

**Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Казанский (Приволжский) Федеральный Университет»**

**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ**

**КАФЕДРА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Специальность: 010801.65 РАДИОФИЗИКА И ЭЛЕКТРОНИКА.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(Дипломная работа)**

**Разработка лабораторного практикума  
«Схемы на диодах и стабилитронах, однополупериодные  
и двухполупериодные выпрямители, мультивибраторы».**

Работа завершена:

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 г.

Иткинин Э.Х.

Работа допущена к защите:

Научный руководитель:

к.ф.м.н., доцент

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 г.

Насыров И.А.

Заведующий кафедрой:

д.ф.м.н., профессор

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 г.

Овчинников М. Н.

**Казань - 2015**

## Содержание

<b>Введение</b> .....	3
<b>Глава 1.Полупроводниковый диод</b> .....	5
1.1.Лабораторная работа №1.....	7
<b>Глава 2.Стабилитрон</b> .....	30
2.1.Лабораторная работа №2.....	32
<b>Глава 3.Однополупериодный и двухполупериодный выпрямитель</b> .....	38
3.1.Лабораторная работа №3.....	40
<b>Глава 4.Мультивибратор</b> .....	49
4.1.Лабораторная работа № 4.....	55
4.2.Лабораторная работа №5.....	61
4.3.Лабораторная работа №6.....	67
<b>Заключение</b> .....	71
<b>Список литературы</b> .....	72
<b>Приложение А.Описание программы Multisim</b> .....	73
<b>Приложение Б.Образовательная платформа NI ELVISII<sup>+</sup></b> .....	80
<b>Приложение В.Лабораторный стенд НТЦ «ВЛАДИС» ЛКЭЛ-3М(4М)</b> ....	84

## Введение

Лабораторный практикум является одной из основных компонент усвоения физических знаний. В традиционном виде он наряду с неопределимыми преимуществами практической формы приобретения знаний обладает рядом недостатков: ограничен материальной базой и жестким временным графиком выполнения работы; проявление инициативы и самостоятельности студентов ограничивается методическими указаниями. Поддержка физического практикума современными информационными технологиями позволяет хотя бы отчасти преодолеть эти недостатки и усилить мотивацию студентов при изучении курса, выявляя ее выходы в профессиональные задачи. При этом необходимо разумное сочетание изучения реальных объектов практикума и их моделей. Поэтому актуальным является вопрос, как наиболее эффективно применять информационные технологии в учебном процессе, в частности, программы National Instruments Multisim, образовательную платформу NI ELVIS II<sup>+</sup> и лабораторный стенд НТЦ «ВЛАДИС» ЛКЭЛ-3М(4М).

Целью дипломной работы является разработка лабораторного практикума по курсу радиоэлектроника.

Основной задачей лабораторного практикума является приобретение студентами практических навыков подготовки и испытания электрических цепей и устройств, в частности приобретение навыков измерения электрических величин, обработки экспериментальных данных, построения временных и векторных диаграмм электрических величин и характеристик устройств, а также получение экспериментального подтверждения теоретических положений, рассмотренных на лекциях.

В дипломной работе по заданной функциональной схеме составляется принципиальная схема на указанной элементной основе. В этой части

диплома используются основные принципы работы базовых элементов электронных схем: диодов, транзисторов, аналоговых и цифровых схем, усилителей, генераторов, мультивибраторов и умение согласовать их между собой (по величине и полярности напряжения питания, по полярности и уровню сигналов и т.п.).

Математическое моделирование в данной работе проводится с помощью компьютерной программы Multisim 11.0, которая является удобным и ориентированным на конечного пользователя инструментом для проектирования и изучения различных электронных схем. Использование программы объясняется ее особенностями (достоинствами):

- наличие гибкой системы приборов, по внешнему виду и характеристикам приближенных к промышленным аналогам;
- наличие обширной библиотеки электронных компонентов + большое количество дополнительных библиотек, что позволяющей собрать практически любую схему;
- наличие простого и легко осваиваемого интерфейса и системы отката на несколько шагов назад или вперед соответственно (Ctrl +Z), благодаря которым сборка и анализ исследуемой схемы могут происходить намного быстрее, что экономит время.

Данная дипломная работа содержит описание лабораторных работ по курсу радиоэлектроника: схемы на диодах и стабилитронах, однополупериодные и двухполупериодные выпрямители, мультивибраторы.

Работы проводятся на компьютере, в среде компьютерного моделирования Multisim, на стенде НТЦ «ВЛАДИС» ЛКЭЛ-3М, ЛКЭЛ-4М и на образовательной платформе NI ELVIS II+.

# Глава 1. Полупроводниковый диод

## Теоретическая часть

Полупроводниковый диод содержит один p-n-переход и имеет два вывода: вывод А (анод) от p-области и К (катод) от n-области. Наиболее распространены и обширны две группы германиевых и кремниевых диодов – выпрямительные и импульсные, называемые в некоторых справочниках универсальными.

Выпрямительные диоды, в которых используется основное свойство p-n-перехода – его односторонняя электропроводность, применяют главным образом для выпрямления переменного тока в диапазоне частот от 50 Гц до 100 кГц. Импульсные диоды применяют в схемах электронных устройств, работающих в импульсных режимах.

Функционирование диода в электрической схеме определяется его вольтамперной характеристикой (ВАХ).

Анализ типовых ВАХ диодов показывает, что прямое напряжение  $U_{пр}$  на германиевом диоде почти в два раза меньше, чем на кремниевом при одинаковых значениях прямого тока  $I_{пр}$ , а обратный ток  $I_{обр}$  кремниевого диода значительно меньше обратного тока германиевого диода при одинаковых, обратных напряжениях. К тому же, германиевый диод начинает

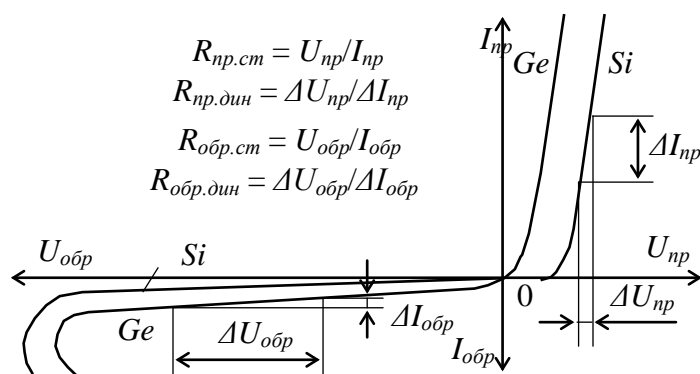


Рис.1.1

проводить ток при ничтожно малом прямом напряжении  $U_{пр}$ , а кремниевый – только при  $U_{пр} = 0,4 \dots 0,5$  В.

Исходя из этих свойств, германиевые диоды применяют как в схемах выпрямления переменного тока, так и для обработки сигналов малой амплитуды (до 0,3 В), а кремниевые, наиболее распространённые – как в схемах выпрямления, так и в схемах устройств, в которых обратный ток недопустим или должен быть ничтожно мал. Кроме того, кремниевые диоды сохраняют работоспособность до температуры окружающей среды 125...150°C, тогда как германиевые могут работать только до 70 °С.

Основные параметры выпрямительного диода приводятся в его техническом паспорте и сравниваются (для принятия решения его использования в схеме электронного устройства) с параметрами, определёнными по снятым характеристикам:

- прямое постоянное напряжение  $U_{пр}$  при определённом для каждого диода прямом постоянном токе  $I_{пр}$ ;

- обратный ток  $I_{обр}$  при определённом обратном постоянном напряжении  $U_{обр}$ ;

- максимально допустимое обратное напряжение  $U_{обр\cdot max}$ . Превышение  $U_{обр\cdot max}$  переводит диод в режим пробоя. Различают электрический и тепловой пробой р-n-перехода. Электрический пробой может быть лавинным или туннельным и не сопровождается разрушением р-n-перехода. Тепловой пробой, как правило, приводит к разрушению р-n-перехода и выводу диода из строя;

- максимально допустимый прямой ток  $I_{пр\cdot max}$ , обычно определяемый как средний за период прямой ток в схеме однополупериодного выпрямителя.

## 1.1.Лабораторная работа № 1

Цель работы: изучение полупроводникового диода.

1. Исследование напряжения и тока диода при прямом и обратном смещении p-n перехода.
2. Построение и исследование вольтамперной характеристики (ВАХ) для полупроводникового диода.
3. Исследование сопротивления диода при прямом и обратном смещении по вольтамперной характеристике.
4. Анализ сопротивления диода (прямое и обратное смещение) на переменном и постоянном токе.

Приборы: функциональный генератор, мультиметр, осциллограф, источник постоянного напряжения, диод 1N4001, резисторы.

Эксперимент 1. Измерение напряжения через диод.

I) а) Запускаем программу Multisim 11.0

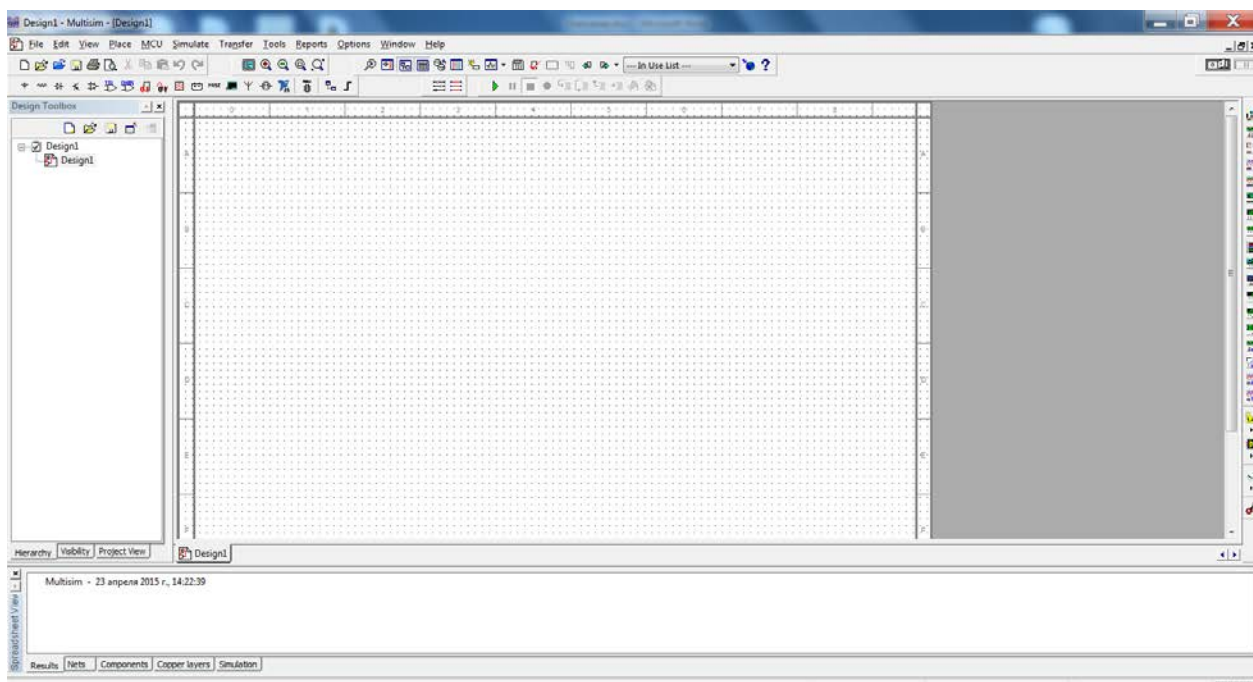


Рис.1.2

В появившемся окне собираем схему:

Схема состоит из резистора  $R=100$  Ом, полупроводникового диода 1N4001G, источника постоянного напряжения и мультиметра.

б) Ввод источника постоянного питания

Ввести источник постоянного питания(DC\_Power) E=9 V

Откройте меню Place Source\Power\_Sources и выберите DC\_Power

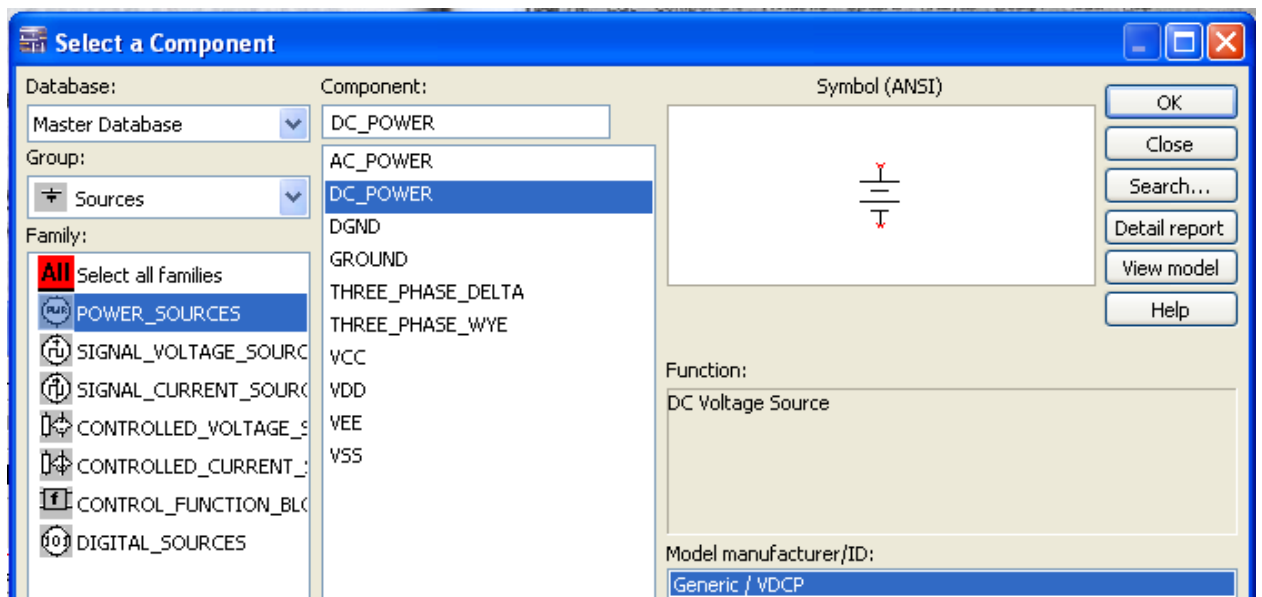


Рис.1.3

Курсор примет форму графического изображения источника постоянного питания. Поместите его на рабочее окно, так как показано на рис.1.4

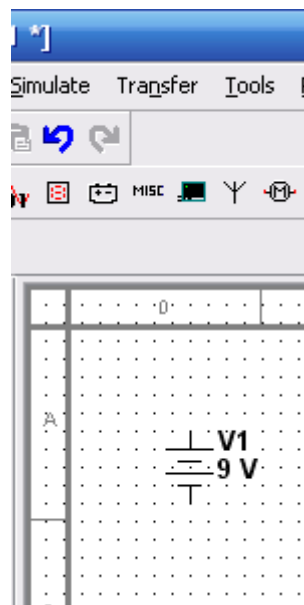


Рис.1.4

Зафиксируйте это положение, щелкнув левой кнопкой мыши. Появится окно **Select a Component**. Закройте это окно, щелкнув **Заккрыть**. Дважды щелкните левой клавишей мыши на графическое изображение источника напряжения. Появится окно **DC\_Power**. Введите 9 V в окне **Voltage** (рис.1.5).



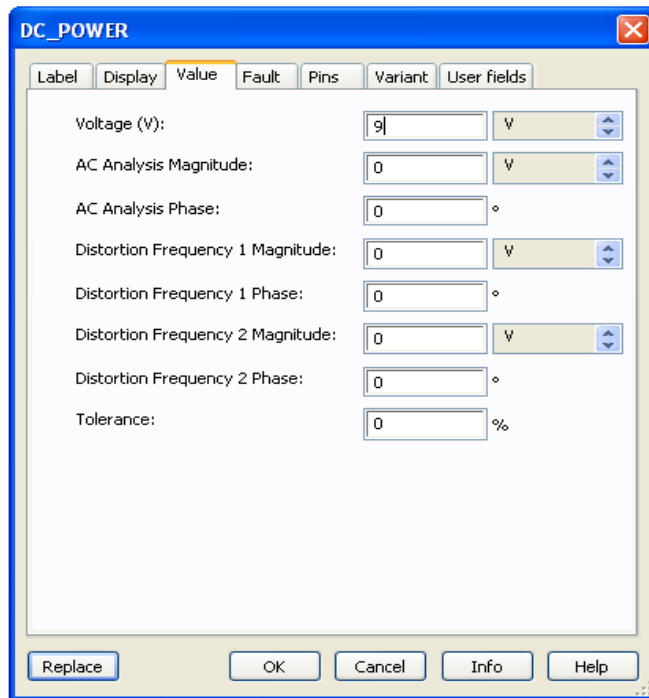


Рис.1.5

### в) Ввод резистора

Ввести резистор (RESISTOR)  $R=100$  Ом.

Откройте меню Place Basic\Resistor и выберите значение сопротивления 100 Ом и нажмите кнопку ОК (рис.1.6)

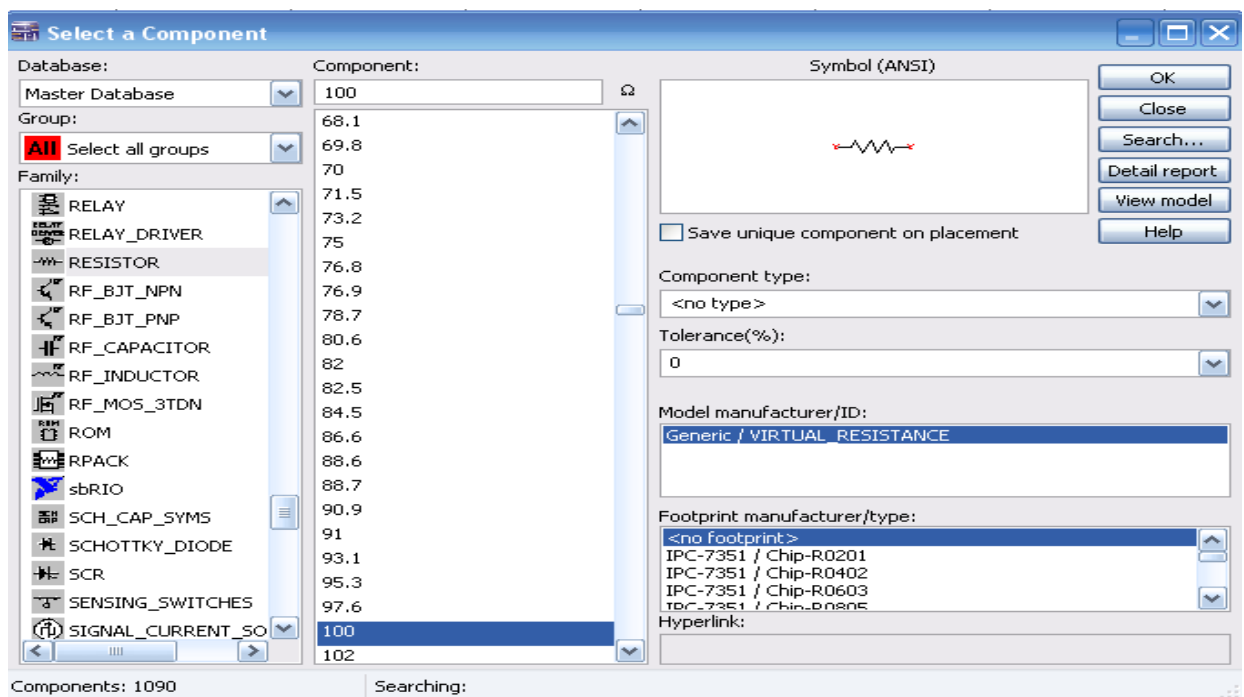


Рис.1.6

### г) Ввод диода

Ввести диод (Diode) маркировки 1N4001G.

Откройте меню Place Diode и выберите диод модели 1N4001G.

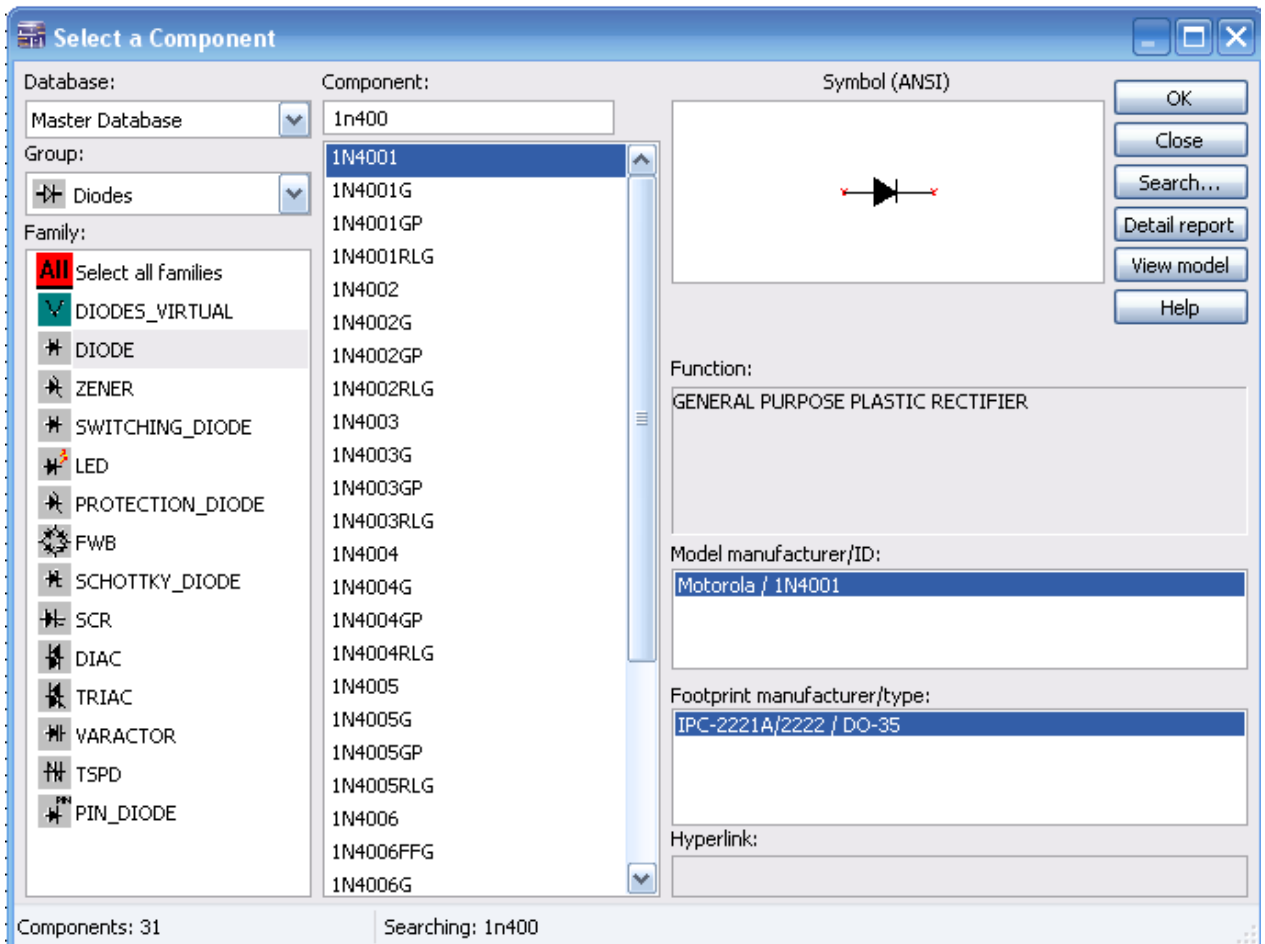


Рис.1.7

д) Ввод мультиметра

Ввести мультиметр (Multimetr) из панели инструментов (рис.1.8)

Мультиметр включаем в режиме вольтметра.

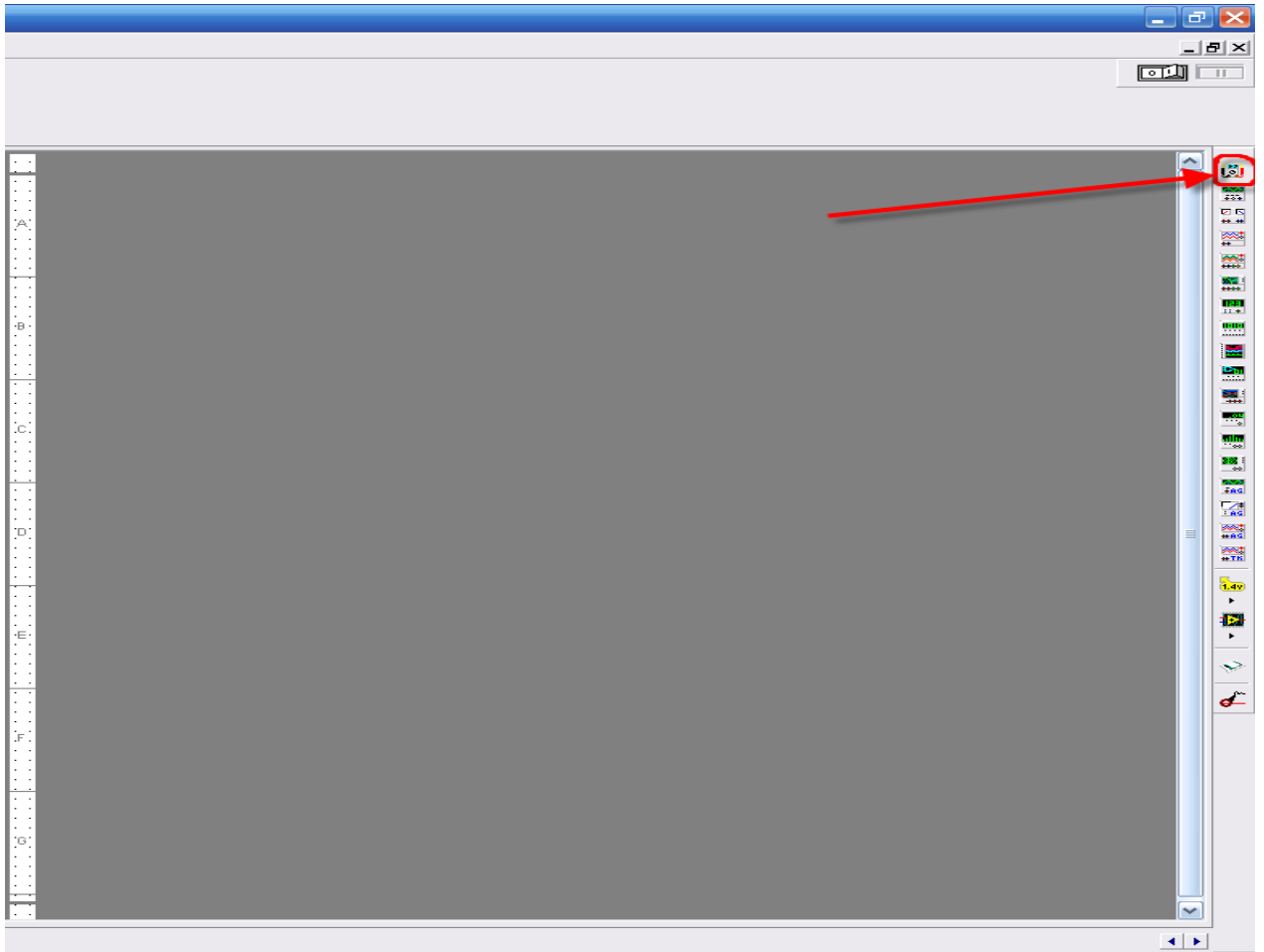


Рис.1.8

е) Ввод земли

Откройте меню Place Source\Power Sources и выберите землю Ground (рис.1.9)

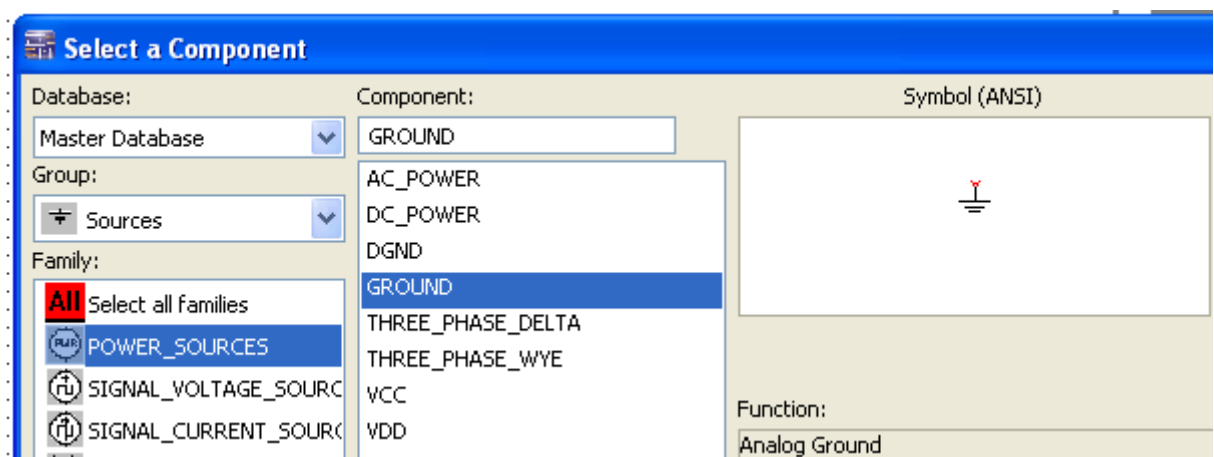


Рис.1.9

ё) Ввод проводников

Соединяем все элементы.

Для этого нажимаем на левую кнопку мыши и, удерживая ее, соединяем необходимые полюсы элементов

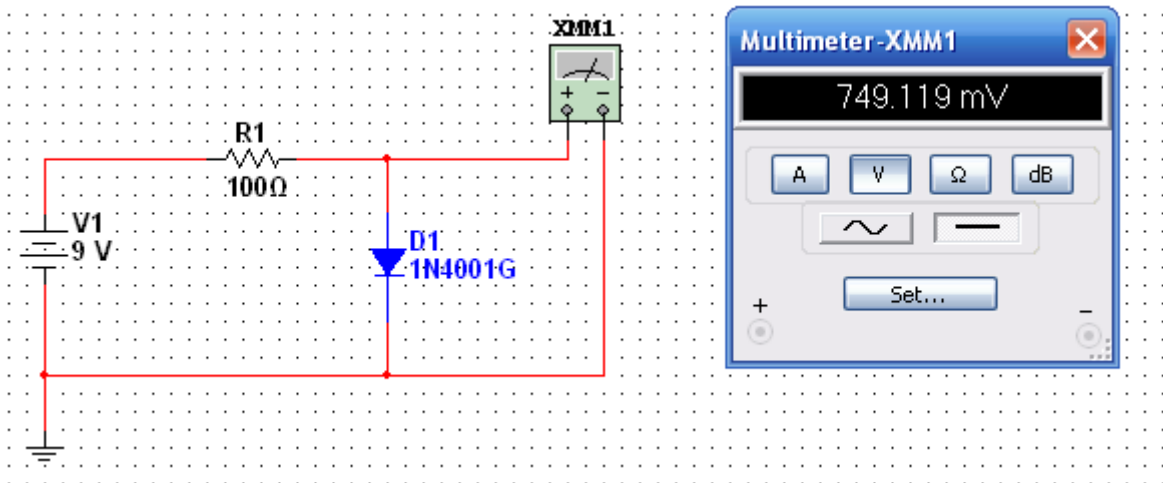


Рис.1.10

Включаем схему, нажав на кнопку Run\Resume Simulation или на клавишу F5 (рис.1.11)

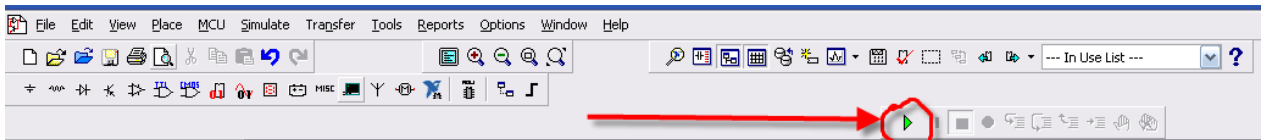


Рис.1.11

Мультиметр покажет напряжение на диоде  $U_{np}$  при прямом смещении. Переворачиваем диод и снова запускаем схему. Теперь мультиметр покажет напряжение на диоде  $U_{об}$  при обратном смещении. Вычисляем ток диода при прямом и обратном смещении.

$$U_{об} = 8,99V \quad I_{об} = (E - U_{об})/R = (9 - 8,99)/100 = 0,0001 A$$

$$U_{np} = 749,119 mV \quad I_{np} = (E - U_{np})/R = (9 - 0,749)/100 = 0,0899 A$$

II) Собираем эту же схему на стенде НТЦ «ВЛАДИС» ЛКЭЛ-3М и ЛКЭМ-4М

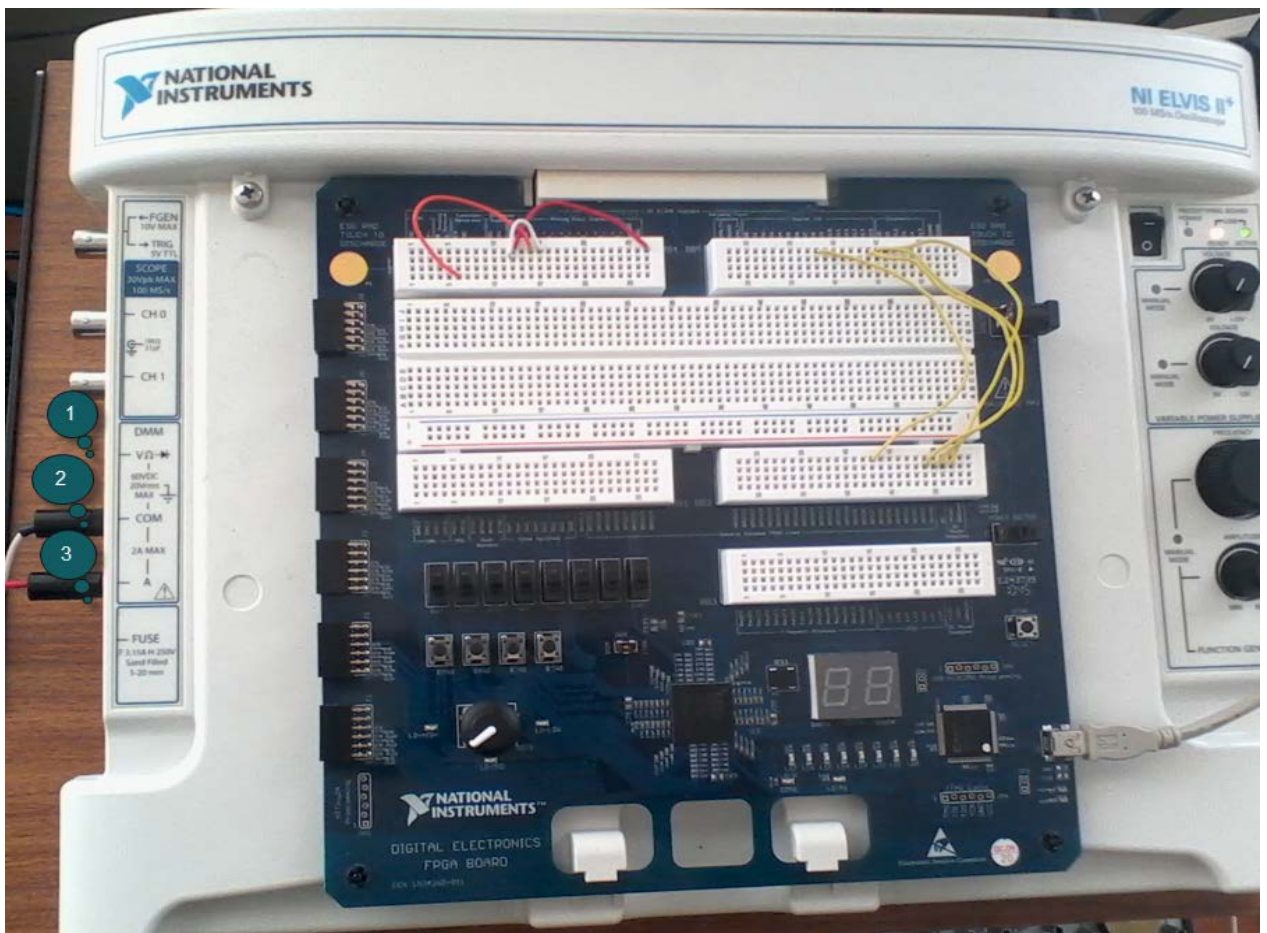
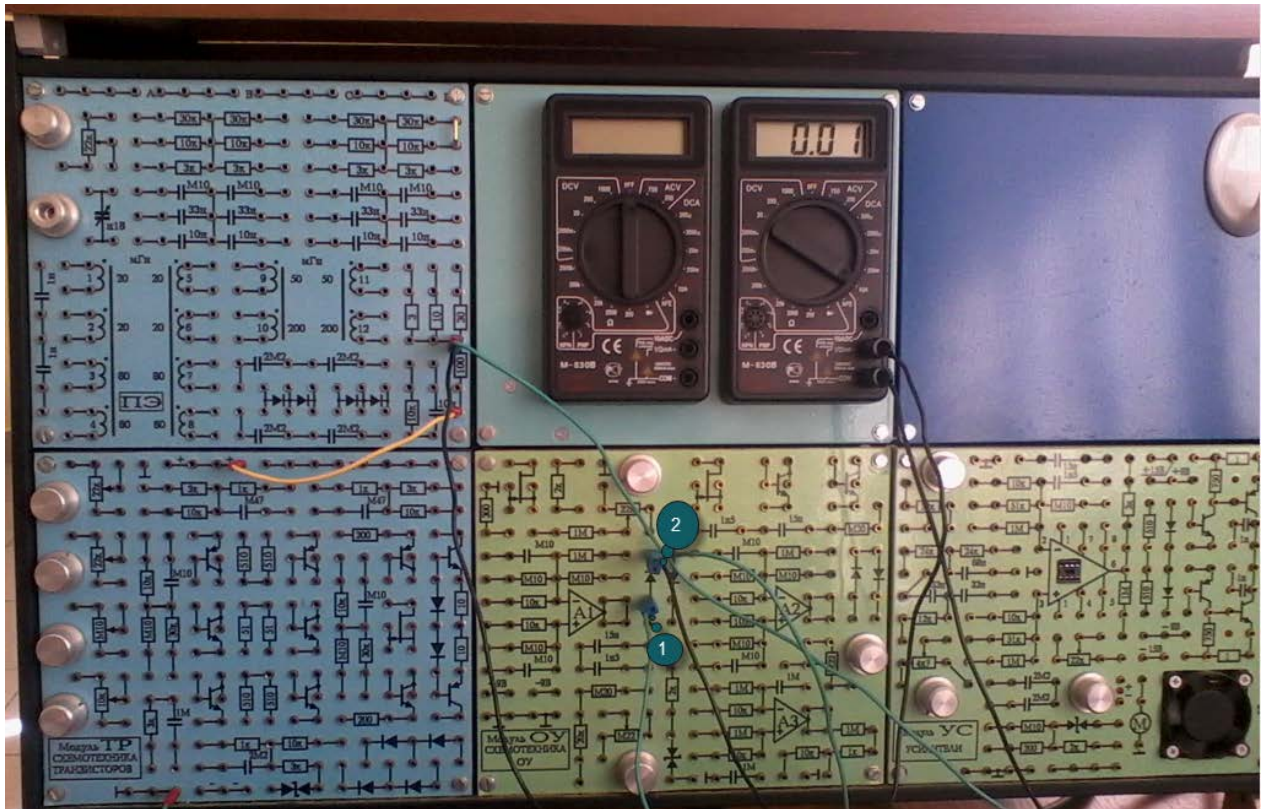


Рис.1.12



Берем резистор ( $R=100 \text{ Ом}$ ) из модуля ПЭ ЛКЭЛ-3М, диод из модуля ОУ ЛКЭЛ-3М. Соединяем их как на рис.1.10, подаем напряжение 9 V.K выходу 1 и 2 на стенде ЛКЭЛ-3М подключаем мультиметр к входу 1 и 2 на NIELVISII+. На компьютере открываем NI ELVISmx InstrumentLauncher , в появившемся окне выбираем Digital Multimeter. Мультиметр включаем в режиме вольтметра и измеряем напряжение на диоде  $U_{np}$  при прямом смещении. Переворачиваем диод и снова запускаем схему. Теперь мультиметр покажет напряжение на диоде  $U_{об}$  при обратном смещении. Вычисляем ток диода при прямом и обратном смещении.



Рис.1.13

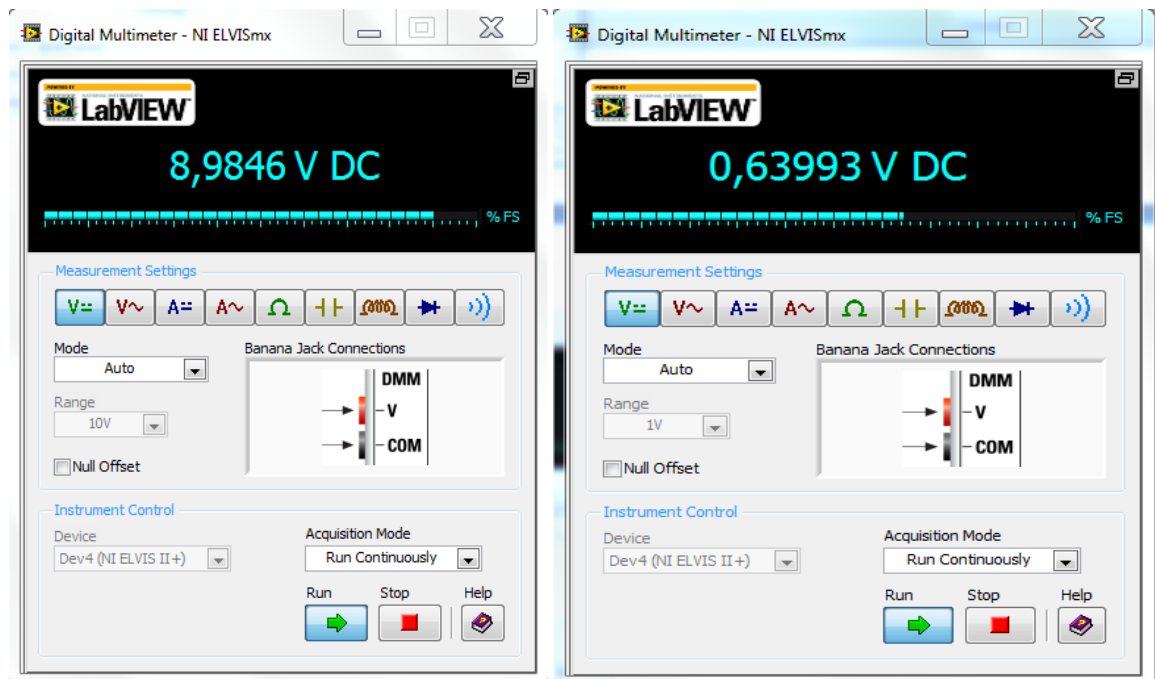


Рис.1. 14

$$U_{обp}=8,98 \text{ V}$$

$$U_{np}=639 \text{ mV}$$

$$I_{обp}= (E-U_{обp})/R= (9-8,98)/100=0,0002 \text{ A}$$

$$I_{np}= (E-U_{np})/R= (9-0,639)/100=0,0836 \text{ A}$$

## Эксперимент 2. Измерение тока.

I) Собираем схему в Multisim 11.0:

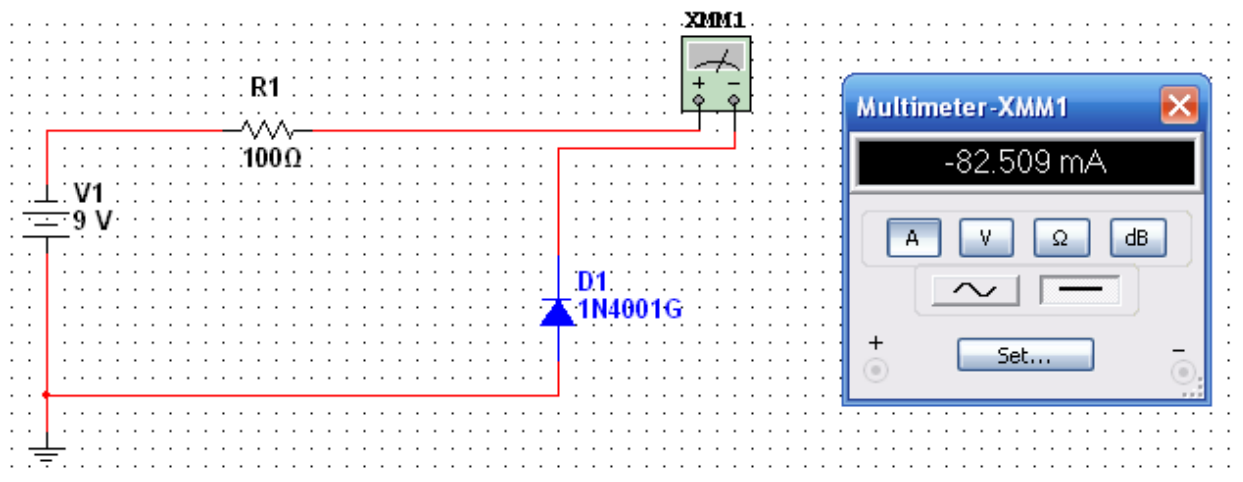


Рис.1.15

Повторяем пункты а-д Эксперимента 1. Мультиметр включаем в режиме амперметра. Соединяем все элементы. Включаем схему как в Эксперименте 1. Мультиметр покажет ток диода при прямом смещении. Переворачиваем диод и снова запускаем схему. Теперь мультиметр покажет ток диода при обратном смещении.

Результаты:  $I_{пр} = 82,509 \text{ mA}$

$I_{обр} = 79,89 \text{ uA}$

II) Собираем эту же схему в НТЦ «ВЛАДИС» ЛКЭЛ-3М.

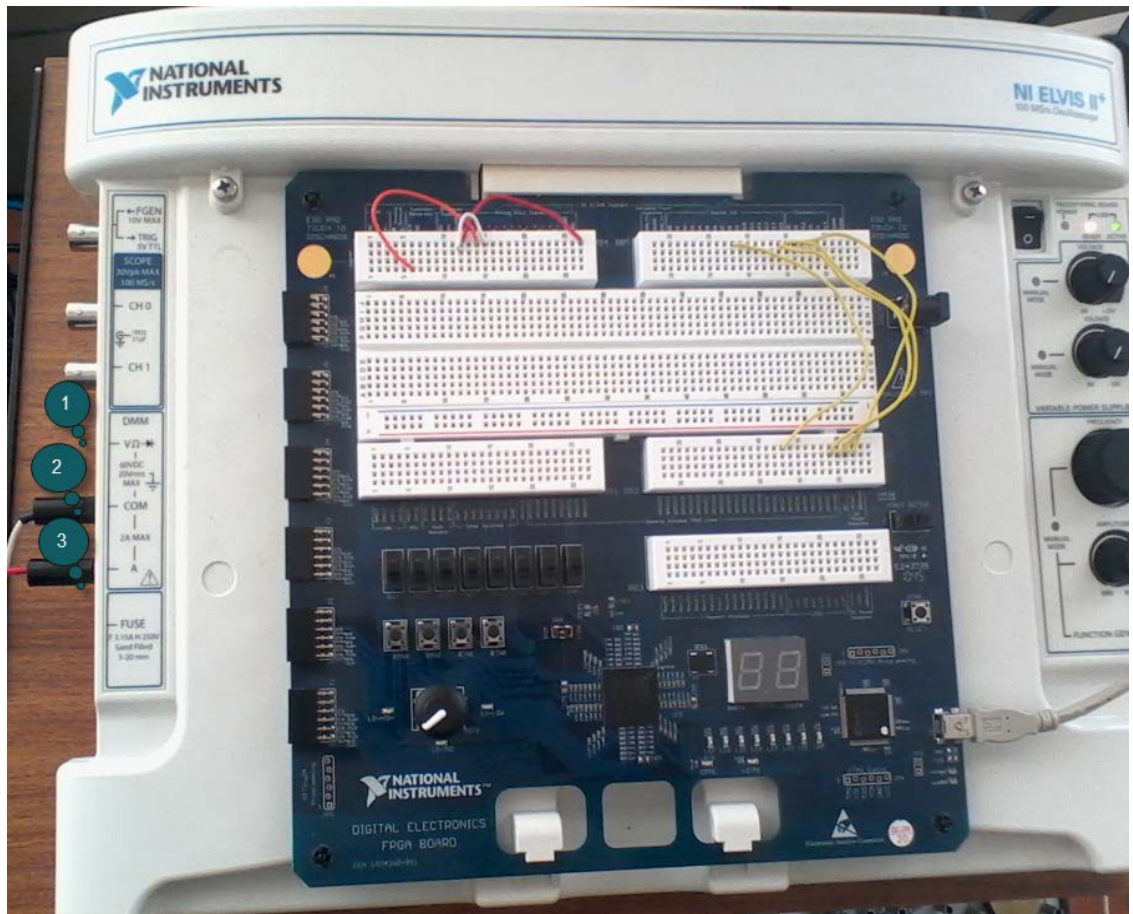
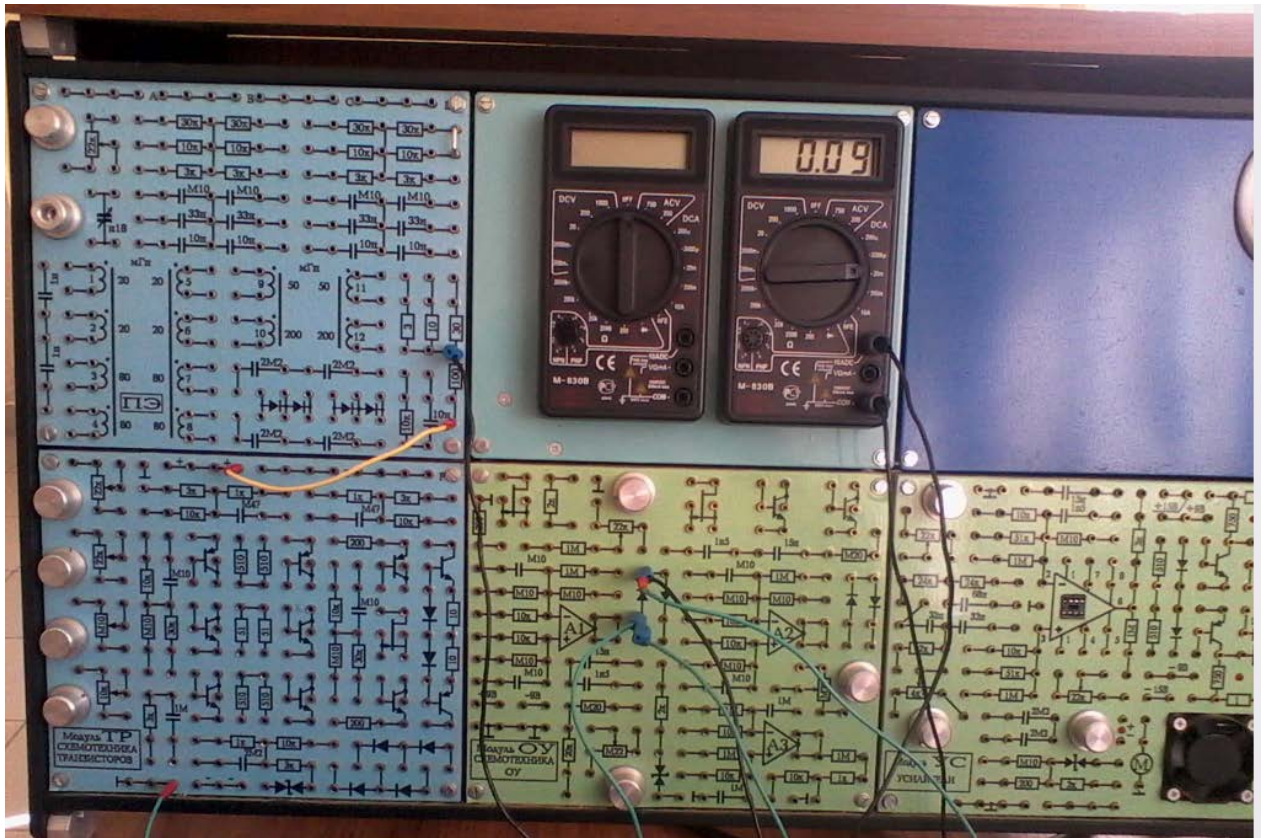


Рис.1.16



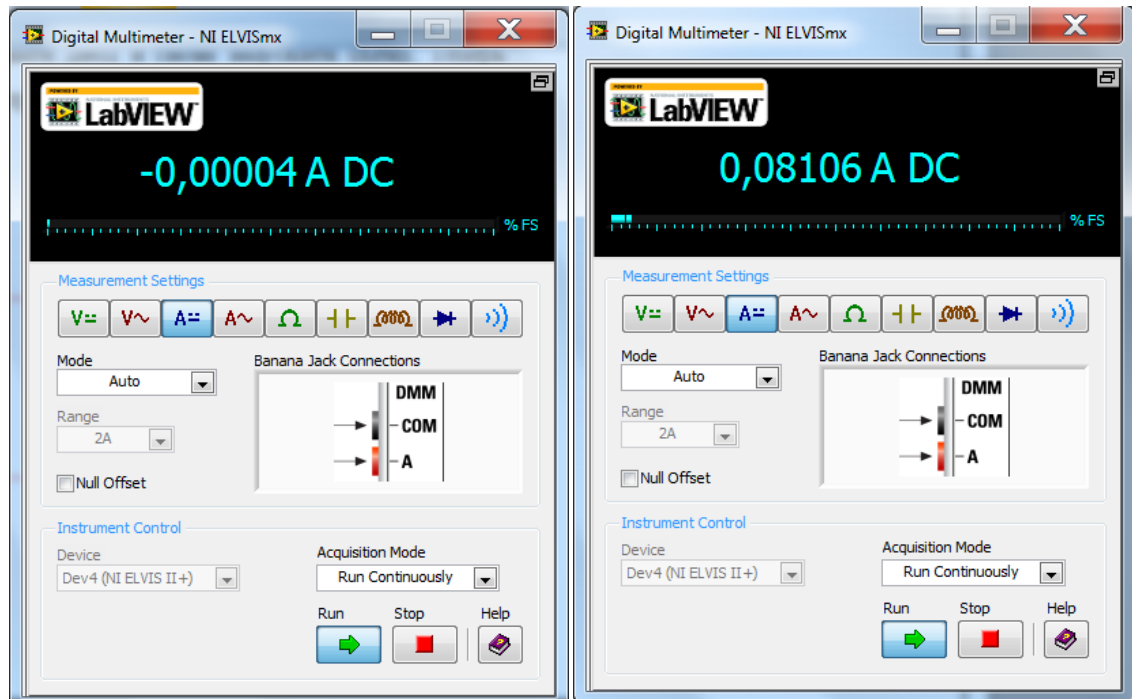



Рис.1.17

Берем резистор ( $R=100 \text{ Ом}$ ) из модуля ПЭ ЛКЭЛ-3М, диод из модуля ОУ ЛКЭЛ-3М, соединяем их как на рис.1.15, подаем напряжение  $9 \text{ V}$ .

К выходу 1 и 2 на стенде ЛКЭЛ-3М подключаем мультиметр к входу 2 и 3 на NIELVISII+. На компьютере открываем NIELVISmx InstrumentLauncher, в появившемся окне выбираем Digital Multimeter. Мультиметр включаем в режиме амперметра. Включаем схему как в Эксперименте 1 . Мультиметр покажет ток диода при прямом смещении. Переворачиваем диод и снова запускаем схему. Теперь мультиметр покажет ток диода при обратном смещении.

Результаты:  $I_{пр}=0,081 \text{ A}$

$I_{обр}=0,00004 \text{ A}$

Эксперимент 3. Снятие вольтамперной характеристики диода.

1) А) Прямая ветвь ВАХ.

Собираем схему:

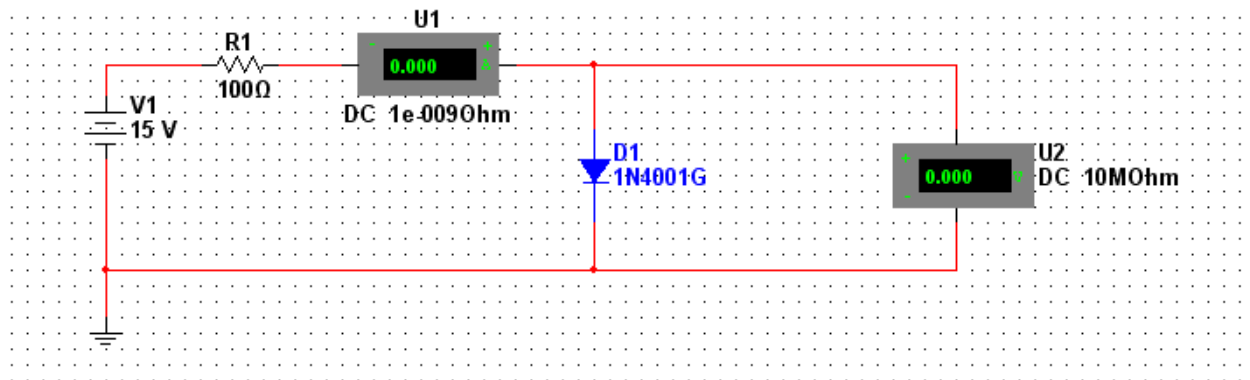


Рис.1.18

Повторяем пункты А-Г эксперимента 1.

### Ввод амперметра

Ввести цифровой амперметр.

Открываем меню Place Indicators\Ammeter и выбираем команду Ammeter\_H.

Дважды щелкните левой кнопкой мыши на графическое изображение амперметра, появится меню Ammeter, в окне Mode выберите режим постоянного тока DC (рис.1.19)

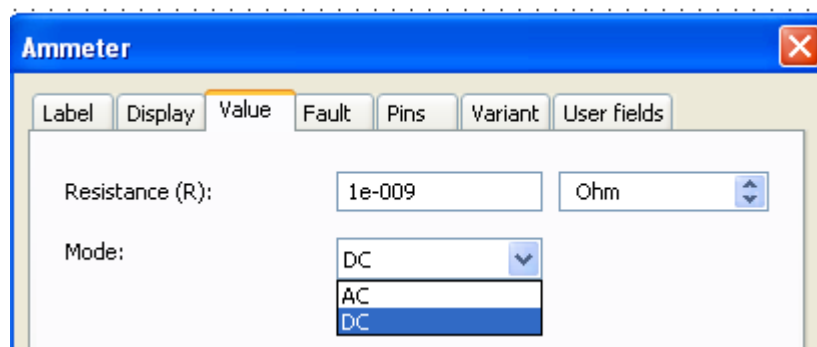


Рис.1.19

### Ввод вольтметра

Откройте меню Place Indicators\Voltmeter и выберите команду Voltmeter\_V.(рис.1.20)

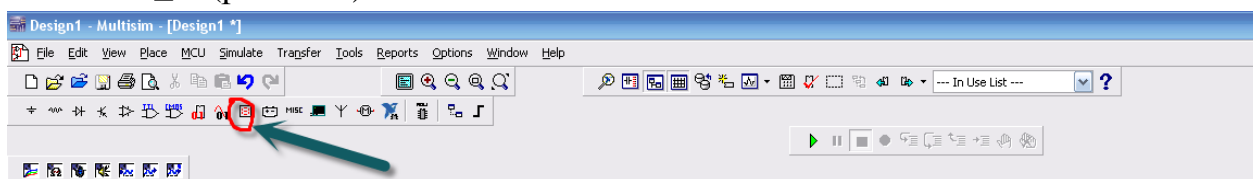


Рис.1.20

Курсор примет форму вольтметра, поместите его на рабочее окно

### Ввод проводников

Соединяем все элементы: для этого нажимаем на левую кнопку мыши и, удерживая ее, «прочертите» соединяя необходимые полюсы элементов.

Включаем схему 

Последовательно устанавливая значения ЭДС источника равными 5 В, 4 В, 3 В, 2 В, 1 В, 0.5 В, 0 В записываем значения напряжения  $U_{пр}$  и тока  $I_{пр}$  диода в таблицу и строим график.

#### а) Прямая ветвь ВАХ

Таблица 1 (данные из Multisim 11.0)

E, V	$U_{пр}, V$	$I_{пр}, mA$
5	0,716	43
4,5	0,710	38
4	0,704	33
3,5	0,696	28
3	0,686	23
2,5	0,675	18
2	0,660	13
1,5	0,639	8,549
1	0,602	3,997
0	0	0

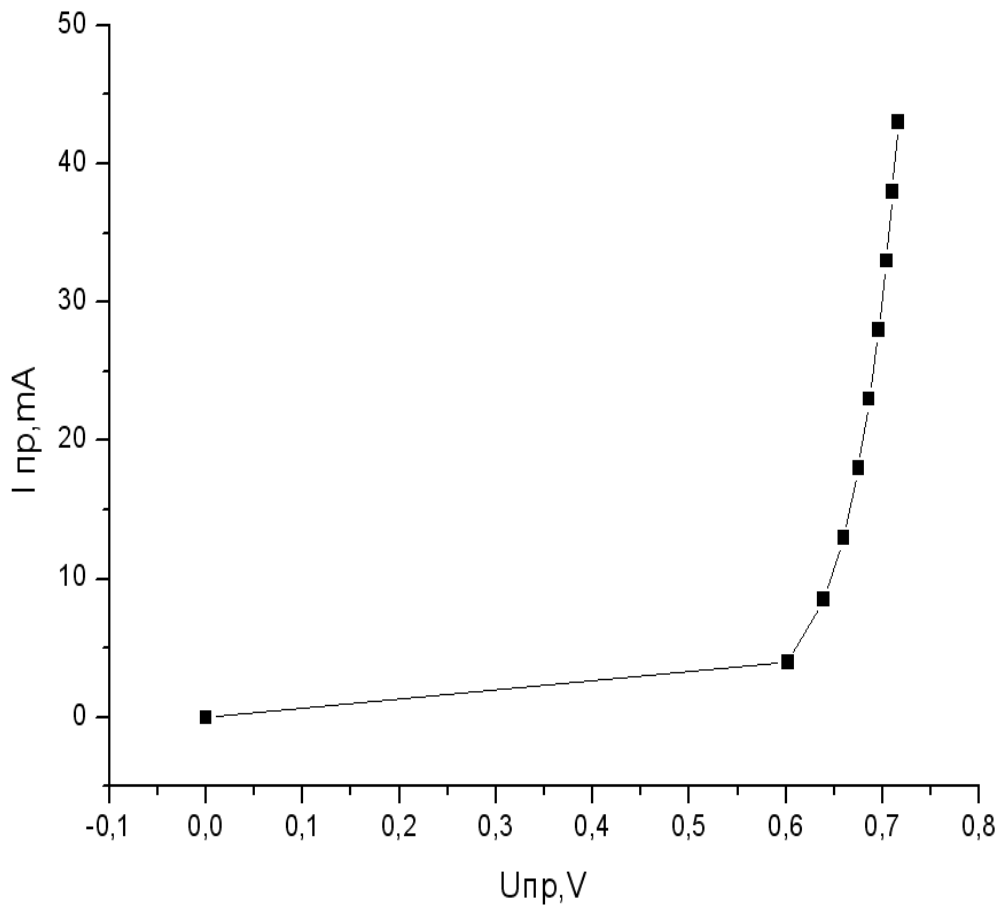


Рис.1.21

### б) Обратная ветвь ВАХ

Переворачиваем диод. Последовательно устанавливая значения ЭДС источника равными 0 В, 5 В, 10 В, 15 В записываем значения тока  $I_{обр}$  и напряжения  $U_{обр}$  в таблицу 3 и строим график.

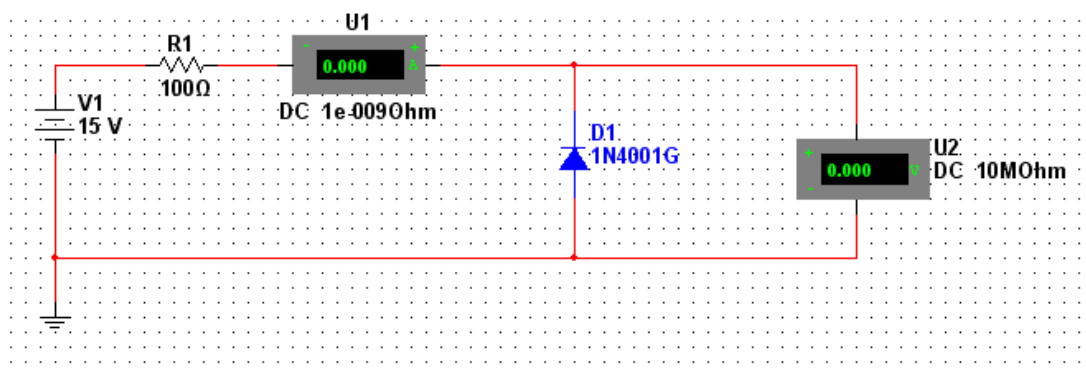


Рис.1.22

Таблица 2 (данные из Multisim)

E, V	U <sub>обр</sub> , V	I <sub>обр</sub> , mA
0	0	0
0,5	-0,5	-0,056
1	-1	-0,111
2	-2	-0,44
8	-8	-0,888
12	-12	-1,776
20	-20	-3,553

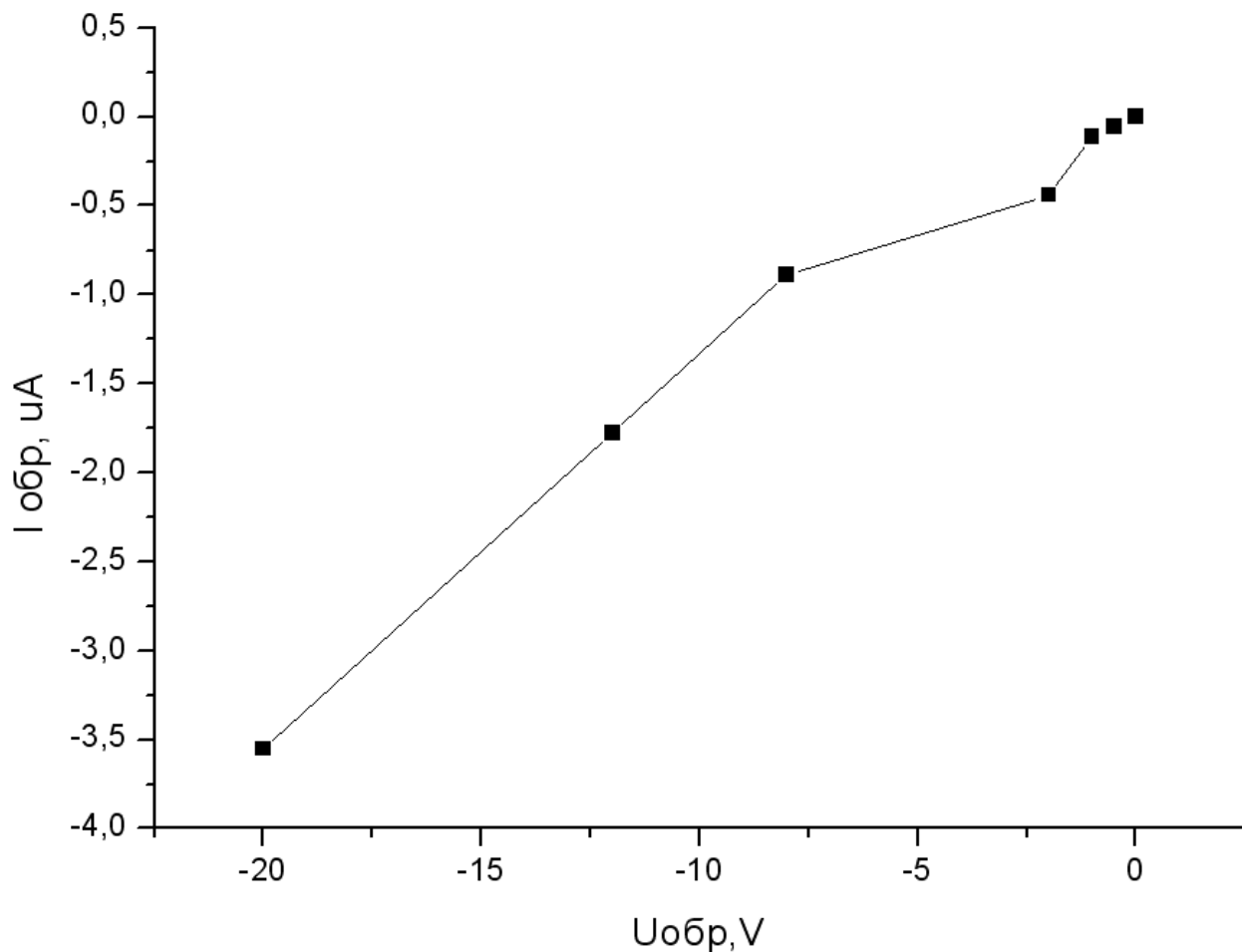


Рис.1.23

II) а) Прямая ветвь ВАХ

Собираем эту же схему в НТЦ «ВЛАДИС» ЛКЭЛ-3М и ЛКЭЛ-4М

Берем резистор (R=100 Ом) из модуля ПЭ ЛКЭЛ-3М, диод из модуля ОУ ЛКЭЛ-3М, соединяем их как на рис.1.22. Напряжение будем регулировать

потенциометром, с помощью него мы собрали делитель напряжения. К выходу 1 и 2 на стенде ЛКЭЛ-3М подключаем амперметр из NIELVISII+, а к выходу 2 и 3 подключаем вольтметр из NIELVISII+. На компьютере открываем NIELVISmx InstrumentLauncher, в появившемся окне выбираем Digital Multimeter.

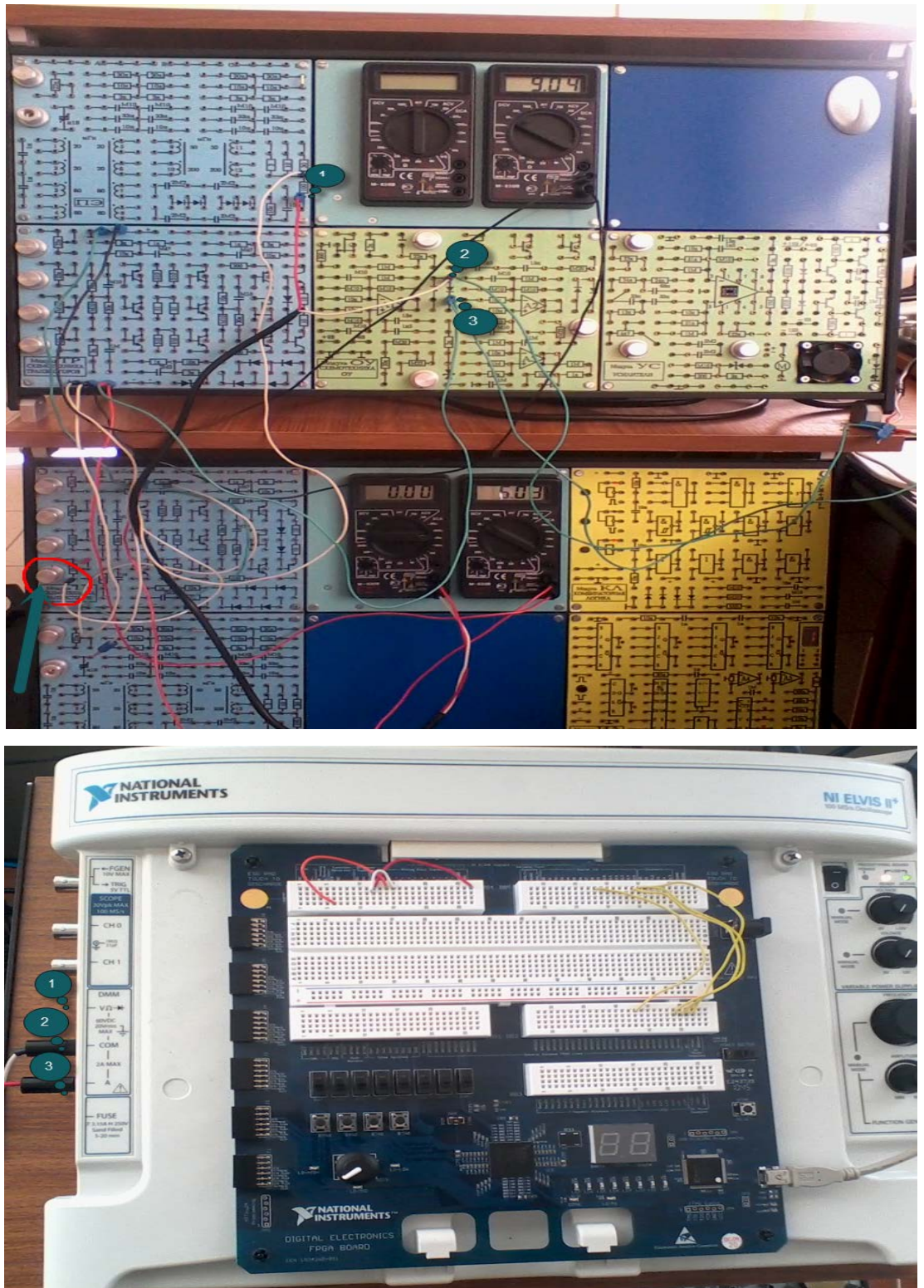


Рис.1.24

Последовательно устанавливая значения ЭДС источника равными 5В, 4В, 3В, 2В, 1В, 0, 5 В, 0 В записываем значения напряжения  $U_{пр}$  и тока  $I_{пр}$  диода в таблицу и строим график

Таблица 3 (данные из НТЦ «ВЛАДИС»)

E, V	$U_{пр}$ , V	$I_{пр}$ , mA
5	0,816	40
4,5	0,806	35
4	0,804	30
3,5	0,796	25
3	0,786	20
2,5	0,775	15
2	0,656	10
1,5	0,639	7,549
1	0,502	0,997
0	0	0

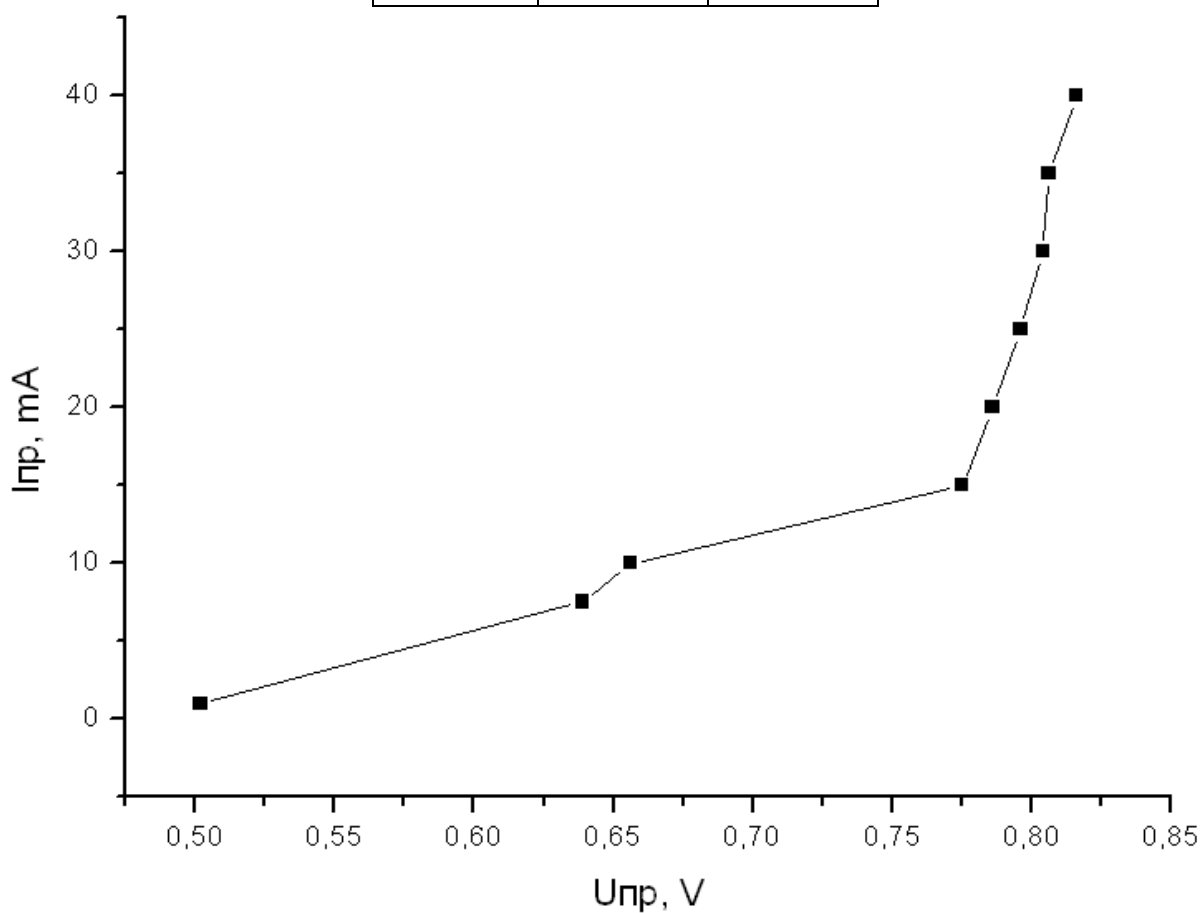


Рис.1.25

## б) Обратная ветвь ВАХ

Переворачиваем диод. Последовательно устанавливая значения ЭДС источника равными 0 В, 5 В, 10 В, 15 В записываем значения тока  $I_{обр}$  и напряжения  $U_{обр}$  в таблицу 3 и строим график.

Таблица 4(данные из НТЦ «ВЛАДИС»)

E, V	$U_{обр}$ , V	$I_{обр}$ , $\mu A$
0	0	0
0,5	-0,48	-0,05
1	-0,98	-0,1
2	-1,96	-0,4
8	-7,86	-0,808
12	-11,78	-1,676
20	-19,69	-2,953

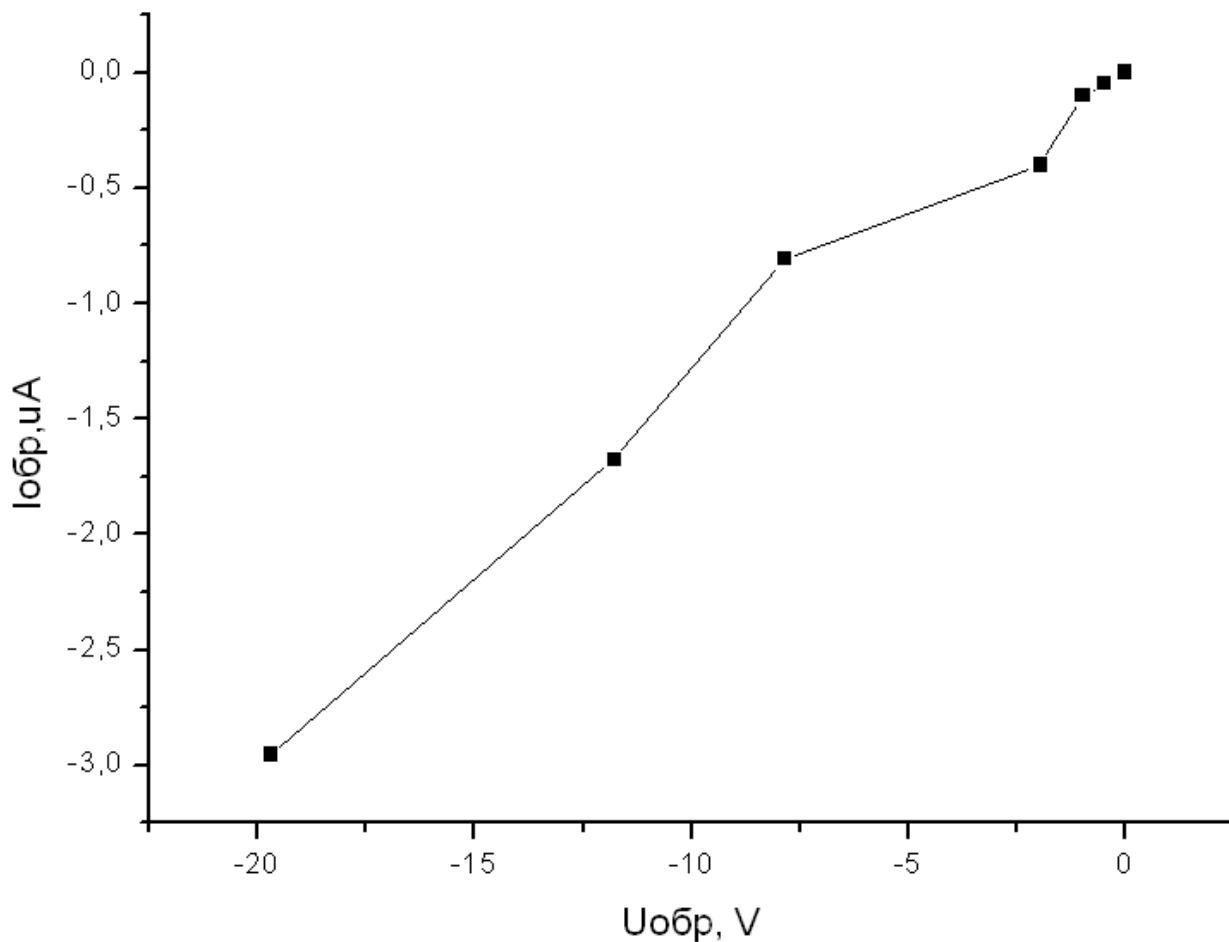


Рис.1.26



## Эксперимент 4. Получение ВАХ на экране осциллографа.

1) Собираем схему:

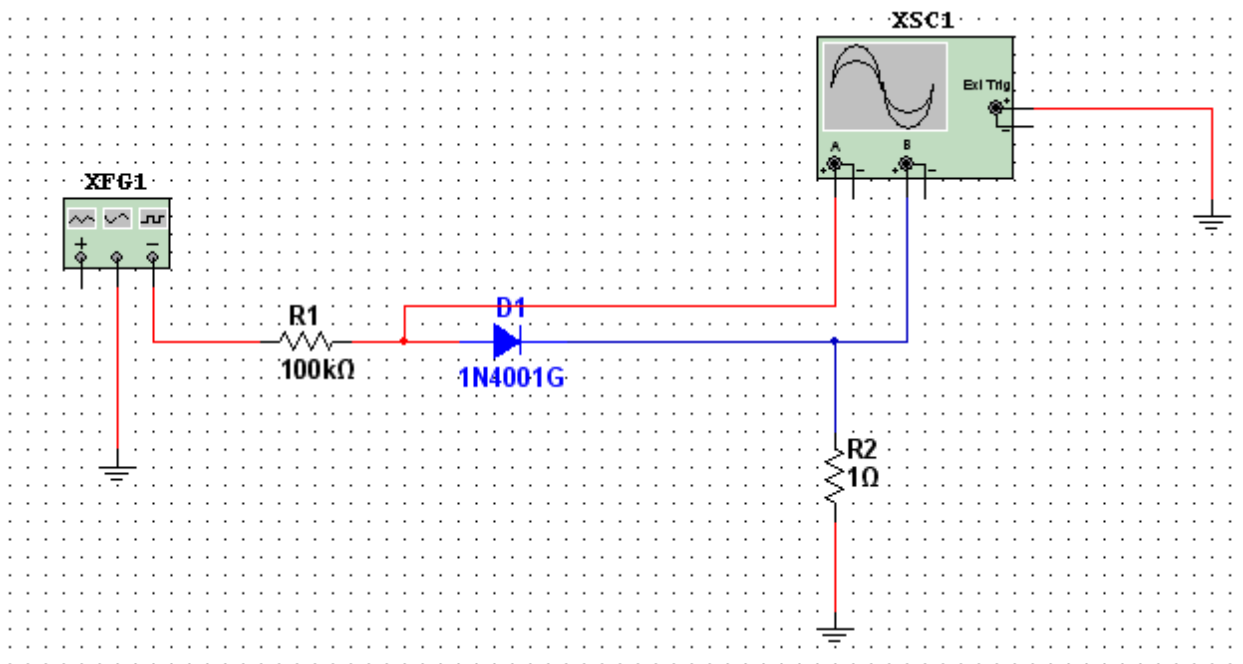


Рис.1.27

а) Повторяем пункты А-Г Эксперимента 1.

б) Ввод генератора-XFG1

Ввести следующие данные для функционального генератора-XFG1:

-частота 10кГц

-напряжение 10мВ

Выберите в панели инструментов Function Generator

Курсор примет форму графического изображения функционального генератора. Поместите его на рабочее окно, так как показано на рис.1.28

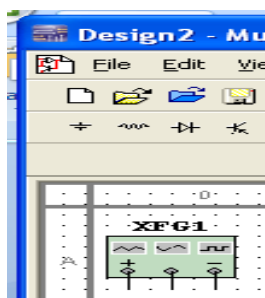


Рис.1.28

Зафиксируйте это положение, щелкнув левой кнопкой мыши. Дважды щелкните левой клавишей мыши на графическое изображение функционального генератора, появится окно **Function Generator-XFG1**. Введите 1 в окне **Frequency**, в окне единицы измерений выберите kHz. В окне Offset введите 20, в окне единицы измерения зафиксируйте mV(рис.1.29).

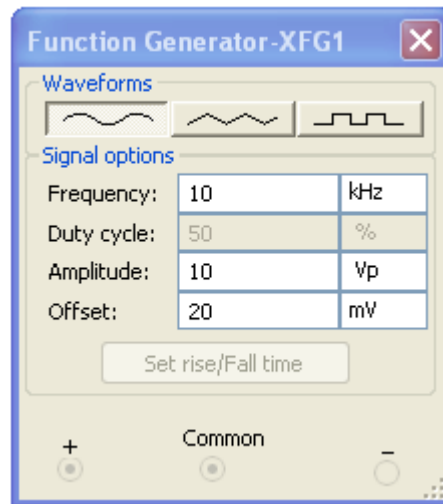


Рис.1.29

### в) Ввод Осциллографа (Oscilloscope-XSC1)

Выберите в панели инструментов Oscilloscope-XSC1

Курсор примет форму графического изображения осциллографа. Поместите его на рабочее окно, так как показано на рис.1.30

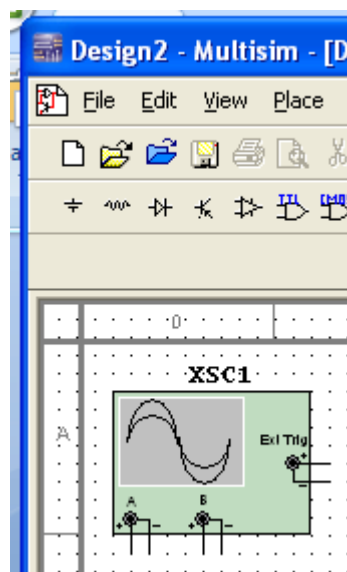


Рис.1.30

На ВАХ, появившейся на экране осциллографа, по горизонтальной оси считывается напряжение на диоде в милливольтках (канал А), а по вертикальной - ток в миллиамперах (канал В, 1 мВ соответствует 1 мА).

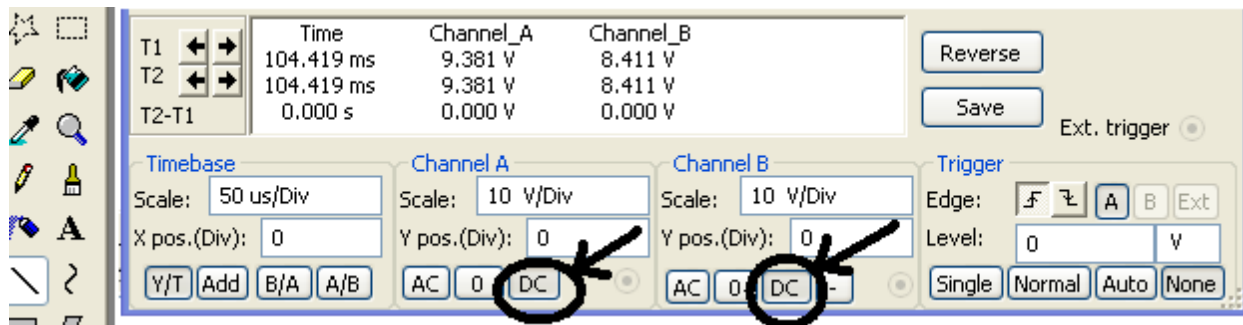



Рис.1.31

Включаем схему . .Левой кнопкой мыши два раза нажимаем на осциллограф

### ВАХ диода на экране осциллографа

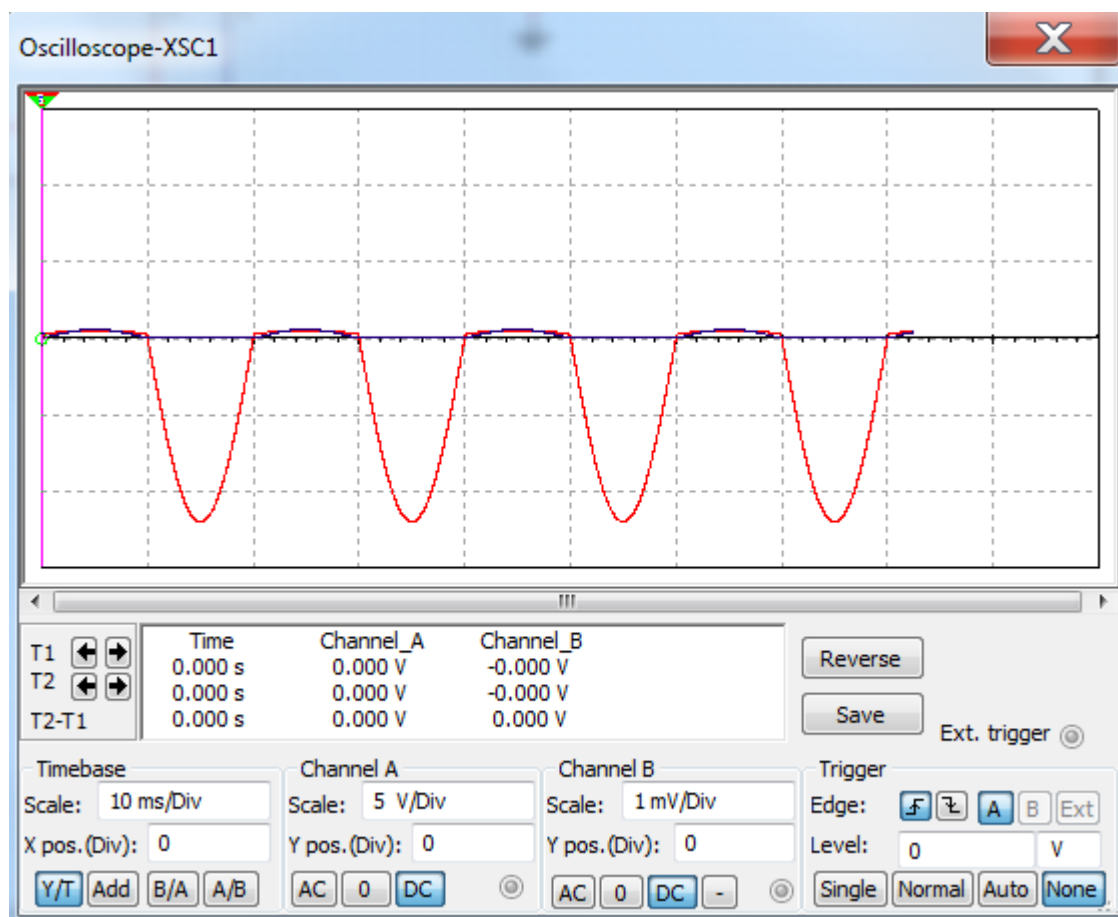


Рис.1.32

II) Собираем эту же схему на НТЦ «ВЛАДИС» ЛКЭЛ-3М и ЛКЭЛ-4М

Берем резисторы  $R_1=100$  Ком,  $R_2=1$  Ом из модуля ПЭ ЛКЭЛ-3М, диод

из модуля ОУ ЛКЭЛ-3М, соединяем их как на рис.1.27.К выходу 1 и 2 на стенде ЛКЭЛ-3М подключаем осциллограф из NI ELVIS II<sup>+</sup> (вход 2).К клеммам 3 и 4 подключаем функциональный генератор из NI ELVIS II<sup>+</sup>.На компьютере открываем NI ELVISmx InstrumentLauncher , в появившемся окне выбираем осциллограф и так же выбираем генератор.На генераторе и на осциллографе нажимаем кнопку Run.На экране осциллографа наблюдаем ВАХ диода.



Рис.1.33

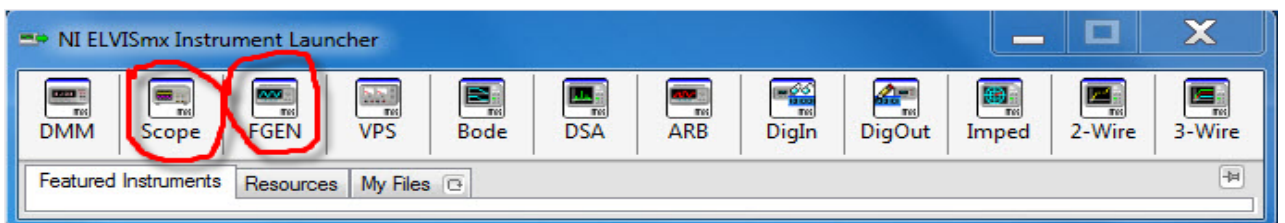


Рис.1.34

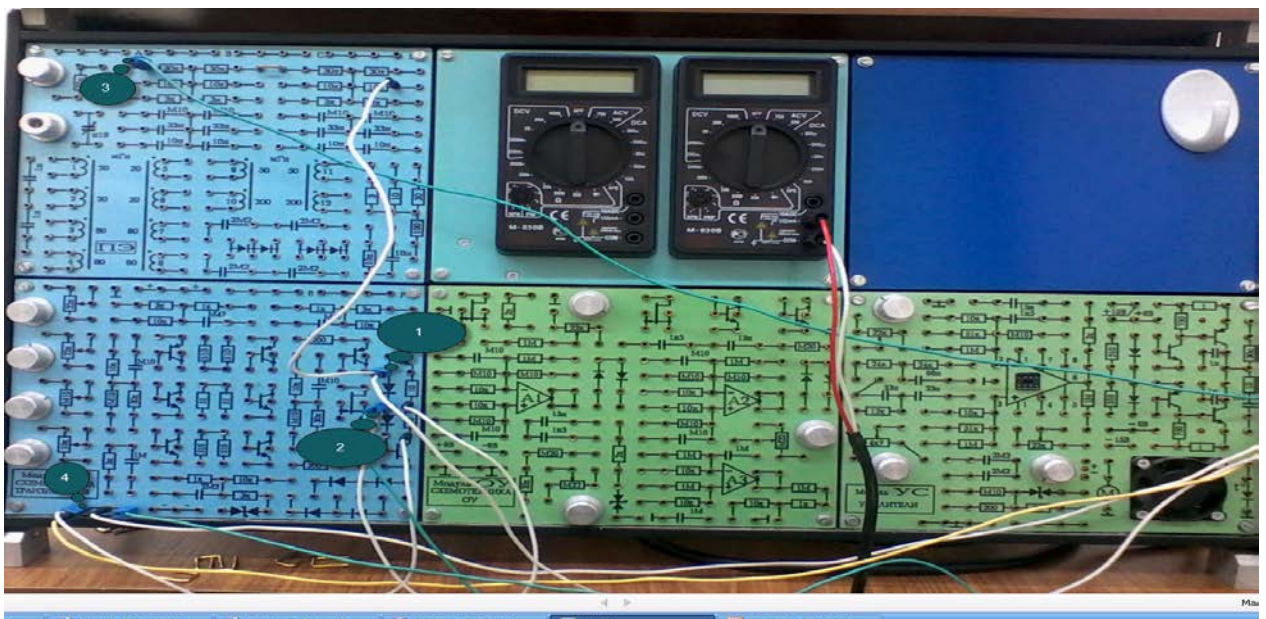


Рис.1.35

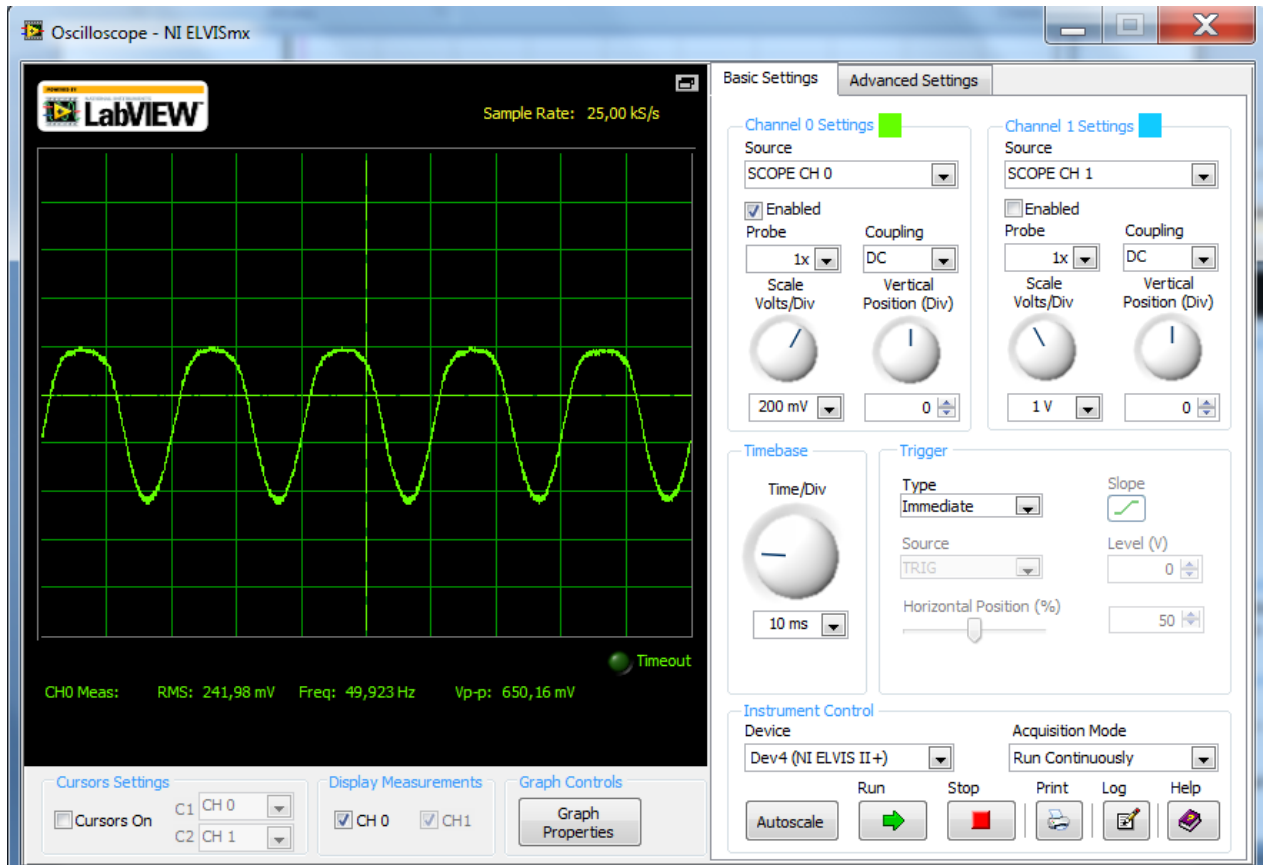


Рис.1.36. ВАХ диода на экране осциллографа

## Глава 2. Стабилитрон

### Теоретическая часть

Стабилитрон—это сильно легированный кремниевый диод, на котором напряжение сохраняется с определённой точностью при изменении протекающего через него тока в заданном диапазоне. Стабилитроны в основном используют в параметрических стабилизаторах напряжения (рис.

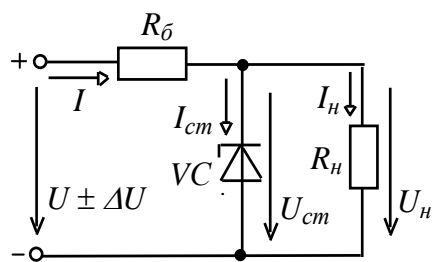


Рис.2.1

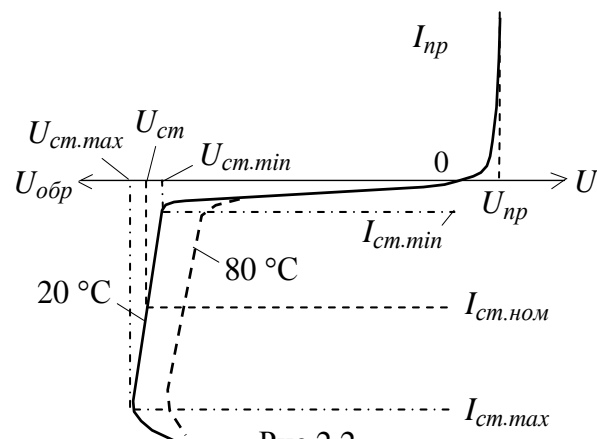


Рис.2.2

2.1), в которых максимальное напряжение на нагрузке  $U_i$  ограничено некоторой заданной величиной.

Рабочим участком ВАХ стабилитрона VC является участок обратной её ветви, соответствующий области обратного электрического пробоя p-n-перехода (рис.2.2) и ограниченный минимальным  $I_{ст.мин}$  и максимальным  $I_{ст.маx}$  значениями тока.

При работе в этой области обратное напряжение на стабилитроне  $U_{ст}$  незначительно изменяется при относительно больших изменениях тока стабилитрона  $I_{ст}$ . Поэтому при изменении входного напряжения

$$U \pm \Delta U = \pm U_{\delta} + U_{ст} \quad (2.1)$$

изменяется в основном напряжение  $\pm U_{\delta} = R_{\delta} I$  на балластном резисторе  $R_{\delta}$ , где входной ток  $I = I_{ст} + I_{н}$  (рисунок 2.2).

При прямом включении стабилитрон 2VC может рассматриваться как обычный диод, однако в связи с повышенной концентрацией примесей

напряжение  $U_{пр} \approx 0,3 \dots 0,4$  В мало изменяется при значительных изменениях прямого тока  $I_{пр}$  (рисунок 2.2).

Основными параметрами стабилитрона являются:

- $U_{cm} = 3 \dots 180$  В – напряжение на стабилитроне;

- $R_{\partial} = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}} = \frac{U_{cm.max} - U_{cm.min}}{I_{cm.max} - I_{cm.min}}$  – динамическое сопротивление на участке

стабилизации; (2.2)

- $I_{cm.min}$  и  $I_{cm.max}$  – минимальный и максимальный токи стабилизации (номинальный ток  $I_{cm.ном} = (I_{cm.max} + I_{cm.min}) / 2$  от 5 мА до 5 А);

- $TKH\% = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta T} 100 = 0,3 \dots 0,4$  %/град (2.3)

– температурный коэффициент напряжения на участке стабилизации, характеризующий относительное изменение напряжения стабилизации, вызванное изменением температуры на  $1^{\circ}\text{C}$  при постоянном токе, протекающем через стабилитрон.

Примеры маркировки отечественных стабилитронов:

КС168А ( $U_{cm} = 6,8$  В); Д814В ( $U_{cm} = 9 \dots 10$  В;  $I_{cm} = 3 \dots 30$  мА).

## 2.1.Лабораторная работа № 2

Цель работы: изучение стабилитрона.

1. Построение обратной ветви вольтамперной характеристики стабилитрона и определение напряжения стабилизации.

2. Вычисление тока и мощности, рассеиваемой стабилитроном.

3. Определение дифференциального сопротивления стабилитрона по вольтамперной характеристике.

4. Исследование изменения напряжения стабилитрона при изменении входного напряжения в схеме параметрического стабилизатора.

5. Исследование изменения напряжения на стабилитроне при изменении сопротивления в схеме параметрического стабилизатора.

Приборы: функциональный генератор, мультиметр, осциллограф, источник постоянного напряжения, стабилитрон, резисторы.

Эксперимент 1.Измерение напряжения и вычисление тока через стабилитрон.

Собираем схему:

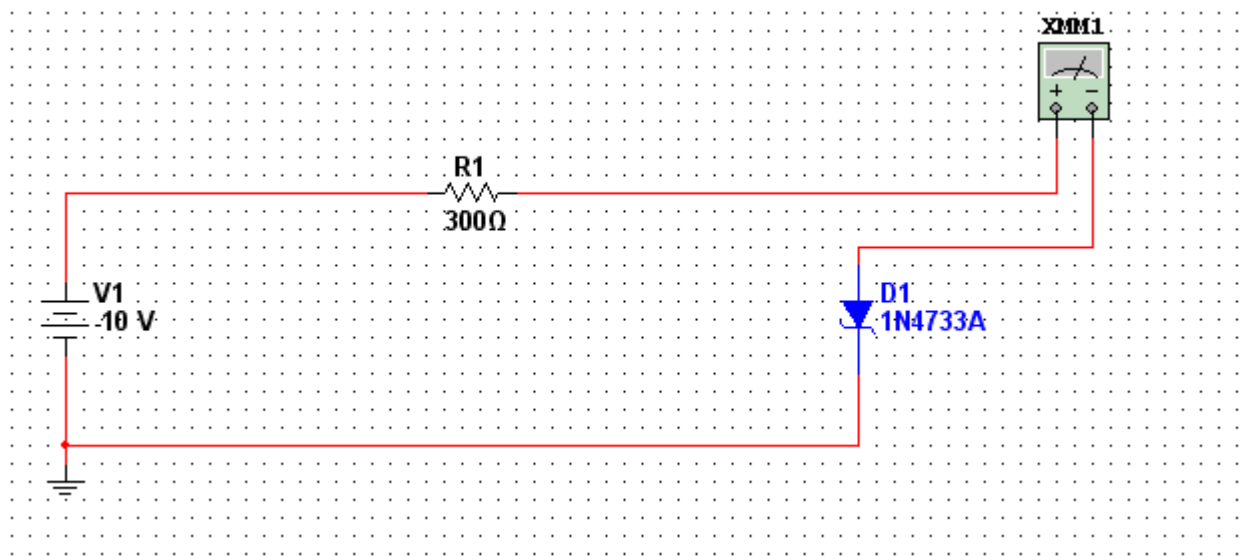


Рис.2.3

а) Выполняем пункты А-В эксперимента 1 Лабораторной работы № 1

б) Вводим стабилитрон 1N4733А

Откройте меню Place Diode/Zener (рис.2.4)



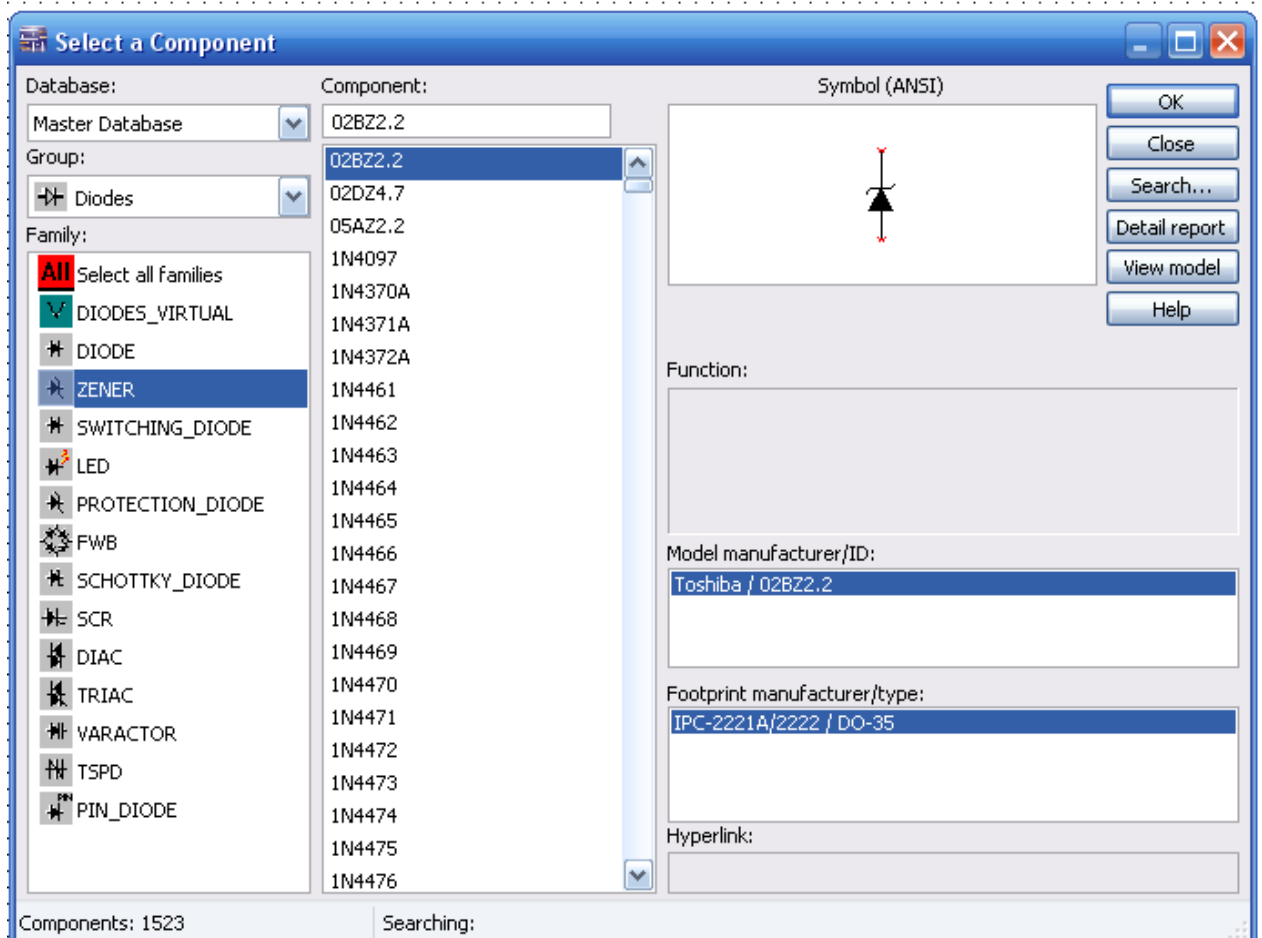



Рис.2.4

Курсор примет форму графического изображения стабилитрона. Поместите его на рабочее окно.

в) Вводим мультиметр (Multimetr) из панели инструментов

г) Соединяем все элементы. Для этого нажимаем на левую кнопку мыши и удерживая ее, «прочертите» соединяя необходимые полюсы элементов

Включаем схему 

Изменяя ЭДС, измеряем напряжение и ток стабилитрона, заполняем таблицу и по ней строим график. По графику определяем напряжение стабилизации, ток стабилизации и посчитали мощность стабилизации.

Таблица 2.1

E, V	U, V	I, A
-30	-5,114	-82,955
-25	-5,108	-66,308

-20	-5,1	-49,666
-15	-5,09	-33,034
-10	-5,072	-16,428
0	0	0
4	4	0
6	5,03	3,235
10	5,072	16,428
15	5,09	33,034
20	5,1	49,666
25	5,108	66,308
30	5,114	82,955
35	5,118	99,606
36	5,119	102,936
37	5,12	106,267
40	5,122	116,259
45	5,126	132,914
50	5,129	149,57

### ВАХ стабилитрона

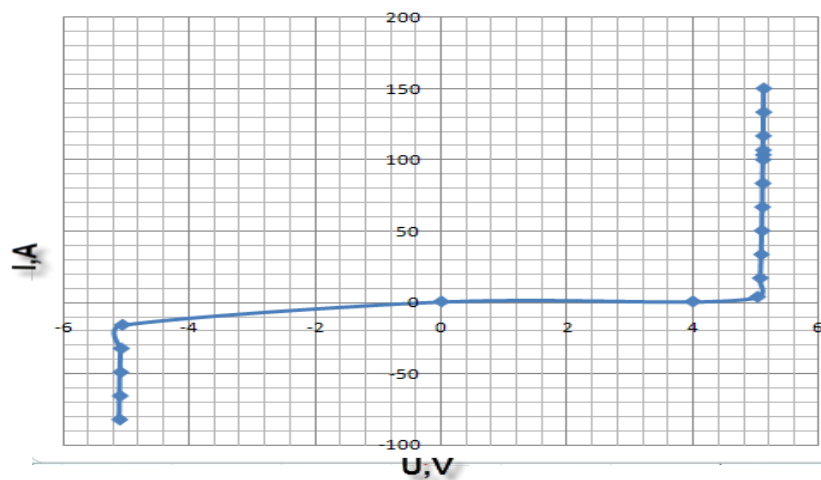


Рис.2.5

$$U_{(\text{min.ст.})}=4,8\text{ В}$$

$$U_{(\text{max.ст.})}=5,3\text{ В}$$

$$I_{(\text{ст.ном})}=49\text{ мА}$$

$$I_{(\max.ст)}=178 \text{ mA}$$

$$P_{ст}=I_{ст} * U_{ст}=0,24 \text{ В} \quad (2.4)$$

Эксперимент 2. Получение нагрузочной характеристики параметрического стабилизатора.

Собираем схему:

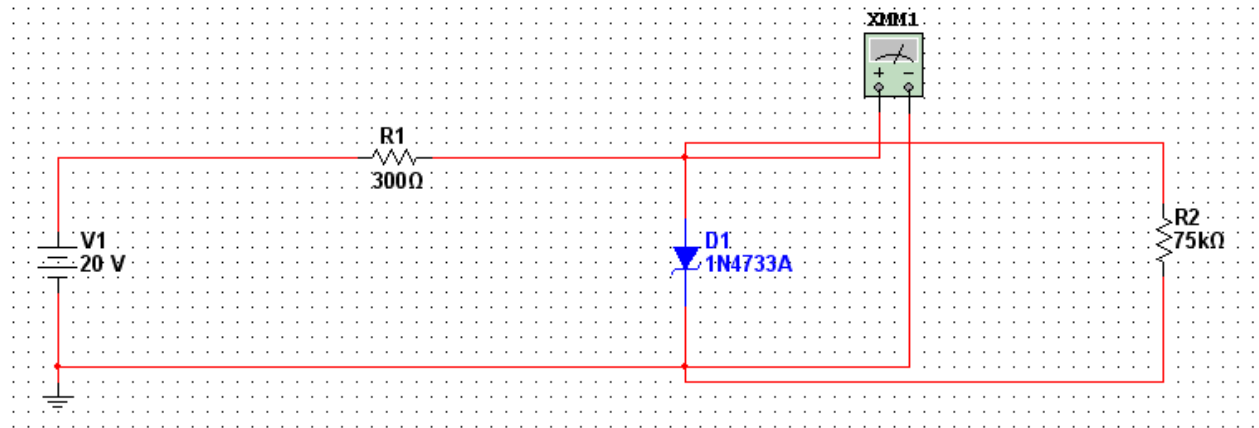



Рис.2.6

- а) Вводим источник питания ЭДС ,  $E=20 \text{ V}$
- б) Вводим резисторы  $R1=300 \text{ Ом}$ ,  $R2=75 \text{ КОм}$
- в) Вводим стабилитрон 1N4733A
- г) Соединяем все элементы. Для этого нажимаем на левую кнопку мыши и, удерживая ее, «прочертите» соединяя необходимые полюсы элементов
- д) Ввод земли

Резистор  $R_1=75 \text{ Ом}$  параллельно стабилитрону. Включаем схему . Записываем значение напряжения  $U_{ст}$  на стабилитроне. Находим значение напряжения и тока при коротком замыкании и при сопротивлениях резистора  $R1$  100 Ом, 300 Ом, 600 Ом, 1 кОм.

$$U_{ст}=5,1 \text{ В}$$

Таблица 2.2

$R_i(\text{Ом})$	$U_{ст}(\text{mV})$	$I_{ст}(\text{mA})$
100	599,545	64,668
300	601,249	64,662
600	601,659	64,661
1000	604,822	66,667

Эксперимент 3. Получение ВАХ стабилитрона на экране осциллографа.

Собираем схему:

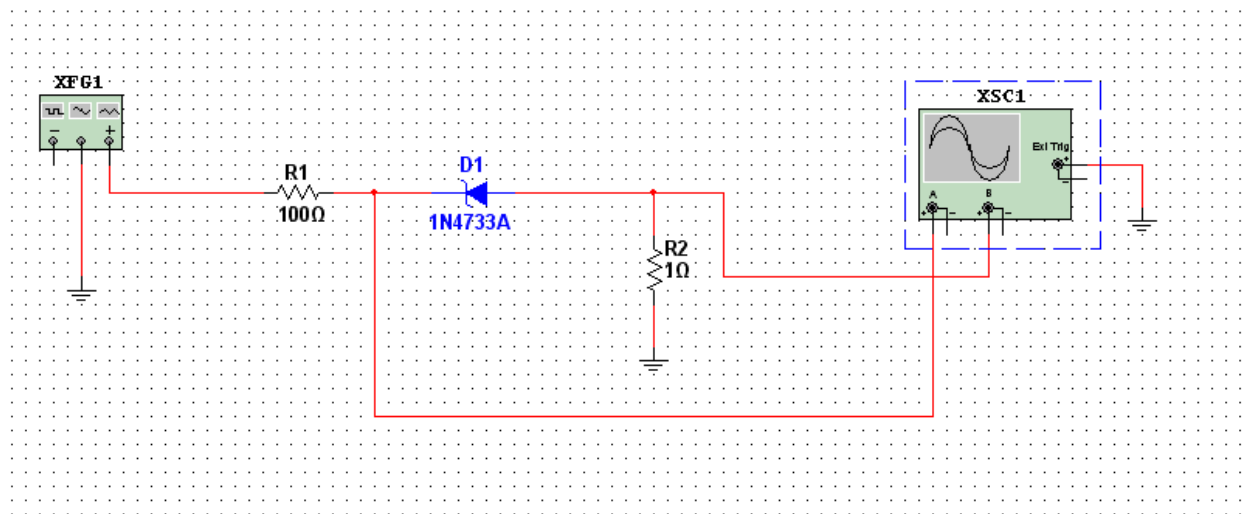



Рис.2.7

- а) Вводим функциональный генератор. Задаем частоту 50Гц, амплитуду 10V
- б) Вводим резисторы  $R1=100\ \Omega$ ,  $R2=1\ \Omega$
- в) Вводим стабилитрон марки 1N4733A
- г) Вводим двухканальный осциллограф
- д) Соединяем все элементы.

Включаем схему .

Два раза нажимаем левой кнопкой мыши на осциллограф для развертки и наблюдаем ВАХ стабилитрона.

## ВАХ стабилитрона на экране осциллографа

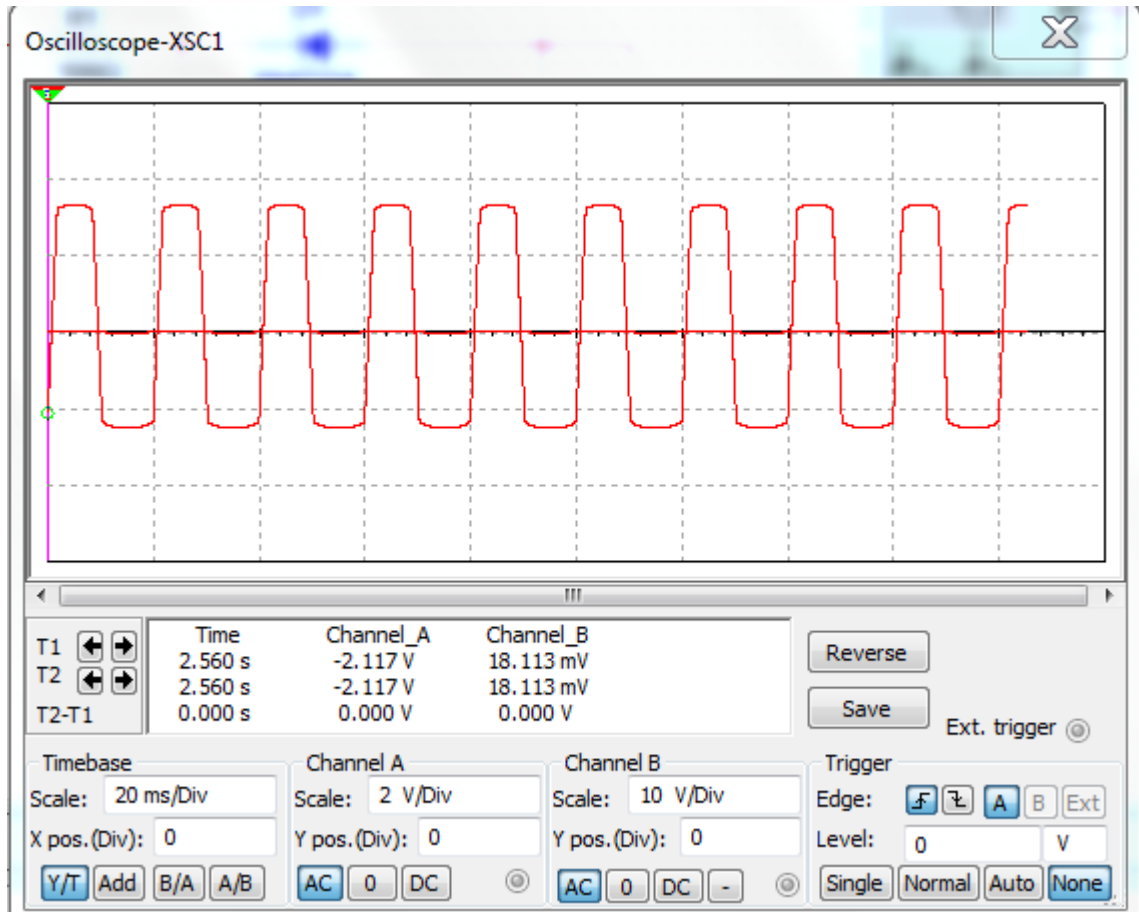


Рис.2.8

## Глава 3. Однополупериодные и двухполупериодные выпрямители

### Теоретическая часть

Выпрямителем (источником вторичного электропитания) называют устройство, служащее для преобразования переменных напряжения и тока в постоянные, которые необходимы для питания ряда электронных устройств.

#### Однополупериодный выпрямитель.

Принципиальная схема и осциллограммы напряжения в различных точках выпрямителя приведены на рисунке.

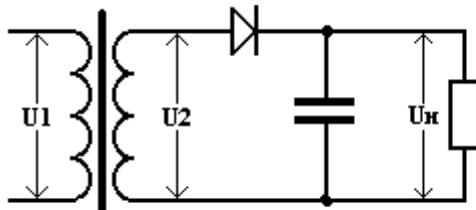


Рис.3.1

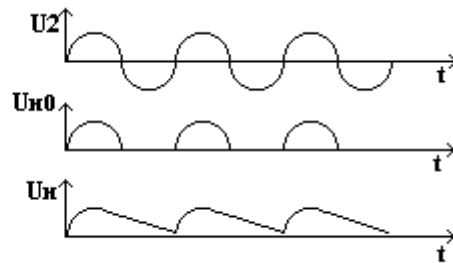


Рис.3.2

Простейшая схема однополупериодного выпрямителя состоит только из одного выпрямляющего ток элемента (диода). На выходе — пульсирующий постоянный ток. На промышленных частотах (50—60 Гц) не имеет широкого применения, так как для питания аппаратуры требуются сглаживающие фильтры с большими величинами емкости и индуктивности, что приводит к увеличению габаритно-весовых характеристик выпрямителя. Однако схема однополупериодного выпрямления нашла очень широкое распространение в импульсных блоках питания с частотой переменного напряжения свыше 10 КГц, широко применяющихся в современной бытовой и промышленной аппаратуре. Объясняется это тем, что при более высоких частотах пульсаций выпрямленного напряжения, для получения требуемых характеристик (заданного или допустимого коэффициента пульсаций), необходимы сглаживающие элементы с меньшими значениями емкости (индуктивности).

Вес и размеры источников питания уменьшаются с повышением частоты входного переменного напряжения.

Однополупериодный выпрямитель или является простейшим выпрямителем и включает в себя один вентиль (диод или [тиристор](#)).

Напряжение со вторичной обмотки трансформатора проходит через вентиль на нагрузку только в положительные полупериоды переменного напряжения. В отрицательные полупериоды вентиль закрыт, всё падение напряжения происходит на вентиле, а напряжение на нагрузке  $U_n$  равно нулю.

$$U_s = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} = 0,45U_2 \quad (3.1)$$

### Двухполупериодный выпрямитель

Принципиальная схема и осциллограммы напряжения в различных точках выпрямителя приведены на рисунке 3.3.

$U_2$  - Напряжение на одной половине вторичной обмотки трансформатора

$U_n$  – Напряжение на нагрузке.

$U_{n0}$  – Напряжение на нагрузке при отсутствии конденсатора.

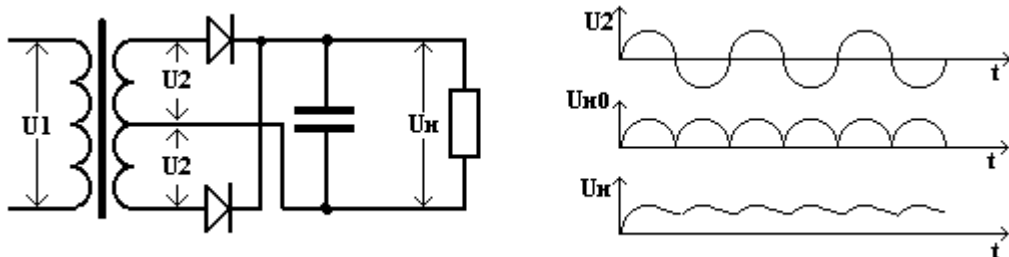


Рис.3.3

В этом выпрямителе используются два вентиля, имеющие общую нагрузку и две одинаковые вторичные обмотки трансформатора (или одну со средней точкой). Практически схема представляет собой два однополупериодных выпрямителя, имеющих два разных источника и общую нагрузку. В одном полупериоде переменного напряжения ток в нагрузку проходит с одной половины вторичной обмотки через один вентиль, в другом полупериоде - с другой половины обмотки, через другой вентиль.

### 3.1. Лабораторная работа №3

Цель работы: изучение однополупериодного и двухполупериодного выпрямителя.

1. Анализ процессов в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей.

2. Сравнение форм входного и выходного напряжения для однополупериодного и двухполупериодного выпрямителя.

3. Определение частоты выходного сигнала в схемах однополупериодного выпрямителя и двухполупериодного выпрямителя с выводом средней точки трансформатора.

5. Сравнение максимальных значений выходного напряжения для схем двухполупериодного и однополупериодного выпрямителей.

6. Сравнение частот выходного сигнала для схем двухполупериодного и однополупериодного выпрямителей.

Приборы: мультиметр, осциллограф, источник переменного напряжения, трансформаторы, кремниевые диоды 1N4001, резисторы.

Эксперимент 1. Исследование входного и выходного напряжения однополупериодного выпрямителя.

I) Собираем схему:



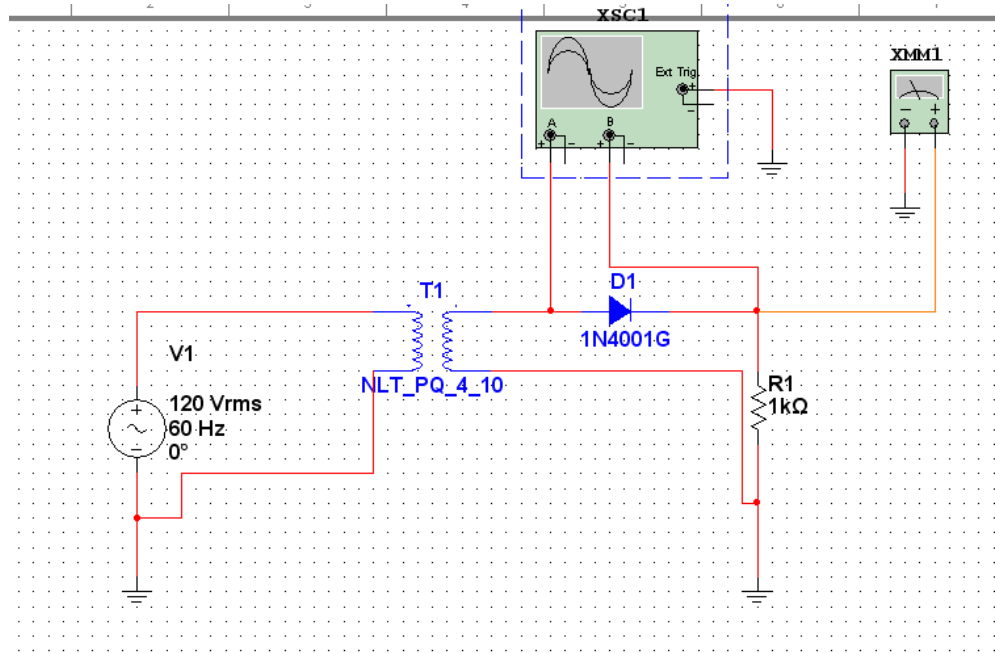


Рис.3.4

а) Вводим источник переменного напряжения

Открываем меню Power Sources/AC\_POWER и нажимаем кнопку ОК (рис.3.5)

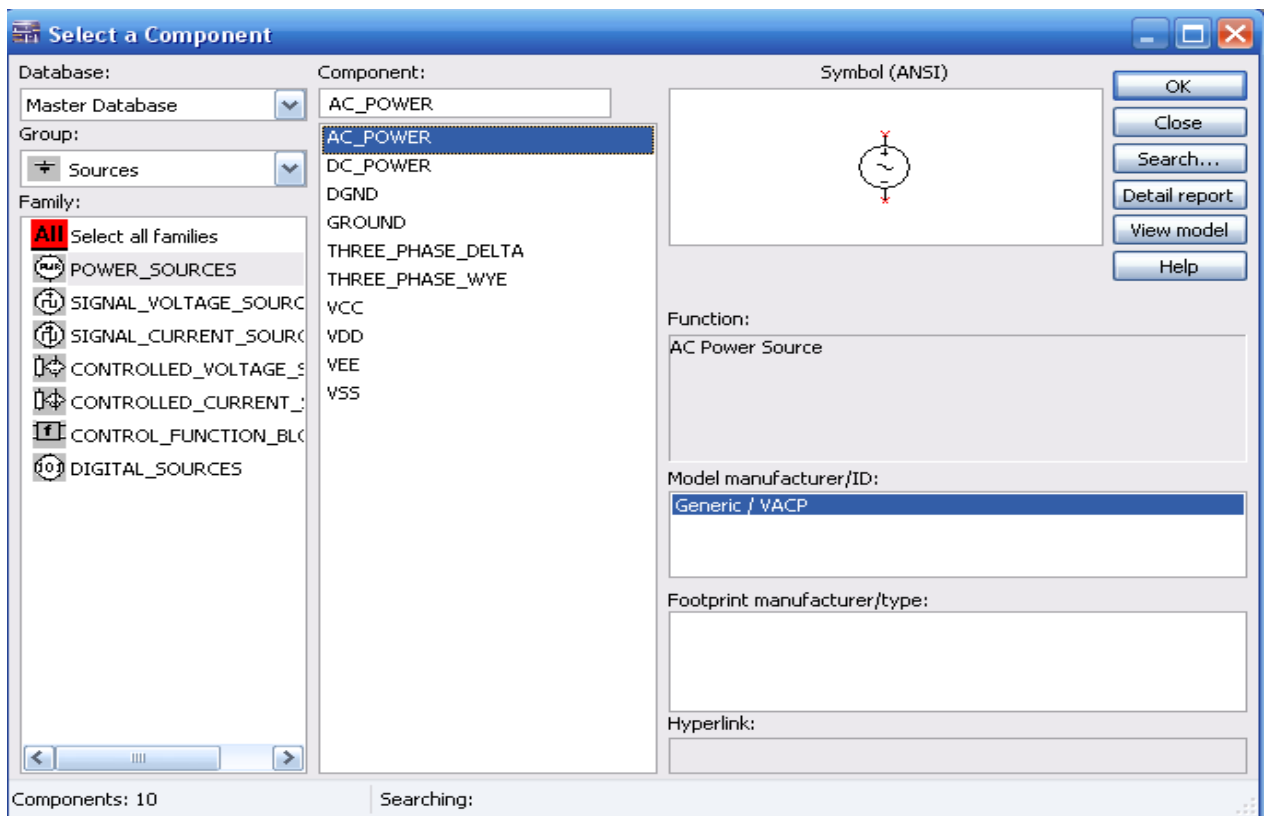


Рис.3.5

б) Вводим трансформатор

Открываем Place Basic/Transformer(рис. 3.6)

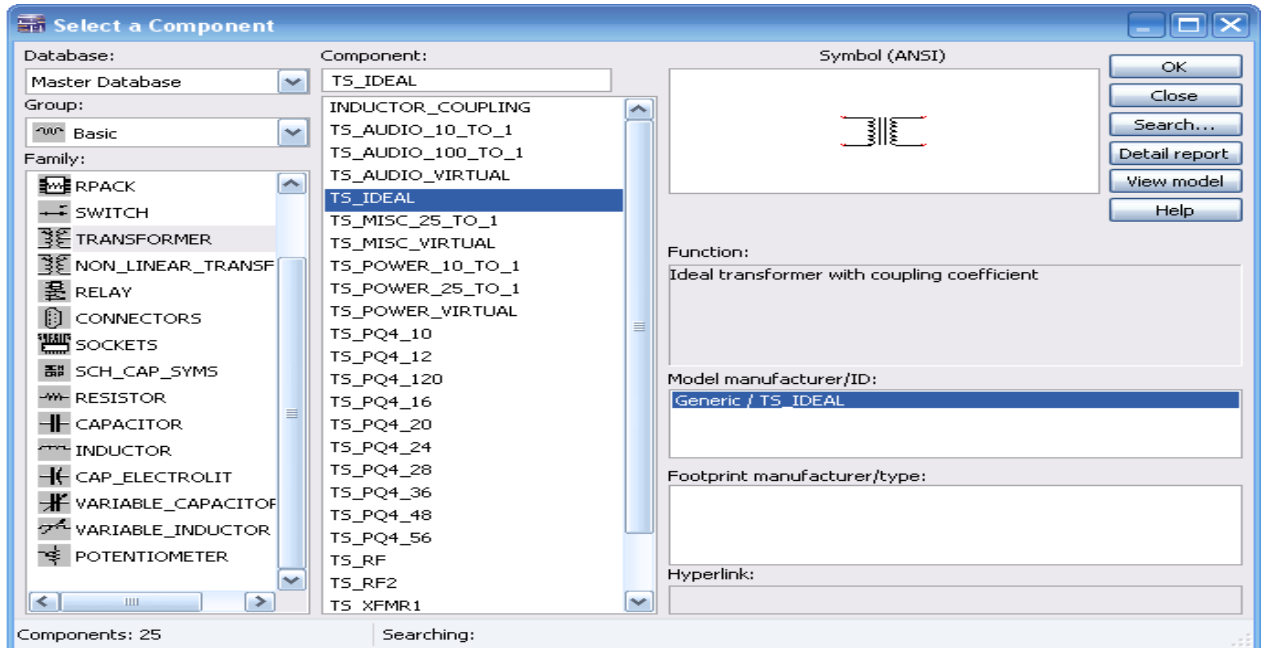



Рис.3.6

- в) Вводим резистор  $R=1$  КОм
- г) Вводим диод марки 1N4001G
- д) Вводим двухканальный осциллограф
- е) Вводим мультиметр
- ё) Соединяем все элементы, как показано на рисунке 3.4
- ж) Включаем схему 

На вход А осциллографа подается входной сигнал, а на В-выходной. Зарисовываем осциллограммы. Измеряем максимальные входные и выходные напряжения и период  $T$  выходного напряжения по осциллограмме. Вычисляем частоту выходного сигнала.

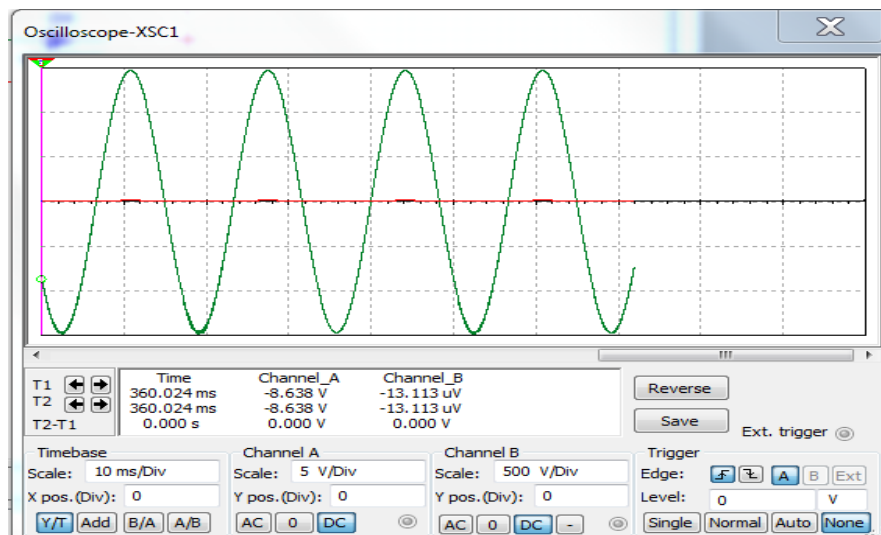


Рис.3.7. Осциллограмма входного сигнала однополупериодного выпрямителя

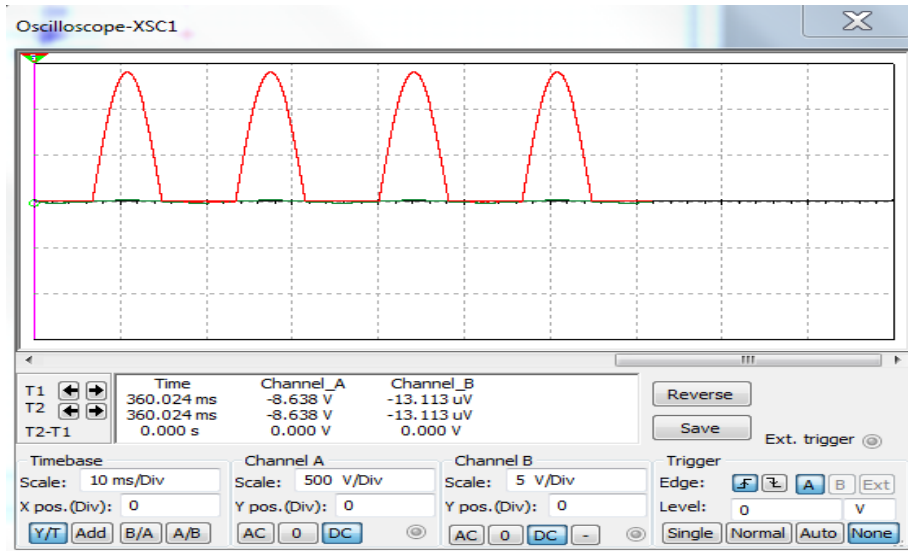


Рис.3.8. Осциллограмма выходного сигнала однополупериодного выпрямителя

$$U_{\max(\text{вх})} = 867 \text{ mV}$$

$$U_{\max(\text{вых})} = 422 \text{ mV}$$

$$T = 16,791 \text{ ms}$$

$$f = 1/T = 1/16,791 = 59,55 \text{ Гц}$$

II) Собираем эту же схему на стенде НТЦ «ВЛАДИС» ЛКЭЛ-3М и ЛКЭЛ-4М

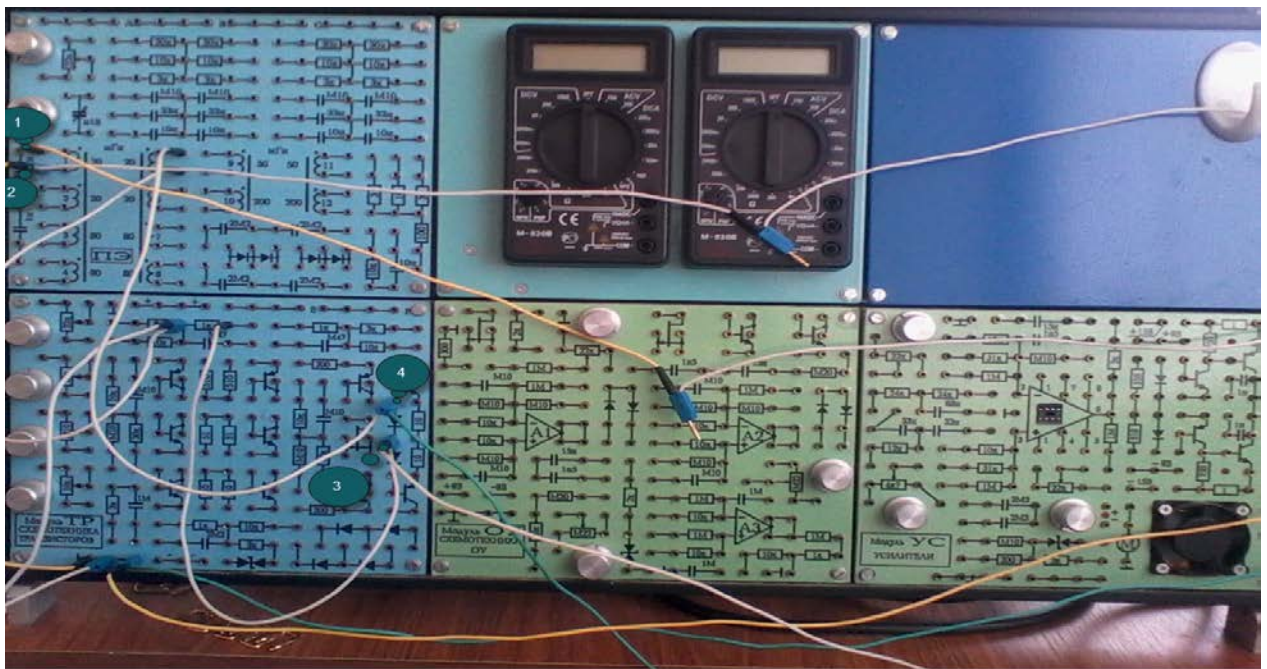
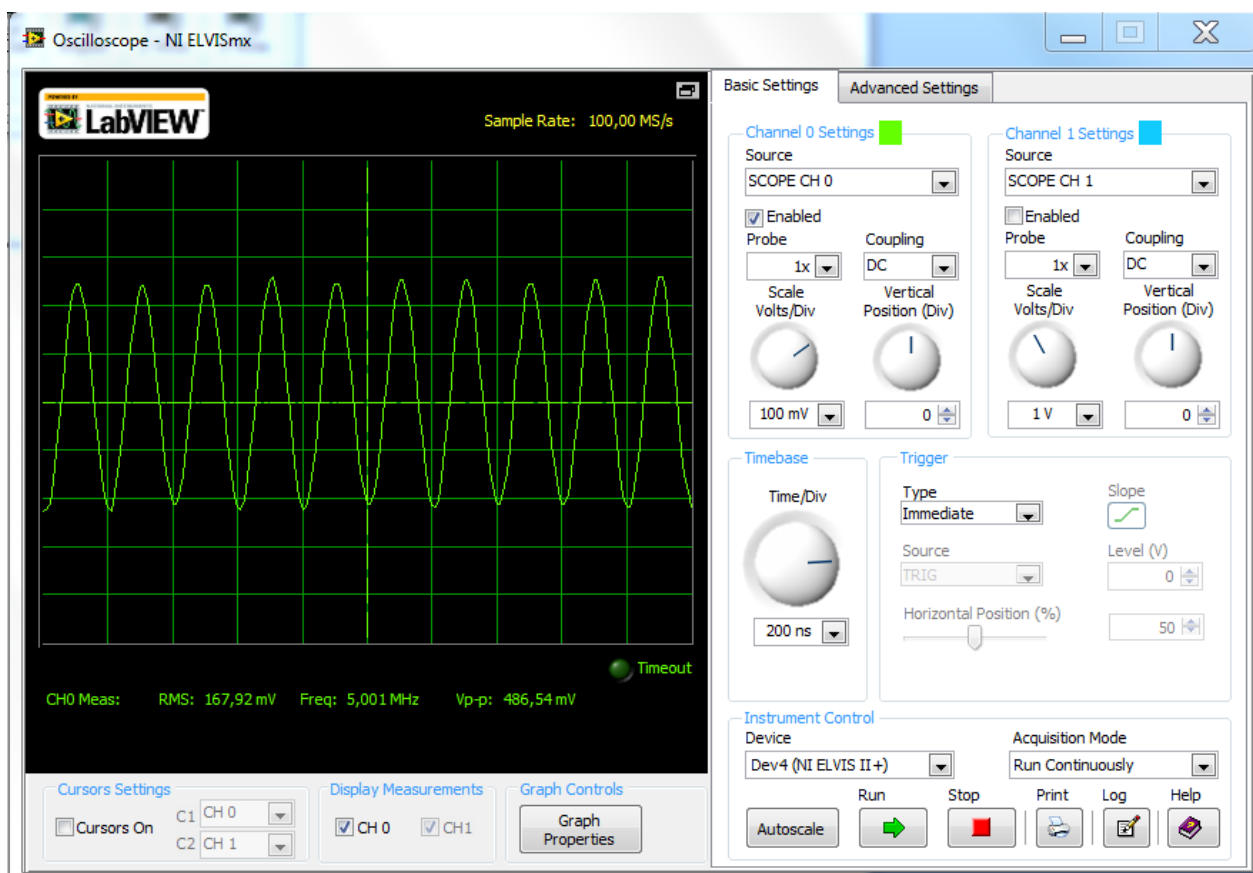


Рис.3.9

Берем резистор  $R=1 \text{ КОМ}$  из модуль TP ЛКЭЛ-3М, диод марки 1N4001G и трансформатор. Соединяем их как показано в схеме 9. К клеммам 1 и 2 подключается функциональный генератор из NI ELVIS II<sup>+</sup> (рис 3.2). Осциллограф подключаем к клеммам 3 и 4 (4- входной сигнал, 3- выходной). На компьютере открываем NI ELVISmx Instrument Launcher , в появившемся окне выбираем осциллограф и так же выбираем генератор. На генераторе и на осциллографе нажимаем кнопку Run. На экране осциллографа наблюдаем входное напряжение и выходное напряжение.



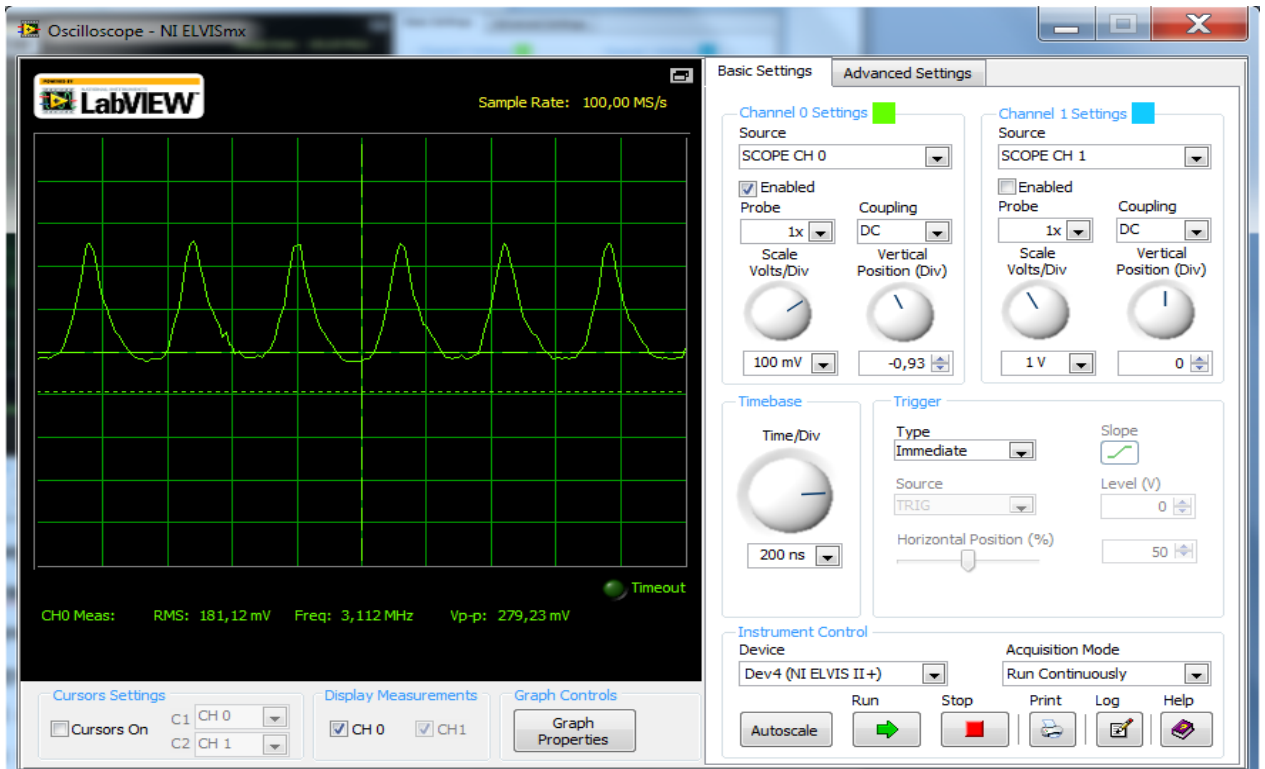


Рис.3.10. Осциллограмма входного и выходного напряжения

$$U_{\max(\text{вх})} = 684,99\text{mV}$$

$$T = 16,08\text{ms}$$

$$U_{\max(\text{вых})} = 235,62\text{mV}$$

$$f = 1/T = 1/16,791 = 62,189\text{Гц}$$

Эксперимент 2. Исследование входного и выходного напряжения двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора.

1) Собираем схему:

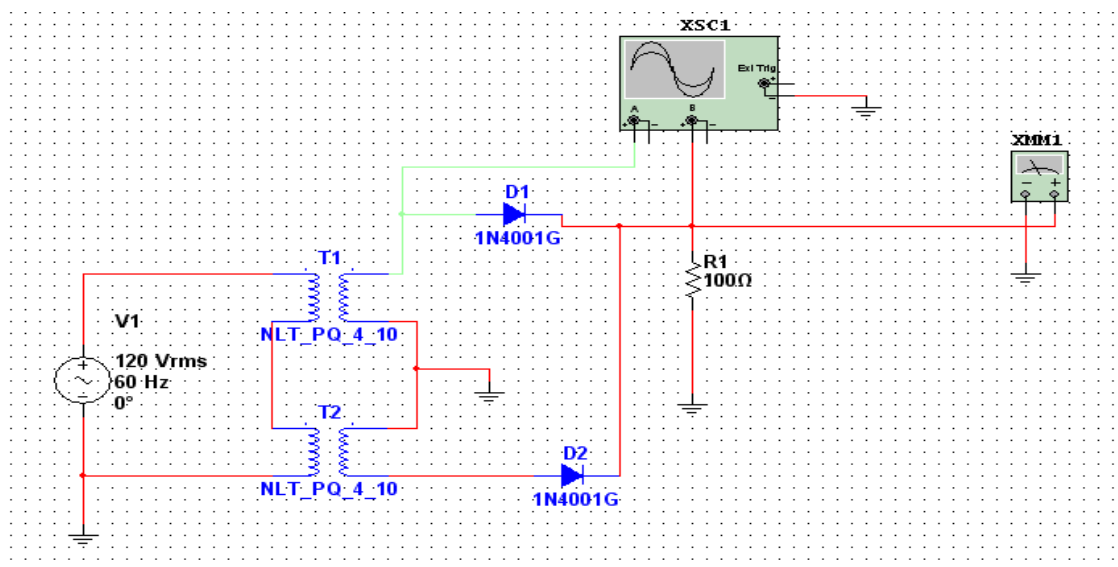



Рис.3.11

а) Вводим источник переменного напряжения

- б) Вводим 2 трансформатора
- в) Вводим 2 диода марки 1N4001G
- г) Вводим резистор  $R=100 \text{ Ом}$
- д) Вводим двухканальный осциллограф
- е) Соединяем все элементы как показано на рисунке 3.11
- ё) Включаем схему 

На вход А осциллографа подается входной сигнал, а на вход В — выходной. Зарисовываем осциллограммы. Измеряем максимальные входные и выходные напряжения. Измеряем период  $T$  по осциллограмме выходного напряжения. Вычисляем частоту выходного сигнала. Записываем постоянную составляющую напряжения на выходе, измеренную мультиметром.

$$U_{\max(\text{вх})}=434,422 \text{ mV}$$

$$U_{\max(\text{вых})}=154,021 \text{ uV}$$

$$U_{\text{вых}}=38,491 \text{ uV}$$

$$T=16 \text{ ms}$$

$$f=62 \text{ Гц}$$

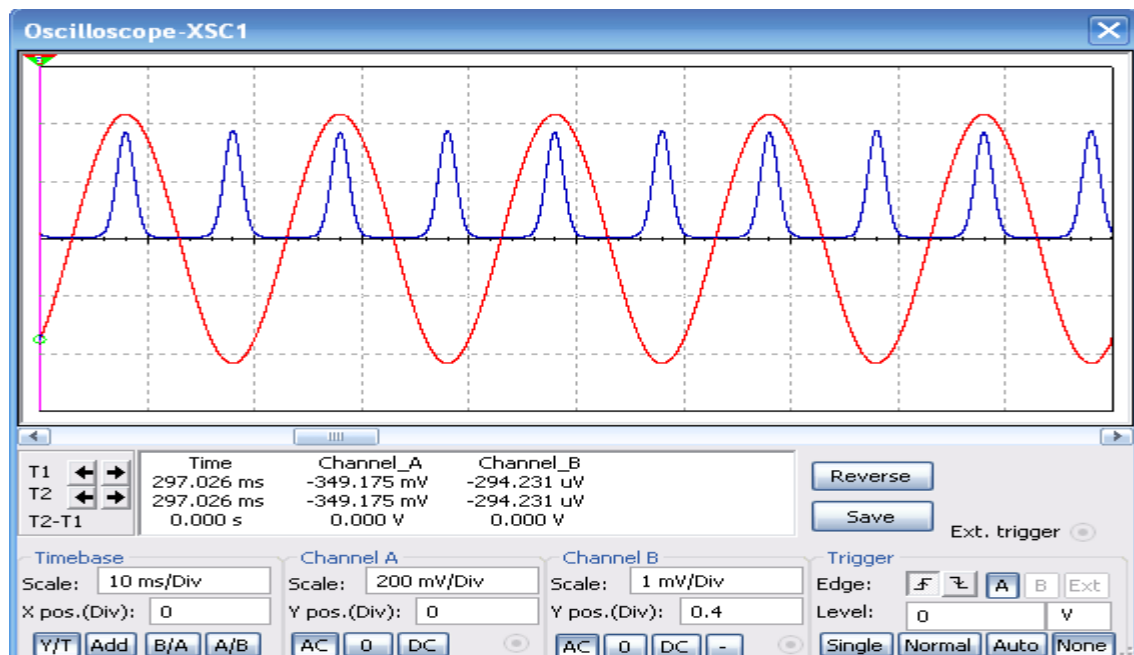


Рис.3.12. Осциллограмма двухполупериодного выпрямителя (син.- входное напряжение, красн.- выходное)

II) Эту же схему собираем на стенде НТЦ «ВЛАДИС» ЛКЭЛ-3М и ЛКЭЛ-4М.



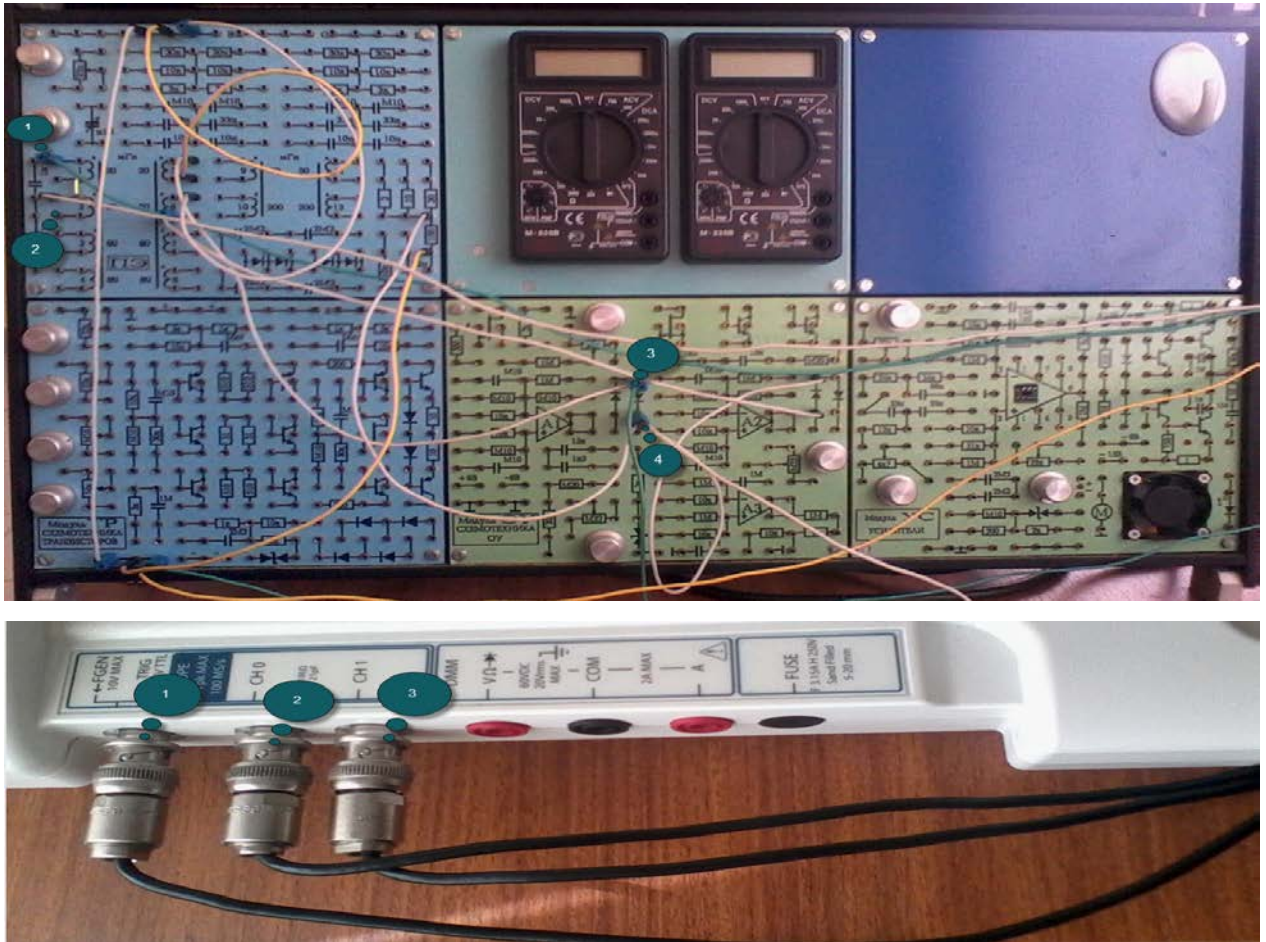


Рис.3.13

Берем резистор  $R=100\text{OM}$  из модуль ТР ЛКЭЛ-3М, 2 диода и 2 трансформатора. Соединяем их как показано на рис.3.11. К клеммам 1 и 2 подключается функциональный генератор из NIELVISII<sup>+</sup> (рис). Осциллограф подключаем к клеммам 3 и 4 (3- входной сигнал, 4- выходной). На компьютере открываем NI ELVISmx Instrument Launcher, в появившемся окне выбираем осциллограф и так же выбираем генератор. На генераторе и на осциллографе нажимаем кнопку Run. На экране осциллографа наблюдаем входное напряжение и выходное (выпрямленное) напряжение.

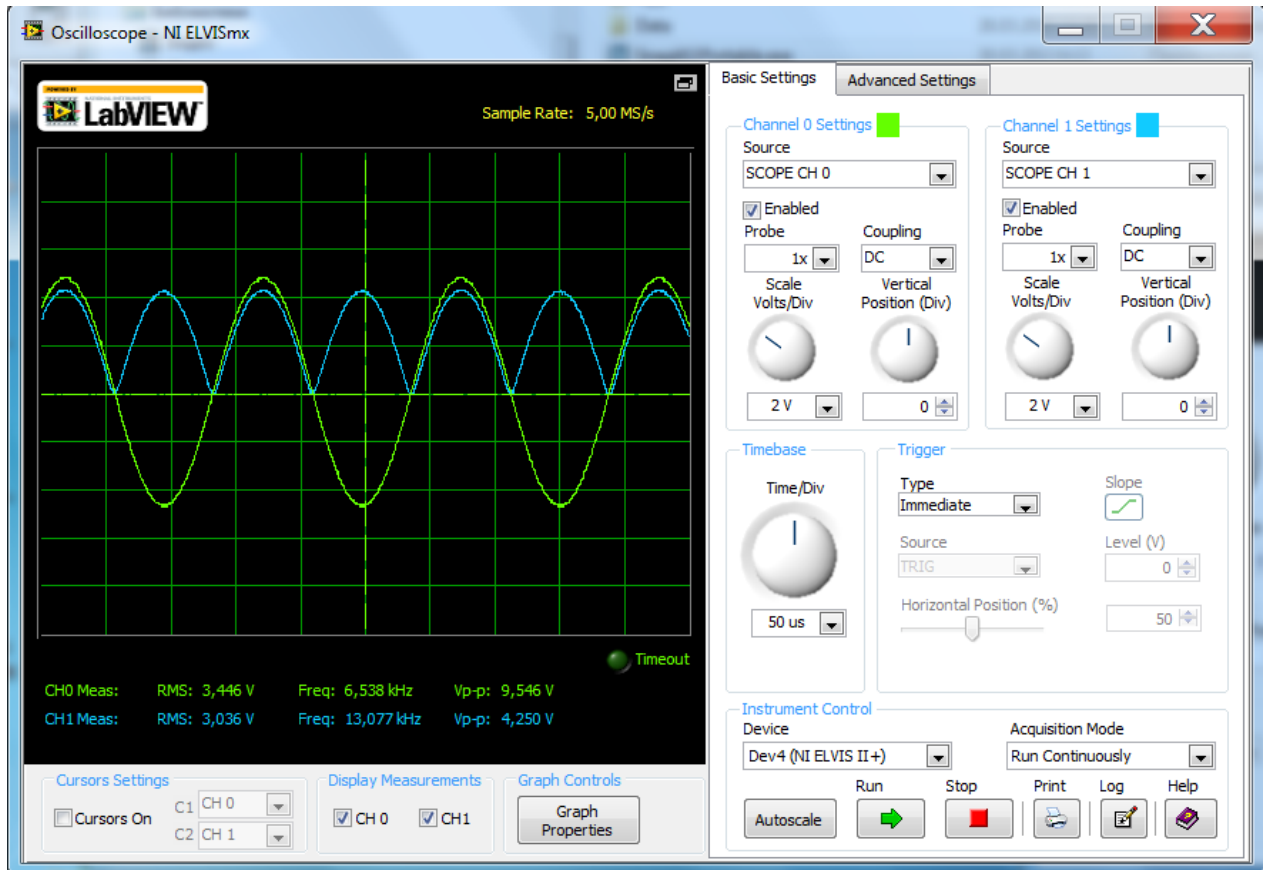


Рис.3.14. Осциллограмма входного и выходного напряжения (зел.-вх.,син.-вых)

$$U_{\max(\text{вх})} = 4,85 \text{ V}$$

$$U_{\max(\text{вых})} = 4,3 \text{ V}$$

$$U_{\text{вых}} = 4 \text{ V}$$

$$T = 153,00 \text{ us}$$

$$f = 6,538 \text{ кГц}$$

Измеряем период  $T$  по осциллограмме выходного напряжения. Вычисляем частоту выходного сигнала. Записываем постоянную составляющую напряжения на выходе, измеренную мультиметром.



## Глава 4.Мультивибратор

### Теоретическая часть

Мультивибратор — релаксационный генератор электрических колебаний прямоугольного типа с крутыми фронтами. Термин предложен голландским физиком Ван Дер Полем, так как в спектре мультивибратора присутствует множество гармоник — в отличие от генератора синусоидальных колебаний («моновибратора»).

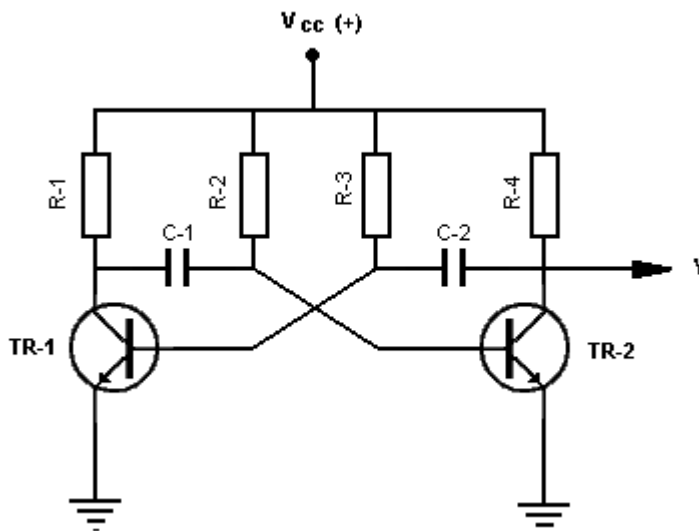


Рис.4.1

Мультивибратор был описан Икклзом и Джорданом в 1919 году.

Мультивибратор является одним из самых распространённых генераторов импульсов прямоугольной формы, представляющий собой двухкаскадный резистивный усилитель с глубокой положительной обратной связью. В электронной технике используются самые различные варианты схем мультивибраторов, которые различаются между собой по типу используемых элементов (ламповые, транзисторные, тиристорные, микроэлектронные и так далее), режиму работы (автоколебательный, ждущий синхронизации), видам связи между усилительными элементами, способам регулировки длительности и частоты генерируемых импульсов и так далее.

Отнесение мультивибратора к классу автогенераторов оправдано лишь при автоколебательном режиме его работы. В ждущем режиме мультивибратор вырабатывает импульсы только тогда, когда на его вход поступают специальные запускающие сигналы. Режим синхронизации отличается от автоколебательного лишь тем, что в этом режиме с помощью внешнего управляющего (синхронизирующего) напряжения можно изменять частоту генерируемых колебаний.

Симметричным мультивибратор называют при попарном равенстве сопротивлений  $R_1$  и  $R_4$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , ёмкостей  $C_1$  и  $C_2$ , а также параметров транзисторов  $Q_1$  и  $Q_2$ .

Симметричный мультивибратор генерирует сигнал «меандрового» типа, то есть сигнал, в периоде которого длительность импульса и длительность паузы одинакова.

Симметричный мультивибратор по «классической» схеме (см. рисунок 4.1) широко используется для учебных и демонстрационных целей в качестве простейшего по устройству генератора электрических колебаний. Данная схема обладает понятностью и очевидностью, а также не требует для реализации неудобных в расчётах и сборке индуктивностей и трансформаторов.

Существуют три типа схем мультивибратора в зависимости от схемы работы:

- *нестабильный*: схема не является стабильной в любом состоянии, она постоянно переходит из одного состояния в другое. Она не требует сигнала на входе (например, тактового импульса);
- *моностабильный*: одно из состояний является стабильным, но другие состояния неустойчивы (переходные). Триггер включается цепь, чтобы войти в неустойчивое состояние. После входа в неустойчивое состояние схема возвращается в стабильное состояние через определенное время. Такая схема используется для создания

временного интервала фиксированной длительности в ответ на некоторое внешнее событие.

- *бистабильный*: схема устойчива в любом состоянии. Схема может быть перевернута с одного состояния в другое с помощью внешних воздействий или триггера.

Практическое применение мультивибраторов на двух транзисторах ограничено сверху частотами в единицы мегагерц. На более высоких частотах оба транзистора с большой вероятностью запираются и для восстановления работы устройство надо отключать от источника питания и запускать заново, что во многих случаях неприемлемо.

### **Принцип действия**

Схема транзисторного мультивибратора с коллекторно-базовыми ёмкостными связями.

Схема может находиться в одном из двух нестабильных состояний и периодически переходит из одного в другое и обратно. Фаза перехода очень короткая благодаря положительной обратной связи между каскадами усиления.

Состояние 1: Q1 закрыт, Q2 открыт и насыщен, C1 быстро заряжается базовым током Q2 через R1 и Q2, после чего при полностью заряженном C1 (полярность заряда указана на схеме) через R1 не течет ток, напряжение на C1 равно (ток базы Q2)\* R2, а на коллекторе Q1 — питанию.

Напряжение на коллекторе Q2 невелико (падение на насыщенном транзисторе).

C2, заряженный ранее в предыдущем состоянии 2 (полярность по схеме), начинает медленно разряжаться через открытый Q2 и R3. Пока он не разрядился, напряжение на базе Q1 = (небольшое напряжение на коллекторе Q2) — (большое напряжение на C2) — то есть отрицательное напряжение, наглухо запирающее транзистор.

Состояние 2: то же в зеркальном отражении (Q1 открыт и насыщен, Q2 закрыт).

Переход из состояния в состояние: в состоянии 1 C2 разряжается, отрицательное напряжение на нём уменьшается, а напряжение на базе Q1 — растёт. Через довольно длительное время оно достигнет нуля. Разрядившись полностью, C2 начинает заряжаться в обратную сторону, пока напряжение на базе Q1 не достигнет примерно 0,6 В.

Это приведет к началу открытия Q1, появлению коллекторного тока через R1 и Q1 и падению напряжения на коллекторе Q1 (падение на R1). Так как C1 заряжен и быстро разрядиться не может, это приводит к падению напряжения на базе Q2 и началу закрытия Q2.

Закрытие Q2 приводит к снижению коллекторного тока и росту напряжения на коллекторе (уменьшение падения на R4). В сочетании с перезаряженным C2 это ещё более повышает напряжение на базе Q1. Эта положительная обратная связь приводит к насыщению Q1 и полному закрытию Q2.

Такое состояние (состояние 2) поддерживается в течение времени разряда C1 через открытый Q1 и R2.

Таким образом, постоянная времени одного плеча есть  $C1 * R2$ , второго —  $C2 * R3$ . Это дает длительность импульсов и пауз.

Также эти пары подбираются так, чтобы падение напряжения на резисторе в условиях протекания через него тока базы было бы большим, сравнимым с питанием.

R1 и R4 подбираются как много меньшие, чем R3 и R2, чтобы зарядка конденсаторов через R1 и R4 была быстрее, чем разрядка через R3 и R2. Чем больше будет время зарядки конденсаторов, тем положе окажутся фронты импульсов. Но отношения  $R3/R1$  и  $R2/R4$  не должны быть больше, чем

коэффициенты усиления соответствующих транзисторов, иначе транзисторы не будут открываться полностью.

### Частота мультивибратора

Длительность одной из двух частей периода равна

$$t = \ln 2 \cdot RC \quad (4.1)$$

Длительность периода из двух частей равна:

$$T = t_1 + t_2 = \ln 2 \cdot R_2 C_1 + \ln 2 \cdot R_3 C_2 \quad (4.2)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln 2 \cdot (R_2 C_1 + R_3 C_2)} \approx \frac{1}{0.693 \cdot (R_2 C_1 + R_3 C_2)} \quad (4.3)$$

где

- $f$  частота в Гц.
- $R_2$  и  $R_3$  величины резисторов в Омах.

$C_1$  и  $C_2$  величины конденсаторов в Фарадах.

$T$  — длительность периода (В этом случае, сумма двух частей периода).

В особом случае когда

- $t_1 = t_2$  (50 % цикл)
- $R_2 = R_3$
- $C_1 = C_2$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln 2 \cdot 2RC} \approx \frac{0.721}{RC} \quad (4.4)$$

### Выходные формы импульса

Выходное напряжение имеет форму, приблизительно квадратной формы волны. Считается ниже транзистора  $Q_1$ . В состоянии 1,  $Q_2$  база-эмиттер в обратном направлении и конденсатор  $C_1$  "отцепленный" от земли. Выходное напряжение включенного транзистора  $Q_1$  быстро меняется от

высокого (пределы: более 1кВ) к низкому(пределы: до 250 В), так как это низко-резистивного выход, то загружается высокий импеданс нагрузки (последовательно соединенных конденсаторов C1 и высокоомных базу резистор R2). Во время состояния 2, Q2 база-эмиттер в прямом смещением и конденсатор C1 "подключили" к земле. Выходное напряжение, выключенного транзистора Q1, изменяется экспоненциально от низкого до высокого, так как это относительно высокий резистивный выход, то загружается низкий импеданс нагрузки (емкость C1). Это для выходного напряжения R 1 C 1 интегрирующей цепи. Чтобы приблизиться к необходимой площади сигнала, нужно, чтобы ток коллектора резисторов был ниже сопротивления. База резисторов должна быть достаточно низкой, чтобы насытить транзисторы в конце восстановления ( $R_B < \beta \cdot R_C$ ).

### **Начальное питание**

Однако, если схема временного хранения и с высокой базы, длиннее, чем требуется для полной зарядки конденсаторов, то схема будет оставаться в стабильном состоянии, как с базы на 0,6 В, и коллекторы на 0 В, и оба конденсатора разряжаются до -0,6 В. Это может произойти при запуске без внешнего вмешательства, если R и C и очень мало.

### **Защитные компоненты**

Хотя это и не основополагающее значение для работы схемы, диоды соединенные последовательно с базой или эмиттером транзисторов необходимы, чтобы предотвратить переход база-эмиттер, их гонят в обратном направлении пробоя, когда напряжение питания превышает  $V_{EB}$  напряжение пробоя, как правило, около 5 -10 вольт для кремниевых транзисторов общего назначения.

## 4.2. Лабораторная работа №4

### Мультивибратор на операционном усилителе

Мультивибратором называется генератор периодически повторяющихся импульсов прямоугольной формы. Мультивибратор является автогенератором и работает без подачи входного сигнала.

Конденсатор  $C$  и резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  образуют интегрирующую RC-цепь: при заряде конденсатора открыт диод  $V_1$ , ток проходит через  $R_1$ , при разряде - открыт  $V_2$ , ток идет через  $R_2$ . Источником напряжения  $E$  является входная цепь ОУ. Компаратор выполнен на ОУ с положительной обратной связью через цепь  $R_3R_4$ . При переключении компаратора на его выходе происходит коммутация цепей заряда и разряда конденсатора  $C$ , т.е. ОУ выполняет сразу несколько функций: источника напряжений разряда и заряда конденсатора, компаратора и ключа.

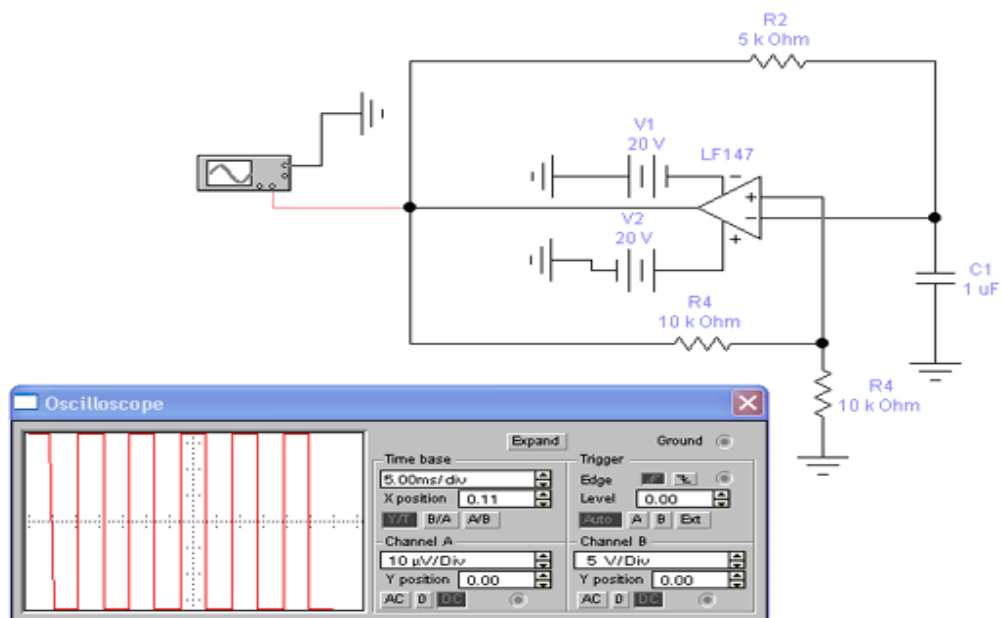


Рис.4.2. Схема симметричного мультивибратора на ОУ и временная диаграмма иллюстрирующая его работу

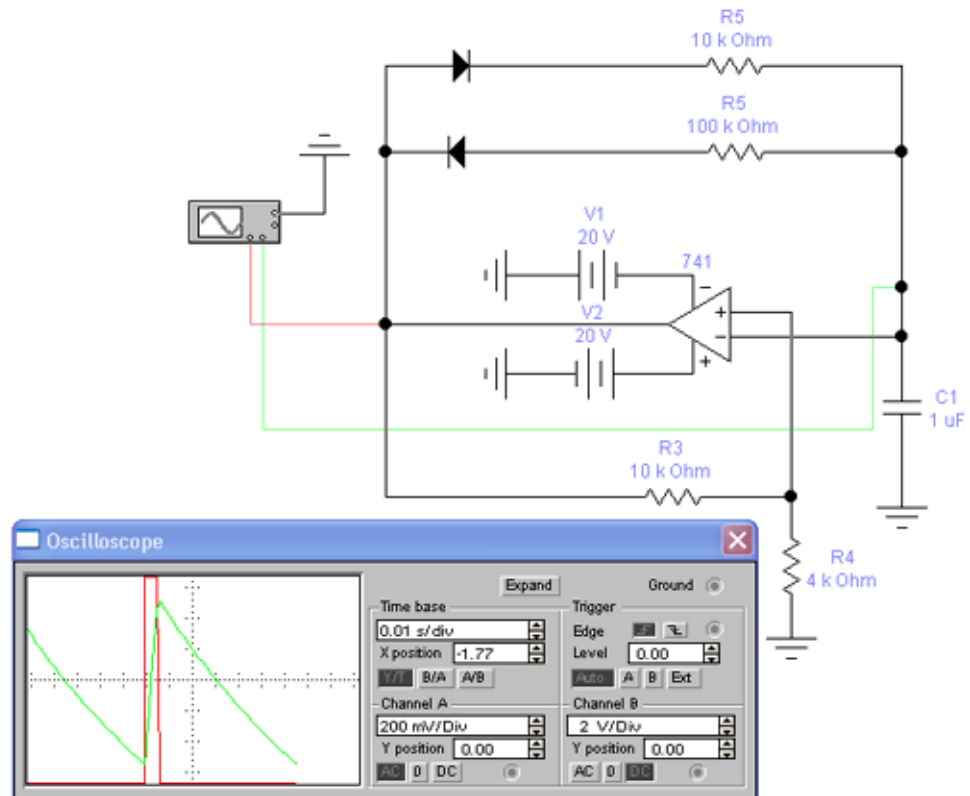


Рис.4.3. Схема несимметричного мультивибратора на ОУ и временная диаграмма иллюстрирующая его работу

### Задание:

1. Используя пакет Multisim собрать мультивибратор, включив в нее модель 741 (или LF147 для симметричного мультивибратора).
2. Исследовать схему мультивибратора в режиме анализа переходных процессов.
3. Составить отчет, в который должны быть включены: схемы мультивибраторов и графики зависимости напряжения от времени для входного и выходного сигнала.

### Эксперимент 1.

- а) Используя пакет Multisim11.0 собираем схему симметричного мультивибратора на ОУ.



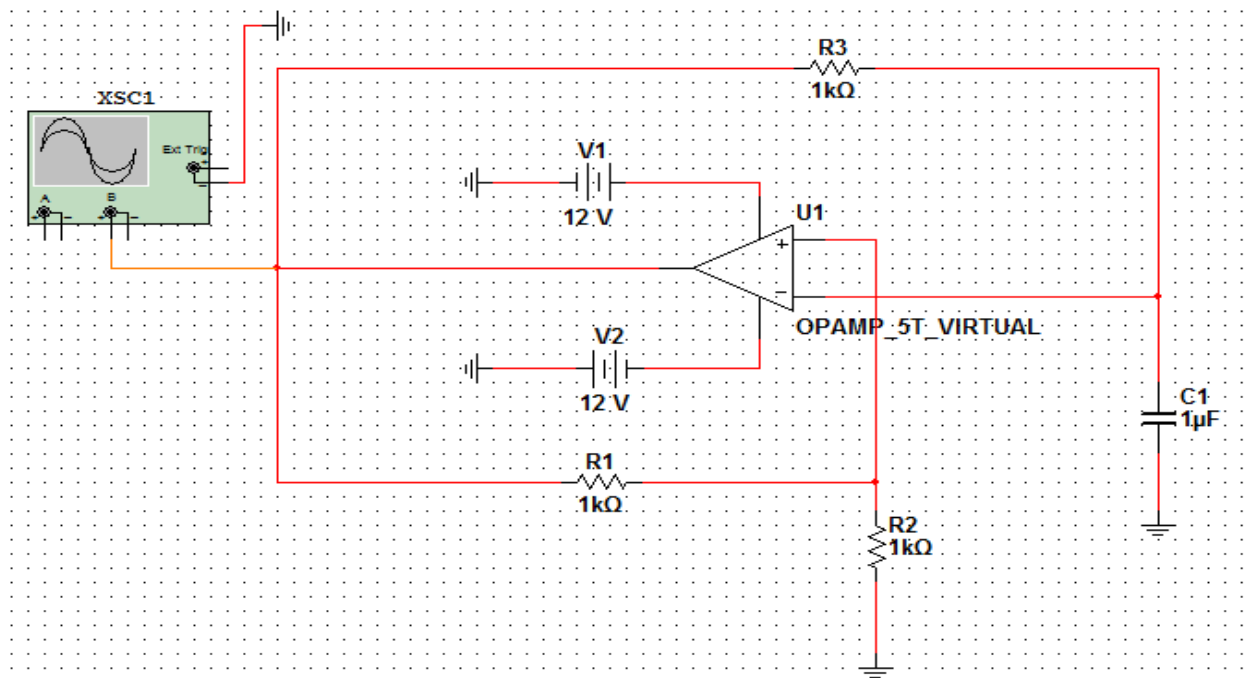


Рис.4.4. Схема симметричного мультивибратора на ОУ

б) Вводим источники постоянного питания  $E = 20V$

в) Вводим операционный усилитель марки LF147

Открываем меню Place Analog/Analog Virtual и нажимаем кнопку ОК (рис.4.5)

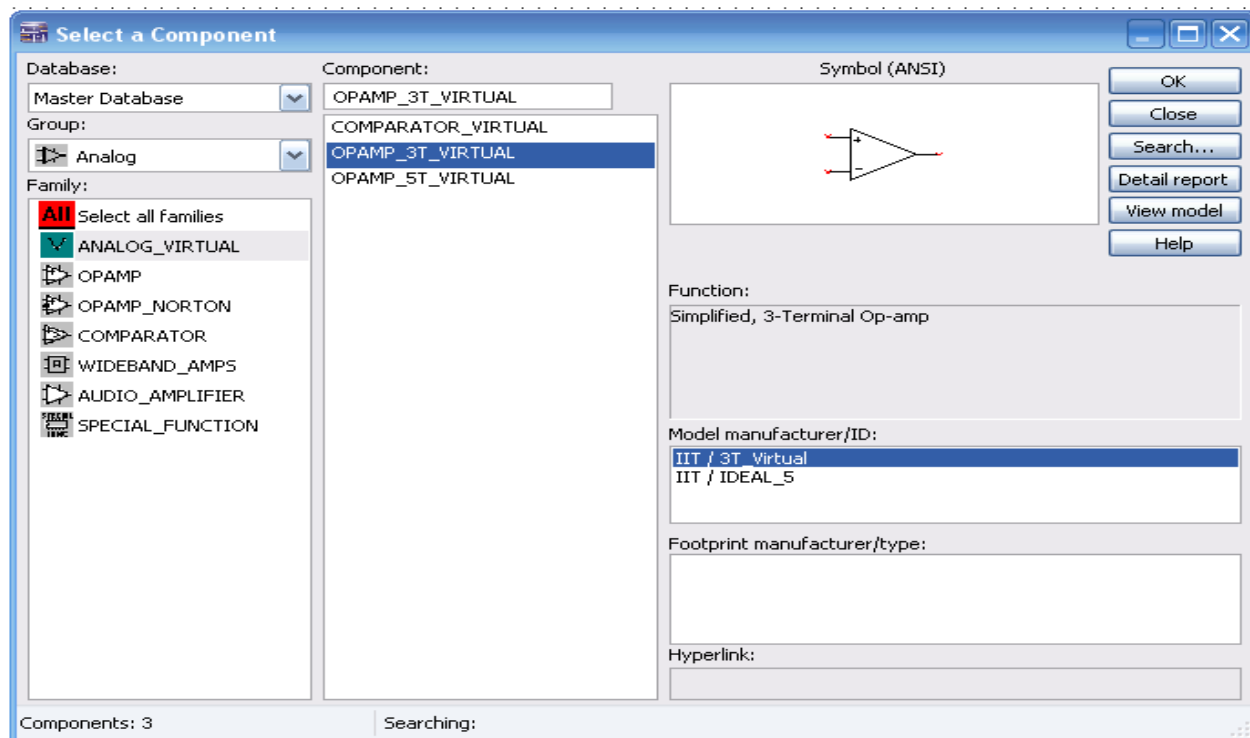


Рис.4.5

г) Вводим резисторы  $R_1=1 \text{ КОм}$ ,  $R_2=1 \text{ КОм}$ ,  $R_3=1 \text{ КОм}$

д) Вводим конденсатор  $C_1=1 \text{ uF}$

е) Ввод двухканального осциллографа

ё) Ввод проводников

Соединяем все элементы. Для этого нажимаем на левую кнопку мыши и удерживая ее, «прочертите» соединяя необходимые полюсы элементов

ж) Два раза нажимаем на осциллограф и наблюдаем временные диаграммы его работы

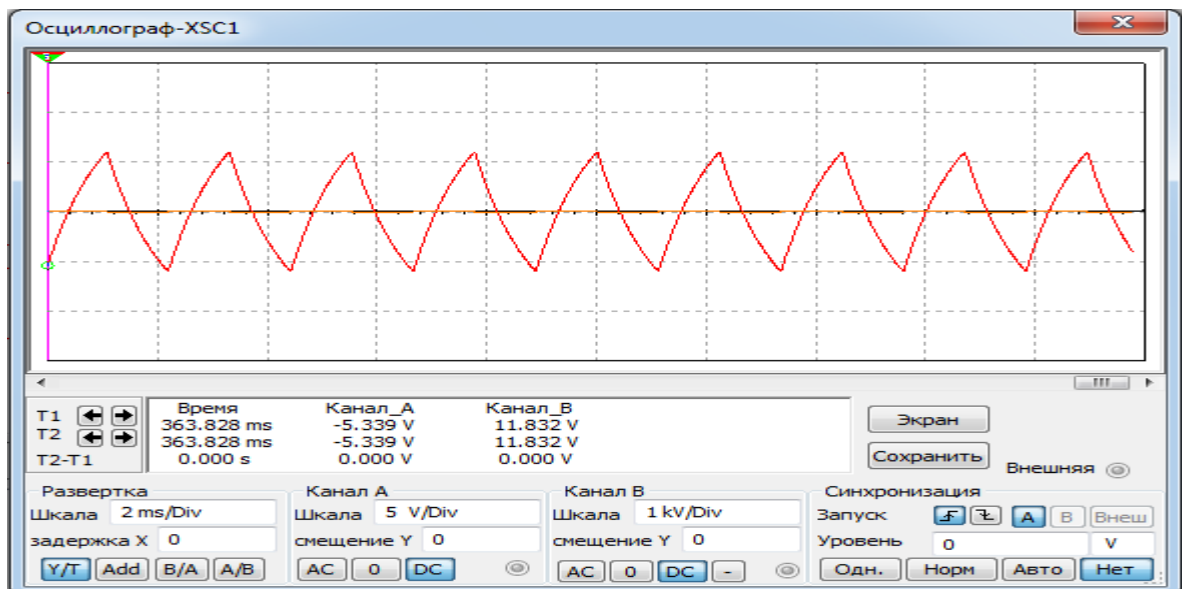


Рис.4.6. График зависимости входного сигнала от времени

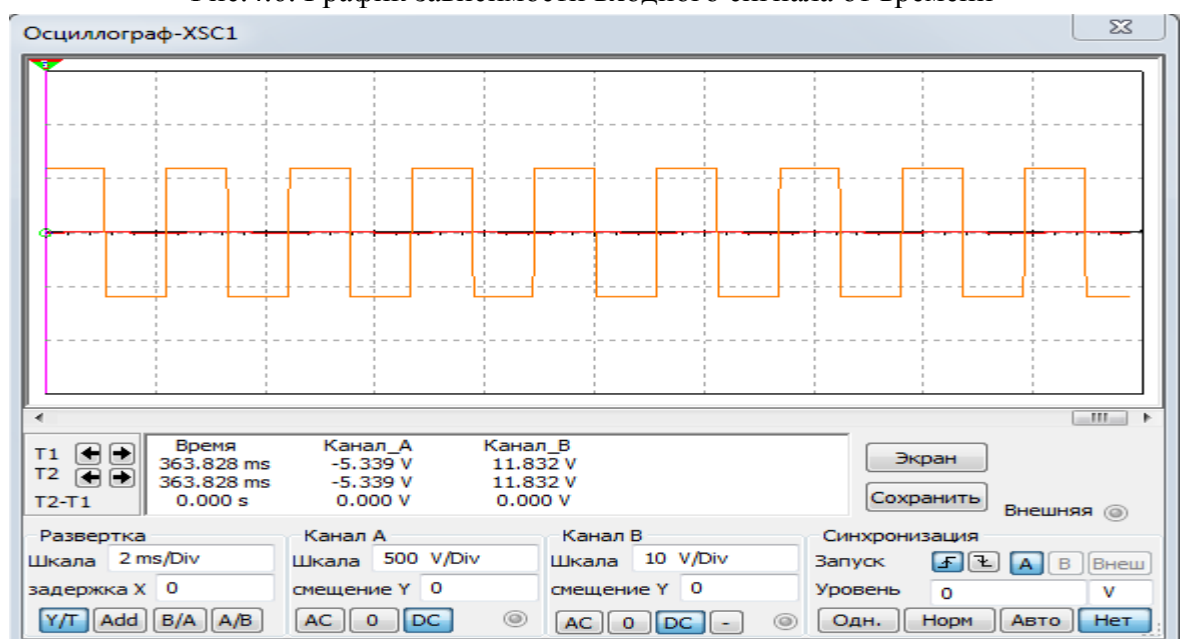


Рис.4.7. График зависимости выходного сигнала от времени

## Эксперимент 2.

Собираем схему симметричного мультивибратора

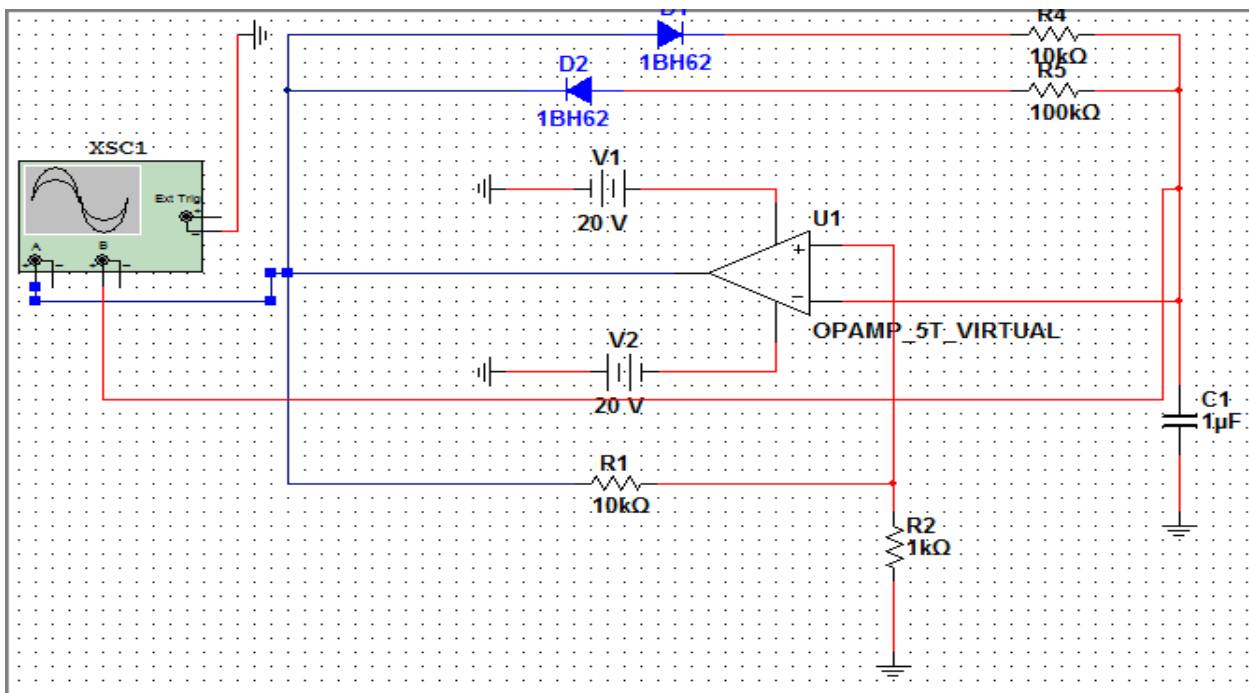


Рис.4.8. Схема несимметричного мультивибратора на ОУ

а) Повторяем пункты А-Е Эксперимента 1.

б) Вводим диоды марки 1N4001G

в) Ввод проводников

Соединяем все элементы. Для этого нажимаем на левую кнопку мыши и удерживая ее, «прочертите» соединяя необходимые полюсы элементов

ж) Два раза нажимаем на осциллограф и наблюдаем временные диаграммы его работы

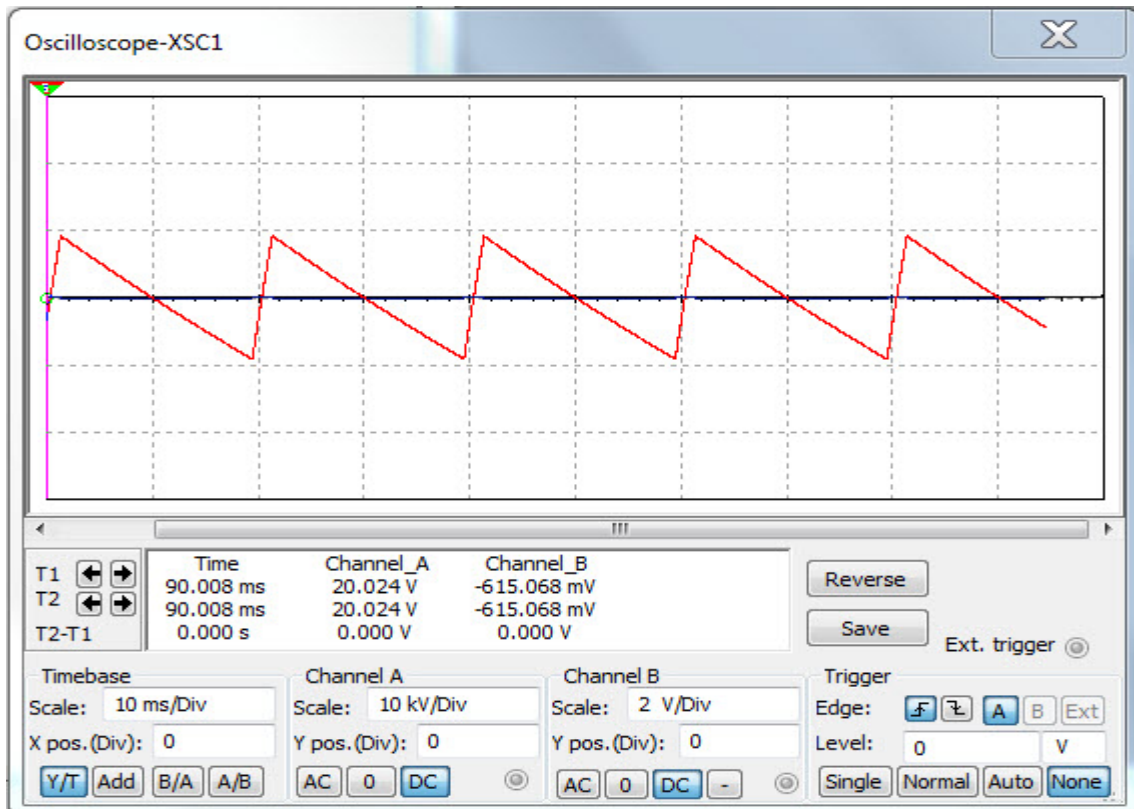


Рис.4.9.График зависимости входного сигнала от времени

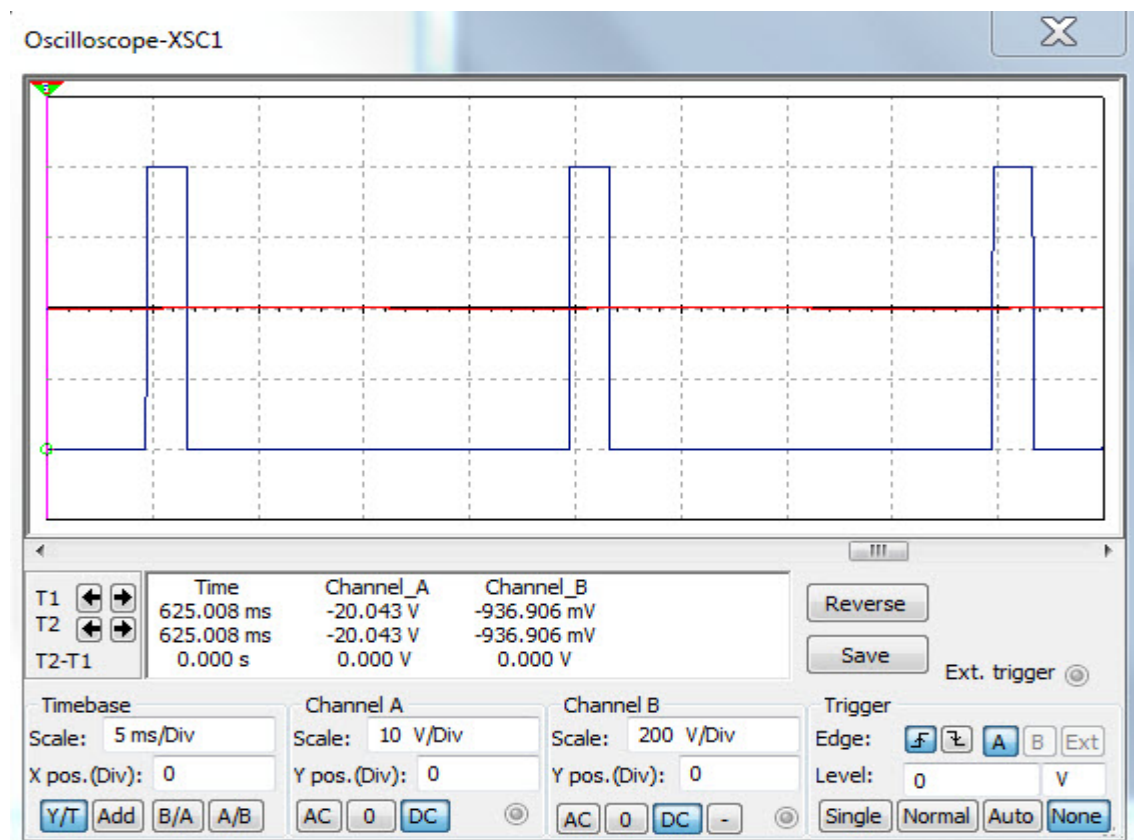


Рис.4.10. График зависимости выходного сигнала от времени

### 4.3.Лабораторная работа №5

#### Исследование автоколебательного и ждущего мультивибратора

Цель работы – экспериментальное исследование автоколебательных и ждущих мультивибраторов на операционных усилителях.

1. Для исследования автоколебательного мультивибратора собрать схему в соответствии с рис. 4.11

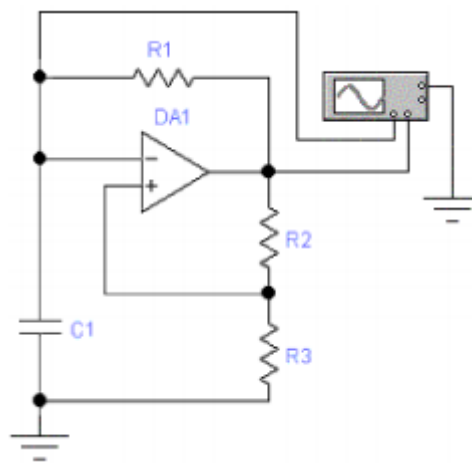


Рис.4.11

2. Установить сопротивления резисторов:  $R2 = 10 \text{ кОм}$ ,  $R3 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R1 = 10 \text{ кОм}$ ,  $C1 = 2,2 \text{ мкФ}$

3. К выходу ОУ подключить осциллограф и измерить частоту выходного напряжения автоколебательного мультивибратора. Результат занести в таблицу 1.

4. Изменить сопротивления резистора  $R1$  (при неизменной емкости  $C1$ ) и емкость конденсатора  $C1$  (при неизменном сопротивлении резистора  $R1$ .) таким образом, чтобы частота генератора изменилась в соответствии с табл.4.1



## Обработка экспериментальных данных

1. По данным таблицы 4.1 построить графики зависимостей  $f(R1)$  и  $f(C1)$ .
2. Построить график зависимости  $T$  ( $R2$ ) по значениям табл.4.2

Отчет: I) а) Используя пакет Multisim 11.0 собираем схему автоколебательного мультивибратора.

б) Вводим виртуальный операционный усилитель

в) Вводим резисторы  $R2 = 10 \text{ кОм}$ ,  $R3 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R1 = 10 \text{ кОм}$

г) Вводим конденсатор  $C1 = 2,2 \text{ мкФ}$ .

д) Вводим двухканальный осциллограф

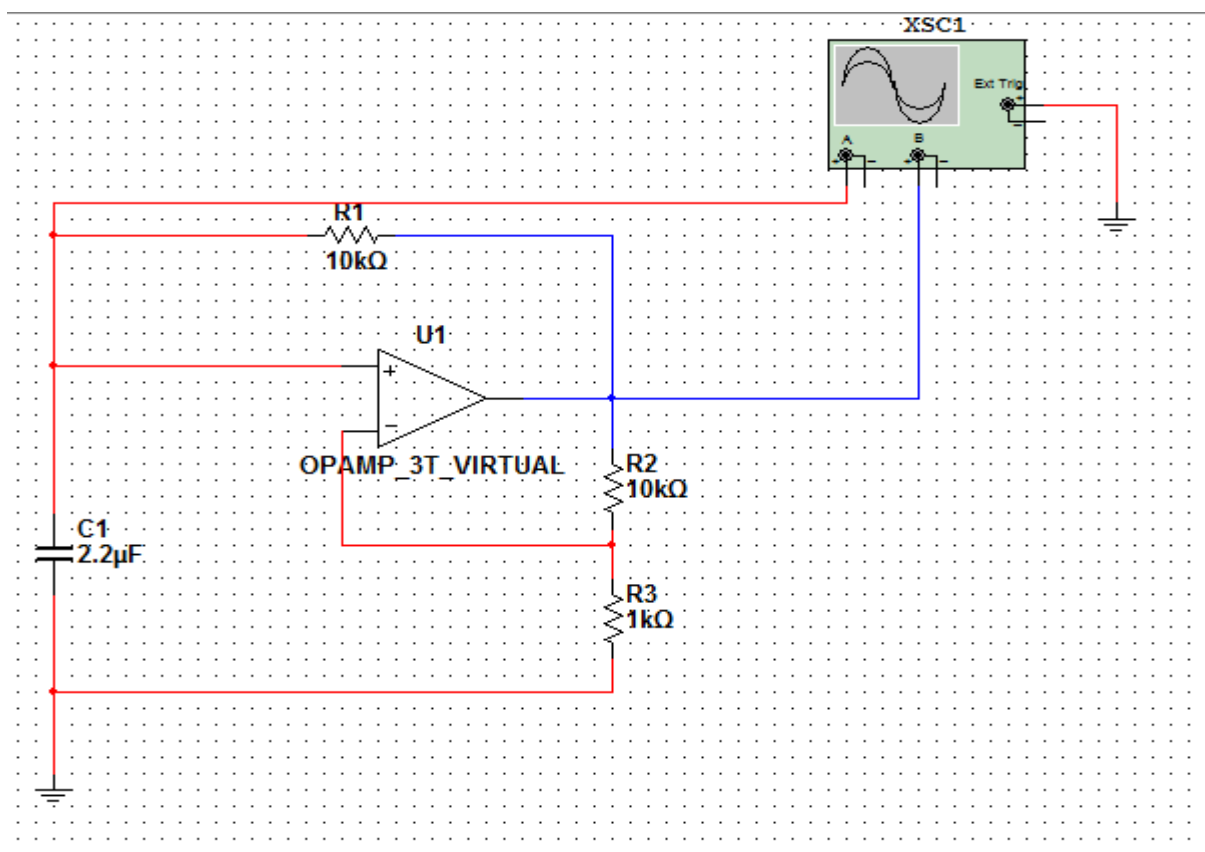


Рис.4.13

К выходу ОУ подключили осциллограф и измерили частоту выходного напряжения автоколебательного мультивибратора. Результат занесли в таблицу 4.3

Таблица 4.3

f, Гц	C1, мФ(R1=const)	R1, кОм(C1=const)
2f	0,8	3,5
1,5	0,9	4
F	2,2	10
0,75f	2,75	12,49
0,5f	6,55	23

II) Изменяли сопротивления резистора R1 (при неизменной емкости C1) и емкость конденсатора C1 (при неизменном сопротивлении резистора R1) таким образом, чтобы частота генератора изменилась в соответствии с таблицей 4.3

Таблица 4.3

f, Гц	C1, мФ(R1=const)	R1, кОм(C1=const)
2f	0,8	3,5
1,5	0,9	4
f	2,2	10
0,75f	2,75	12,49
0,5f	6,55	23

III) а) Используя пакет Multisim 11.0 собираем схему ждущего мультивибратора в соответствии с рис.4.7.

б) Вводим виртуальный операционный усилитель

в) Вводим резисторы R1=10 кОм, R3=100 кОм, R4=10 кОм, R2=52кОм

г) Вводим конденсаторы C2=мкФ, C1= 0, 1 мкФ

д) Вводим генератор, установили параметры генератора: Frequency- 10 Гц, Dutycycle- 1%, Amplitude- 10 В.



е) Вводим двухканальный осциллограф.

ё) Включаем схему. Измерили длительность импульса ( $T$ ) на выходе ждущего мультивибратора при помощи осциллографа.

$T=51\text{мс}$

Изменяли сопротивление резистора  $R2$  таким образом, чтобы получить длительность импульса в соответствии с таблицей 4.2.

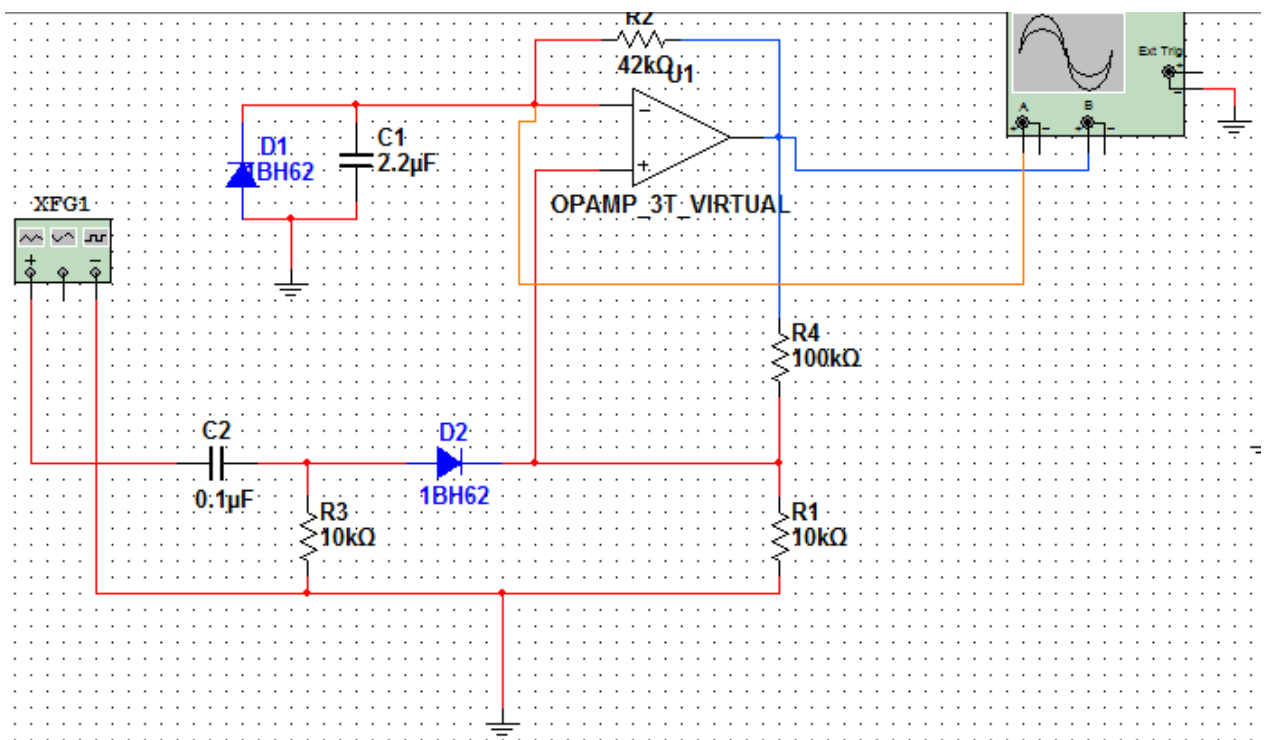


Рис.4.14

Таблица 4.4

$T, \text{ мс}$	0,3Т	0,5Т	0,7Т	0,85Т	Т	1,5Т	2Т	2,5Т	3Т
$R2, \text{ кОм}$	15	25	34	42	51	77	102	127	157

### Обработка экспериментальных данных

1. По данным таблицы 4.1 построили графики зависимостей  $f(R1)$  и  $f(C1)$ .

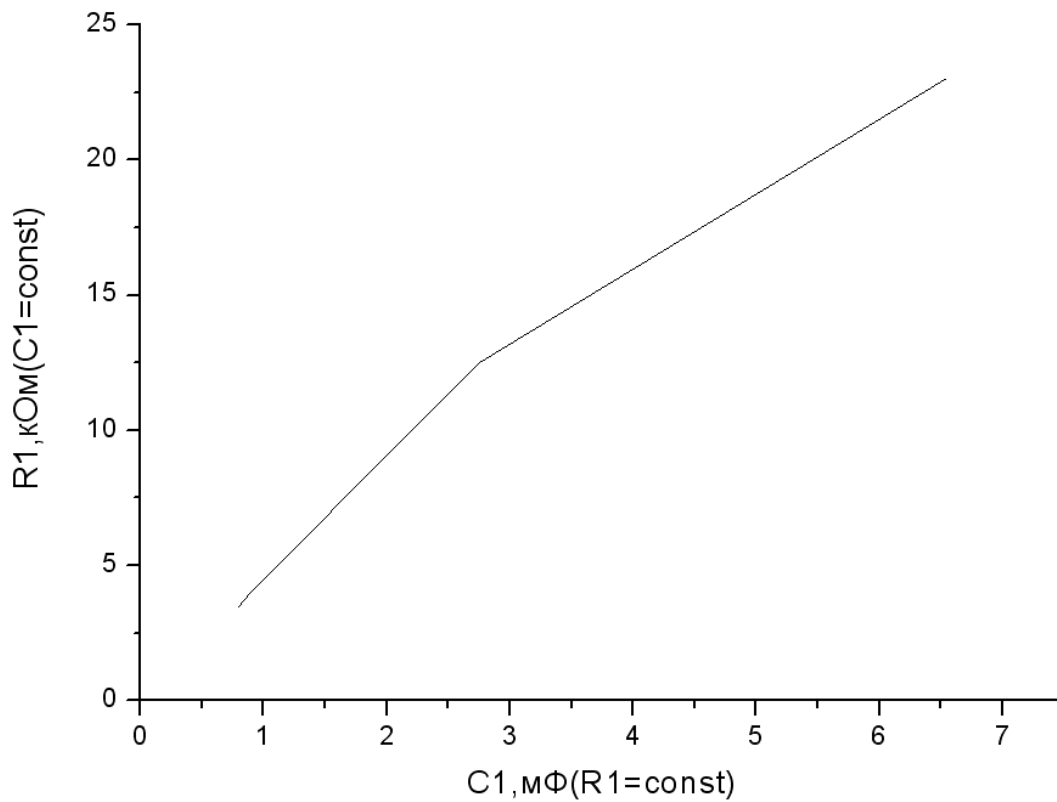


Рис.4.15

1. Построили график зависимости  $T(R2)$  по значениям табл.4.2

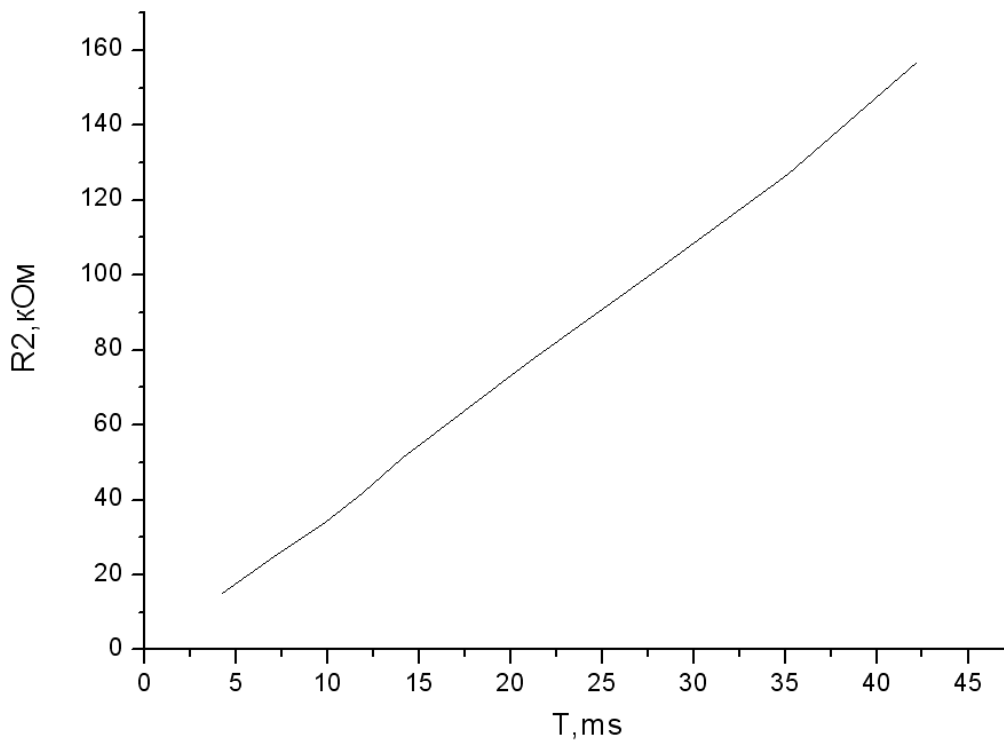


Рис.4.16

## 4.4.Лабораторная работа №6

### Мультивибратор на биполярных транзисторах

- а) Собираем схему мультивибратора на биполярных транзисторах.
- б) Вводим резисторы  $R1=3\text{ кОм}$ ,  $R2=30\text{кОм}$ ,  $R3=30\text{кОм}$ ,  $R4=3\text{ кОм}$
- в) Вводим конденсаторы  $C1=2,2\text{ мФ}$ ,  $C2=2,2\text{ мФ}$
- г) Вводим источник постоянного питания  $E=9\text{В}$
- д) Вводим 2 п-р-птранзистора
- е) Вводим два двухканальных осциллографа
- ё) Ввод проводников

Соединяем все элементы. Для этого нажимаем на левую кнопку мыши и удерживая ее, «прочертите» соединяя необходимые полюсы элементов

- ж) Включаем схему

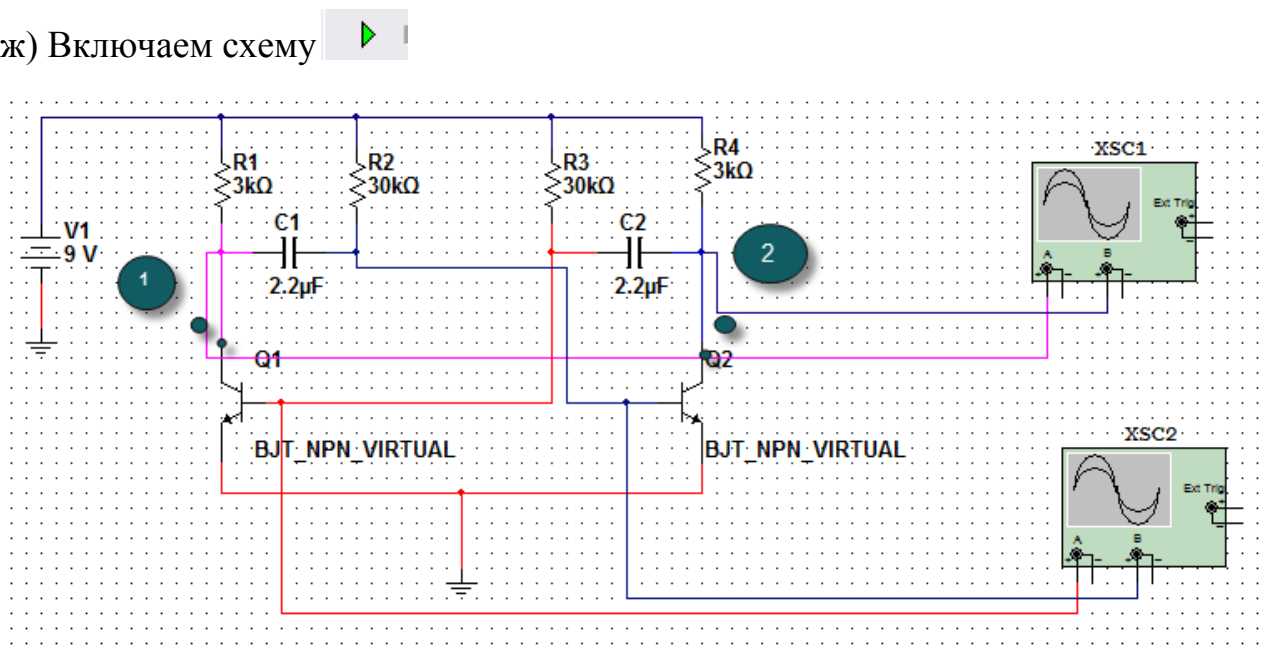
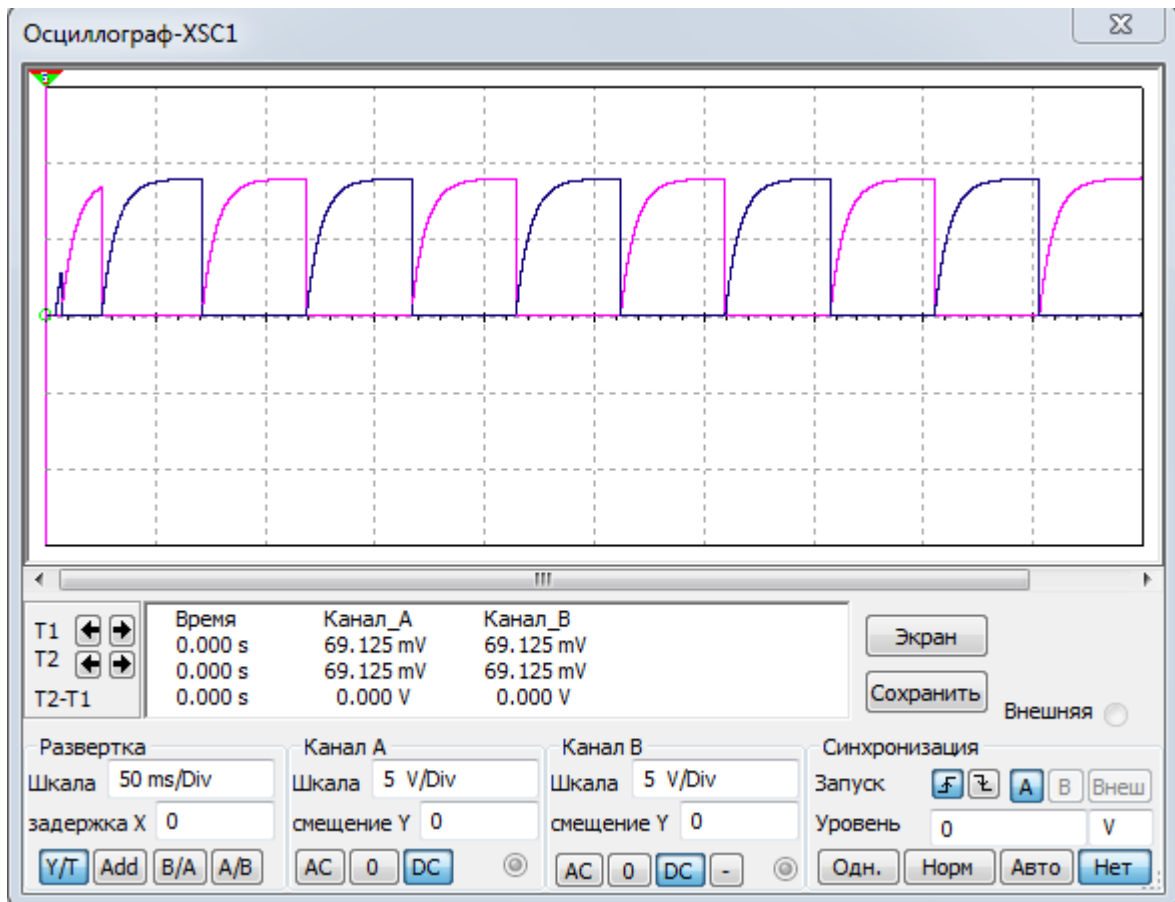
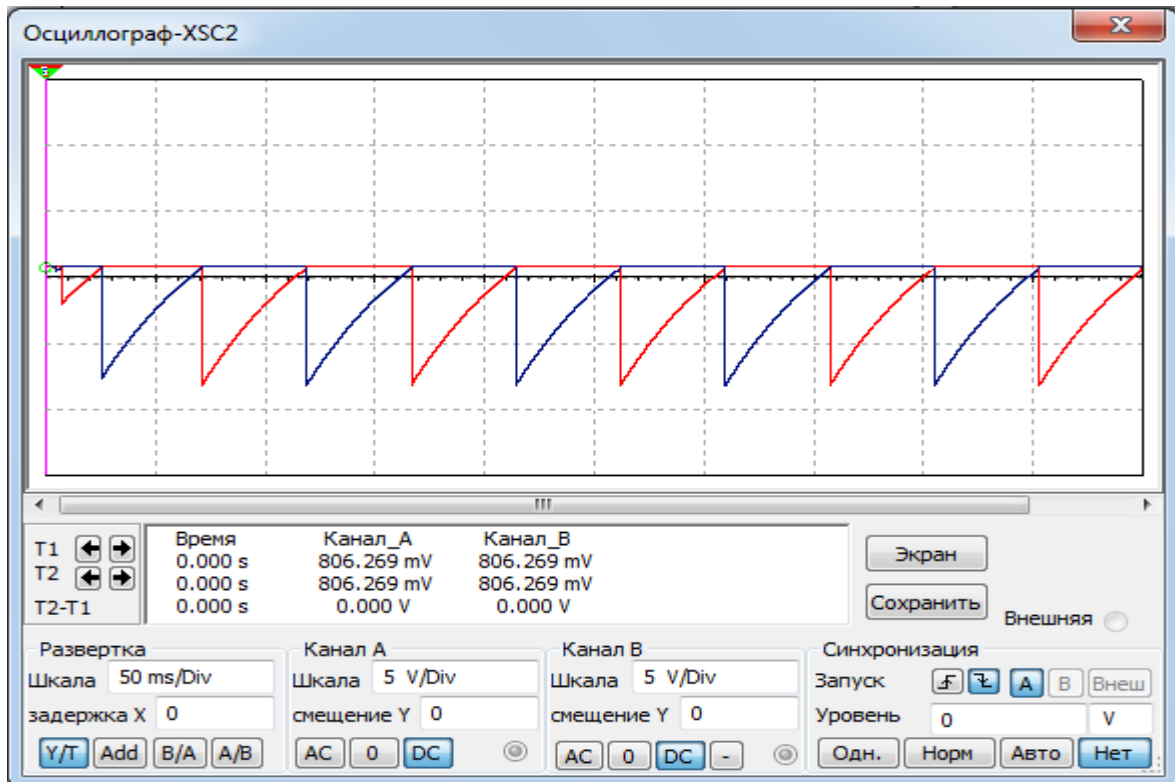


Рис.4.17. Схема мультивибратора на биполярных транзисторах

На осциллографе наблюдаем временные диаграммы автоколебательного мультивибратора и по ним определили длительность фронтов, длительность импульсов, период колебаний и частоту колебаний.

Рис.4.18. Временные диаграмма мультивибратора ( $U_{k1(t)}$  и  $U_{k2(t)}$ )Рис.4.19. Временные диаграммы мультивибратора ( $U_{b1(t)}$  и  $U_{b2(t)}$ )

$$U(1) = 3,9 \text{ V} \quad U(2) = 3,9 \text{ V}$$

$$t_{u1} = 64,445 \text{ ms} \quad t_{u2} = 64,445 \text{ ms}$$

$$T = t_{u1} + t_{u2} = 128,89 \text{ ms}$$

$$f = 1/T = 7,75 \text{ Гц}$$

Собираем эту же схему на стенде НТЦ «ВЛАДИС» ЛКЭЛ-3М и ЛКЭЛ-4М.

Берем резисторы  $R1=3 \text{ кОм}$ ,  $R2=30 \text{ кОм}$ ,  $R3=30 \text{ кОм}$ ,  $R4=3 \text{ кОм}$  и конденсаторы  $C1=2,2 \text{ мФ}$ ,  $C2=2,2 \text{ мФ}$  из модуля ПЭ, транзисторы из модулей ОУ и УС. Соединяем осциллографы и все элементы как показано в схеме 4.6. На осциллографе наблюдаем временные диаграммы автоколебательного мультивибратора и по ним определили длительность фронтов, длительность импульсов, период колебаний и частоту колебаний

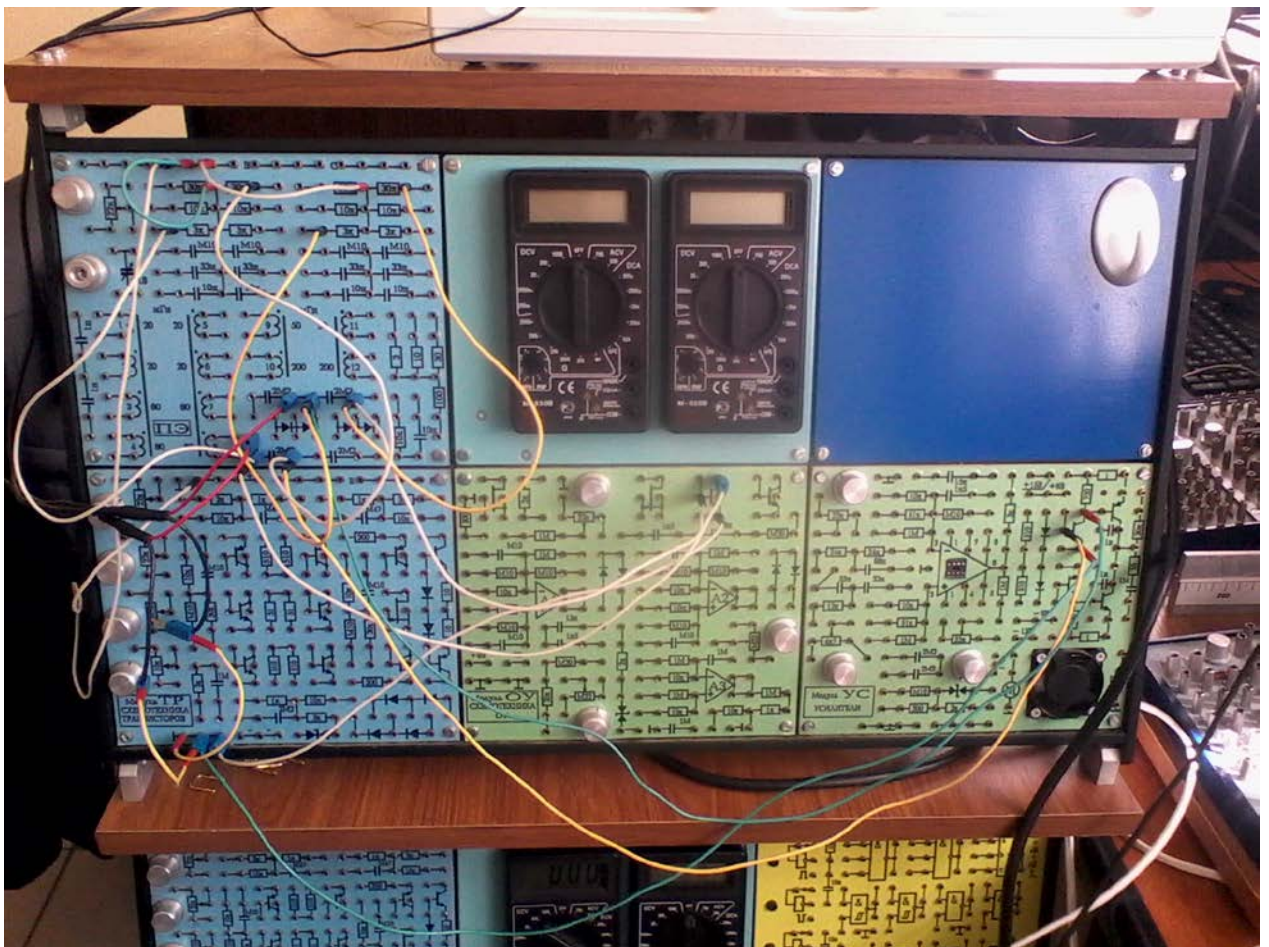
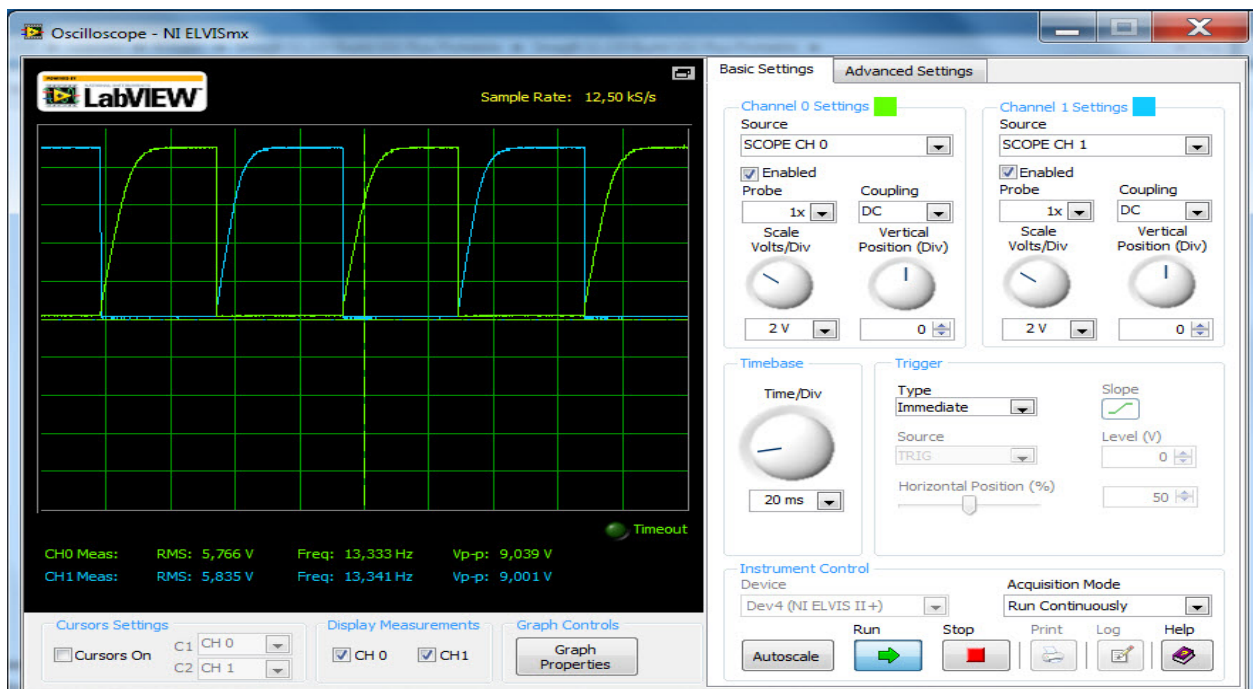
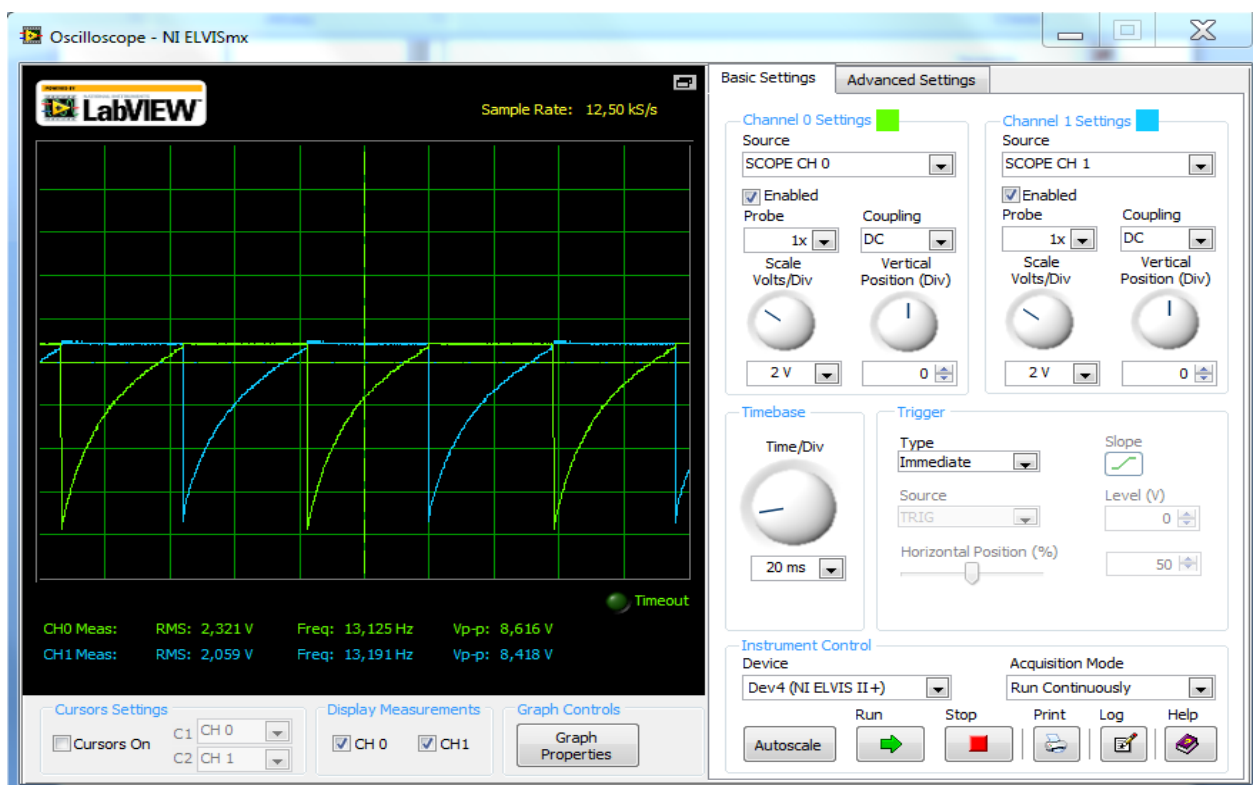


Рис.4.20

Рис.4.21. Временные диаграмма мультивибратора ( $U_{k1(t)}$  и  $U_{k2(t)}$ )Рис.4.22. Временные диаграммы мультивибратора ( $U_{b1(t)}$  и  $U_{b2(t)}$ )

$$U(1) = 4,1 \text{ V} \quad U(2) = 4,1 \text{ V}$$

$$t_{u1} = 75,76 \text{ ms} \quad t_{u2} = 75,76 \text{ ms}$$

$$T = t_{u1} + t_{u2} = 150 \text{ ms}$$

$$f = 1/T = 6,66 \text{ Гц}$$

## Заключение

В процессе выполнения дипломной работы:

- изучена автоматизированная среда Multisim Power Pro;
- освоена работа с образовательной платформой NI ELVIS II<sup>+</sup>;
- изучен стенд с реальными компонентами ЛКЭЛ-3М и ЛКЭЛ 4 М;

Разработан лабораторный практикум по курсу «радиоэлектроника», который включает 6 лабораторных работ, позволяющий:

- 1) рассматривать принципы работы полупроводниковых устройств, таких как диоды и стабилитроны
- 2) проектировать однополупериодные и двухполупериодные выпрямители, мультивибраторы



## Список литературы

1. Харченко В.М. , Основы электроники, – М: Энергоиздат, 1982. – 353 с.
2. Попов В.И. Основы теории цепей. – М.: Высшая школа, 2000. – 576 с.
3. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. – М.: Изд. «Солон-Р», 2001. – 726 с.
4. MicroCap 7, Electronic Circuit Analysis Program Reference Manual. -Sunnvale: Spectrum Software, 2001.
5. Опадчий, Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника. (Полный курс): Учебник для вузов / Ю. Ф. Опадчий, О. П. Глудкин, А. И. Гуров; Под ред. О. П. Глудкина. — М.: Горячая линия–Телеком, 2002. — 768 с.
6. Резников Б.Л., Бобылев А.В., Журавлев А.А., Автоматизированная среда MicroCap в учебном процессе, ч 1, – М.: МГТУ ГА, 2003.
7. Хернитер Марк Е. Multisim ® 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. (Пер. с англ .) / Пер. с англ . Осипов А.И . – М .: Издательский дом ДМК пресс, 2006. – 488 с.
8. Цимбалист Э. И. Общие сведения о лабораторном цикле. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 16 с.
9. Егоров Е.Н., Ремпен И.С. Применение программного прикладного пакета Multisim для моделирования радиофизических схем, 2008. – 24с. - URL: <http://www.sgu.ru/files/nodes/30844/MULTISIM.pdf> 5.
10. Марченко А.Л., Освальд С.В. Лабораторный практикум по электротехнике и электронике в среде Multisim –ДМК Пресс, 2009. – 1000с.



## Приложение А

### Описание программы Multisim

Multisim–простой в использовании современный инструмент конструирования электронных приборов. Он состоит из набора взаимосвязанных модулей, предназначенных для составления, анализа и настройки аналоговых, цифровых, радиочастотных и гибридных схем, включая программируемые компоненты, проектирования топологии и разводки печатных плат, оптимизации расположения деталей и дизайна корпуса.

Multisim, являясь серьезным решением такого рода, в обращении интуитивно прост и нагляден, что делает его незаменимым при использовании в учебном процессе. Студенты, начинающие свой путь в области электротехники и электроники, гораздо быстрее смогут направить, полученные теоретические знания в практическое русло. Система виртуального схемотехнического моделирования Multisim является новой версией, уже зарекомендовавшего себя, семейства программ фирмы Electronics Workbench. Соответственно она включает в себя все достоинства предыдущих версий и расширенные возможности, которые сильно повышают функциональные технические возможности программы.

Недостатком данной среды является отсутствие локализованной версии и базы данных по отечественным элементам.

## Среда Multisim

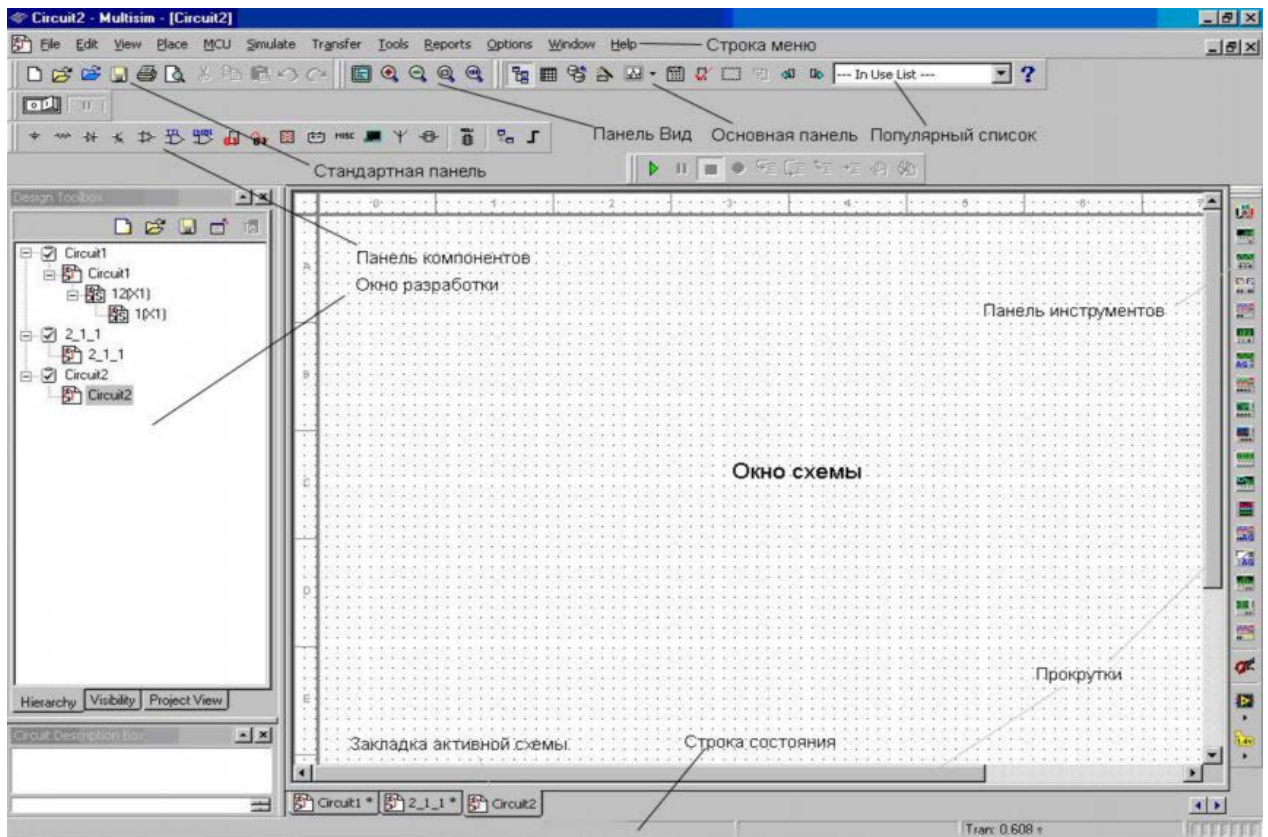


Рис.1(А)

## Обзор компонентов

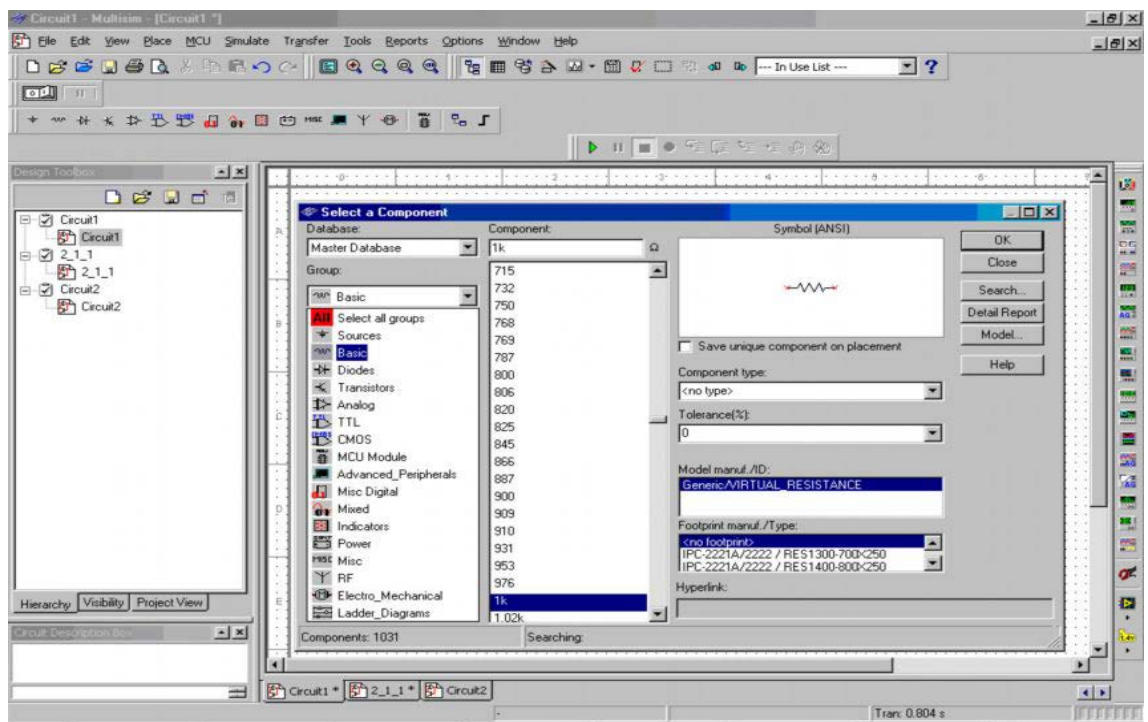


Рис.2(А)

В Multisim есть базы данных трех уровней:

-Из Главной базы данных (Master Database) можно только считывать информацию, в ней находятся все компоненты;

-Пользовательская база данных (User Database) соответствует текущему пользователю компьютера. Она предназначена для хранения компонентов, которые нежелательно предоставлять в общий доступ;

- Корпоративная база данных (Corporate Database) предназначена для тех компонентов, которые должны быть доступны другим пользователям сети.

Средства управления базами данных позволяют перемещать компоненты, объединять две базы в одну и редактировать их. Все базы данных разделяются на группы, а они, в свою очередь, на семейства. Когда пользователь выбирает компонент и помещает его в схему, создается новая копия, Все изменения с ней никак не затрагивают информацию, хранящуюся в базе данных.

База данных Master Database разделена на группы:

1) Sources. Содержит все источники напряжения и тока, заземления. Например, power sources (источники постоянного, переменного напряжения, заземление, беспроводные соединения - VCC, VDD, VSS, VEE), signal voltage sources (источники прямоугольных импульсов, источник сигнала через определенные промежутки времени), signal current sources (постоянные, переменные источники тока, источники прямоугольных импульсов)

2) Basic. Содержит основные элементы схемотехники: резисторы, индуктивные элементы, емкостные элементы, ключи, трансформаторы, реле, коннекторы и т.д.

3) Diodes. Содержит различные виды диодов: фотодиоды, диоды Шоттки, светодиоды и т.д.

4) Transistors. Содержит различные виды транзисторов: p-n-p, n-p-n-транзисторы, биполярные транзисторы, МОП-транзисторы, КМОП-транзисторы и т.д.

5) Analog. Содержит все виды усилителей: операционные, дифференциальные, инвертирующие и т.д.

6) TTL. Содержит элементы транзисторно-транзисторной логики

7) CMOS. Содержит элементы КМОП-логики.

8) MCU Module – управляющий модуль многопунктовой связи (от англ. Multipoint control unit)

9) Advanced\_Peripherals. Содержит подключаемые внешние устройства (дисплеи, терминалы, клавишные поля).

10) MiscDigital. Содержит различные цифровые устройства.

11) Mixed. Содержит комбинированные компоненты

12) Indicators. Содержит измерительные приборы (вольтметры, амперметры), лампы и т.д.

### Виртуальные приборы

Все приборы расположены на панели инструментов. Рассмотрим основные.

#### Мультиметр

Мультиметр предназначен для измерения переменного или постоянного тока или напряжения, сопротивления или затухания между двумя узлами схемы. Диапазон измерений мультиметра подбирается автоматически. Его внутреннее сопротивление и ток близки к идеальным значениям, но их можно изменить.

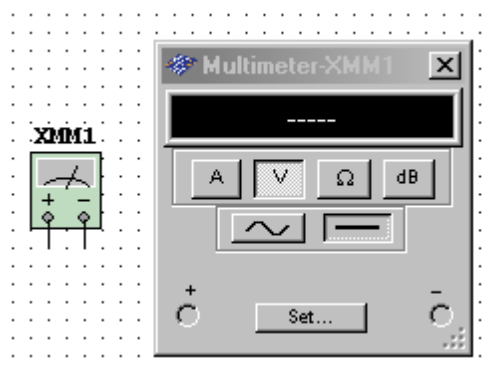


Рис.3(А)

## Генератор сигналов

Генератор сигналов (function generator) – это источник напряжения, который может генерировать синусоидальные, пилообразные и прямоугольные импульсы. Можно изменить форму сигнала, его частоту, амплитуду, коэффициент заполнения и постоянный сдвиг. Диапазон генератора достаточен, чтобы воспроизвести сигналы с частотами от нескольких герц до аудио и радиочастотных.

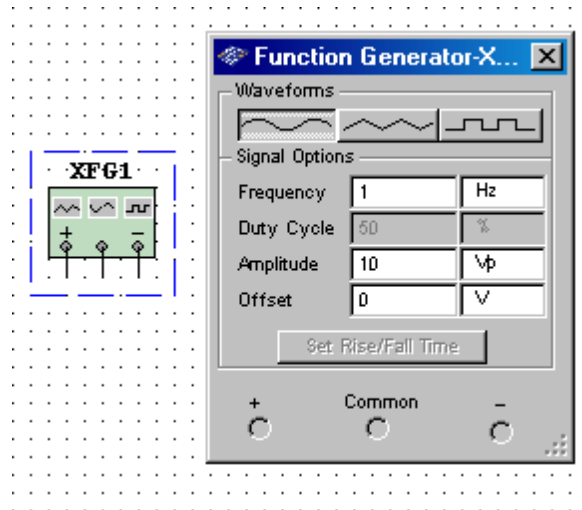


Рис.4(А)

## Осциллограф

В Multisim есть несколько модификаций осциллографов, которыми можно управлять как настоящими. Они позволяют устанавливать параметры временной развертки и напряжения, выбирать тип и уровень запуска измерений. Данные осциллографов можно посмотреть после эмуляции с помощью самописца (Grapher) из меню Вид\Плоттер(View/Grapher).

В Multisim есть следующие осциллографы:

- 2-х канальный
- 4-х канальный
- осциллограф смешанных сигналов Agilent 54622D
- 4-х канальный цифровой осциллограф с записью Tektronix TDS 2024

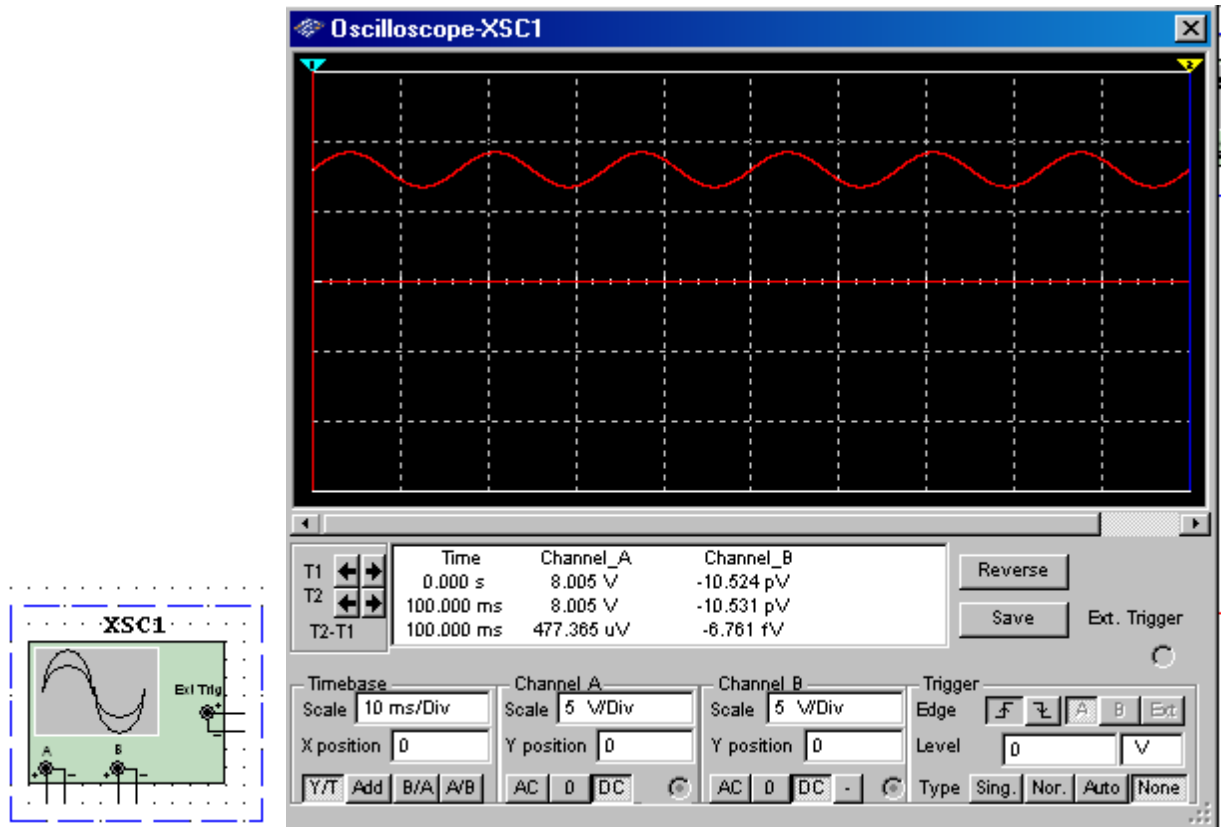


Рис.5(A)

### Построитель частотных характеристик (Боде Плоттер)

Отображает относительный фазовый или амплитудный отклик входного и выходного сигналов. Это особенно удобно при анализе свойств полосовых фильтров.

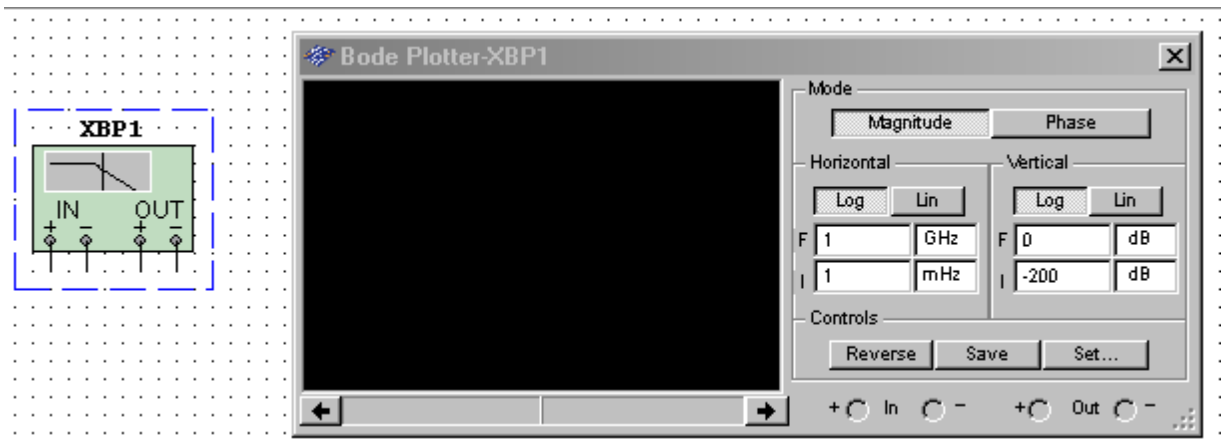


Рис.6(A)

### Общие правила моделирования

При моделировании схем необходимо соблюдать следующие общие правила:

1) Любая схема должна обязательно содержать хотя бы один символ заземления.

2) Любые два конца проводника либо контакта устройства, встречающихся в точке, всегда считаются соединенными. При соединении трех концов (Т-соединение) необходимо использовать символ соединения (узел). Те же правила применяются при соединении четырех и более контактов.

3) В схемах должны присутствовать источники сигнала (тока или напряжения), обеспечивающие входной сигнал, и не менее одной контрольной точки (за исключением анализа схем постоянного тока).

### **Топология схем**

1) В схеме не должны присутствовать контуры из катушек индуктивности и источников напряжения.

2) Источники тока не должны соединяться последовательно

3) Не должно присутствовать короткозамкнутых катушек

4) Источник напряжения должен соединяться с катушкой индуктивности и трансформатором через последовательно включенный резистор. К конденсатору, подключенному к источнику тока, обязательно должен быть параллельно присоединен резистор.

## **Приложение Б**

### **Образовательная платформа NI ELVISII+**

Комплект виртуальных инструментов для учебной лаборатории от компании National Instruments (Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite NI ELVIS) – это среда разработки на основе LabVIEW, предназначенная специально для научных и инженерных работников. NI ELVIS состоит из набора виртуальных инструментов LabVIEW, многофункционального прибора сбора данных и созданного по вашим требованиям рабочего места и макетной платы. Получается полный комплект приборов для образовательной лаборатории. Система основана LabVIEW, поэтому сбор данных и разработка прототипа доступны в полном объеме. Система идеально подходит для образовательных целей от лабораторных работ для студентов до законченных дипломных работ.

NI ELVIS II<sup>+</sup> использует приборы, разработанные в программной среде LabVIEW, которые обладают функциональностью комплекта наиболее распространенных лабораторных приборов. Программное обеспечение NI ELVISmx используется для управления аппаратными средствами NI ELVIS II<sup>+</sup> с помощью созданных в LabVIEW лицевых панелей (Soft Front Panels – SFPs) следующих измерительных приборов:

1. Генератора сигналов произвольной формы (Arbitrary Waveform Generator – ARB)
2. Анализатора амплитудно - и фазочастотных характеристик (BodeAnalyzer)
3. Устройства чтения цифровых данных (DigitalReader)
4. Устройства записи цифровых данных (DigitalWriter)
5. Цифрового мультиметра (DigitalMultimeter – DMM)
6. Анализатора спектра (DynamicSignalAnalyzer – DSA)



7. Генератор стандартных сигналов (FunctionGenerator – FGEN)
8. Анализатора импеданса (ImpedanceAnalyzer)
9. Осциллографа (Oscilloscope – Scope)
10. Анализатора вольтамперной характеристики двухполюсников (Two-WireCurrentVoltageAnalyzer)
11. Анализатора вольтамперной характеристики трехполюсников (Three-WireCurrentVoltageAnalyzer)
12. Регулируемых источников питания (VariablePowerSupplies)

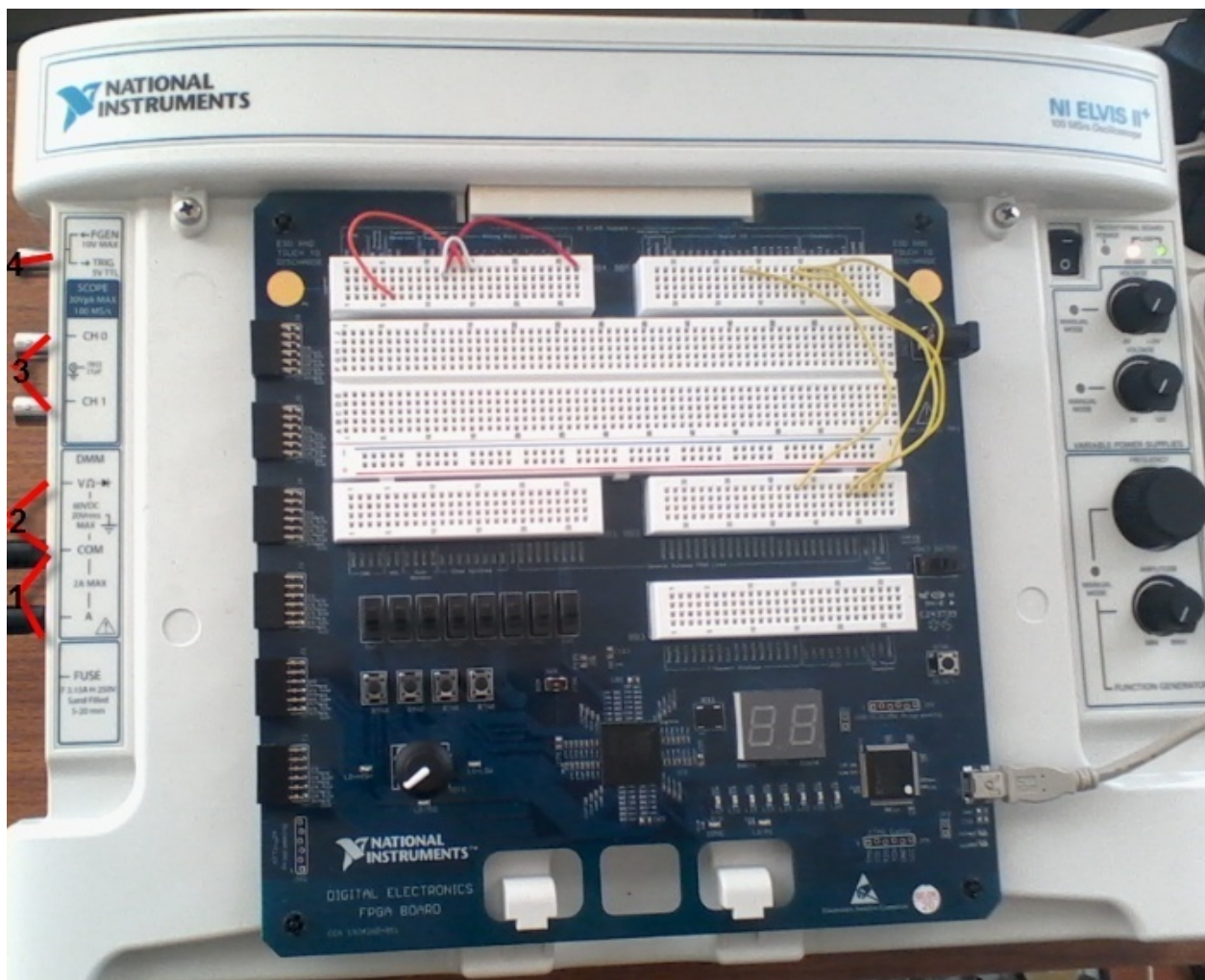


Рис.1(Б)

- 1 - Разъемы для измерения тока
- 2 -Разъемы для измерения напряжения, сопротивления, характеристик диода и электропроводности

3 - Разъемы для подключения осциллографа

4 –Разъем для подключения генератора

## Осциллограф

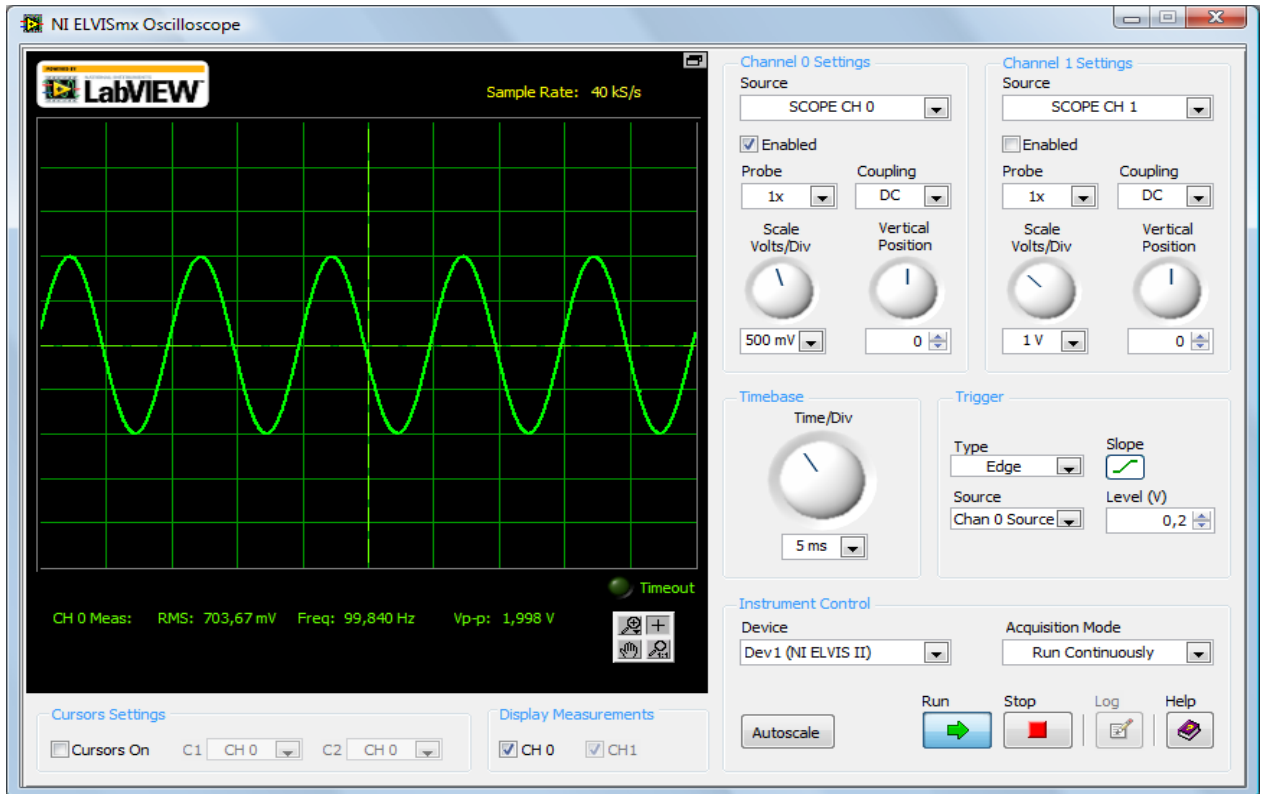


Рис.2(Б)

## Мультиметр

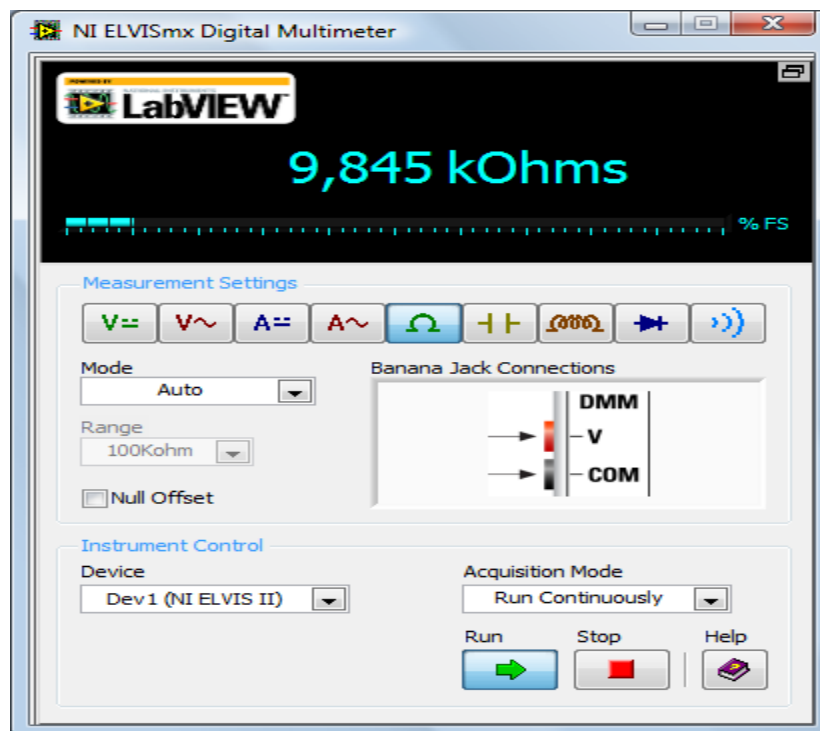


Рис.3(Б)

## Функциональный генератор

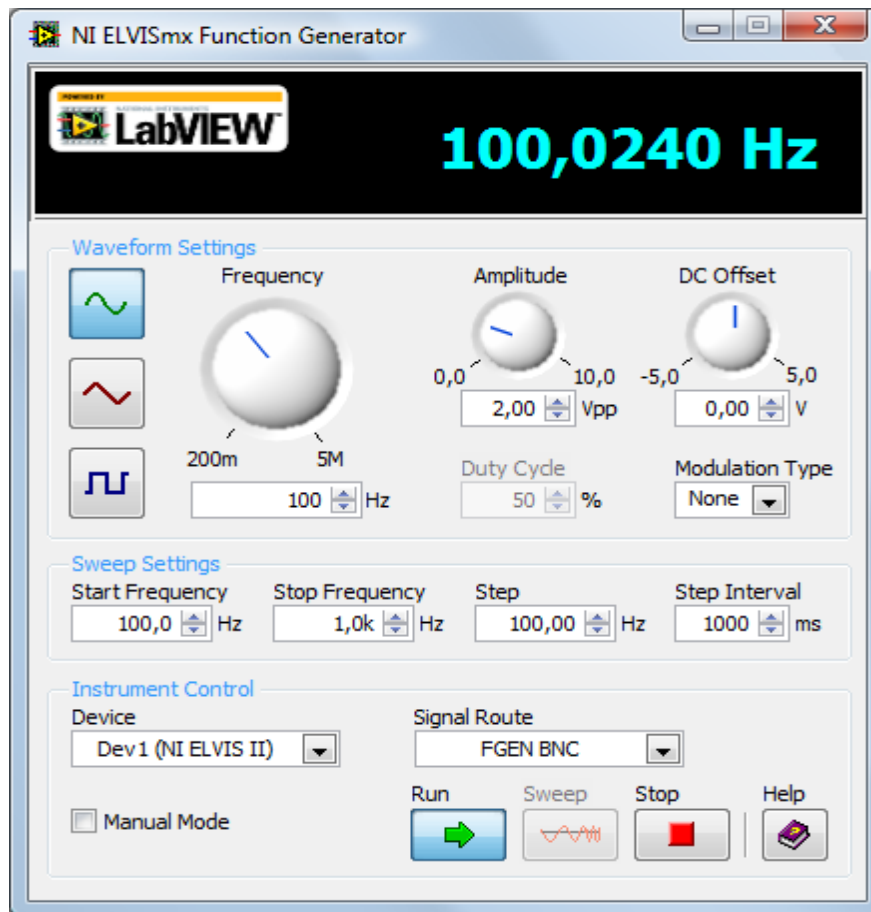


Рис.4(Б)



## Приложение В

### НТЦ «ВЛАДИС» ЛКЭЛ-3М и ЛКЭЛ-4М



Рис.1(В) - 1,6-пассивные элементы (ПЭ), 2,5-транзисторы (ТР), 3-операционные усилители (ОУ), 4-усилители (УС), 7-комбинаторная логика(КЛ), 8- импульсная логика (ИЛ)