



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**  
**«Полупроводниковые диоды (часть 1)»**  
**по курсу «Основы электроники»**

Студент: Талышева Олеся Николаевна

Группа: ИУ7-35Б

Студент \_\_\_\_\_ Талышева О. Н.  
*подпись, дата*

Преподаватель \_\_\_\_\_ Оглоблин Д. И.  
*подпись, дата*

Оценка \_\_\_\_\_

2023 г

## **Оглавление**

Сокращения терминов, аббревиатуры .....	3
Цель практикума .....	3
Номер варианта задания .....	3
Эксперимент 1 .....	4
Эксперимент 2 .....	10
Эксперимент 3 .....	12
Эксперимент 4 .....	16

## СОКРАЩЕНИЯ ТЕРМИНОВ, АББРЕВИАТУРЫ:

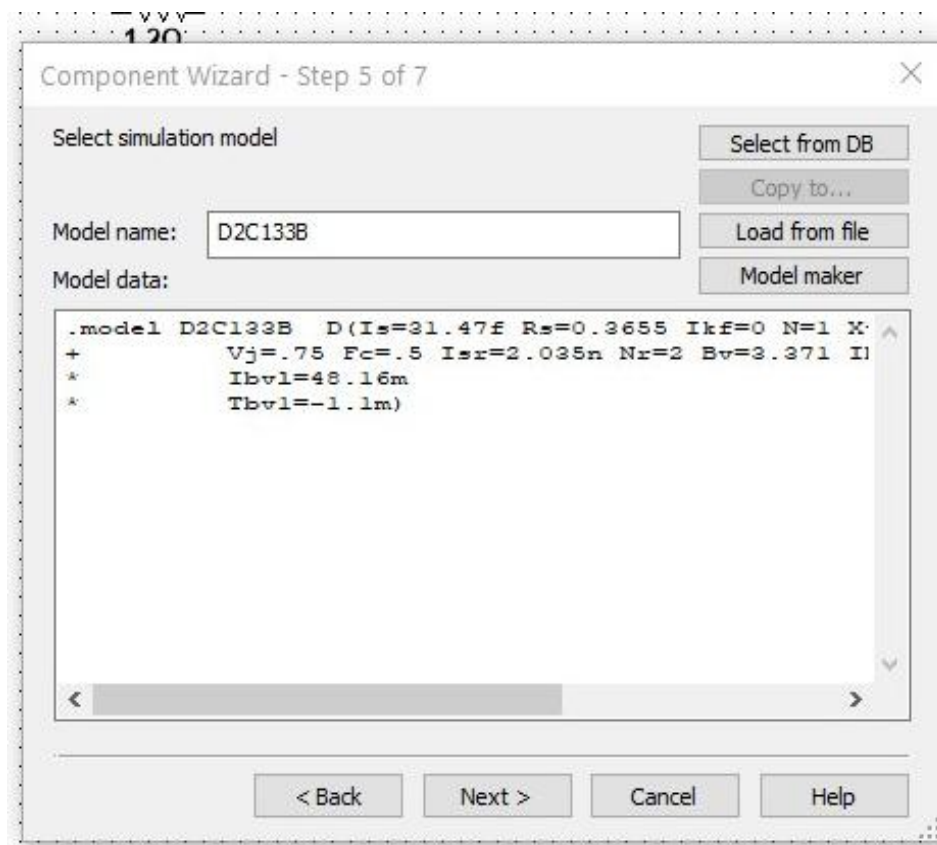
- ✓ ВАХ — вольтамперная характеристика;
- ✓ ГТИ — генератор тактовых импульсов;
- ✓ MSxx — программная среда NI Multisim 10 или 12 версии;
- ✓ МСxx — программная среда Multisim версии 7, 9 или 10;

## ЦЕЛЬ ПРАКТИКУМА:

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.

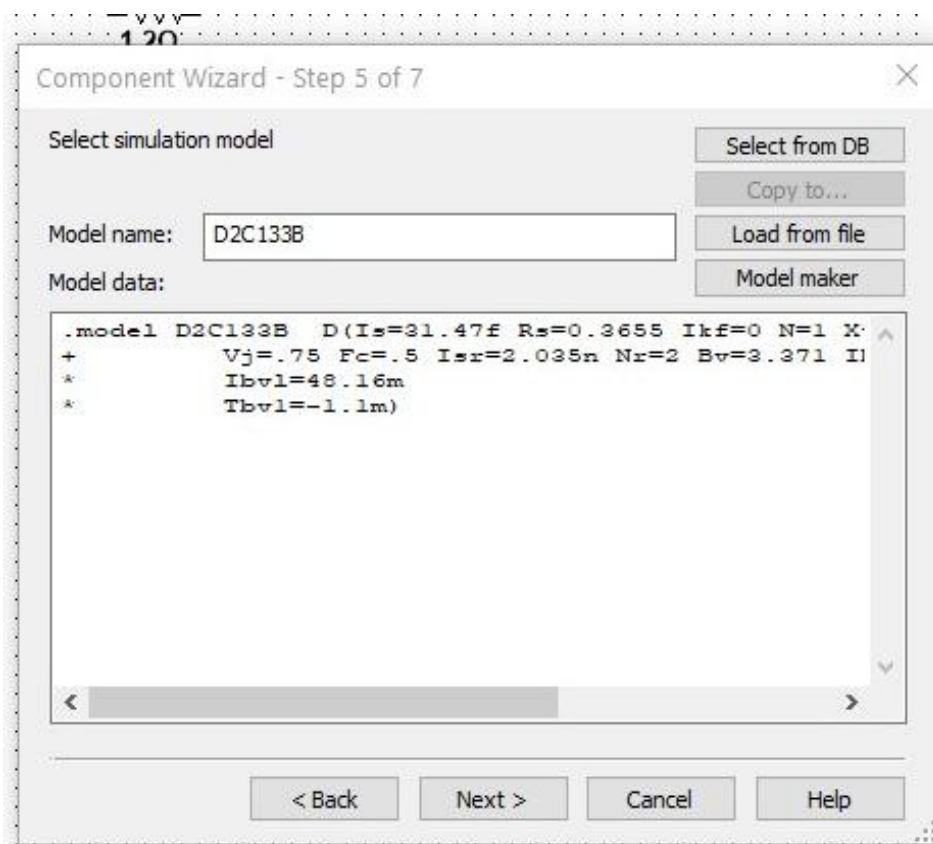
## НОМЕР ВАРИАНТА ЗАДАНИЯ:

\* Variant 125



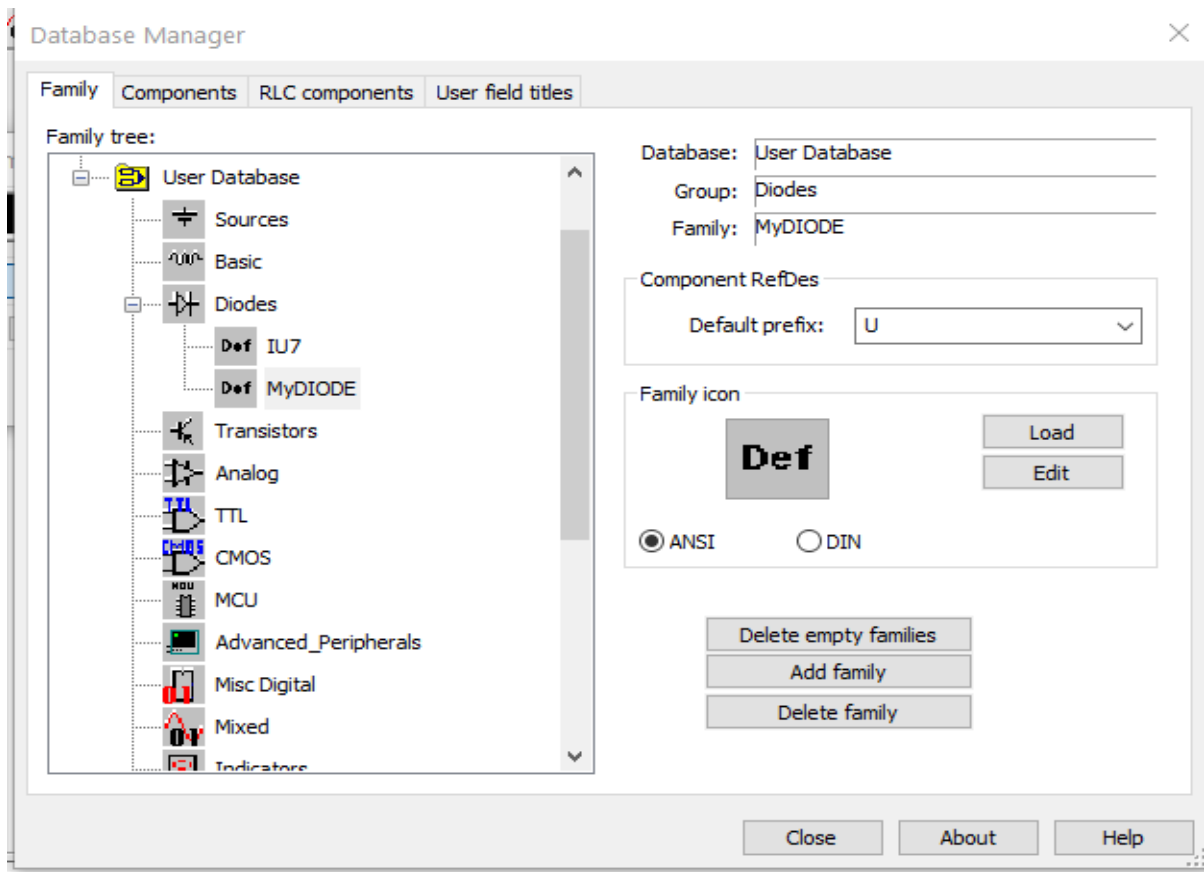
## ЭКСПЕРИМЕНТ 1

Внесём в пользовательскую базу данных программы MULTISIM полупроводниковый диод в соответствии с вариантом 125:

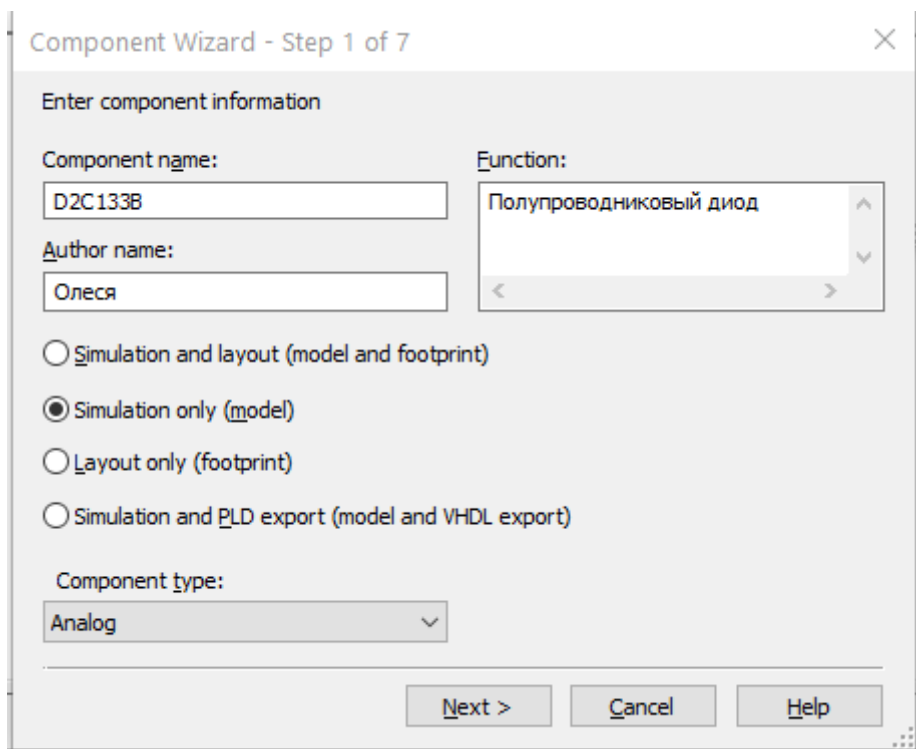


## Эксперимент 7

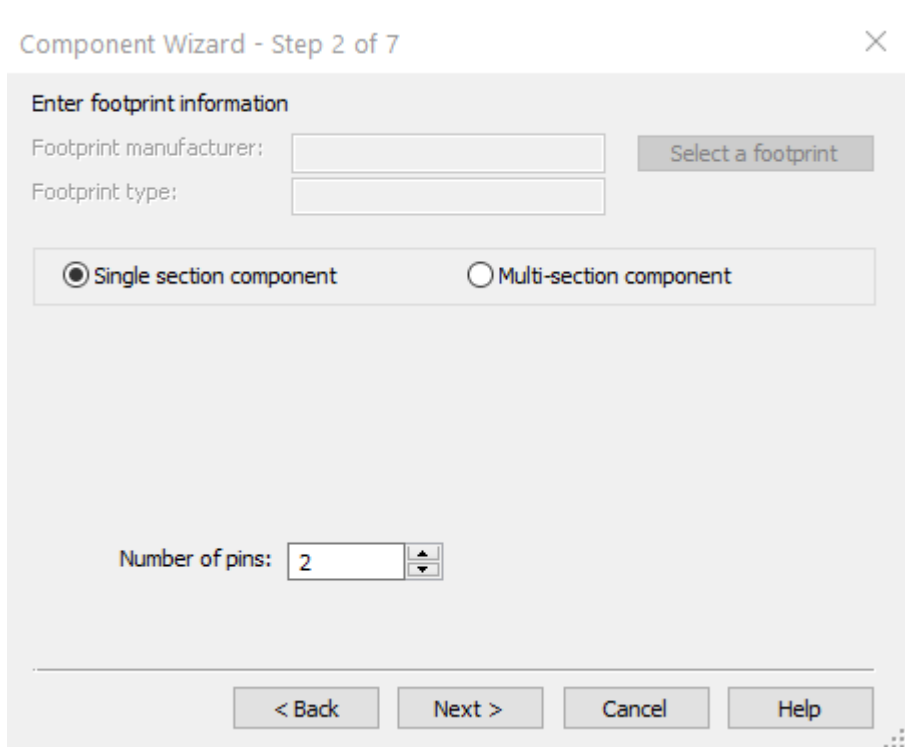
Для управления базами данных в Multisim используется менеджер баз данных, доступ к которому осуществляется через пункты меню Tools\Database\Database Manager. В диалоговом окне Database Manager перейти на закладку Family, в поле Family Tree выбрать User Database. Щелкнуть по экранной кнопке Add Family после чего отобразится диалоговое окно New Family Name, в котором можно указать имя нового семейства, где в будущем будут размещаться добавленные компоненты. Здесь же необходимо указать схемное обозначение элемента в окне Component RefDes – D (диод).



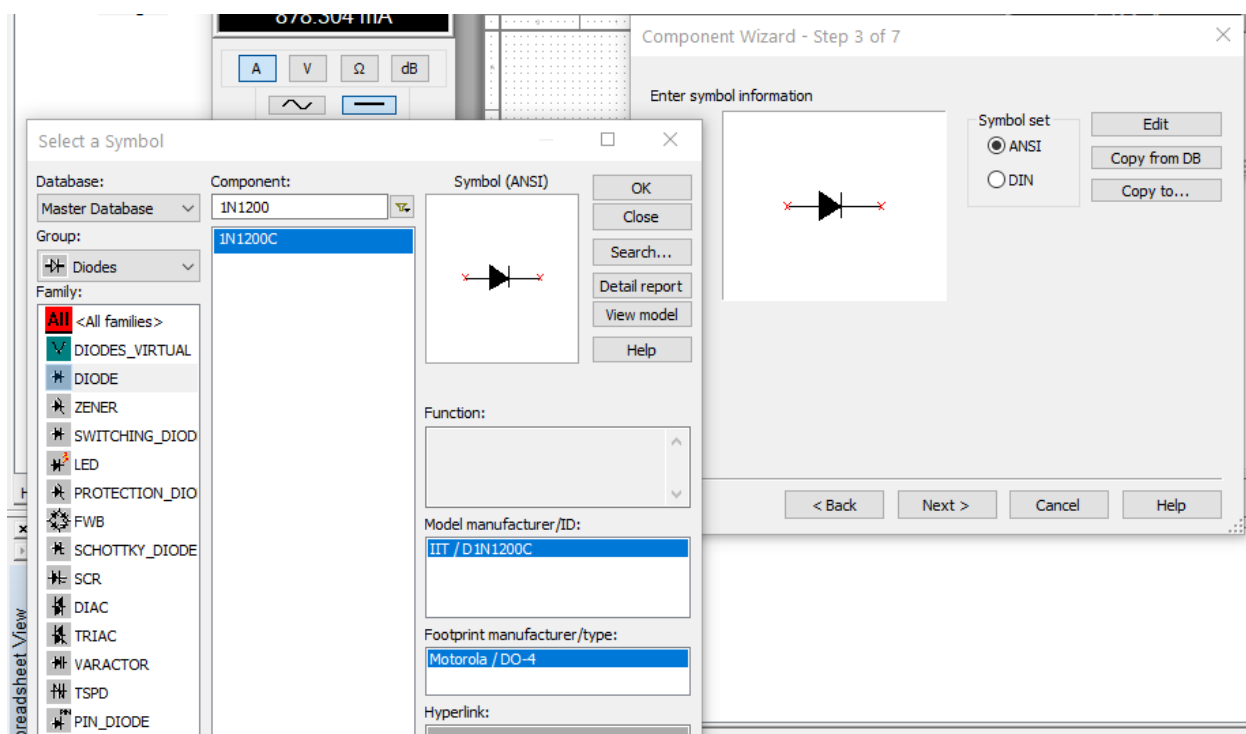
Далее, 1. Запустить мастер создания компонента – TOOLS/Component Wizard, который «по шагам» поможет ввести компонент в созданную базу данных.

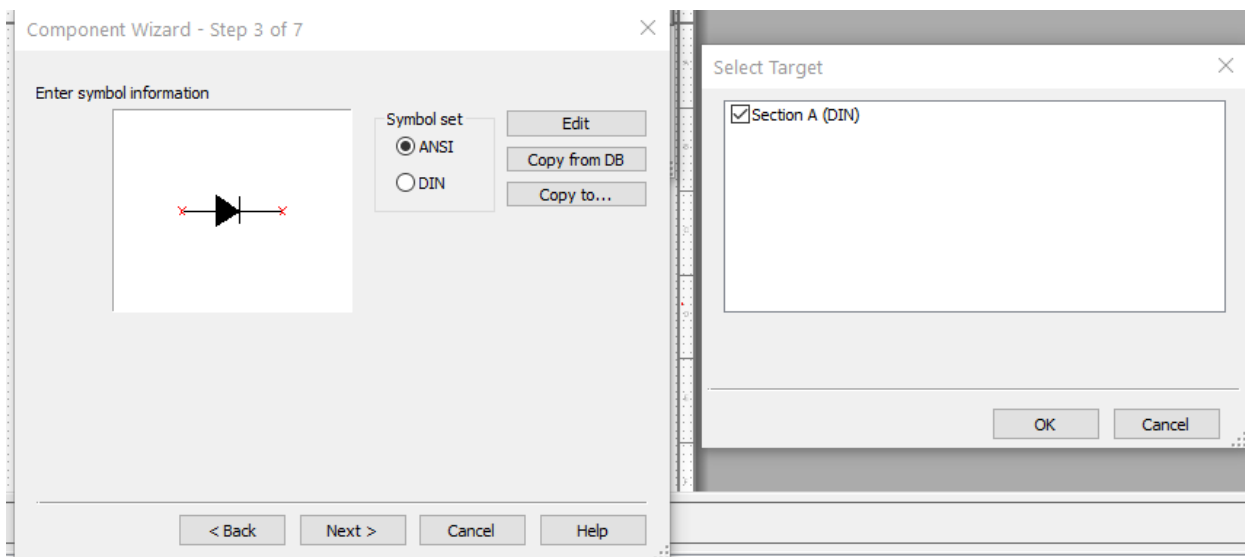


2. После нажатия экранной кнопки Next появляется диалоговое окно, соответствующее второму шагу – здесь вводится информация о том, сколько выводов имеет компонент и какое исполнение компонента (один компонент или сборка компонентов):

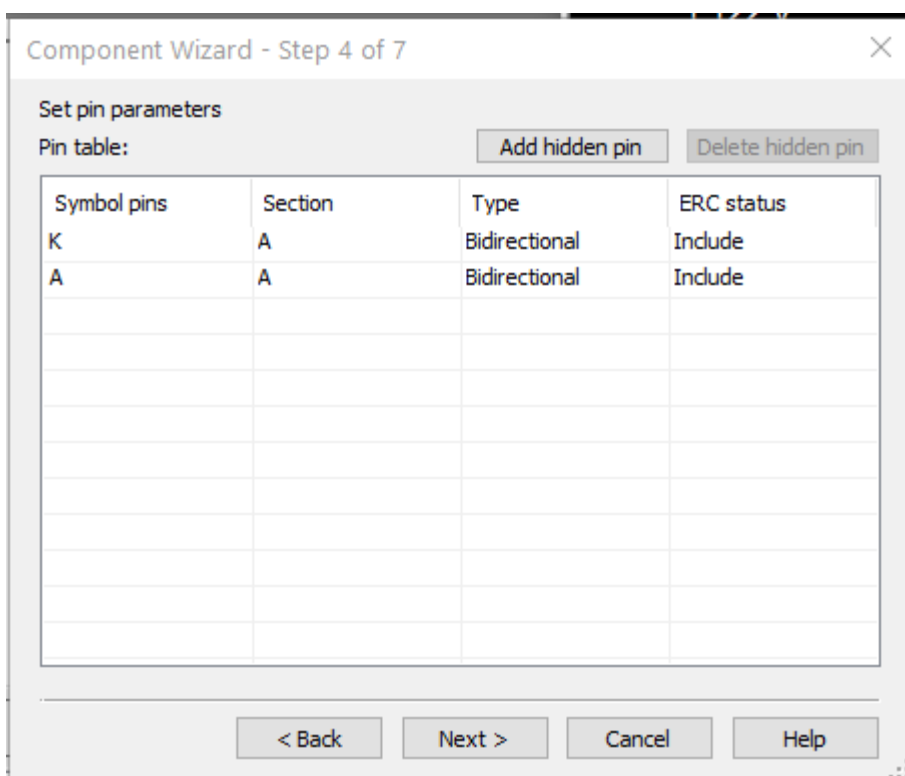


3. Третий шаг по созданию компонента – это определение его графического представления на принципиальной схеме:

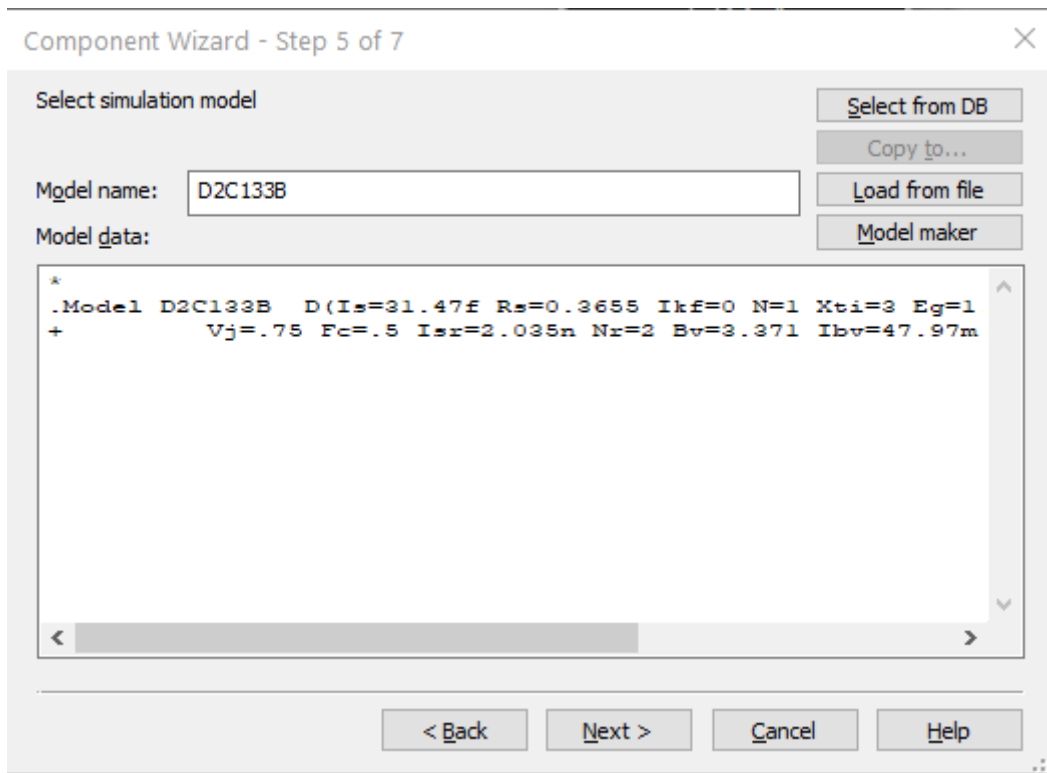




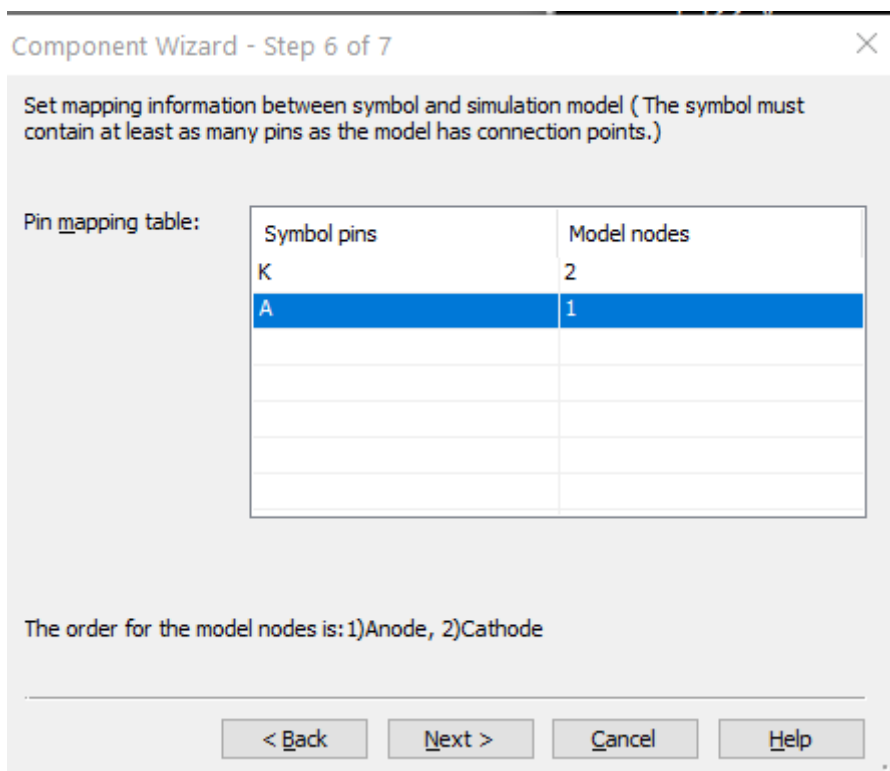
4. Четвёртый шаг – это определение параметров контактов компонента.



5. Следующий шаг - пятый, предполагает введение данных об электрической модели компонента.

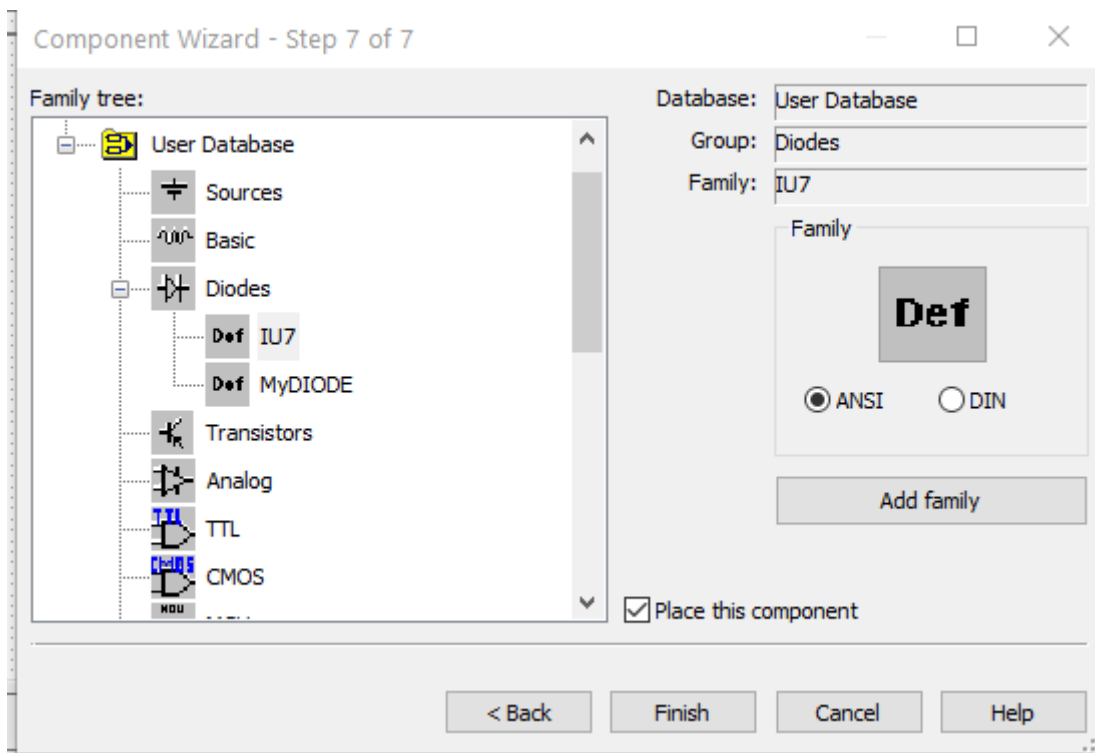


6. На шестом шаге устанавливается связь между информационным символом (условным изображением) и электрической моделью.

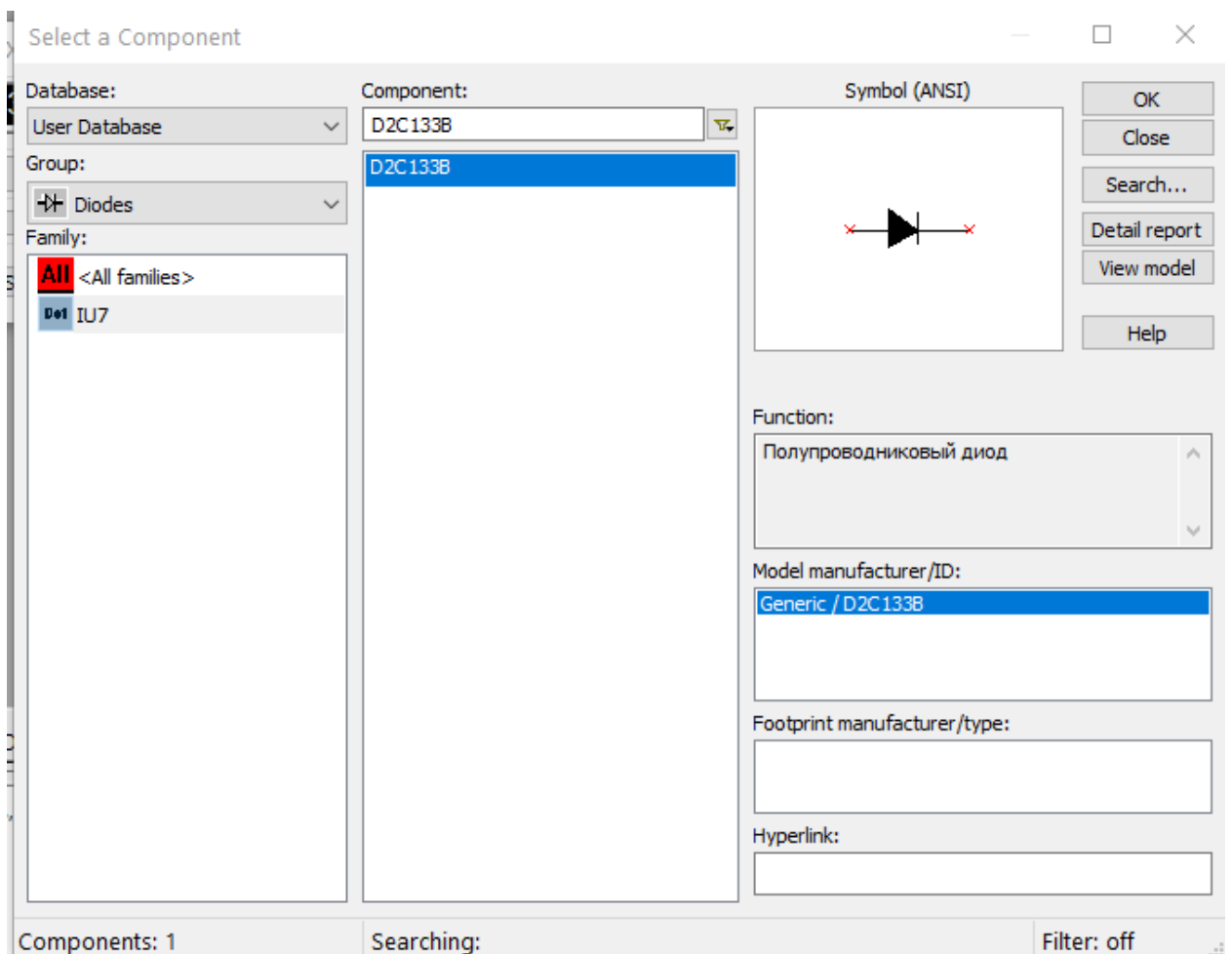


7. На седьмом шаге осуществляется внесение подготовленного компонента в базу Multisim.





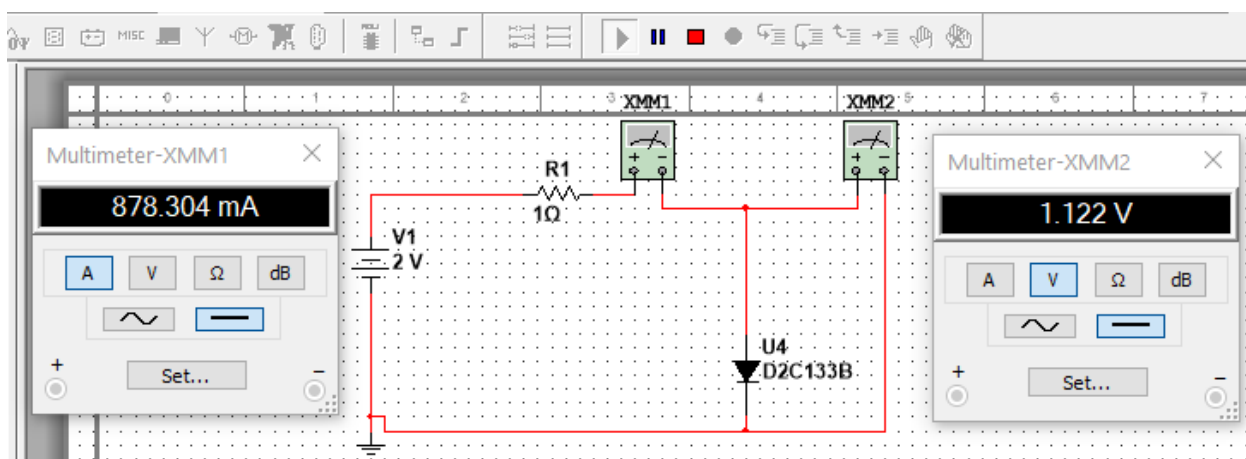
В результате проведённых операций в User database появится новый элемент – полупроводниковый диод D777I.



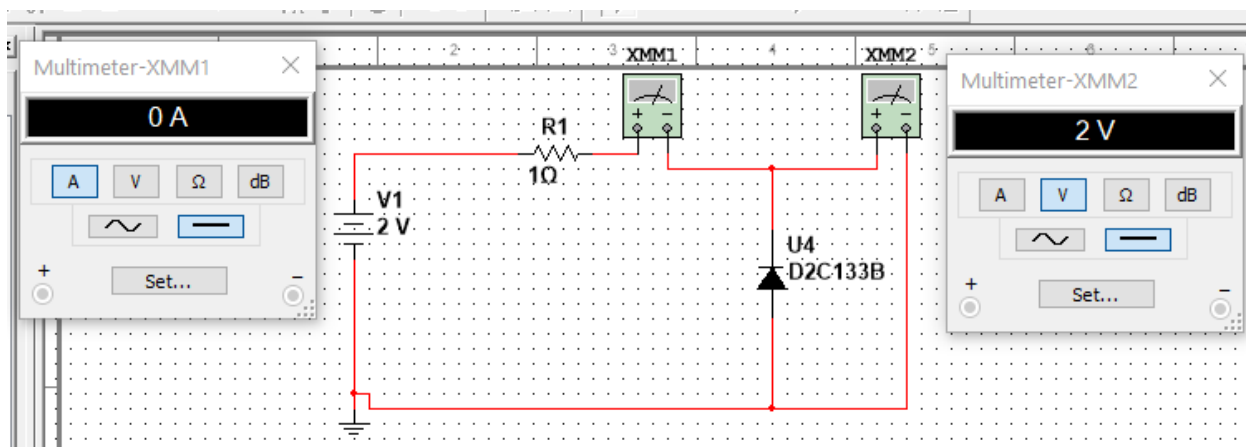
## ЭКСПЕРИМЕНТ 2: ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИМЕТРОВ

1. Для заданного варианта диода собрали стенд моделирования, зафиксировали результат измерений тока и напряжения мультиметрами и сняли таблицу измерений тока через диод в зависимости напряжения на диоде.

### а. прямая ветвь

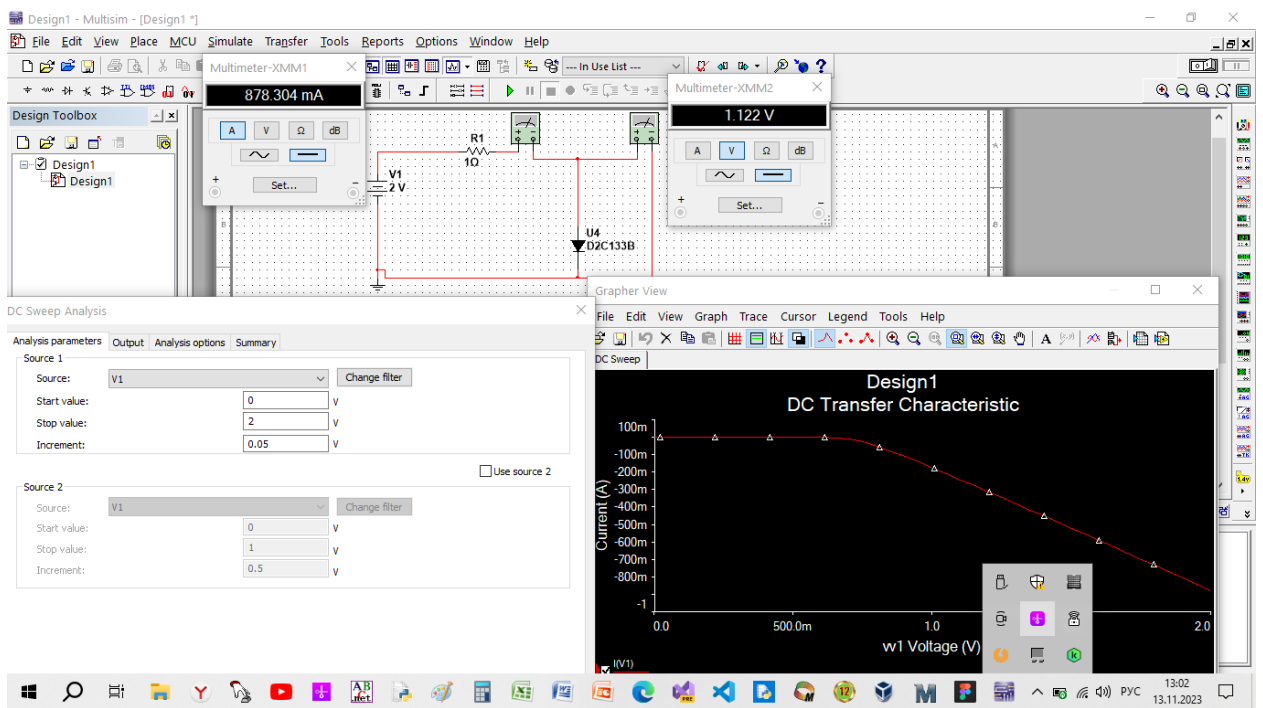


### б. обратная ветвь



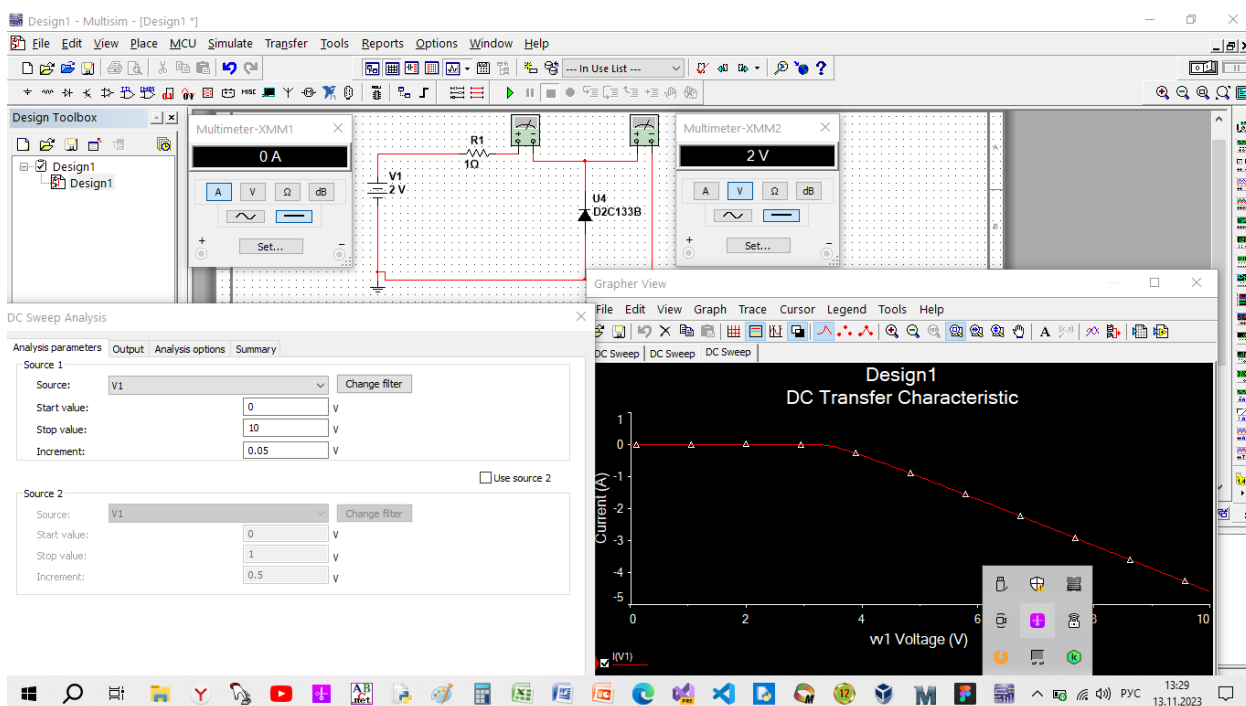
2. По результатам измерения построили и представили в отчете графики для прямой и обратной ветви ВАХ своего варианта диода и сохранили результаты измерений в файле, указав путь.

### а. прямая ветвь



E8					
	A	B	C	D	E
1	0	-2E-156			
2	0,05	-4E-09			
3	0,1	-1,3E-08			
4	0,15	-3,3E-08			
5	0,2	-8,2E-08			
6	0,25	-2E-07			
7	0,3	-5E-07			
8	0,35	-1,2E-06			
9	0,4	-3,1E-06			
10	0,45	-8,3E-06			
11	0,5	-2,5E-05			
12	0,55	-9,3E-05			
13	0,6	-0,00045			
14	0,65	-0,00245			
15	0,7	-0,01055			
16	0,75	-0,02824			
17	0,8	-0,05288			
18	0,85	-0,0813			
19	0,9	-0,11185			
20	0,95	-0,1437			
21	1	-0,17642			
22	1,05	-0,20975			
23	1,1	-0,24354			
24	1,15	-0,27766			
25	1,2	-0,31207			
26	1,25	-0,34669			

## б. обратная ветвь

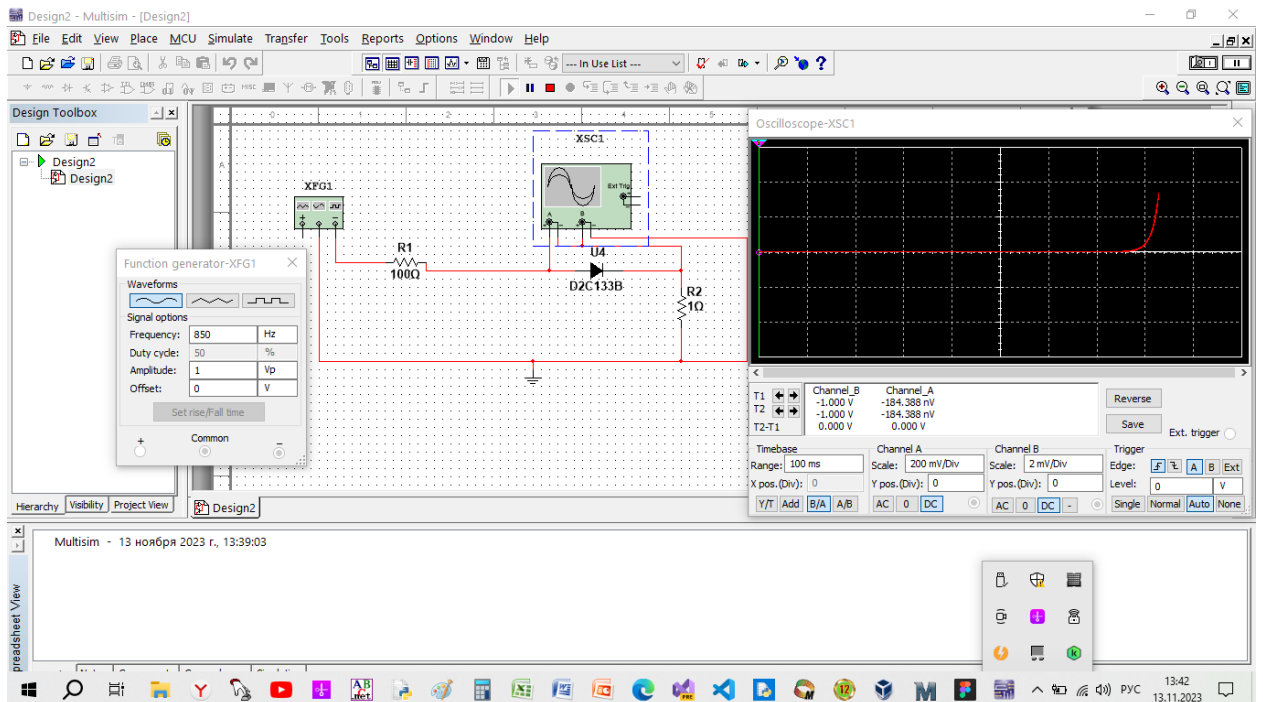
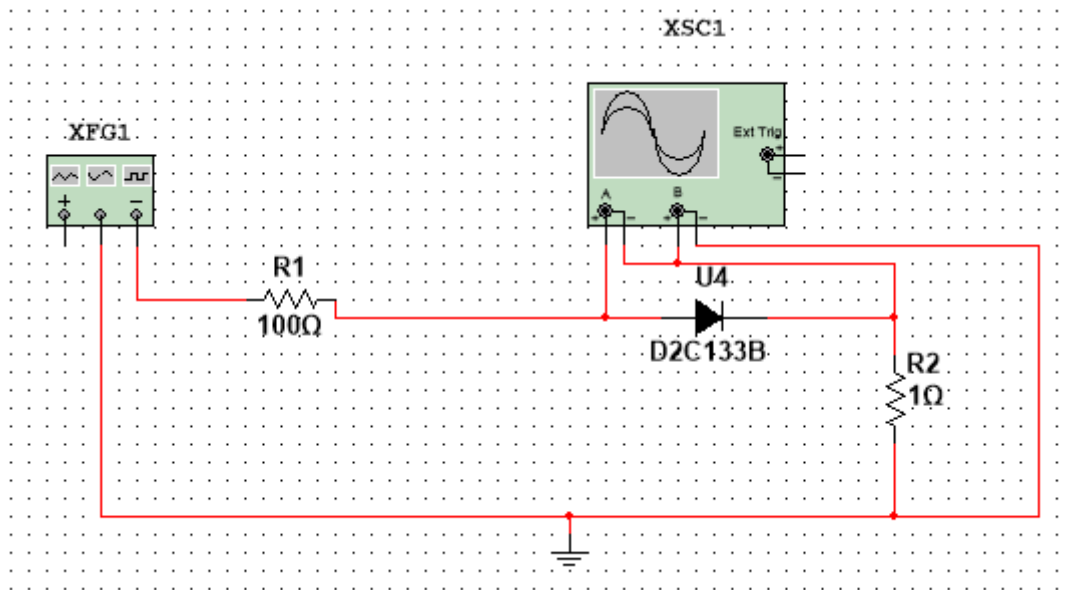


	A	B	C
1	0	2,4E-156	
2	0,05	-5,3E-10	
3	0,1	-1,2E-09	
4	0,15	-1,7E-09	
5	0,2	-2E-09	
6	0,25	-2,2E-09	
7	0,3	-2,3E-09	
8	0,35	-2,4E-09	
9	0,4	-2,5E-09	
10	0,45	-2,5E-09	
11	0,5	-2,6E-09	
12	0,55	-2,7E-09	
13	0,6	-2,7E-09	
14	0,65	-2,8E-09	
15	0,7	-2,8E-09	
16	0,75	-2,9E-09	
17	0,8	-3E-09	
18	0,85	-3E-09	
19	0,9	-3,1E-09	
20	0,95	-3,2E-09	
21	1	-3,2E-09	
22	1,05	-3,3E-09	
23	1,1	-3,4E-09	
24	1,15	-3,4E-09	
25	1,2	-3,5E-09	
26	1,25	-3,5E-09	

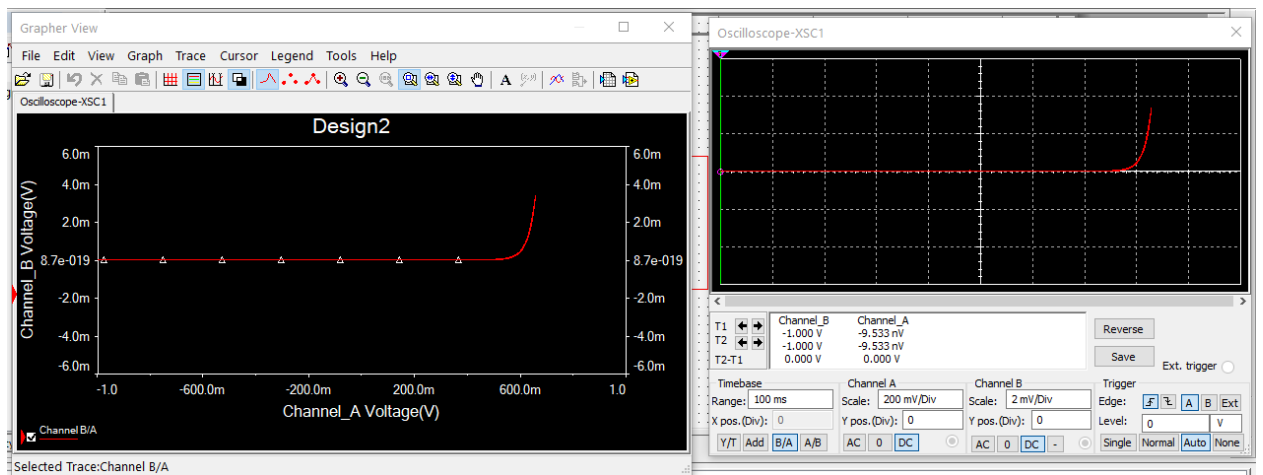
## ЭКСПЕРИМЕНТ 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСЦИЛЛОГРАФА И ГЕНЕРАТОРА

Осциллограф (приложение 4 стр. 42), как прибор с очень высоким входным сопротивлением более 10Мом, прекрасно подходит для любых измерений.

## 1. Смоделировали схему:



## 2. Получили ВАР на экране осциллографа, запустили Grapher View, используя кнопку Grapher на панели инструментов, в окне Grapher View сформировали выходной текстовый файл с данными расчёта:



-3.861208e-002	1.136376e-006
-3.839670e-002	1.136644e-006
-3.818132e-002	1.136912e-006
-3.796593e-002	1.137180e-006
-3.775055e-002	1.137448e-006
-3.753517e-002	1.137716e-006
-3.731978e-002	1.137984e-006
-3.710440e-002	1.138252e-006
-3.688902e-002	1.138520e-006
-3.667363e-002	1.138788e-006
-3.645825e-002	1.139056e-006
-3.624287e-002	1.139323e-006
-3.602749e-002	1.139591e-006
-3.581210e-002	1.139859e-006
-3.559672e-002	1.140127e-006
-3.538134e-002	1.140395e-006
-3.516595e-002	1.140663e-006
-3.495057e-002	1.140931e-006
-3.473519e-002	1.141199e-006
-3.451980e-002	1.141467e-006
-3.430442e-002	1.141735e-006
-3.408904e-002	1.142003e-006
-3.387366e-002	1.142271e-006
-3.365827e-002	1.142539e-006
-3.344289e-002	1.142807e-006

3. Использовали этот файл для передачи данных в MathCAD. Построили BAX в программе MCAD и рассчитали параметры модели ( $I_S$ ,  $R_b$ ,  $n$ ,  $F_t$ ) методом Given Minerr:

+

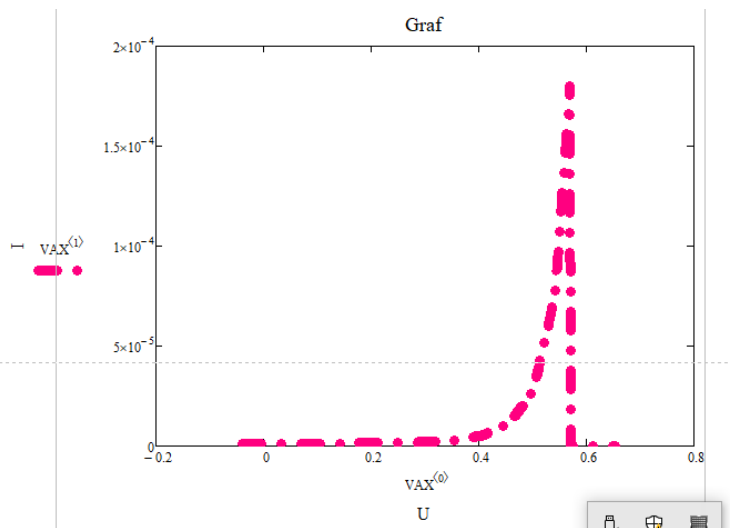
VAX := READPRN("2.Ivm")

	0	1
0	-0.039	1.136·10 <sup>-6</sup>
1	-0.038	1.137·10 <sup>-6</sup>
2	-0.038	1.137·10 <sup>-6</sup>
3	-0.038	1.137·10 <sup>-6</sup>
4	-0.038	1.137·10 <sup>-6</sup>
5	-0.038	1.138·10 <sup>-6</sup>
6	-0.037	1.138·10 <sup>-6</sup>
7	-0.037	1.138·10 <sup>-6</sup>
8	-0.037	1.139·10 <sup>-6</sup>
9	-0.037	1.139·10 <sup>-6</sup>
10	-0.036	1.139·10 <sup>-6</sup>
11	-0.036	1.139·10 <sup>-6</sup>
12	-0.036	1.14·10 <sup>-6</sup>
13	-0.036	1.14·10 <sup>-6</sup>
14	-0.036	1.14·10 <sup>-6</sup>
15	-0.035	...

	0		0
0	-0.039		1.136·10 <sup>-6</sup>
1	-0.038		1.137·10 <sup>-6</sup>
2	-0.038		1.137·10 <sup>-6</sup>
3	-0.038		1.137·10 <sup>-6</sup>
4	-0.038		1.137·10 <sup>-6</sup>
5	-0.038		1.138·10 <sup>-6</sup>
6	-0.037		1.138·10 <sup>-6</sup>
7	-0.037		1.138·10 <sup>-6</sup>
8	-0.037		1.139·10 <sup>-6</sup>
9	-0.037		1.139·10 <sup>-6</sup>
10	-0.036		1.139·10 <sup>-6</sup>
11	-0.036		1.139·10 <sup>-6</sup>
12	-0.036		1.14·10 <sup>-6</sup>
13	-0.036		1.14·10 <sup>-6</sup>
14	-0.036		1.14·10 <sup>-6</sup>
15	...		...

$$(VAX^{(0)})_1 = -0.038$$

$$(VAX^{(1)})_{10} = 1.139 \times 10^{-6}$$



$$\begin{aligned} Id1 &:= 0.62312 & Ud1 &:= 0.00103566 \\ Id2 &:= 0.64354 & Ud2 &:= 0.00212532 \\ Id3 &:= 0.58961 & Ud3 &:= 0.000340715 \\ Id4 &:= 0.56409 & Ud4 &:= 0.000158211 \end{aligned}$$

$$Rb := \frac{(Ud1 - 2 \cdot Ud2 + Ud3)}{Id1} \quad Rb = -4.613 \times 10^{-3}$$

$$NFt := \frac{[(3 \cdot Ud2 - 2 \cdot Ud1) - Ud3]}{\ln(2)} \quad NFt = 5.719 \times 10^{-3}$$

$$Io := Id1 \cdot e^{\frac{(Ud3 - 2 \cdot Ud2)}{NFt}} \quad Io = 0.315$$

Вычисление параметров ВАХ ( $I_{s0}$ ,  $R_b$ ,  $m$ ,  $F_t$ )  $U_k := I_k \cdot R_b + \ln \left[ \frac{(I_{s0} + I_k)}{I_{s0}} \right] \cdot m \cdot F_t$

$R_b := 1$   $I_{s0} := 0.0000001$   $m := 2$   $F_t := 0.02$  начальные приближения

Given

$$0.623 = \left[ 1.036 \times 10^{-3} \cdot R_b + m \cdot F_t \cdot \ln \left[ \frac{(1.036 \times 10^{-3} + I_{s0})}{I_{s0}} \right] \right]$$

$$0.644 = \left[ 2.125 \times 10^{-3} \cdot R_b + m \cdot F_t \cdot \ln \left[ \frac{(2.125 \times 10^{-3} + I_{s0})}{I_{s0}} \right] \right]$$

$$0.59 = \left[ 3.407 \times 10^{-4} \cdot R_b + m \cdot F_t \cdot \ln \left[ \frac{(3.407 \times 10^{-4} + I_{s0})}{I_{s0}} \right] \right]$$

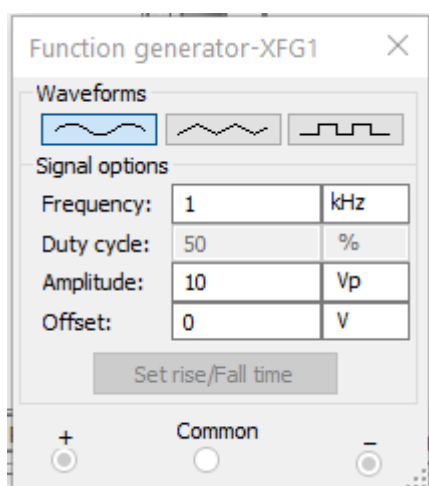
$$0.564 = \left[ 1.582 \times 10^{-4} \cdot R_b + m \cdot F_t \cdot \ln \left[ \frac{(1.582 \times 10^{-4} + I_{s0})}{I_{s0}} \right] \right]$$

$Diod\_M := Minerr(I_{s0}, R_b, m, F_t)$   $Diod\_M = \begin{pmatrix} 5.847 \times 10^{-12} \\ -3.24 \\ 1.318 \\ 0.018 \end{pmatrix}$

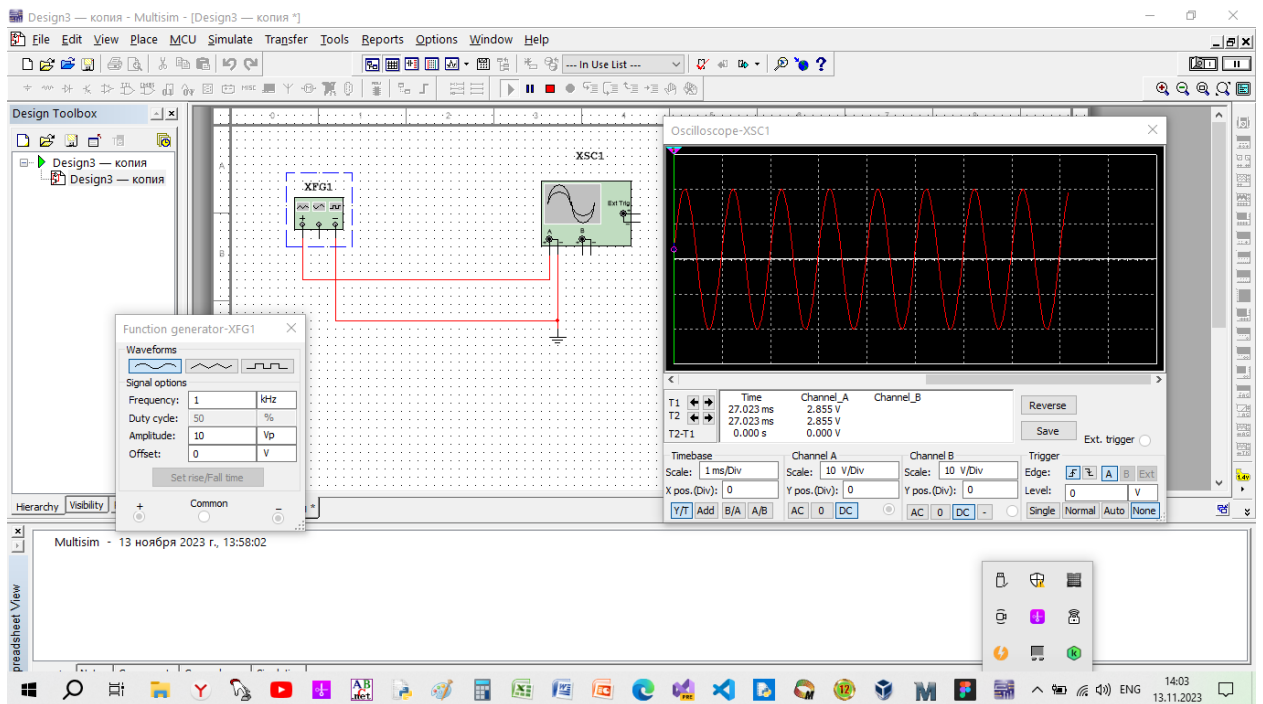
$I_{d1} = 0.623$	$U_{d1} = 1.036 \times 10^{-3}$
$I_{d2} = 0.644$	$U_{d2} = 2.125 \times 10^{-3}$
$I_{d3} = 0.59$	$U_{d3} = 3.407 \times 10^{-4}$
$I_{d4} = 0.564$	$U_{d4} = 1.582 \times 10^{-4}$

## ЭКСПЕРИМЕНТ 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ДИОДА ПРИ ПОМОЩИ ОСЦИЛЛОГРАФА

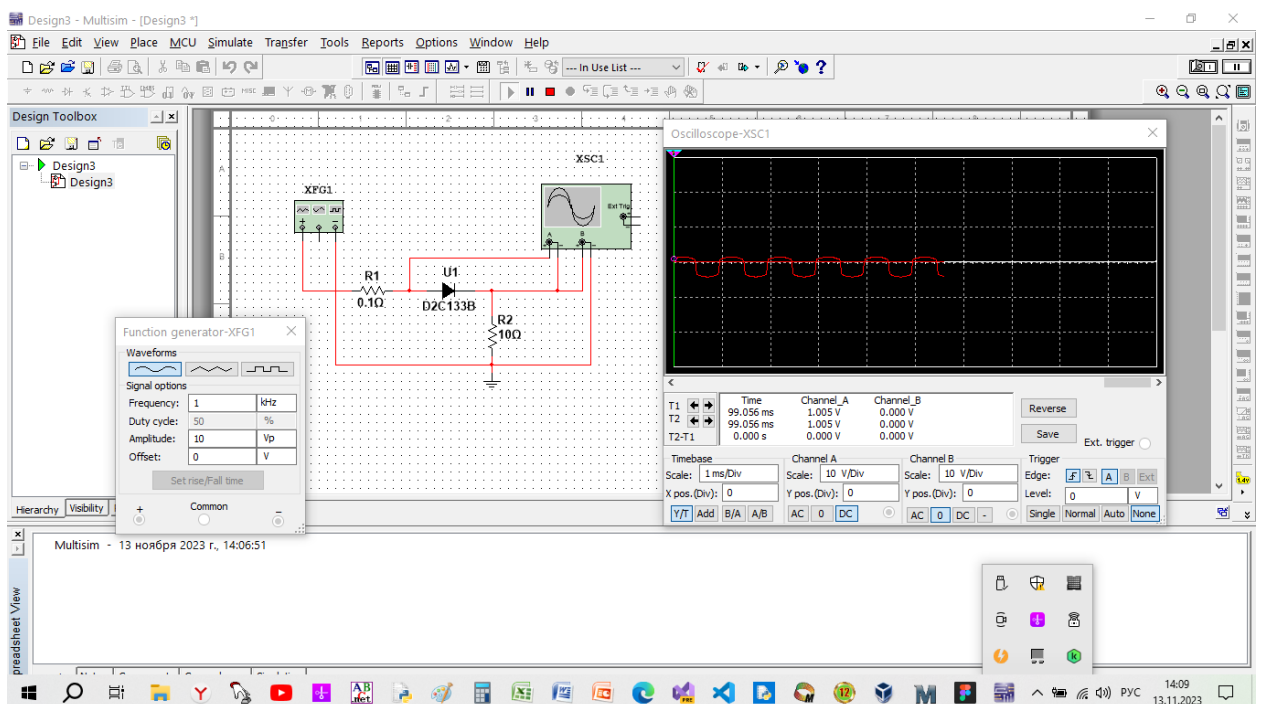
1. Настроили осциллограф на измерение временной развертки сигнала генератора (клавиша Y/T): частота генератора 1 кГц, амплитуда 10В.



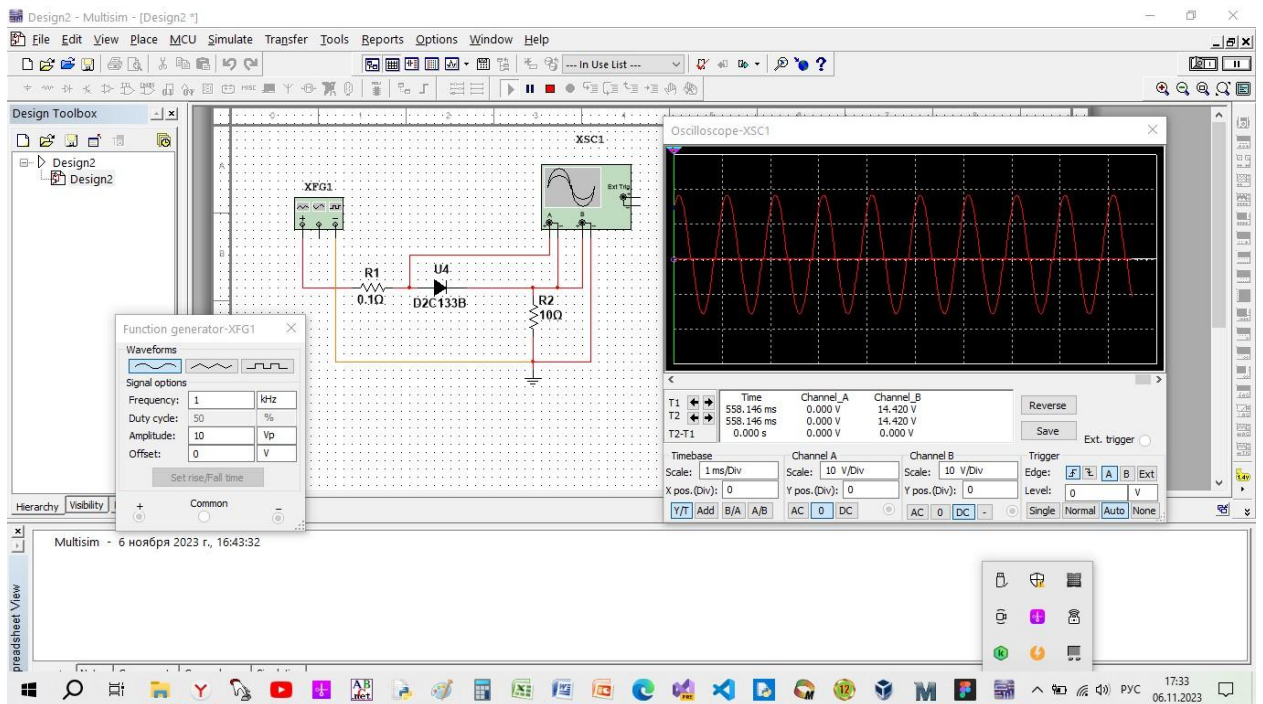




2. Собрали схему со своим диодом. Видно, что обратное напряжение не изменилось — диод имеет большое обратное сопротивление. Прямое напряжение на выбранном диоде 12 не превышает 642 мВ (канал А, диод полностью открыт).



В нагрузку проходит прямая волна тока и создает напряжение на нагрузочном резисторе.



Если параллельно нагрузочному резистору поставить накопительный конденсатор, среднее напряжение вырастет, как и полагается, в корень из 2 раз ( $10 \cdot 21/2 \approx 14.7$ ) – , канал В. Получился однополупериодный выпрямитель.

