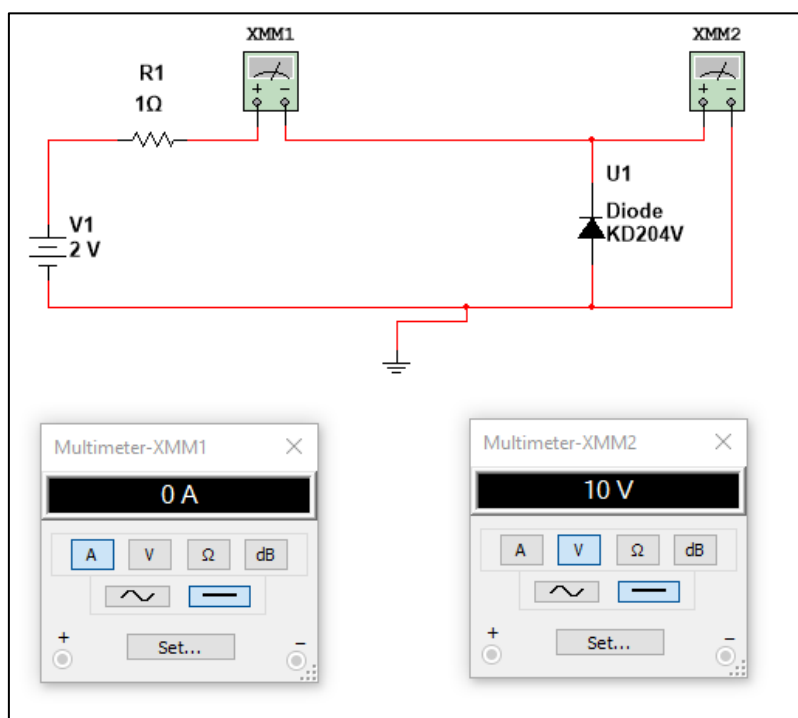


Рисунок 11. Схема установки эксперимента 2 (обратная ветвь)

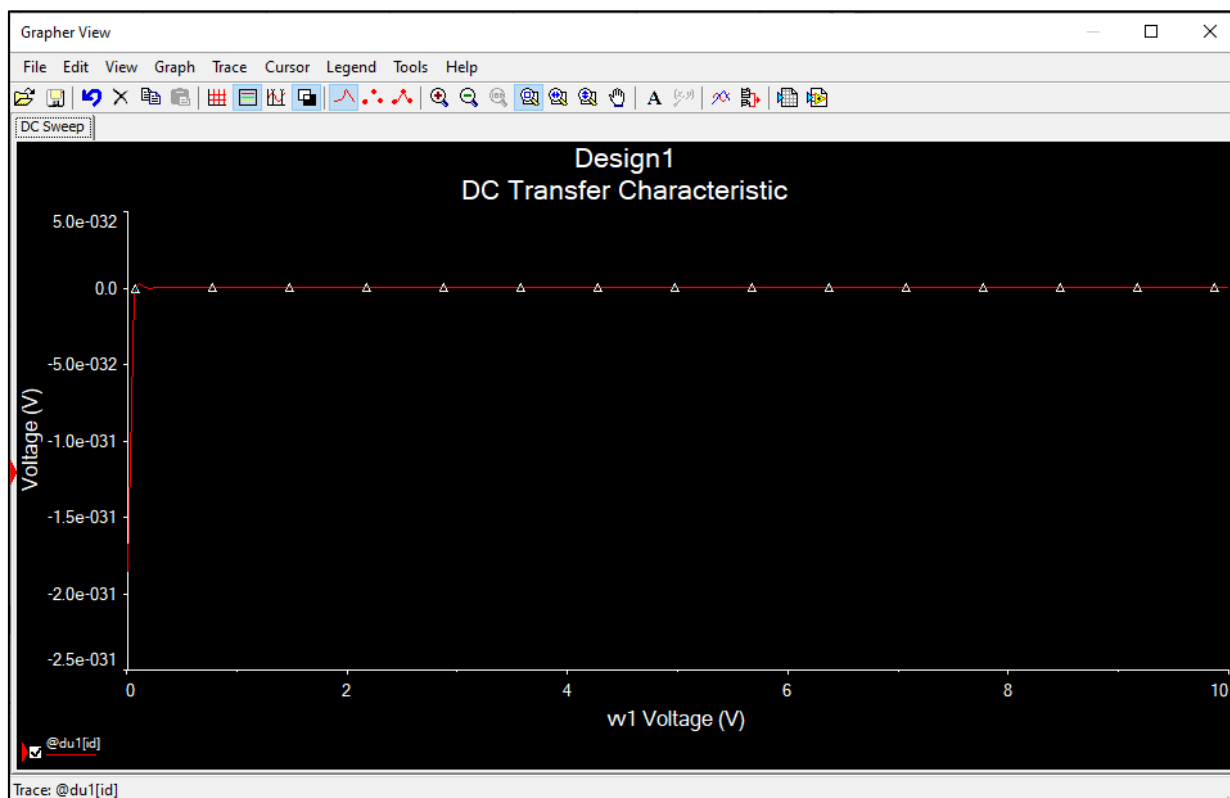


Рисунок 12. ВАХ диода (обратная ветвь)

### Эксперимент 3: «Исследование вх полупроводниковых диодов с использованием осциллографа и генератора»

Смоделируем схему, содержащую осциллограф XSC1 и генератор XFG1 и показанную ниже (рис. 13):

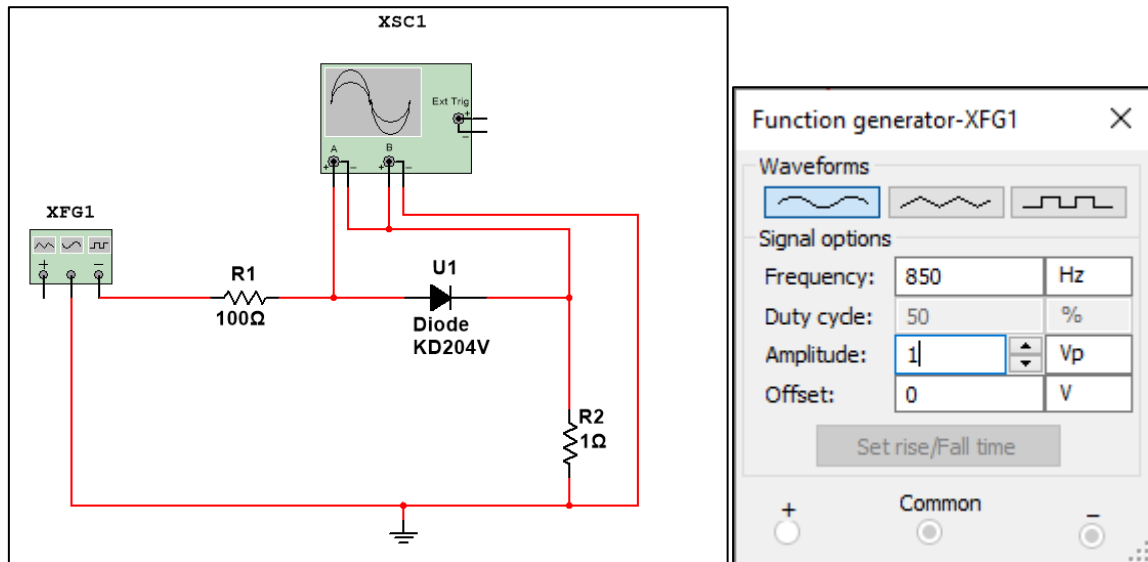


Рисунок 13. Схема установки эксперимента 3

Настроив осциллограф таким образом, чтобы канал В соответствовал току диода, а канал А – падению напряжения на диоде, на его экране получим изображение ВАХ (рис. 14): по горизонтальной оси – напряжение в mV, по вертикальной – ток в mA.

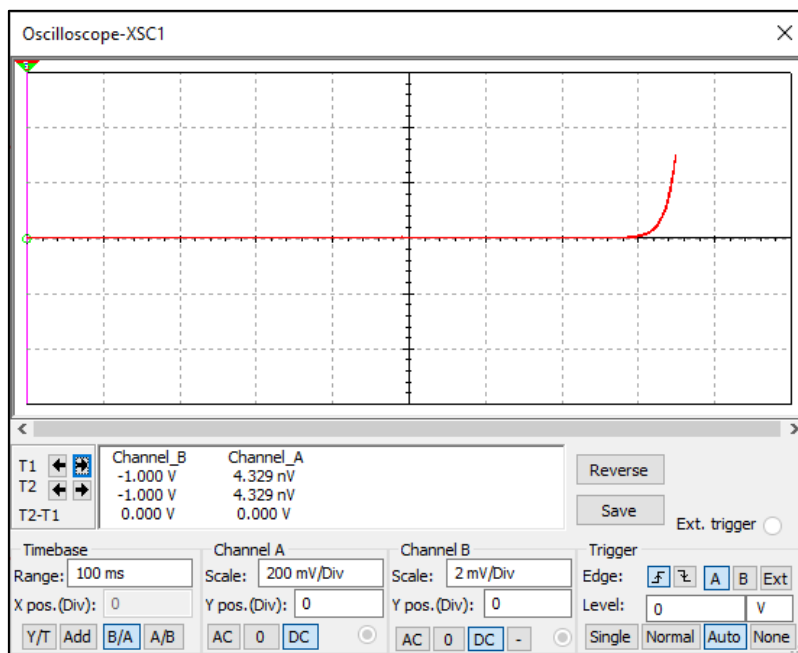


Рисунок 14. ВАХ диода на экране осциллографа

Переведем полученные данные в вид графика (рис. 15) и сохраним в формате текстового файла, из которого требуется удалить заголовки и окончания, чтобы далее проанализировать полученные результаты измерений в программе Mathcad. Погрешность полученного графика будет мала, так как падение напряжения на резисторе сопротивления  $R=1\text{Ом}$  мало.

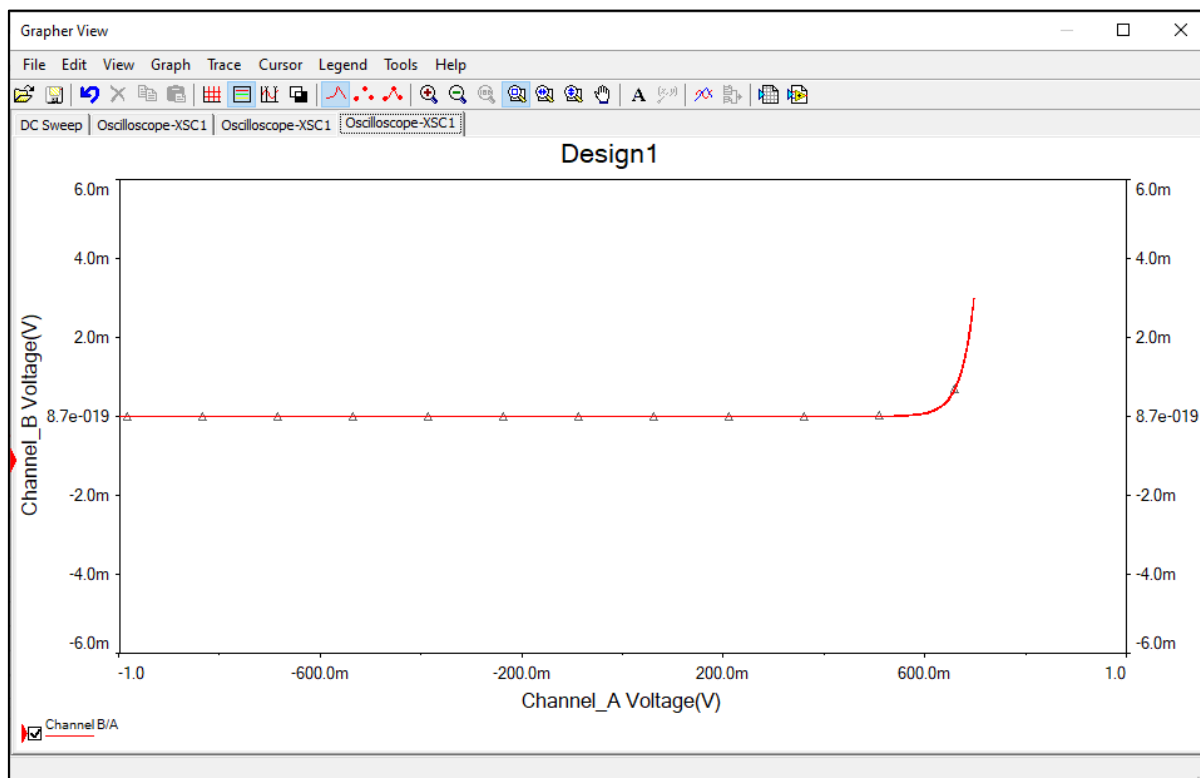


Рисунок 15. График ВАХ, полученной на осциллографе

\*exp3.txt – Блокнот

Файл	Правка	Формат	Вид	Справка
-1.493412142392e-002				-1.911305940454e-007
-6.829007719170e-002				-1.757302456801e-007
-1.214490625789e-001				-1.819259891049e-007
-1.742638728475e-001				-1.662800312238e-007
-2.265795243122e-001				-1.721535972493e-007
-2.782512049146e-001				-1.562306559290e-007
-3.291272017931e-001				-1.617639900549e-007
-3.790667967340e-001				-1.455526773137e-007
-4.279232269420e-001				-1.507435363452e-007
-4.755615222612e-001				-1.342456796091e-007
-5.218414928992e-001				-1.391024950940e-007
-5.666355052184e-001				-1.223290966991e-007
-6.098114905764e-001				-1.268678350726e-007
-6.512506564951e-001				-1.098365323049e-007
-6.908305111969e-001				-1.140786763737e-007
-7.284425070546e-001				-9.681206422452e-008
-7.639750758513e-001				-1.007832508330e-007
-7.973312015641e-001				-8.330771977348e-008
-8.284114618587e-001				-8.703677451616e-008

Рисунок 16. Содержимое файла с результатами измерений

Построим ВАХ в программе Mathcad на основе полученного файла (рис. 17):

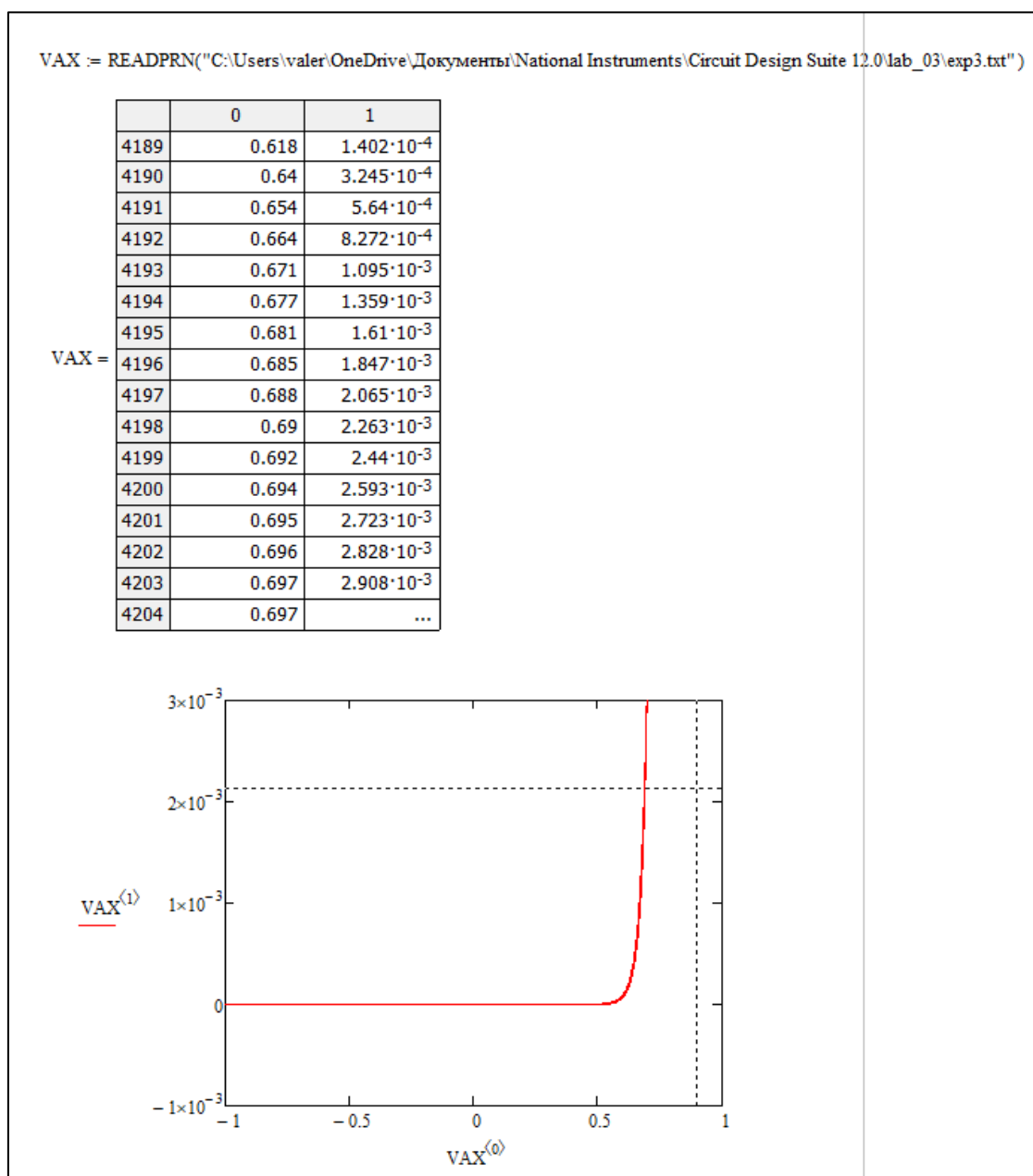


Рисунок 17. Построение ВАХ в Mathcad

Далее вычислим параметры диода  $R_b$ ,  $m$ ,  $I_o$ ,  $F_t$  с помощью системы уравнений и функции Minerr (рис. 18):

Вычисление параметров BAX  $I_o$   $R_b$   $m$   $F_t$

$$U_k := I_k \cdot R_b + \ln \left[ \frac{(I_o + I_k)}{I_o} \right] \cdot m \cdot F_t$$

Начальное приближение:

$$R_{bE} := 0.0237$$

$$m_E := 0.33$$

$$I_{oE} := 10^{-12} \cdot 5$$

$$N_{FtE} := 0.05$$

Given

$$0.62476 = 0.000178873 \cdot R_{bE} + \ln \left[ \frac{(I_{oE} + 0.000178873)}{I_{oE}} \right] \cdot m_E \cdot N_{FtE}$$

$$0.65794 = 0.000655372 \cdot R_{bE} + \ln \left[ \frac{(I_{oE} + 0.000655372)}{I_{oE}} \right] \cdot m_E \cdot N_{FtE}$$

$$0.67237 = 0.00114246 \cdot R_{bE} + \ln \left[ \frac{(I_{oE} + 0.00114246)}{I_{oE}} \right] \cdot m_E \cdot N_{FtE}$$

$$0.6885 = 0.000178873 \cdot R_{bE} + \ln \left[ \frac{(I_{oE} + 0.00212536)}{I_{oE}} \right] \cdot m_E \cdot N_{FtE}$$

$$\text{Diod\_E} := \text{Minerr}(I_{oE}, -R_{bE}, m_E, N_{FtE})$$

$$\text{Diod\_E} = \begin{pmatrix} 5.266 \times 10^{-15} \\ 0.19 \\ 0.412 \\ 0.062 \end{pmatrix}$$

Рисунок 18. Вычисление параметров диода

Сравним экспериментально полученный график и построенный теоретически на основе вычисленных параметров диода (рис. 19). Из рисунка видно, что графики почти совпали.

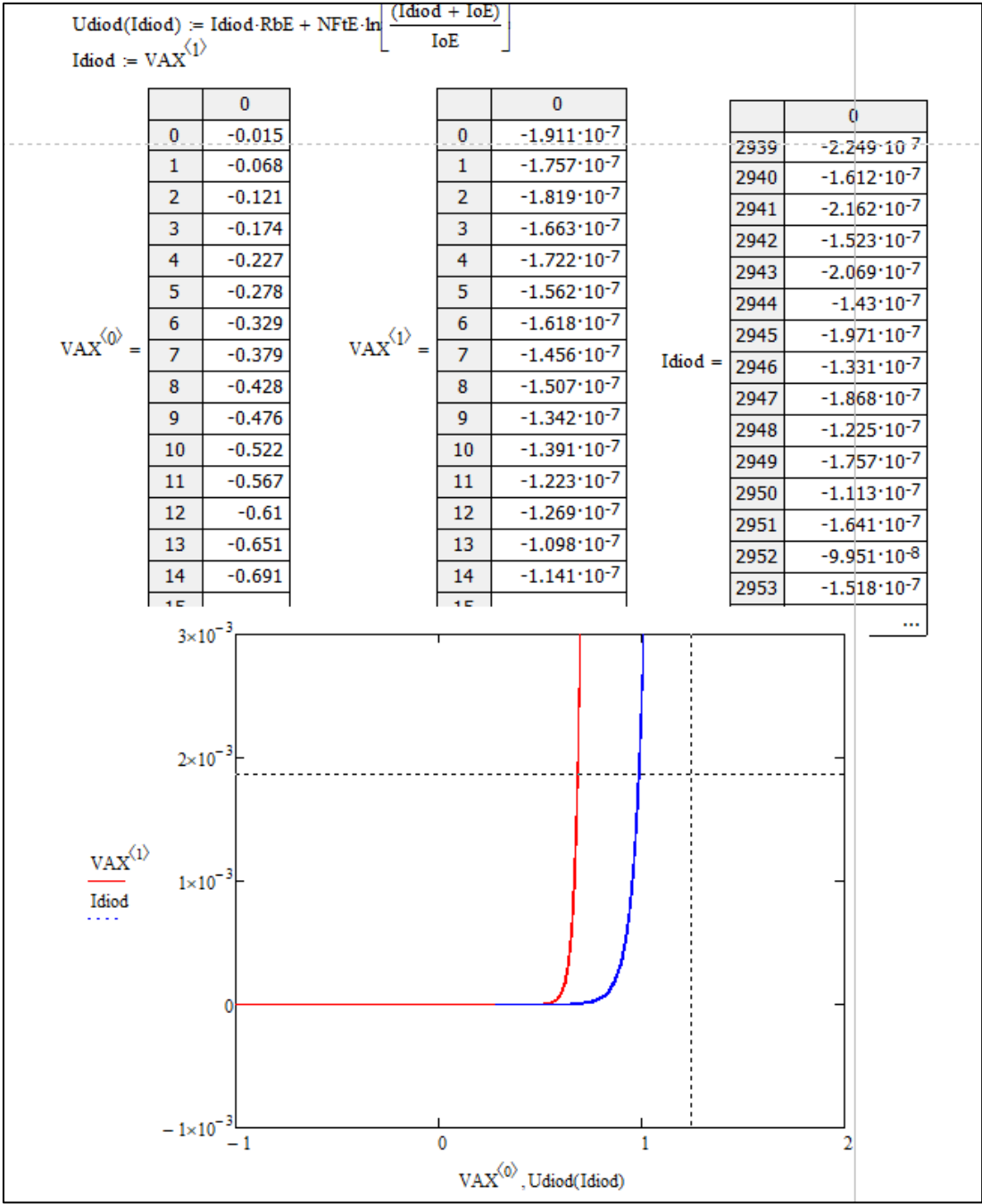


Рисунок 19. Сравнение экспериментальной и теоретической ВАХ

## Эксперимент 4: «Исследование выпрямительных свойств диода при помощи осциллографа»

В рамках данного эксперимента проверим выпрямительные свойства полупроводникового диода. Для начала построим схему ниже (рис. 20):

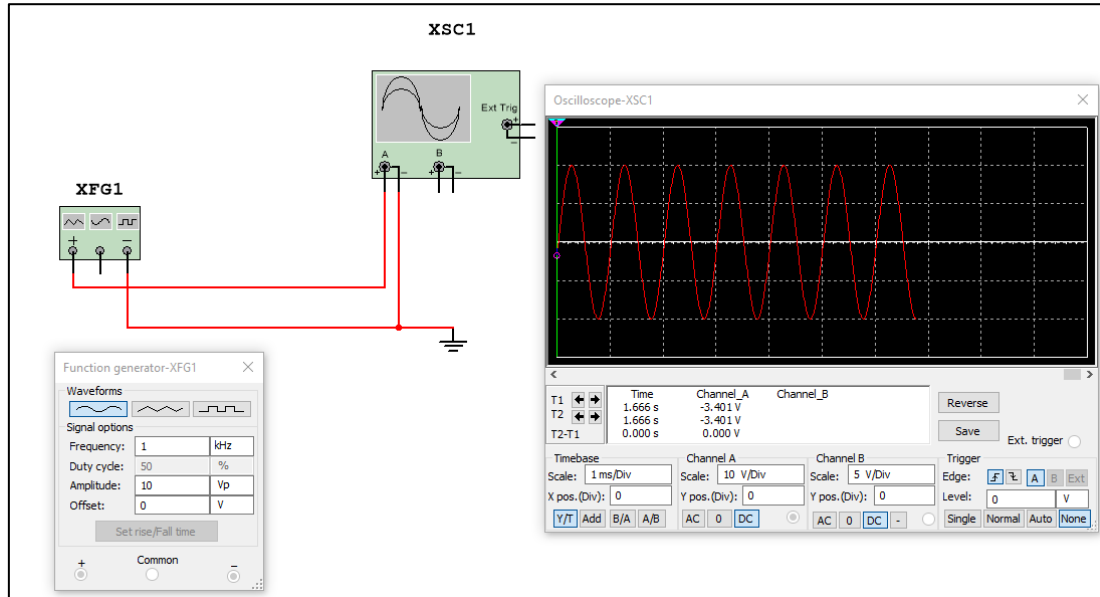


Рисунок 20. Генератор без диода

С помощью этой схемы наблюдаем неискаженный сигнал генератора, представляемый синусоидой.

Далее соберем схему с исследуемым диодом (рис. 21):

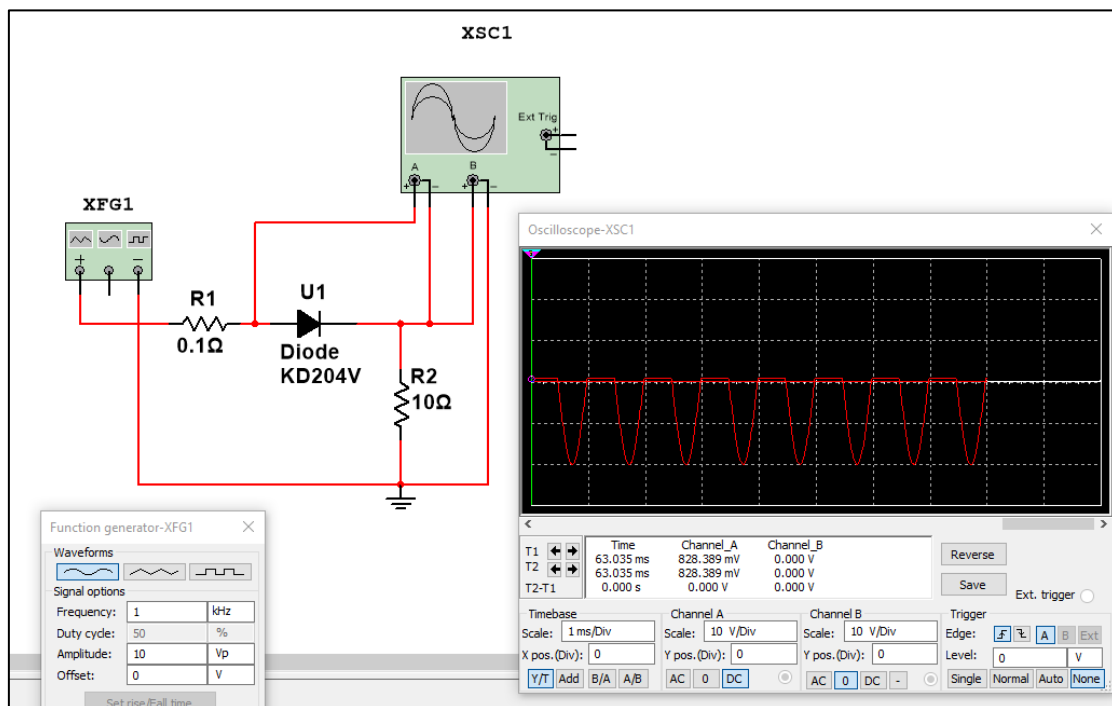


Рисунок 21. Генератор с диодом

Теперь с помощью осциллографа наблюдаем выпрямление прямого напряжения, сохранение состояния обратного напряжения. Немного изменим каналы осциллографа, чтобы «перевернуть» выводимое (рис. 22):

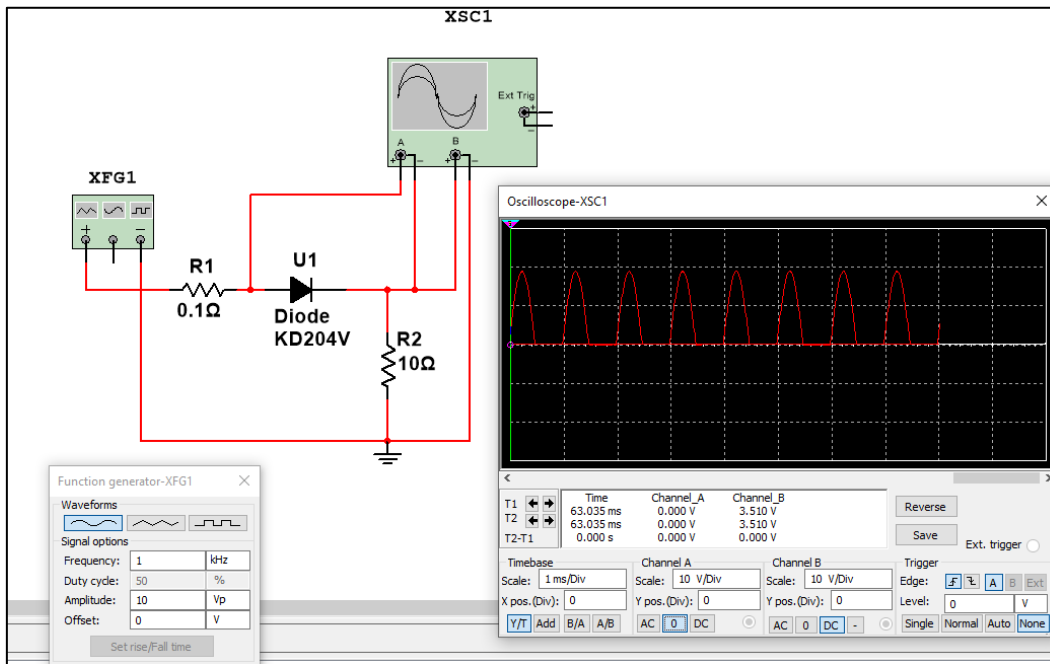


Рисунок 22. Генератор с диодом (обратные каналы)

Добавим в схему накопительный конденсатор, установленный параллельно нагрузочному резистору R2 (рис. 23). Наблюдаем возрастание среднего напряжения в корень из 2 раз на канале В. Таким образом, с помощью конденсатора и диода был получен однополупериодный выпрямитель.

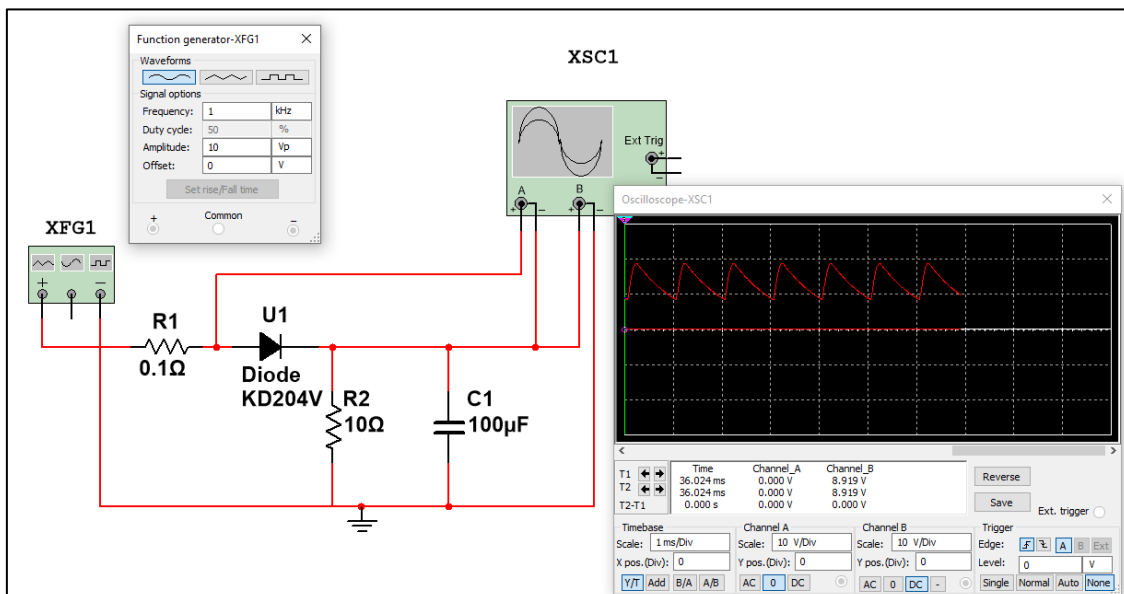


Рисунок 23. Диод с накопительным конденсатором (однополупериодный выпрямитель)



## **Выводы**

В ходе выполнения экспериментов мною были получены навыки работы в программе Multisim: добавление компоненты в библиотеку, работа со схемой, содержащей мультиметры, получение ВАХ полупроводникового диода, работа с осциллографом и генератором для получения ВАХ полупроводникового диода, анализ полученных в Multisim данных в программе Mathcad, построение однополупериодного выпрямителя с помощью полупроводникового диода и накопительного конденсатора (наблюдение результатов с помощью осциллографа).