

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ЭЛЕКТРОНИКА

*Методические рекомендации
к лабораторным работам для студентов направления подготовки
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
очной формы обучения*



Могилев 2021

УДК 621.313
ББК 32.85
Э45

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «17» мая 2021 г.,
протокол №8

Составители: канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов;
ст. преподаватель И. В. Курлович;
канд. техн. наук, доц. А. А. Афанасьев

Рецензент ст. преподаватель Ю. С. Романович

Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине
«Электроника» предназначены для студентов направления подготовки 09.03.01
«Информатика и вычислительная техника» очной формы обучения.

Учебно-методическое издание

ЭЛЕКТРОНИКА

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл.печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2021

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Изучение лабораторного оборудования.	4
2 Лабораторная работа № 2. Исследование работы выпрямительного диода	5
3 Лабораторная работа № 3. Исследование характеристик биполярного транзистора.	8
4 Лабораторная работа № 4. Исследование характеристик полевого транзистора.	10
5 Лабораторная работа № 5. Исследование режимов работы и характеристик транзисторных усилителей.	13
6 Лабораторная работа № 6. Исследование работы стабилитрона и схемы параметрического стабилизатора напряжения.....	14
7 Лабораторная работа № 7. Исследование режимов работы и характеристик транзисторных усилителей.	18
8 Лабораторная работа № 8. Исследование режимов работы и характеристик светодиода и оптопары	20
9 Лабораторная работа № 9. Исследование режимов работы и характеристик операционных усилителей.....	21
10 Лабораторная работа № 10. Исследование аналоговых вычислительных схем на основе операционных усилителей.....	24
11 Лабораторная работа № 11. Исследование работы усилительного каскада на биполярном транзисторе	28
12 Лабораторная работа № 12. Исследование работы усилительного каскада на полевом транзисторе	29
13 Лабораторная работа № 13. Исследование параметров импульсного сигнала.	30
14 Лабораторная работа № 14. Исследование работы однофазных неуправляемых выпрямителей.....	33
15 Лабораторная работа № 15. Исследование обратных связей в усилителях.....	37
16 Лабораторная работа № 16. Исследование работы сглаживающих фильтров	39
17 Лабораторная работа № 17. Исследование генератора на основе операционного усилителя.....	41
Список литературы	44

1 Лабораторная работа № 1. Изучение лабораторного оборудования

Цель работы: изучение комплекта лабораторного оборудования и режимов его работы; получение навыков создания электрических схем и моделирования их работы в среде Multisim; получение навыков создания виртуальных приборов для сбора и обработки данных в среде LabVIEW.

1.1 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Изучить устройство, органы управления и режимы работы блока управления БУК32, мультиметра К32, генератора Л31, устройства сбора данных NI USB-6009, источника НУ3002-D2.

2 По заданию преподавателя сформировать с помощью блока управления БУК32 и источника НУ3002-D2 уровни постоянного напряжения U_1 , U_2 . Измерить их значения мультиметром К32.

Сформировать с помощью генератора Л31 гармонический сигнал с максимальным напряжением U_m и частотой f . Наблюдать и измерить размах амплитуды $A = U_m/2$ и период $T = 1/f$ мультиметром К32. Вычислить частоту сигнала f , действующее значение напряжения U . Заполнить таблицу 1.1 (мультиметр).

Таблица 1.1 – Результаты измерений

Тип сигнала	Прибор	U_1 , В	U_2 , В	U_m , В	U , В	T , с	f , Гц
Постоянный	Мультиметр			–	–	–	–
	Виртуальный прибор			–	–	–	–
Гармонический	Мультиметр	–	–				
	Виртуальный прибор	–	–				

3 Изучить инструментальные панели среды Multisim, возможности эмуляции. Ознакомиться с набором компонентов и виртуальных приборов.

4 По заданию преподавателя собрать схему в «окне разработок», подключить виртуальные приборы.

Для чего:

– выбрать необходимые элементы из «инструментальной панели компонентов» и вынести их в «окно разработки»;

– задать свойства элементов схемы (номиналы сопротивлений, индуктивностей, емкостей и т.д.);

– из «панели инструментов» выбрать необходимые виртуальные приборы и вынести их в «окно разработки» (например, функциональный генератор XFG1, осциллограф XSC1, амперметры и вольтметры U1–U4);

– соединить между собой компоненты, получив электрическую схему.

Запустить моделирование работы схемы, нажав соответствующую кнопку «панели симуляции». Зафиксировать показания измерительных приборов, осциллограммы напряжений в контрольных точках.

Исследовать по заданию преподавателя влияние параметров элементов схемы (частоты генерируемого напряжения) на параметры выходных сигналов (тока и напряжений на реактивных элементах для определения резонансной частоты). Используя закон Ома, произвести расчёт тока и напряжений на элементах цепи. Сравнить полученные значения с результатами моделирования.

5 Изучить панели, палитры меню среды LabVIEW.

Разработать виртуальный прибор для исследования параметров сигналов в среде LabVIEW. Блок-диаграмма виртуального прибора содержит следующие блоки: DAQAssistant – обеспечивает сбор данных с устройства NI USB-6009; AmplitudeandLevelMeasurements – для определения действующего значения и постоянной составляющей напряжения; ToneMeasurements – для определения амплитуды и частоты сигнала.

С помощью генератора ЛЗ1 и блока управления БУК32 сформировать сигналы, указанные в п. 2. Исследовать полученные сигналы с помощью виртуального прибора. Заполнить таблицу 1.2 (виртуальный прибор). Сравнить измеренные значения с показаниями мультиметра К32.

6 Сделать выводы по результатам работы.

1.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; состав комплекта лабораторного оборудования с кратким описанием основных его блоков, органов управления и режимов работы; распечатку «окна схемы» среды Multisim; осциллограммы напряжений в контрольных точках; результаты расчёта цепи; распечатку лицевой панели и панели блок-диаграммы в среде LabVIEW; результаты измерений параметров сигналов; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Опишите устройство, органы управления и режимы работы блока управления БУК32, мультиметра К32, генератора ЛЗ1, устройства сбора данных NIUSB-6009, источника НУ3002-D2.

2 Приведите порядок создания и моделирования работы электрической схемы в среде Multisim.

3 Приведите порядок создания виртуального прибора для сбора и обработки данных в среде LabVIEW.

2 Лабораторная работа № 2. Исследование работы выпрямительного диода

Цель работы: изучение принципа функционирования, характеристик и параметров выпрямительных диодов.

2.1 Задание к лабораторной работе

Для заданного преподавателем диода рассчитать параметры ограничивающего сопротивления для схемы снятия вольтамперной характеристики (рисунк 2.1). Получить вольтамперную характеристику диода (ВАХ) и определить прямое статическое, обратное статическое и прямое дифференциальное сопротивления диода. Заполнить таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры выпрямительного диода

Способ исследований	Результат измерений					Результат вычислений			
	U_{IP} , В	I_{IP} , мА	U_{OBR} , В	I_{OBR} , мА	ΔU_{IP} , В	ΔI_{IP} , мА	R_{IP} , Ом	R_{OBR} , Ом	$R_{диф}$, Ом
Моделирование									
Эксперимент									

2.2 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Выписать из справочника основные параметры заданного преподавателем выпрямительного диода.

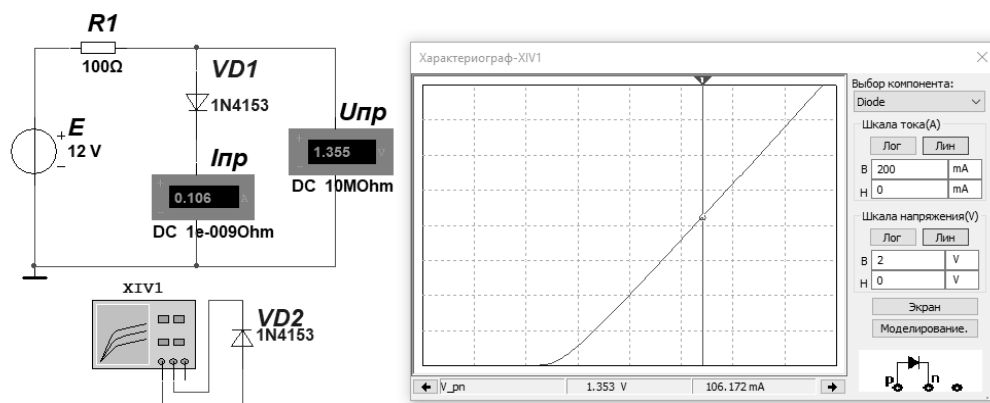


Рисунок 2.1 – Схема для снятия ВАХ в среде Multisim

2 Рассчитать параметры и выбрать ограничивающее сопротивление R_1 для исследования параметров выпрямительного диода (см. рисунок 2.1):

$$R_1 = \frac{E}{I_{IP \max} / 2}; P_{R1} = \frac{(E - U_{IP})^2}{R_1}.$$

3 Для построения вольтамперной характеристики диода (ВАХ) в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 2.1. Осуществить моделирование её работы, изменяя ЭДС источника питания. Для снятия обратной ветви ВАХ необходимо изменить полярность источника питания, ограничивающее сопротивление R_1 взять порядка 1кОм. ВАХ можно получить с помощью характеристикографа XIV1 (см. рисунок 2.1).

4 Для экспериментального получения ВАХ диода на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему (рисунок 2.2).

Постоянное напряжение на вход схемы подаётся от источника питания НУ3002-D2. Прямое падение напряжения на диоде U_{IP} поступает на

дифференциальный канал AI1, а напряжение на ограничивающем резисторе R_1 – на дифференциальный канал AI2 устройства сбора данных NI USB-6009. Для определения тока I_{PP} необходимо применить закон Ома:

$$I_{PP} = \frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{E - U_{PP}}{R_1}.$$

5 По полученным ВАХ диода определить:

– прямое статическое сопротивление диода при прямом токе, равном $0,5 I_{PP \max}$:

$$R_{PP} = \frac{U_{PP}}{I_{PP}};$$

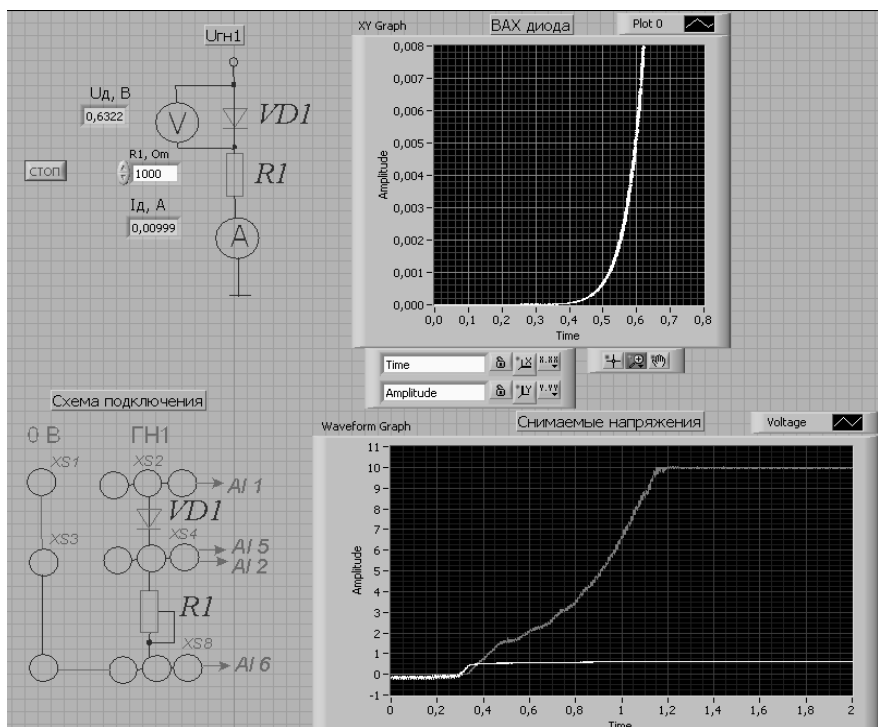


Рисунок 2.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования выпрямительного диода в среде LabVIEW

– обратное статическое сопротивление диода при $U_{OBR} = 0,5 U_{OBR \max}$:

$$R_{OBR} = \frac{U_{OBR}}{I_{OBR}};$$

– прямое дифференциальное сопротивление диода:

$$R_{диф} = \frac{\Delta U_{PP}}{\Delta I_{PP}}.$$

Результаты занести в таблицу 2.1.

6 Сделать выводы по результатам работы.

2.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы выпрямительного диода в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального исследования и диалоговое окно; ВАХ диода по результатам моделирования и экспериментальную; основные параметры диода в виде таблицы; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Опишите принцип работы выпрямительного диода.

2 Приведите основные параметры и характеристики выпрямительного диода.

3 Приведите порядок снятия ВАХ диода в программе Multisim и в среде LabVIEW.

3 Лабораторная работа № 3. Исследование характеристик биполярного транзистора

Цель работы: получение входных и выходных характеристик биполярного транзистора; определение h -параметров.

3.1 Задание к лабораторной работе

На основании заданного преподавателем типа биполярного транзистора рассчитать сопротивление ограничивающих резисторов R_1 , R_2 (рисунок 3.1). Заполнить таблицу 3.1.

Снять входные и выходные ВАХ биполярного транзистора и определить h -параметры, результаты занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Тип транзистора	Параметры источников ЭДС		Параметры транзистора и ограничивающих резисторов				
	E_1 , В	E_2 , В	$I_{K \max}$, мА	$U_{KЭ \max}$, В	$h_{21Э}$ (β)	R_1 , Ом	R_2 , Ом

Таблица 3.2 – h -параметры биполярного транзистора

Способ исследований	Результат вычислений			
	$h_{11Э}$, Ом	$h_{12Э}$	$h_{21Э}$	$h_{22Э}$, См
Моделирование				
Эксперимент				

3.2 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Выписать из справочника основные параметры заданного преподавателем биполярного транзистора.

2 Для построения вольтамперных входной и выходной характеристик биполярного $n-p-n$ -транзистора в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 3.1. На базу подается напряжение от источника ЭДС E_B , который задает ток базы, измеряемый амперметром I_B . Напряжение «эмиттер–коллектор» задается источником ЭДС E_K , ток в цепи коллектора измеряется амперметром I_K , напряжение – вольтметром $U_{KЭ}$.

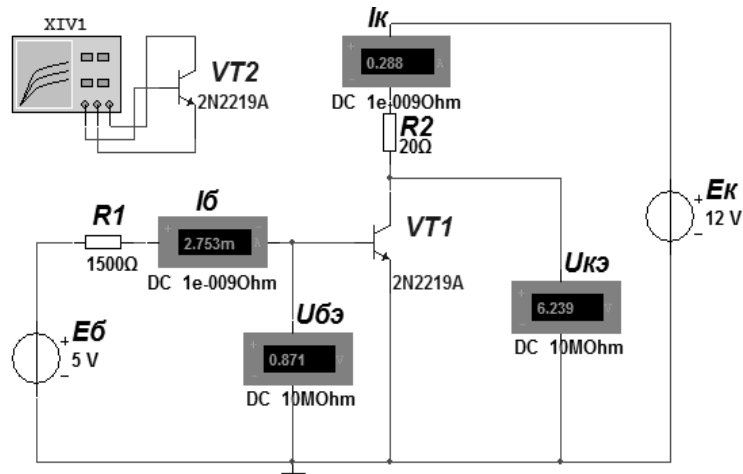


Рисунок 3.1 – Схема для снятия входных и выходных ВАХ биполярного транзистора

Величина резисторов R_1 и R_2 рассчитывается исходя из ограничения тока базы I_B и тока коллектора $I_K < 0,5 I_{K \max}$ при заданных преподавателем значениях ЭДС. Выходную ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1.

3 Для экспериментального получения характеристик биполярного транзистора на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему (рисунок 3.2). ЭДС для питания входной и выходной цепей E_B и E_K подаются от двухканального источника питания NY3002-D2. Входное напряжение $U_{БЭ}$ снимается каналом AI1 устройства сбора данных NI USB-6009, а входной ток I_B – каналом AI2 через падение напряжения на резисторе R_1 . Выходное напряжение $U_{КЭ}$ снимается каналом AI3 устройства сбора данных NI USB-6009, а выходной ток I_K – каналом AI4 через падение напряжения на R_2 .

4 Снять входные и выходные ВАХ биполярного транзистора для нескольких значений тока базы I_B , сравнить их с полученными при моделировании.

5 Заполнить таблицу 3.2.

6 Сделать выводы по результатам работы.

3.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схему для снятия характеристик биполярного транзистора в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального исследования и диалоговое окно; характеристики и h -параметры биполярного транзистора по результатам моделирования и экспериментальные; выводы по работе.

Снять стоковую и стокзатворную ВАХ полевого транзистора и определить статические параметры полевого транзистора S_i , R_i , μ_i , результаты занести в таблицу 4.2

Таблица 4.2 – Параметры полевого транзистора

Способ исследований	Результат вычислений		
	S_i , мА/В	R_i , кОм	μ_i
Моделирование			
Эксперимент			

4.2 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Выписать из справочника основные параметры заданных преподавателем полевых транзисторов с изолированным затвором. Для построения вольтамперных стокзатворной и выходной характеристик полевых транзисторов в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 4.1.

На затвор подается напряжение от источника ЭДС E_3 , который задает напряжение на затворе $U_{зи}$. Напряжение «сток–исток» задается источником ЭДС E_c , ток в цепи стока измеряется амперметром I_c , напряжение – вольтметром $U_{си}$. Величина резистора R_2 рассчитывается исходя из ограничения тока стока $I_c < 0,5 I_{c \max}$ при заданных преподавателем значениях ЭДС.

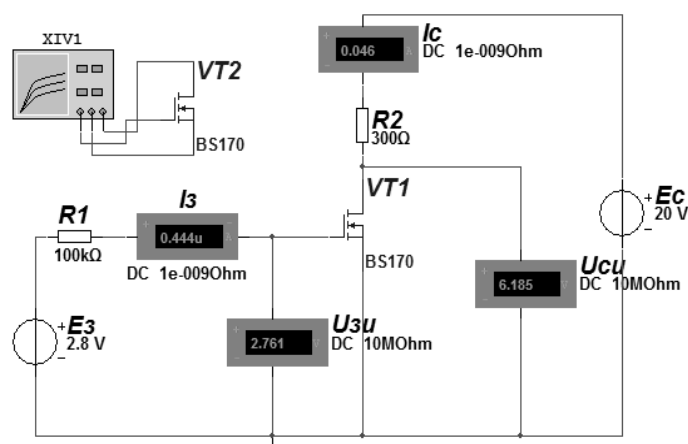


Рисунок 4.1 – Схема для снятия стокзатворной и выходных ВАХ полевого транзистора в среде Multisim

Выходную ВАХ транзистора можно получить с помощью характериографа.

2 Для экспериментального получения характеристик полевого транзистора на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему (рисунок 4.2).

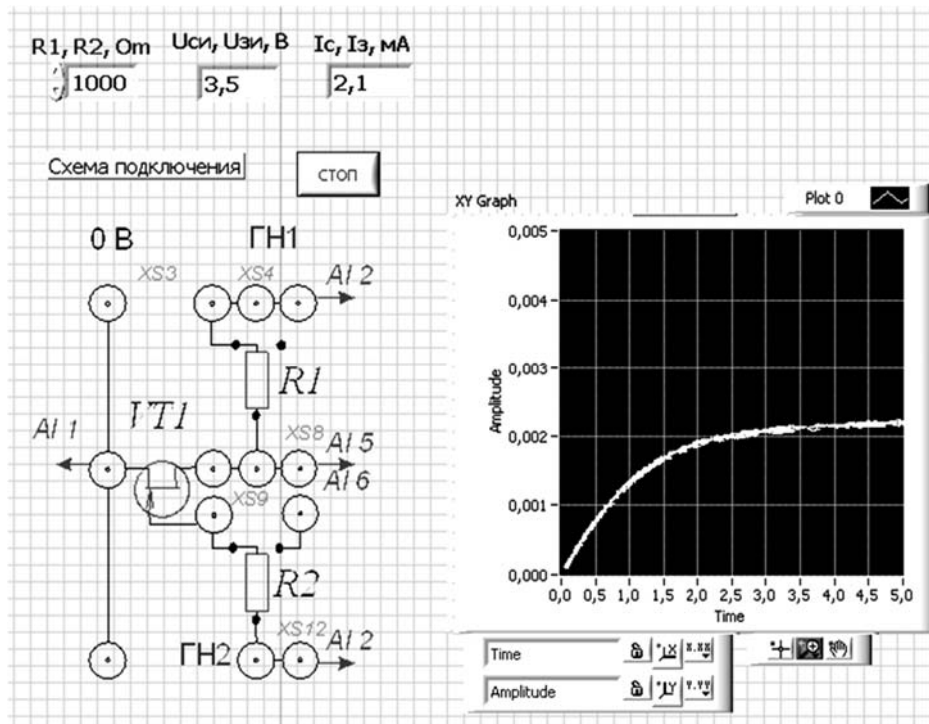


Рисунок 4.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования параметров полевого транзистора в среде LabVIEW

3 Снять выходные ВАХ полевого транзистора для нескольких значений напряжения на затворе $U_{зи}$, сравнить их с полученными при моделировании.

4 Снять стокзатворные ВАХ полевого транзистора для заданного преподавателем тока стока I_c , сравнить их с полученными при моделировании.

5 Определить статические параметры полевого транзистора S_i , R_i , μ_i и проверить соотношение между ними. Заполнить таблицу 4.2.

6 Сделать выводы по результатам работы.

4.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для снятия характеристик полевых транзисторов в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального исследования и диалоговое окно; характеристики и параметры полевых транзисторов по результатам моделирования и экспериментальные; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Приведите стокзатворные и выходные характеристики полевого транзистора с изолированным затвором и управляющим $p-n$ -переходом.

2 Как определяются статические параметры полевого транзистора?

3 Приведите порядок снятия характеристик полевого транзистора в программе Multisim и в среде LabVIEW.

5 Лабораторная работа № 5. Исследование режимов работы и характеристик транзисторных усилителей

Цель работы: изучение методики расчёта, принципа функционирования и характеристик усилителя на биполярном транзисторе на постоянном токе.

5.1 Задание к лабораторной работе

На основании заданного типа транзистора, параметров усилителя произвести расчёт элементов схемы (рисунок 5.1) и осуществить их выбор.

Таблица 5.1 – Исходные данные

Тип транзистора	Заданные параметры				
	U_n , В	$I_{кп}$, мА	f_n , Гц	R_n , Ом	$h_{21Э}$

Продолжение таблицы 5.1

Рассчитанные параметры								
$I_{Бн}$, А	I_0 , А	R_k , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	$R_э$, Ом	$C_э$, мкФ	C_{p1} , мкФ	C_{p2} , мкФ
Принято								

5.2 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы усилителя в программе Multisim согласно рисунку 5.1. Напряжения и токи в схемах отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа XSC1. Входной сигнал формируется функциональным генератором Agilent-XFG1.

Для отображения параметров усилителя по постоянному току (в режиме покоя) в свойствах измерительных приборов установить DC.

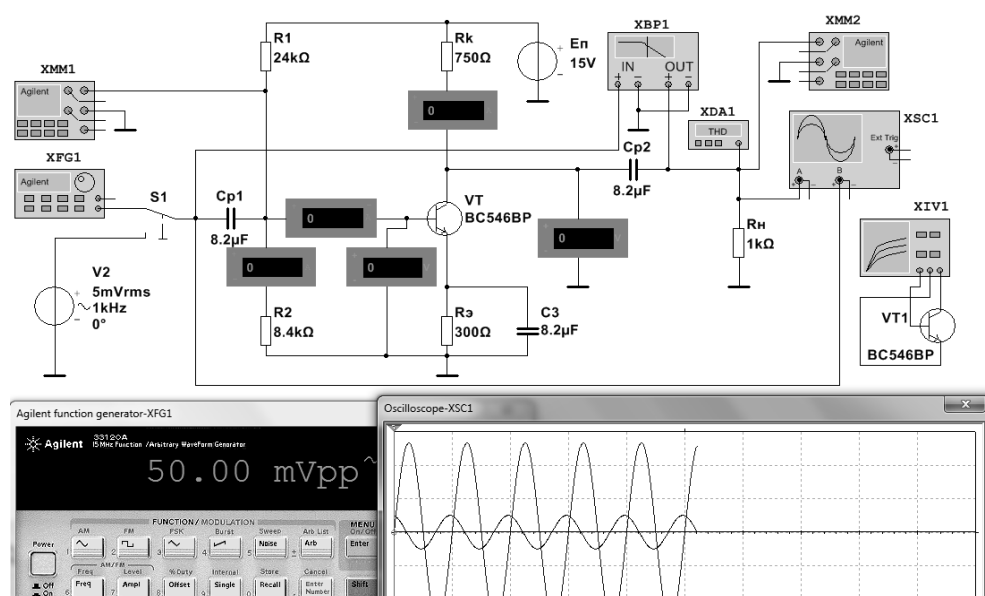


Рисунок 5.1 – Схема усилительного каскада в среде Multisim

2 С помощью характериографа XIV1 снять входные и выходные характеристики биполярного транзистора. Построить линию нагрузки. Определить положение рабочей точки. Определить максимальную величину входного сигнала для работы усилительного каскада в линейном режиме (без искажения формы передаваемого сигнала). Рассчитать входное сопротивление усилительного каскада $R_{вх}$, коэффициенты усиления K_i , K_u , K_p по постоянному току (таблица 5.2).

3 Для экспериментального исследования усилительного каскада на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему.

Таблица 5.2 – Параметры усилителя

Способ исследований	Результат вычислений			
	$R_{вх}$, Ом	K_i	K_u	K_p
Моделирование				
Эксперимент				

4 Определить основные параметры усилительного каскада. Результаты занести в таблицу 5.2 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

5 Сделать выводы по результатам работы.

5.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; задание к работе; схемы для моделирования работы усилительного каскада в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; входные и выходные характеристики биполярного транзистора; основные параметры усилителя в виде таблицы; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите работу схемы усилителя на биполярном транзисторе.
- 2 Приведите методику расчёта транзисторного усилителя.
- 3 Приведите порядок снятия характеристик транзисторного усилителя по постоянному току в программе Multisim в среде LabVIEW.

6 Лабораторная работа № 6. Исследование работы стабилитрона и схемы параметрического стабилизатора напряжения

Цель работы: изучение принципа функционирования, характеристик и параметров стабилитрона; исследование схемы параметрического стабилизатора напряжения.

6.1 Порядок выполнения лабораторной работы

- 1 Выписать из справочника основные параметры заданного преподавателем стабилитрона.

2 Рассчитать параметры и выбрать ограничивающее сопротивление R_1 для исследования параметров стабилитрона (рисунок 6.1) при заданном преподавателем значении ЭДС источника E :

$$R_1 = \frac{E - U_{cm}}{I_{cm \max}}; P_{R1} = \frac{(E - U_{cm})^2}{R_1}.$$

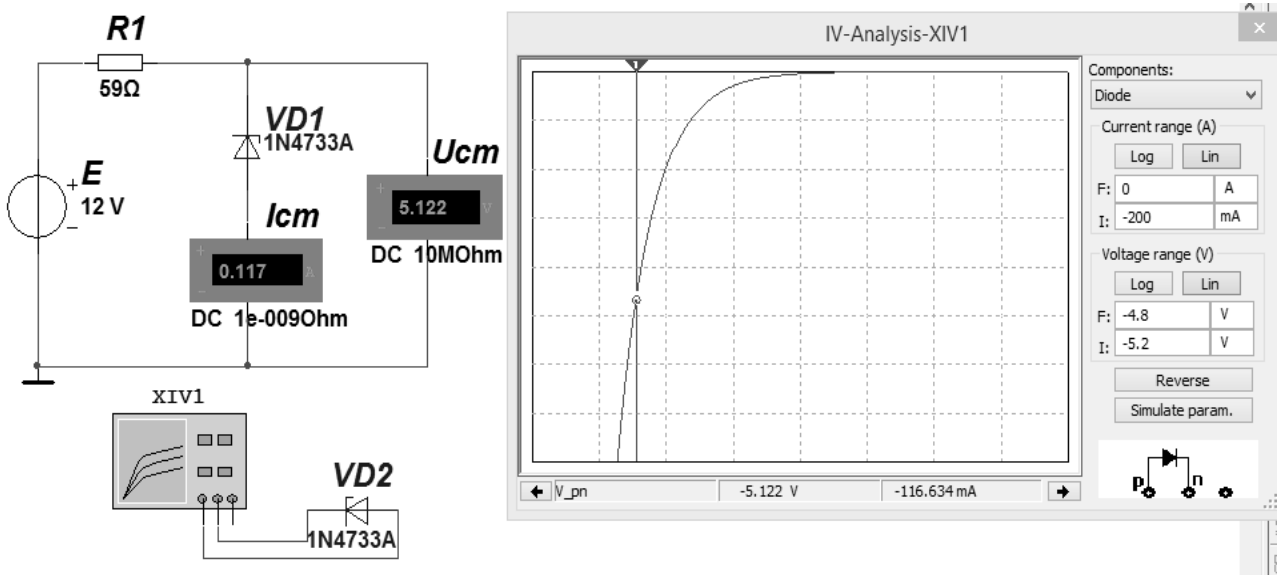


Рисунок 6.1 – Схема для снятия ВАХ в среде Multisim

3 Для построения вольтамперной характеристики стабилитрона в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 6.1. Включение стабилитрона обратное. Осуществить моделирование её работы, изменяя ЭДС источника питания. ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1 (см. рисунок 6.1).

4 Для экспериментального получения ВАХ диода на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему (рисунок 6.2). Постоянное напряжение на вход схемы подаётся от источника питания NY3002-D2 и снимается каналом AI1 устройства сбора данных NI USB-6009. Напряжение стабилитрона U_{cm} поступает на канал AI2. Для определения тока I_{cm} необходимо применить закон Ома:

$$I_{cm} = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{E - U_{cm}}{R_1}.$$

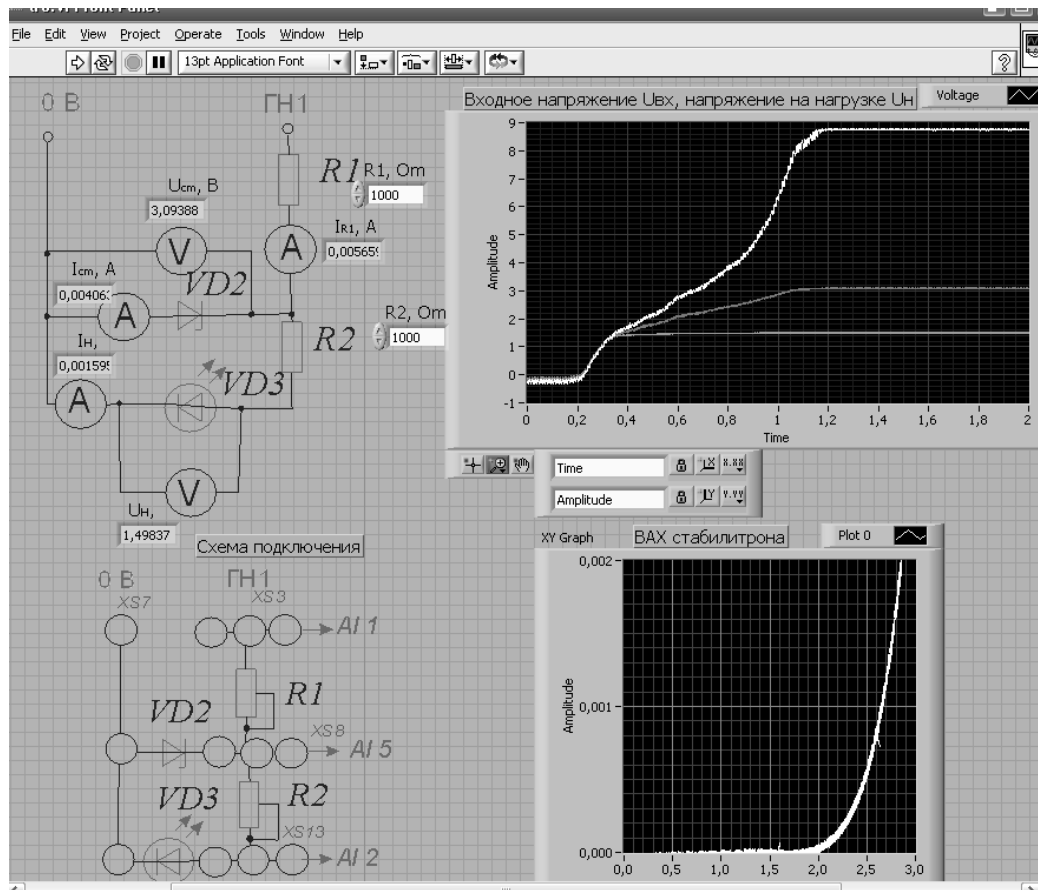


Рисунок 6.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования стабилизатора и схемы параметрического стабилизатора напряжения в среде LabVIEW

5 По полученным ВАХ стабилизатора определить U_{cm} , I_{cm} , $U_{cm \min}$, $I_{cm \min}$, $U_{cm \max}$, $I_{cm \max}$, мощность P_{cm} , рассеиваемую на стабилизаторе, дифференциальное сопротивление $R_{диф}$ стабилизатора на участке стабилизации. Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты со справочными данными.

6 Рассчитать параметры и выбрать элементы схемы параметрического стабилизатора напряжения (рисунок 6.3).

7 На основании выбранных элементов схемы параметрического стабилизатора напряжения осуществить моделирование его работы. На вход подавать переменное напряжение $U_{вх}$ от генератора XFG1. Напряжения и токи в схеме отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа XSC1.

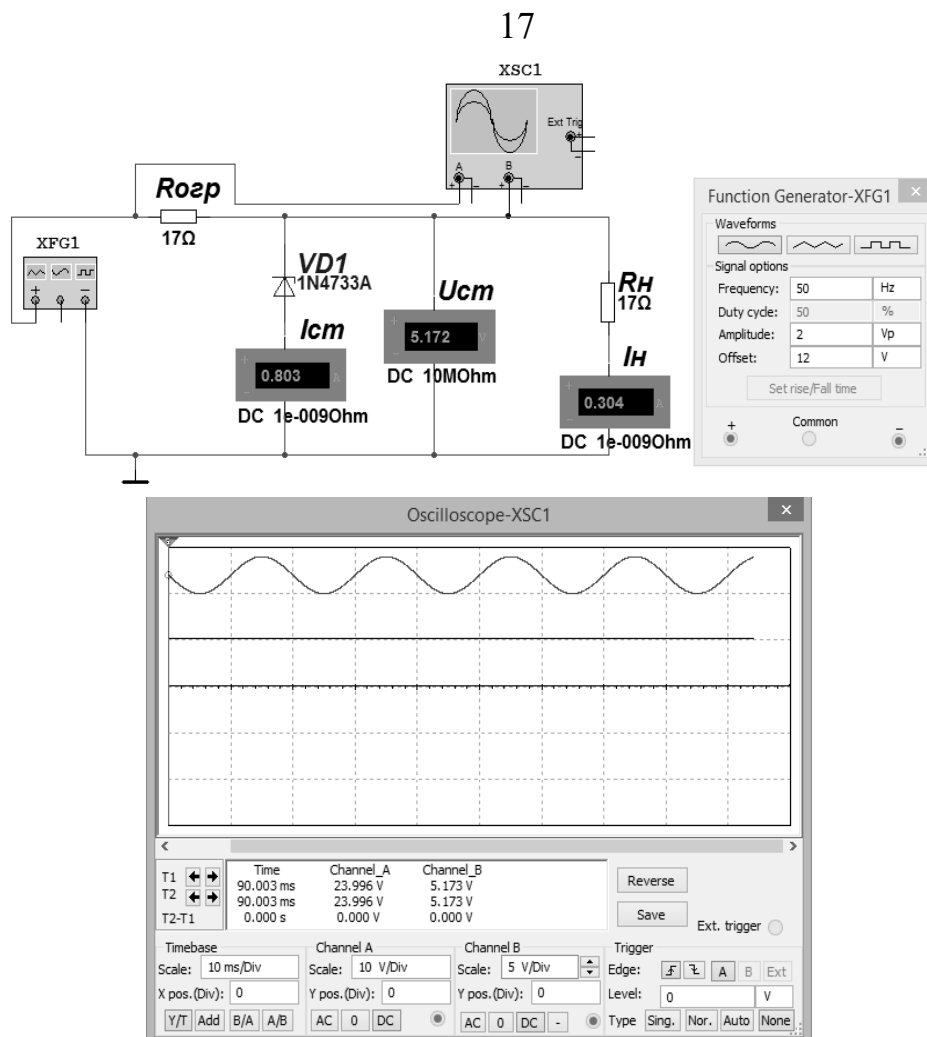


Рисунок 6.3 – Схема для исследования параметрического стабилизатора напряжения в среде Multisim

8 Измерить входные и выходные сигналы параметрического стабилизатора. Результаты измерений занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Параметры параметрического стабилизатора напряжения

Способ исследований	Результат измерений						Результат вычислений		
	$U_{вх}, В$	$I_{вх}, мА$	$U_{вых}, В$	$I_{н}, мА$	$\Delta U_{вх}, мВ$	$\Delta U_{н}, мВ$	$K_{ст}$	$\eta, \%$	$R_{вых}, Ом$
Моделирование									
Эксперимент									

9 Произвести расчет коэффициента стабилизации $K_{ст}$, КПД η и выходного сопротивления $R_{вых}$. Результаты расчётов занести в таблицу 6.1.

10 Сделать выводы по результатам работы.

6.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы стабилитрона и параметрического стабилизатора в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального

исследования и диалоговое окно; ВАХ стабилизатора по результатам моделирования и экспериментальную; основные параметры стабилизатора; результаты измерений и вычислений параметров схемы параметрического стабилизатора напряжения; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы стабилизатора.
- 2 Приведите основные параметры и характеристики стабилизатора.
- 3 Приведите порядок расчёта параметров и выбора элементов схемы параметрического стабилизатора напряжения.
- 4 Приведите порядок снятия характеристик стабилизатора и схемы параметрического стабилизатора напряжения в программе Multisim и в среде LabVIEW.

7 Лабораторная работа № 7. Исследование режимов работы и характеристик транзисторных усилителей

Цель работы: изучение методики расчёта, принципа функционирования и характеристики усилителей на полевом транзисторе на постоянном токе.

7.1 Задание к лабораторной работе

На основании заданного типа транзистора, параметров усилителя произвести расчёт элементов схемы (рисунок 7.1) и осуществить их выбор.

Таблица 7.1 – Исходные данные

Тип транзистора	Заданные параметры			
	U_n , В	$I_{сн}$, мА	f_n , Гц	R_n , Ом

Продолжение таблицы 7.1

Расчитанные параметры								
$U_{омс}$, В	R_i , Ом	k_u	R_z , Ом	R_c , Ом	R_u , Ом	C_u , мкФ	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ
Принято								

7.2 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы усилителя в программе Multisim (см. рисунок 7.1). Входной сигнал формируется функциональным генератором.

2 С помощью характериографа XIV1 снять входные и выходные характеристики полевого транзистора. Построить линию нагрузки. Определить положение рабочей точки. Определить максимальную величину входного сигнала для работы усилительного каскада в линейном режиме (без искажения формы передаваемого сигнала). Рассчитать входное сопротивление усилительного каскада R_{ex} , коэффициенты усиления K_i , K_u , K_p по постоянному току (таблица 7.2).

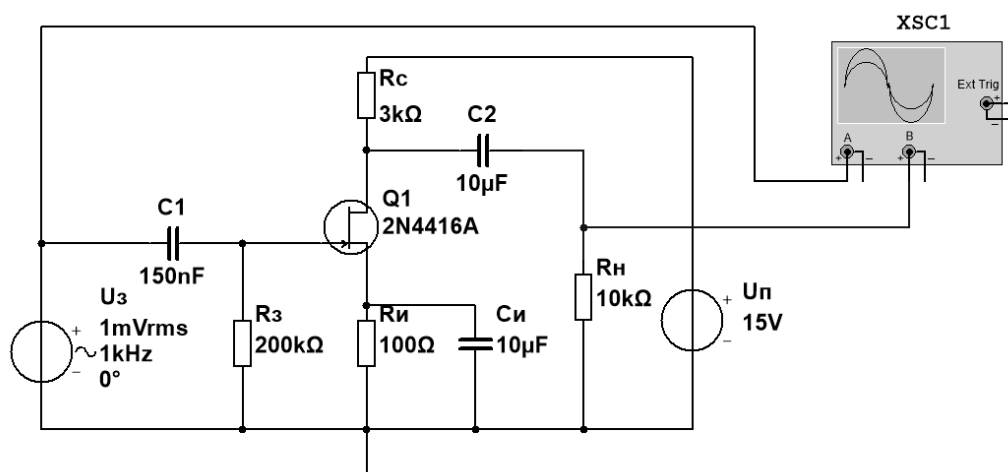


Рисунок 7.1 – Схема усилительного каскада в среде Multisim

Таблица 7.2 – Параметры усилителя

Способ исследований	Результат вычислений			
	R_{ex} , Ом	K_i	K_u	K_p
Моделирование				
Эксперимент				

3 Для экспериментального исследования усилительного каскада на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему.

4 Определить основные параметры усилительного каскада. Результаты занести в таблицу 7.2 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

5 Сделать выводы по результатам работы.

7.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; задание к работе; схемы для моделирования работы усилительного каскада в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; входные и выходные характеристики полевого транзистора; основные параметры усилителя в виде таблицы; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Опишите работу схемы транзисторного усилителя на полевом транзисторе.

2 Приведите методику расчёта усилителя на полевом транзисторе.

3 Приведите порядок снятия характеристик по постоянному току усилителя на полевом транзисторе в программе Multisim и в среде LabVIEW.

8 Лабораторная работа № 8. Исследование режимов работы и характеристик светодиода и оптопары

Цель работы: изучение принципа функционирования, характеристик и параметров светодиодов и оптопары.

8.1 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Выписать из справочника основные параметры заданного преподавателем светодиода и оптопары.

2 Рассчитать параметры и выбрать ограничивающее сопротивление для исследования параметров светодиода (рисунок 8.1):

$$R_1 = \frac{E}{I_{np \max} / 2}; P_{R1} = \frac{(E - U_{np})^2}{R_1}.$$

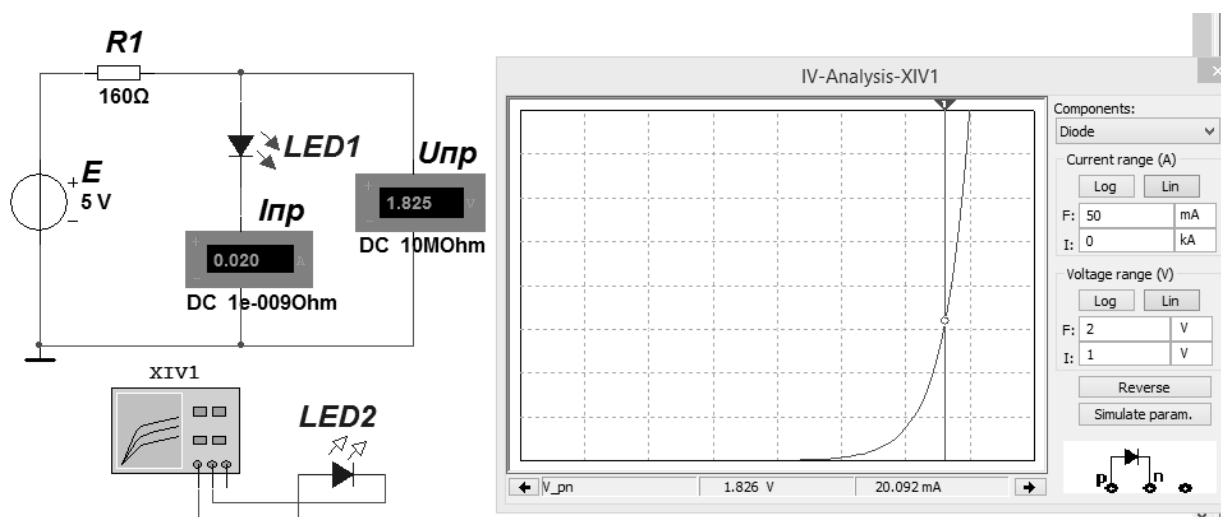


Рисунок 8.1 – Схема для снятия ВАХ светодиода в среде Multisim

3 Для построения вольтамперной характеристики светодиода (ВАХ) в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 8.1. Осуществить моделирование её работы, изменяя ЭДС источника питания E . ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1.

4 Для экспериментального получения ВАХ диода на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему. Постоянное напряжение на вход схемы подаётся от источника питания НУ3002-D2. Блок-диаграмма виртуального прибора для снятия ВАХ аналогична представленной на рисунке 8.1.

Сравнить результаты моделирования, экспериментальные значения со справочными данными.

5 Для исследования оптопары собрать схему согласно рисунку 8.2. Значения ограничивающих сопротивлений R_1 и R_2 принять исходя из величины максимального входного и выходного токов $I_{вх}$, $I_{вых}$ оптопары при заданных преподавателем значениях входной и выходной ЭДС $E_{вх}$, $E_{вых}$.

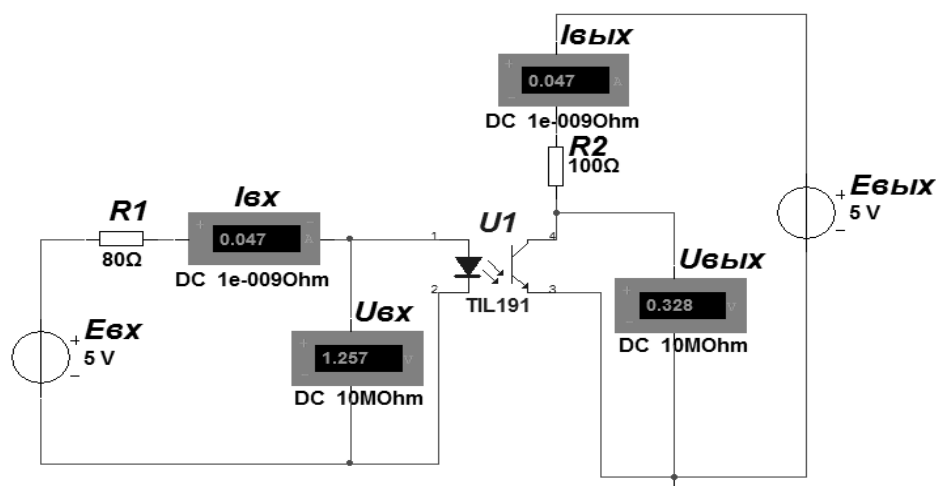


Рисунок 8.2 – Схема для исследования оптопары в среде Multisim

6 Для получения входной и выходной ВАХ оптопары на вход схемы подаётся ЭДС $E_{вх}$, а для питания выходной цепи – $E_{вых}$ от источника питания HY3002-D2. Сигнал, пропорциональный входному току, снимается с резистора R_1 . Сигнал пропорциональный выходному току снимается с резистора R_2 .

Построить передаточную характеристику оптопары $I_{вых} = f(I_{вх})$. Определить коэффициент передачи по току K_i .

7 Сделать выводы по результатам работы.

8.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; основные параметры светодиода и оптопары; схемы для моделирования работы светодиода и оптопары в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального исследования и диалоговое окно; ВАХ светодиода и оптопары по результатам моделирования и экспериментальную; передаточную характеристику оптопары; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы светодиода и оптопары.
- 2 Приведите основные параметры и характеристики светодиода и оптопары.
- 3 Приведите порядок снятия характеристик светодиода и оптопары в программе Multisim и в среде LabVIEW.

9 Лабораторная работа № 9. Исследование режимов работы и характеристик операционных усилителей

Цель работы: изучение принципа работы, методик расчёта, характеристик и параметров устройств на базе операционных усилителей.

9.1 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Определить коэффициент усиления заданного преподавателем операционного усилителя без обратной связи в программе Multisim. Для этого необходимо собрать схему, представленную на рисунке 9.1.

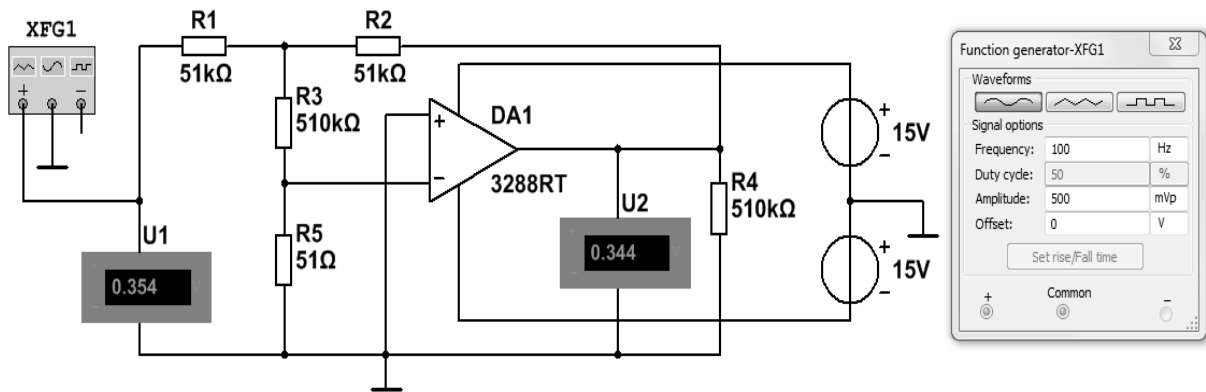


Рисунок 9.1 – Схема для измерения коэффициента усиления ОУ без обратной связи в среде Multisim

Коэффициент усиления определить по формуле

$$K_U = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

2 Определить входное сопротивление операционного усилителя R_{ex} , собрав схему, представленную на рисунке 9.2.

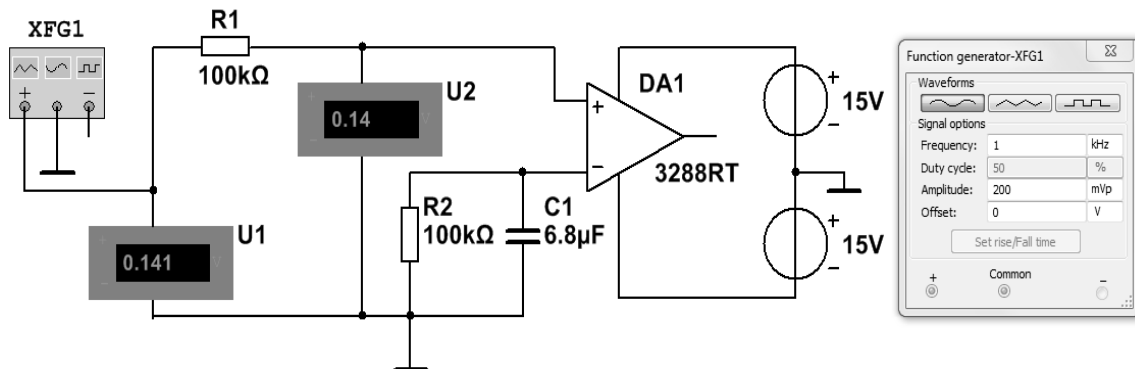


Рисунок 9.2 – Схема для измерения входного сопротивления ОУ в среде Multisim

Формула для определения входного сопротивления

$$R_{ex} = \frac{U_{ex}}{I_{ex}} = \frac{U_1}{(U_1 - U_2) / R_1} = \frac{R_1}{\frac{U_1}{U_2} - 1}$$

3 Для экспериментальной проверки правильности определения K_U на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 9.3. Блок-диаграмма виртуального прибора представлена на рисунке 9.4.

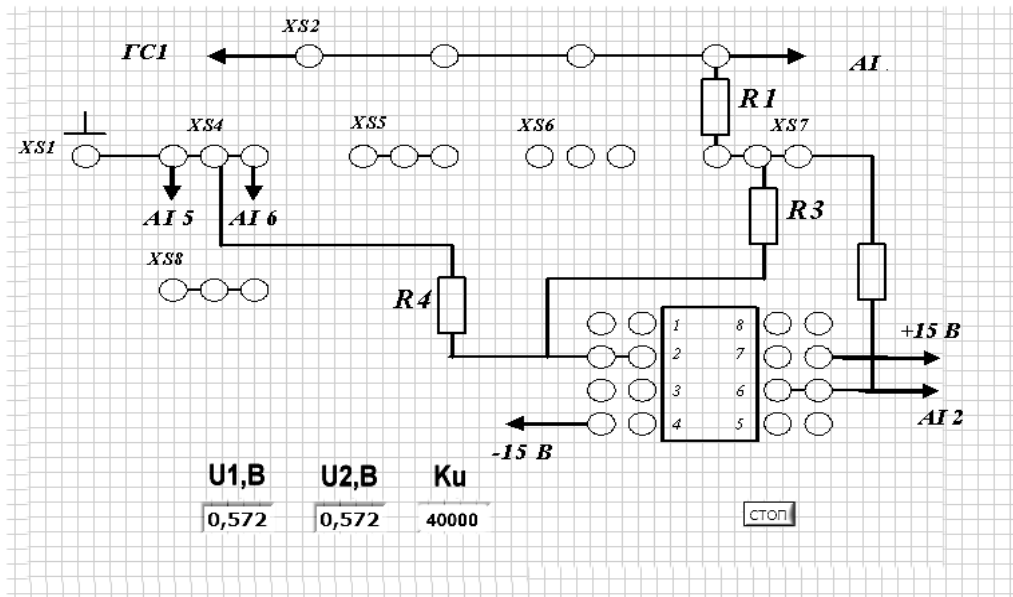


Рисунок 9.3 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования коэффициента ОУ в среде LabVIEW

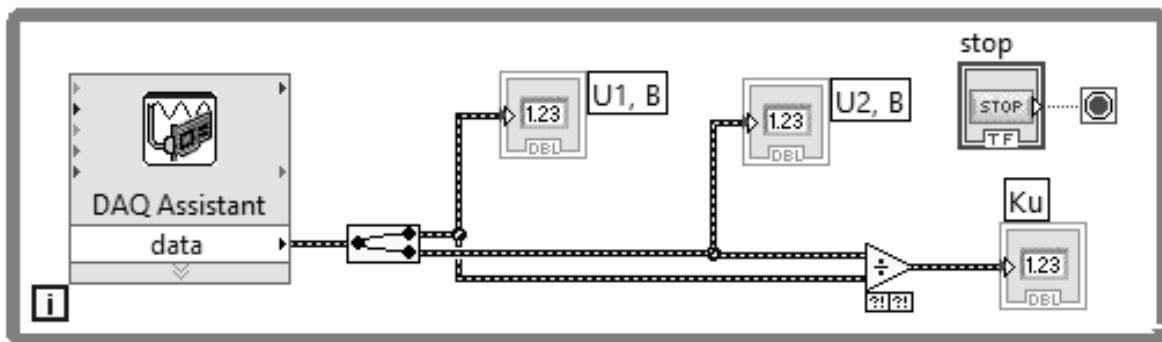


Рисунок 9.4 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального исследования ОУ

4 Определить основные параметры операционного усилителя. Результаты занести в таблицу 9.1. Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

Таблица 9.1 – Результаты исследований

Способ исследования	Тип ОУ	Параметры	
		K_u	R_{ex}
Моделирование			
Эксперимент			

5 Сделать выводы по результатам работы.

9.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для определения параметров ОУ в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; таблицу 9.1; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы операционного усилителя.
- 2 Приведите основные параметры и характеристики операционного усилителя.
- 3 Приведите порядок снятия характеристик и определения параметров операционного усилителя в программе Multisim и в среде LabVIEW.

10 Лабораторная работа № 10. Исследование аналоговых вычислительных схем на основе операционных усилителей

Цель работы: изучение принципа работы, методик расчёта, характеристик устройств на базе операционных усилителей.

10.1 Порядок выполнения лабораторной работы

- 1 На основании заданного преподавателем типа операционного усилителя, пользуясь справочником, заполнить таблицу 10.1.

Таблица 10.1 – Параметры ОУ

Тип ОУ	Справочные параметры				
	U_n , В	K_U	f_1 , Гц	R_{ex} , Ом	$R_{вых}$, Ом

- 2 По заданным параметрам заполнить таблицу 10.2 и произвести расчет устройств (рисунок 10.1). Резисторы выбрать из ряда E24.

Таблица 10.2 – Исходные данные

Тип ОУ	Заданные параметры (рисунок 10,а)		Заданные параметры (рисунок 10,б)		Заданные параметры (рисунок 10, е)			
	u_{ex} , В	$u_{вых}$, В	u_{ex} , В	$u_{вых}$, В	u_1 , В	u_2 , В	u_3 , В	$u_{вых}$, В

Продолжение таблицы 10.2

Расчитанные параметры					
(рисунок 10, а)		(рисунок 10, б)		(рисунок 10, е)	
R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом

- 3 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы устройств, представленных на рисунке 10.2, в программе Multisim. Напряжения и осциллограммы в схемах отображаются с помощью виртуальных вольтметров и осциллографа. Входной сигнал формируется функциональным генератором.

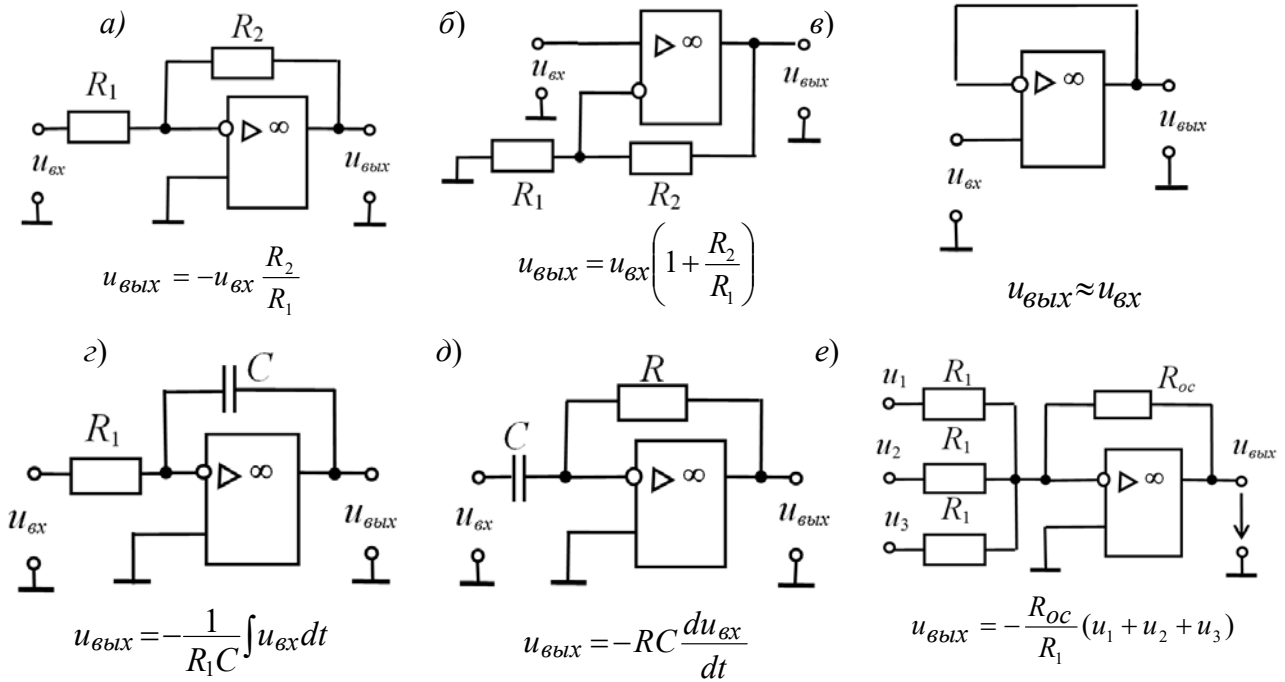


Рисунок 10.1 – Устройства на базе операционных усилителей

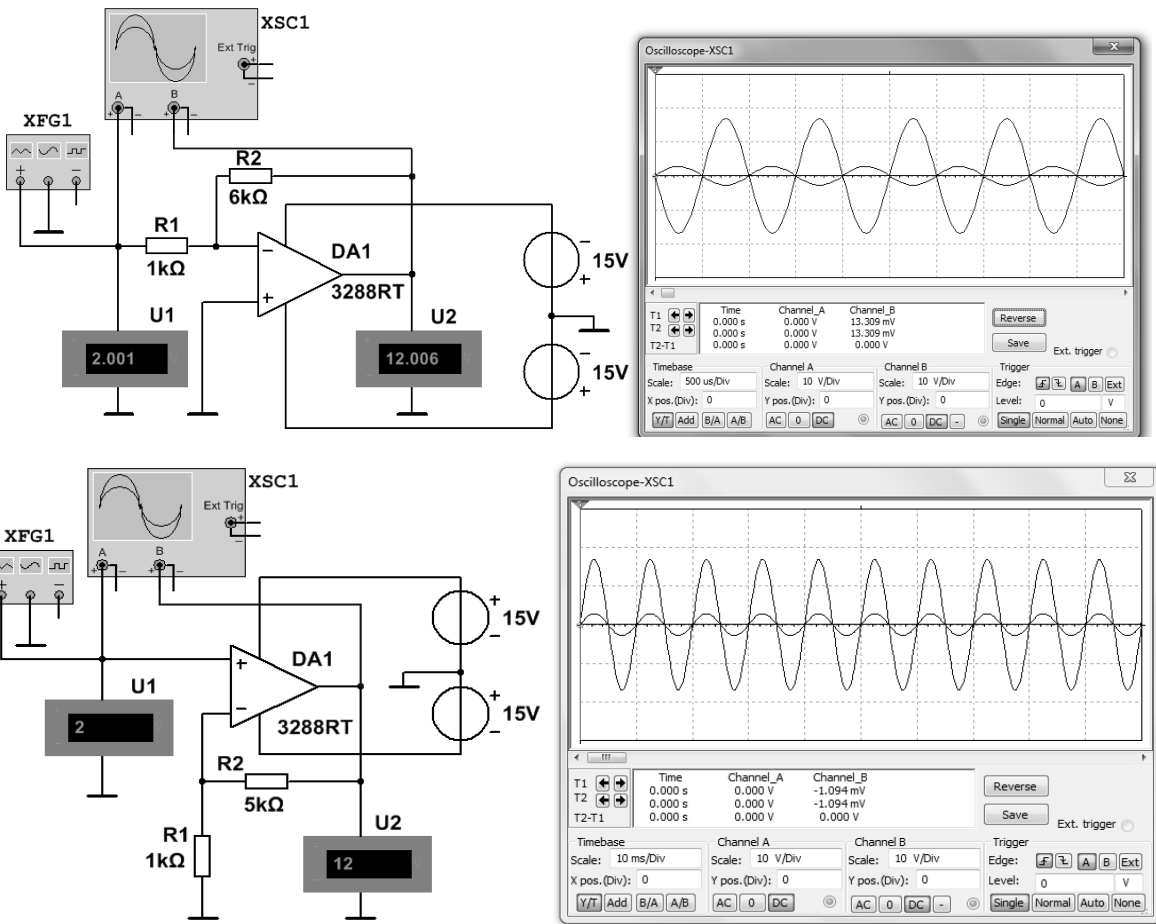
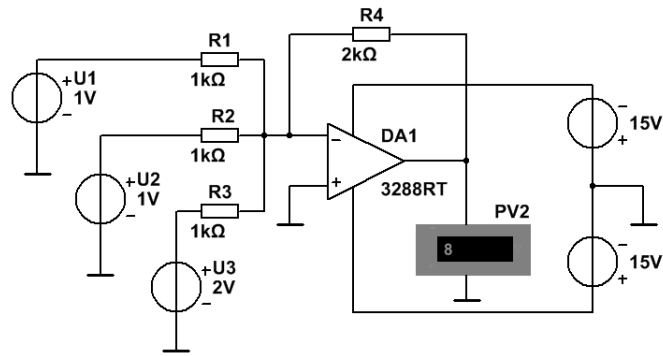


Рисунок 10.2 – Схемы инвертирующего усилителя (вверху), неинвертирующего усилителя (в центре) и сумматора (внизу) в среде Multisim



Окончание рисунка 10.2

Для отображения параметров усилителя по постоянному току в свойствах измерительных приборов установить DC, при измерении переменных сигналов – AC. Результаты моделирования для неинвертирующего усилителя занести в таблицу 10.3 (моделирование).

Получить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) неинвертирующего усилителя, изменяя частоту входного сигнала или воспользовавшись плоттером Боде (Bode PlotterXBP1). Определить частоту среза f_p и частоту единичного усиления f_1 .

В схеме сумматора просуммировать постоянный и переменный сигналы, подав на вход 1 вместо постоянного напряжения 1 В переменное напряжение 1 В с частотой 1 кГц. Напряжение на выходе пронаблюдать с помощью осциллографа.

4 Экспериментально исследовать неинвертирующий усилитель на базе заданного преподавателем ОУ. Для этого на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему (рисунок 10.3). На вход схемы подавать синусоидальное напряжение от генератора $U_{ГС1}$. Блок-диаграмма виртуального прибора для снятия характеристик в среде LabVIEW приведена на рисунке 10.4.

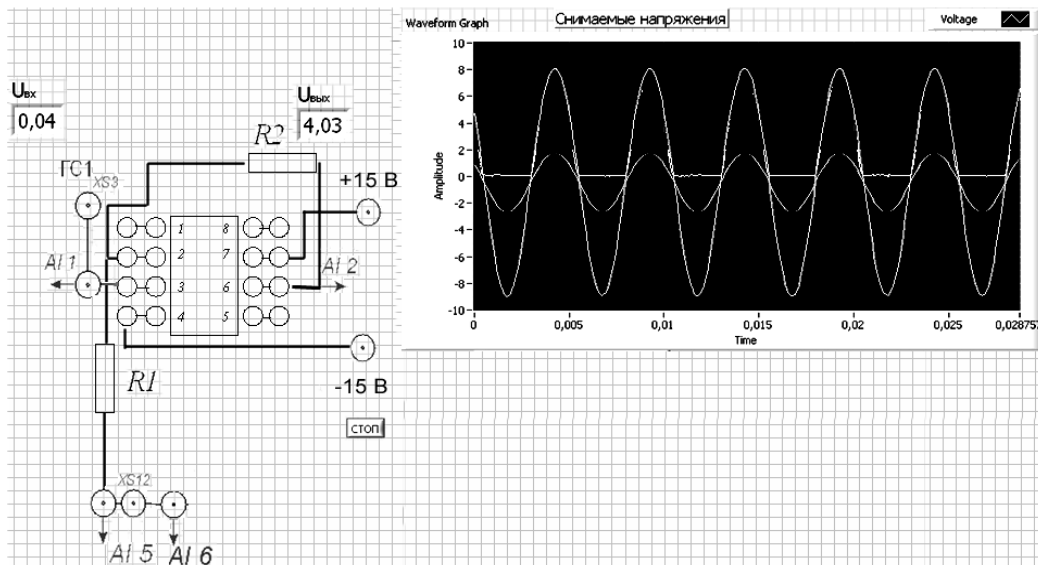


Рисунок 10.3 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ в среде LabVIEW

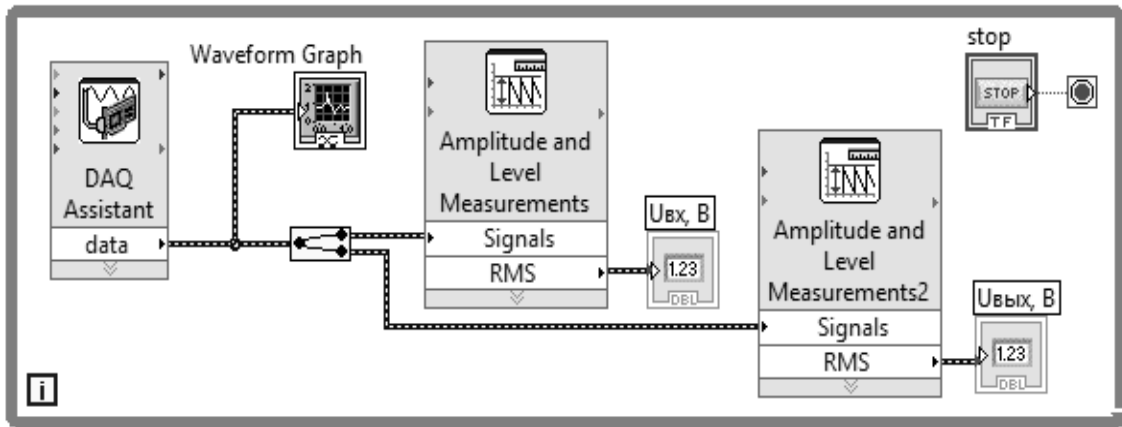


Рисунок 10.4 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ

5 Определить основные параметры усилительного каскада. Результаты занести в таблицу 10.3 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

Таблица 10.3 – Результаты моделирования

Тип данных	Параметры		
	$U_{вх}, В$	$U_{вых}, В$	K_u
Задано			
Моделирование			
Эксперимент			

6 Сделать выводы по результатам работы.

10.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы устройств на базе операционных усилителей в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; осциллограммы входных и выходных напряжений; АЧХ; основные параметры неинвертирующего усилителя в виде таблицы; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Опишите принцип работы устройств на основе операционного усилителя.

2 Приведите порядок расчёта параметров устройств на основе операционного усилителя.

3 Приведите порядок снятия характеристик и определения параметров устройств на основе операционного усилителя в программе Multisim и в среде LabVIEW.

11 Лабораторная работа № 11. Исследование работы усилительного каскада на биполярном транзисторе

Цель работы: изучение принципа функционирования и характеристик на переменном токе усилителя на биполярном транзисторе.

11.1 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Произвести моделирование работы усилителя в программе Multisim согласно рисунку 5.1. Напряжения и токи в схемах отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа XSC1. Входной сигнал формируется функциональным генератором Agilent-XFG1.

Для отображения параметров усилителя по переменному току в свойствах измерительных приборов установить АС.

2 Подать на вход усилительного каскада переменный синусоидальный сигнал с амплитудой, не превышающей $U_{мБ}$. Снять осциллограмму выходного сигнала. Измерить параметры усилителя в режиме переменного сигнала (свойство прибора АС). Заполнить таблицу 11.1 (моделирование).

3 Увеличить амплитуду входного сигнала до получения искажений сигнала на выходе. Наблюдать увеличение коэффициента нелинейных искажений с помощью прибора XDA1.

4 Исследовать влияние R_n , C_3 на амплитуду выходного сигнала.

5 С помощью плоттера Бодэ снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилительного каскада. Определить нижнюю и верхнюю частоты f_n , f_v , при которых происходит снижение коэффициента усиления в $\sqrt{2}$ раз. Исследовать влияние ёмкости разделительного конденсатора C_{p2} на АЧХ. Результаты занести в таблицу 11.1 (моделирование).

6 Для экспериментального исследования усилительного каскада на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему. На вход схемы подавать синусоидальное напряжение от генератора $U_{ГС1}$.

Таблица 11.1 – Результаты моделирования

Способ исследования	Результат измерений								
	R_n , В	C_3 , мкФ	$U_{вх}$, мВ	$I_{вх}$, мА	U_n , В	I_n , мА	K_r , %	f_n , кГц	f_v , кГц
Моделирование									
Моделирование									

Продолжение таблицы 11.1

Результат вычислений			
$R_{вх}$, Ом	K_i	K_u	K_p

7 Определить основные параметры усилительного каскада. Результаты занести в таблицу 11.1 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

8 Сделать выводы по результатам работы.

6 Для экспериментального исследования усилительного каскада на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему. На вход схемы подавать синусоидальное напряжение от генератора $U_{ГС1}$. Определить коэффициент усиления по напряжению.

7 Определить основные параметры усилительного каскада. Результаты занести в таблицу 12.1 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

8 Сделать выводы по результатам работы.

12.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы усилительного каскада в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; осциллограммы входных и выходных напряжений; АЧХ усилителя; основные параметры усилителя в виде таблицы; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Опишите работу схемы усилителя на полевом транзисторе.

2 Приведите порядок снятия характеристик и определения параметров усилителя на полевом транзисторе по переменному току в программе Multisim и в среде LabVIEW.

13 Лабораторная работа № 13. Исследование параметров импульсного сигнала

Цель работы: приобретение навыков работы с комплектом лабораторного оборудования; измерение основных параметров электрических сигналов.

13.1 Задание к лабораторной работе

С помощью функционального генератора среды Multisim и генератора ЛЗ1, входящего в лабораторный комплект, сформировать сигналы, параметры которых указаны в таблице 13.1.

Таблица 13.1 – Параметры сигналов

Тип сигнала	Параметры				
	U_m , В	T , с	t_u , с	t_p , с	t_o , с
Постоянный		х	х	х	х
Гармонический			х	х	х
Импульсный				х	х
Пилообразный			х		

13.2 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Подключить генератор ЛЗ1 к гнездам «Вход ГС1» блока управления БУ К32. Блок мультиметра К32 подключить к разъёмам «Выход~» или «Выход=». Вставить макетную плату в БУК32.

2 В среде Multisim подключить функциональный генератор XPG1 ко входу осциллографа XSC1 (рисунок 13.1).

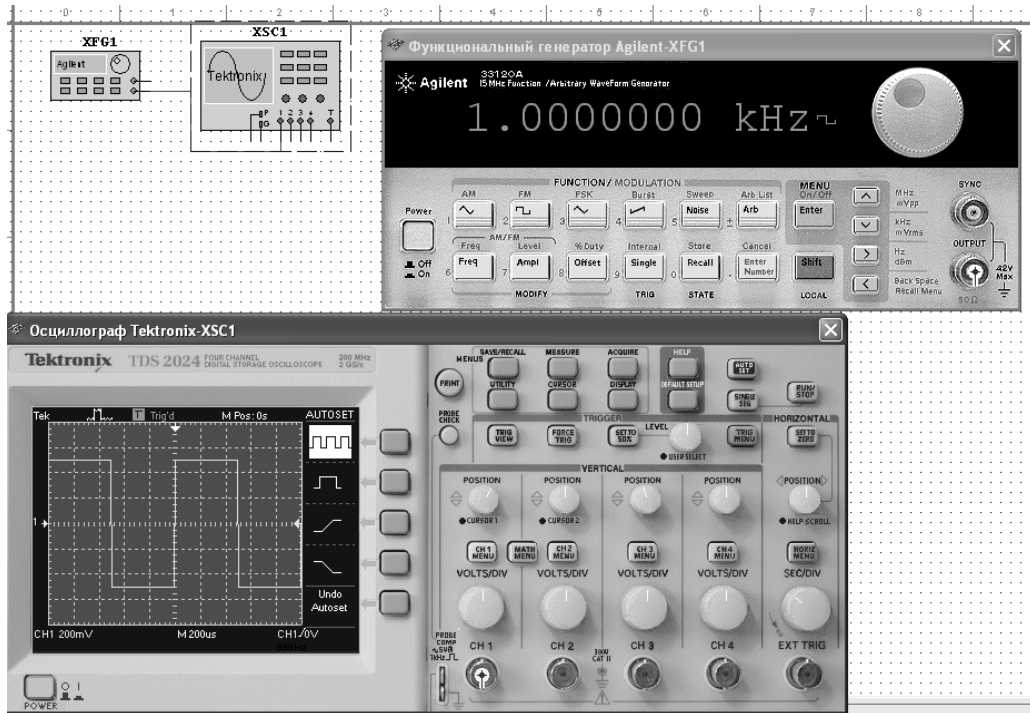


Рисунок 13.1– Схема для исследования параметров сигналов в среде Multisim

3 Сформировать сигналы, указанные в задании (см. таблицу 13.1). Полученные сигналы зафиксировать с помощью осциллографа. Определить параметры сигналов. Результаты занести в таблицу 13.2 (моделирование).

Таблица 13.2 – Результаты измерений

Тип сигнала	Способ исследования	$U_m, В$	Тип сигнала	Способ исследования	$U_m, В$	$U, В$	$T, с$	$f, Гц$
Постоянный	Моделирование		Гармонический	Моделирование				
	Эксперимент			Эксперимент				

Продолжение таблицы 13.2

Тип сигнала	Способ исследования	$U_m, В$	$T, с$	$t_n, с$	q	γ	$\tau_{\phi}, с$	$\tau_c, с$	$S_{\phi}, В/с$	$U_{m.обр}, В$	$t_{вос}, с$
Импульсный	Моделирование										
	Эксперимент										

Окончание таблицы 13.2

Тип сигнала	Способ исследования	$U_m, В$	$T, с$	$t_p, с$	$t_c, с$	ξ
Пилообразный	Моделирование					
	Эксперимент					

4 Разработать виртуальный прибор для исследования параметров сигналов в среде LabVIEW (рисунок 13.2). Блок-диаграмма виртуального прибора (рисунок 13.3) содержит следующие блоки: DAQ Assistant– обеспечивает сбор данных с устройства NI USB-6009; Amplitude and Level Measurements– для определения действующего значения и постоянной составляющей напряжения; Tone Measurements– для определения амплитуды и частоты сигнала; Spectral Measurements– для определения спектра сигнала.

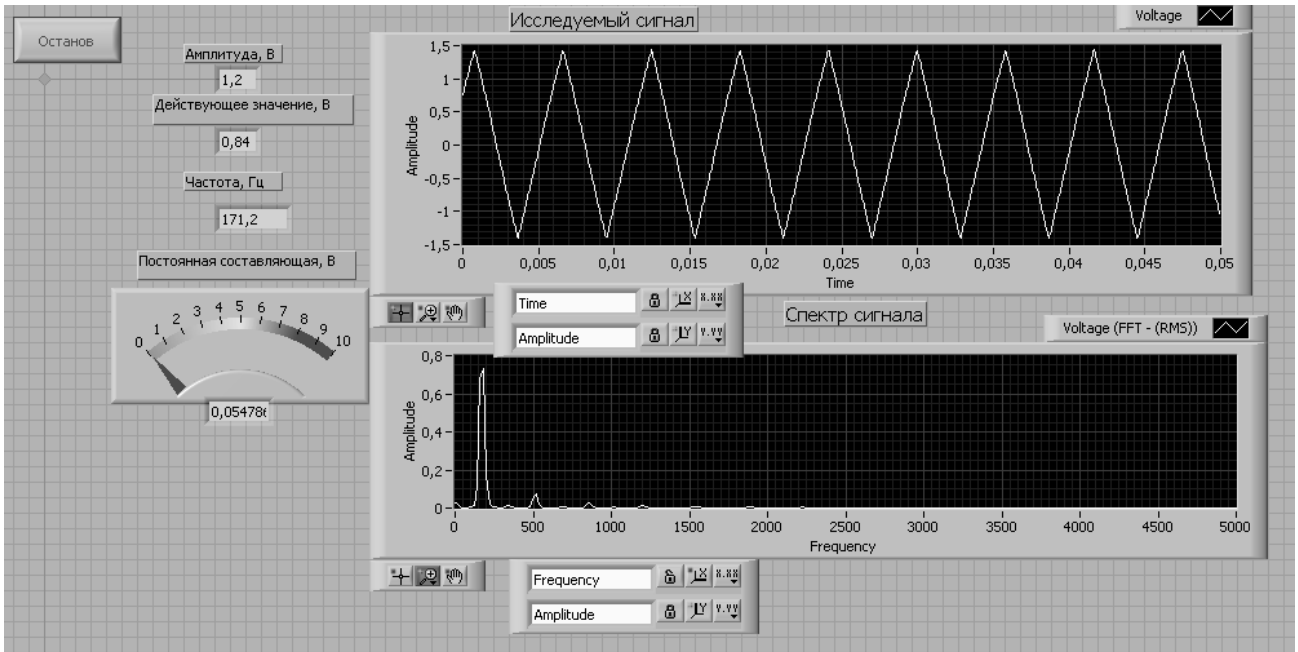


Рисунок 13.2 – Виртуальный прибор для исследования параметров сигналов в среде LabVIEW

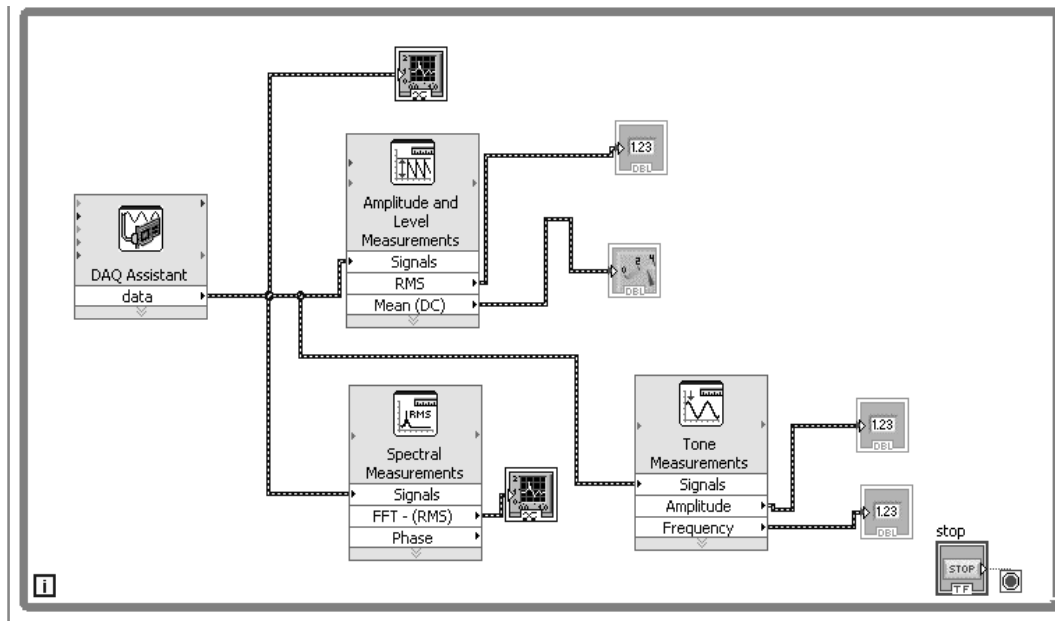
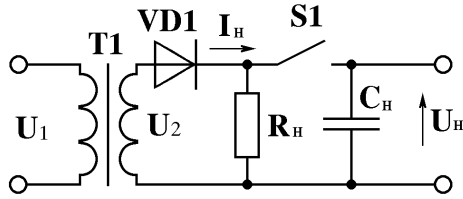


Рисунок 13.3 – Блок-диаграмма для исследования параметров сигналов в среде LabVIEW

a)



б)

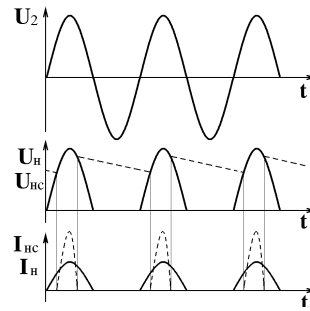
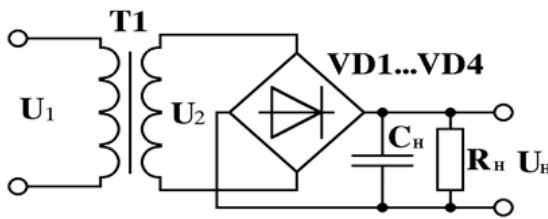


Рисунок 14.1 – Схема и временные диаграммы однофазного однополупериодного выпрямителя

a)



б)

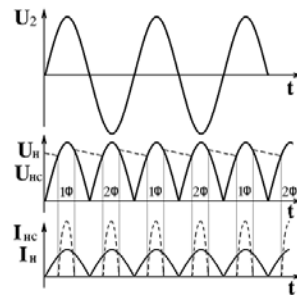


Рисунок 14.2 – Схема и временные диаграммы двухполупериодного мостового выпрямителя

Сравнительные показатели схем выпрямления приведены в таблице 14.2.

Таблица 14.2 – Сравнительные показатели схем выпрямления

Тип схемы	m	U_2/U_H	I_2/I_H	$k_{П}$	S_{TP}/P_H	I_D/I_H	U_{OBRmax}/U_H
Однополупериодная	1	2,22	1,57	1,57	3,1	1	3,14
Мостовая однофазная	2	1,11	1,11	0,667	1,23	0,5	1,57

Здесь m – число пульс выпрямленного напряжения за период;

U_2, I_2 – действующее значение напряжения и тока вторичной обмотки;

U_H, I_H – средневыврямленное значение напряжения и тока в нагрузке;

S_{TP} – полная мощность трансформатора;

I_D – расчётный прямой ток диода;

U_{OBRmax} – расчётное максимально допустимое обратное напряжение диода;

P_H – требуемая мощность нагрузки:

$$P_H = U_H \cdot I_H.$$

Коэффициент пульсаций по первой гармонике с амплитудой U_{m1}

$$k_{П1} = U_{m1} / U_H.$$

Коэффициент сглаживания пульсаций

$$k_{CG} = k_{П1} / k_H.$$

Для емкостного фильтра:

- при однополупериодной схеме выпрямления $C \geq 2/(K_n \omega R_H)$;
- при двухполупериодной схеме выпрямления $C \geq 1/(K_n \omega R_H)$.

2 По результатам моделирования и эксперимента заполнить таблицу 14.3.

Таблица 14.3 – Параметры схем выпрямления

Схема выпрямления	Способ исследования	Результат измерений					Результат вычислений
		U_1 , В	U_2 , В	I_2 , мА	U_H , В	I_H , мА	k_H
Однофазная однополупериодная	Моделирование						
	Эксперимент						
Двухполупериодная мостовая	Моделирование						
	Эксперимент						

3 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы выпрямителей в программе Multisim, построив их модели согласно рисункам 14.3 и 14.4. Напряжения и токи в схемах отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа XSC1.

4 Снять осциллограммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора U_2 и на выходе выпрямителя U_H при работе на активную и емкостную нагрузки. Подключение сглаживающего фильтра осуществляется замыканием ключа (клавиша «А»).

5 Измерить значение тока нагрузки I_H , действующего значения тока вторичной обмотки трансформатора I_2 . Определить коэффициент пульсаций нагрузки с фильтром k_H . Для определения амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения U_{m1} воспользоваться анализатором спектра XSA1.

Результаты занести в таблицу 14.3 (моделирование).

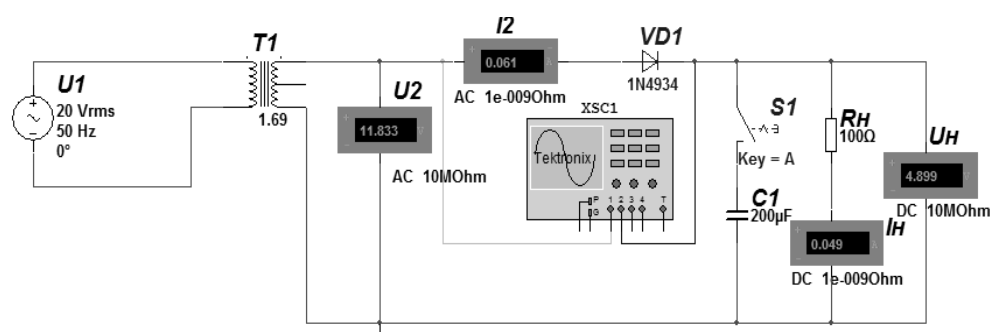


Рисунок 14.3 – Схема однофазного однополупериодного выпрямителя в среде Multisim

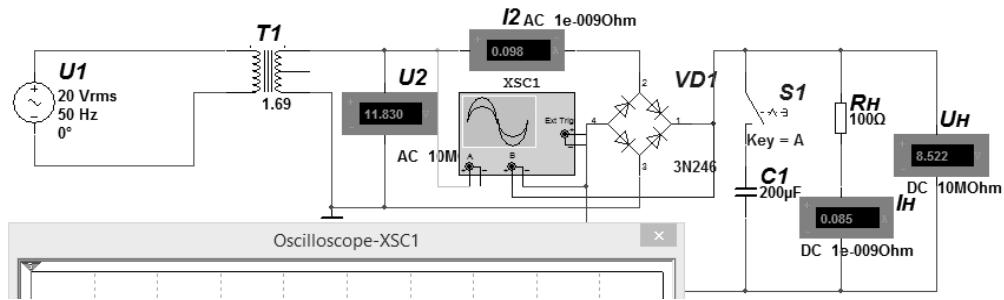


Рисунок 14.4 – Схема однофазного двухполупериодного мостового выпрямителя в среде Multisim

6 Для экспериментального исследования однофазного однополупериодного выпрямителя на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 14.5. Синусоидальное напряжение U_2 подается от генератора сигналов Гб-46.

7 Для экспериментального исследования двухполупериодного выпрямителя на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 14.6.

8 Определить основные параметры выпрямителей. Результаты занести в таблицу 14.3 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

9 Сделать выводы по результатам работы.

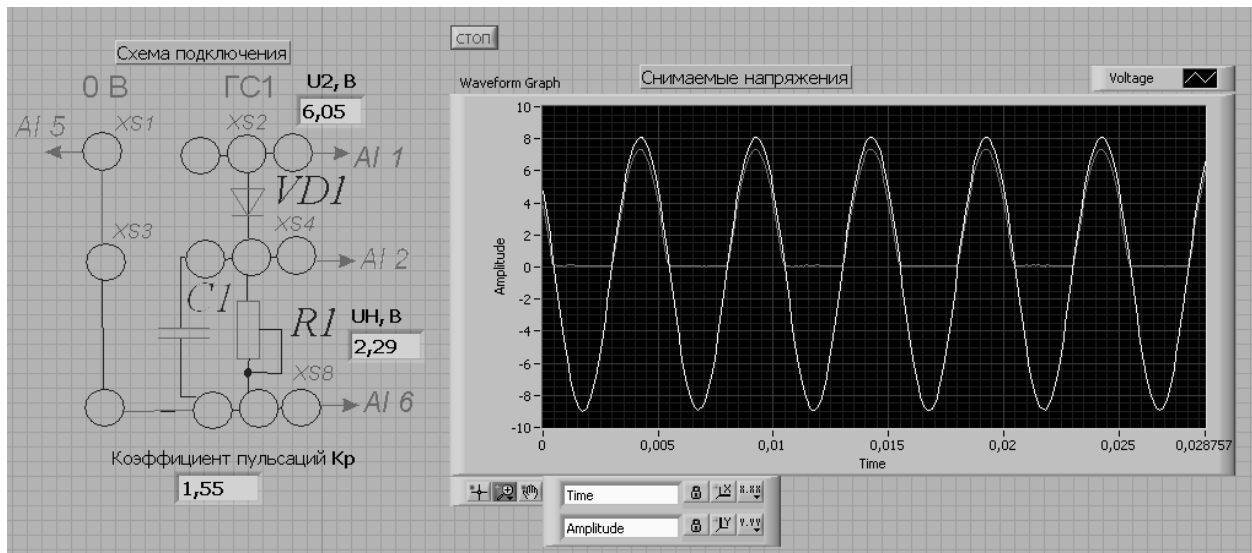


Рисунок 14.5 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования однополупериодного выпрямителя в среде LabVIEW

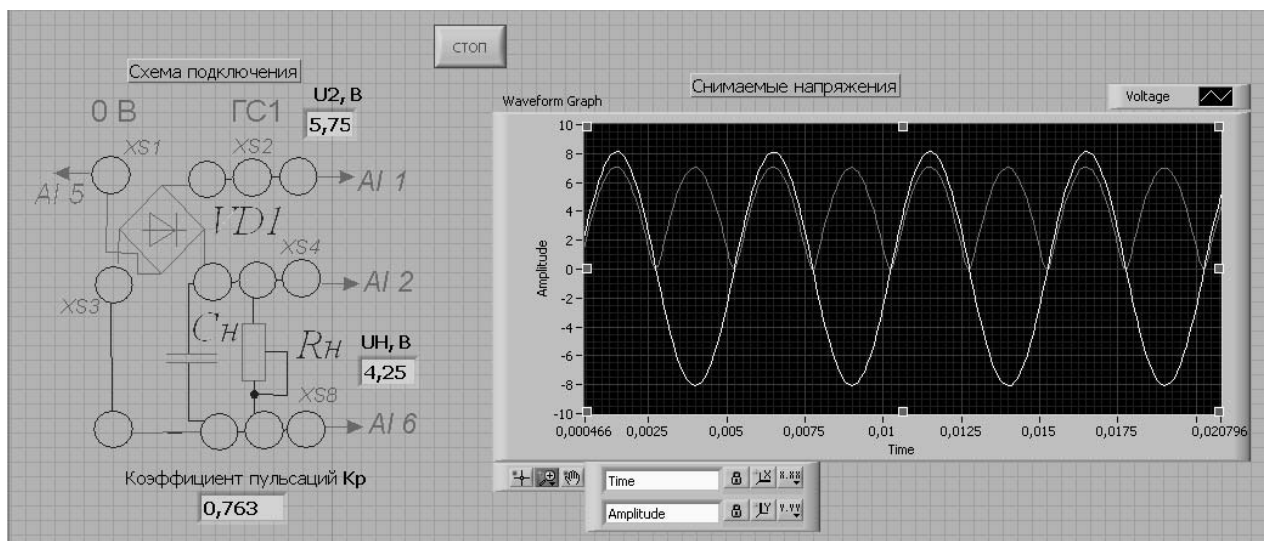


Рисунок 14.6 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования двухполупериодного мостового выпрямителя в среде LabVIEW

14.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; задание к работе; схемы для моделирования работы выпрямителей в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; осциллограммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора и нагрузке; основные параметры выпрямителей в виде таблицы; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы однофазного однополупериодного и двухполупериодного неуправляемых выпрямителей.
- 2 Приведите порядок расчёта параметров неуправляемых выпрямителей.
- 3 Приведите порядок исследования неуправляемых выпрямителей в программе Multisim и в среде LabVIEW.

15 Лабораторная работа № 15. Исследование обратных связей в усилителях

Цель работы: изучение типов обратных связей, а также основных параметров ОС.

15.1 Порядок выполнения лабораторной работы

- 1 Промоделировать в программе Multisim схему усилителей с ООС, представленную на рисунке 15.1.
- 2 Классифицировать используемые ОС, рассчитать их глубину F_u коэффициенты усиления K_U , заполнить таблицу.
- 3 Для экспериментального исследования усилителей с ООС на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, представленную на рисунке 15.2. На вход схемы подавать синусоидальное напряжение от генератора $U_{ГЧ1}$.

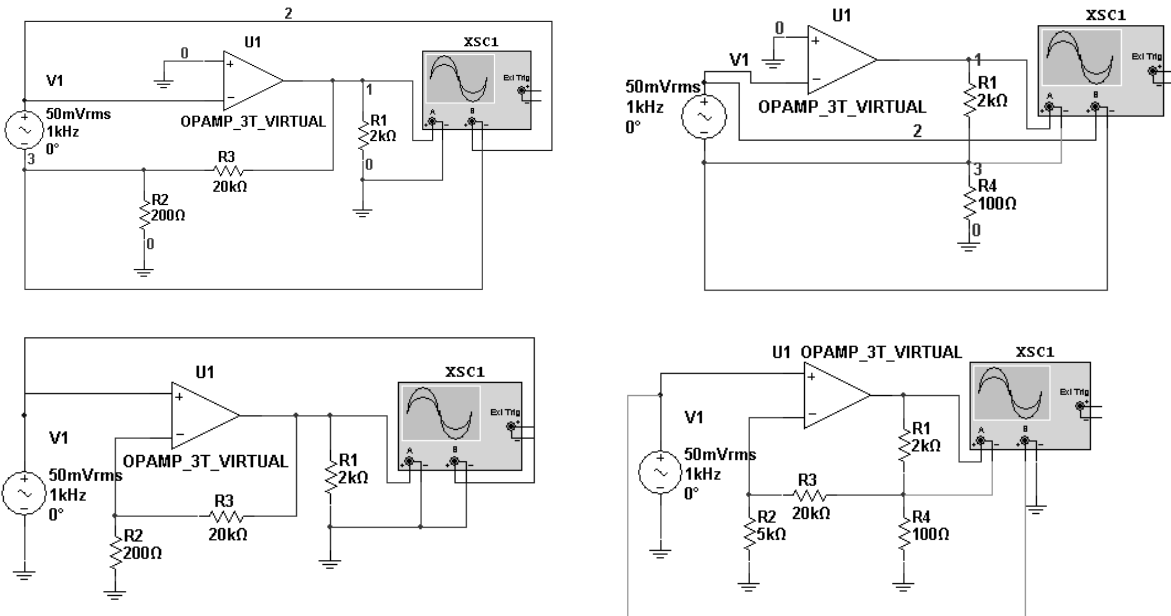


Рисунок 15.1 – Моделирование усилителей с ООС

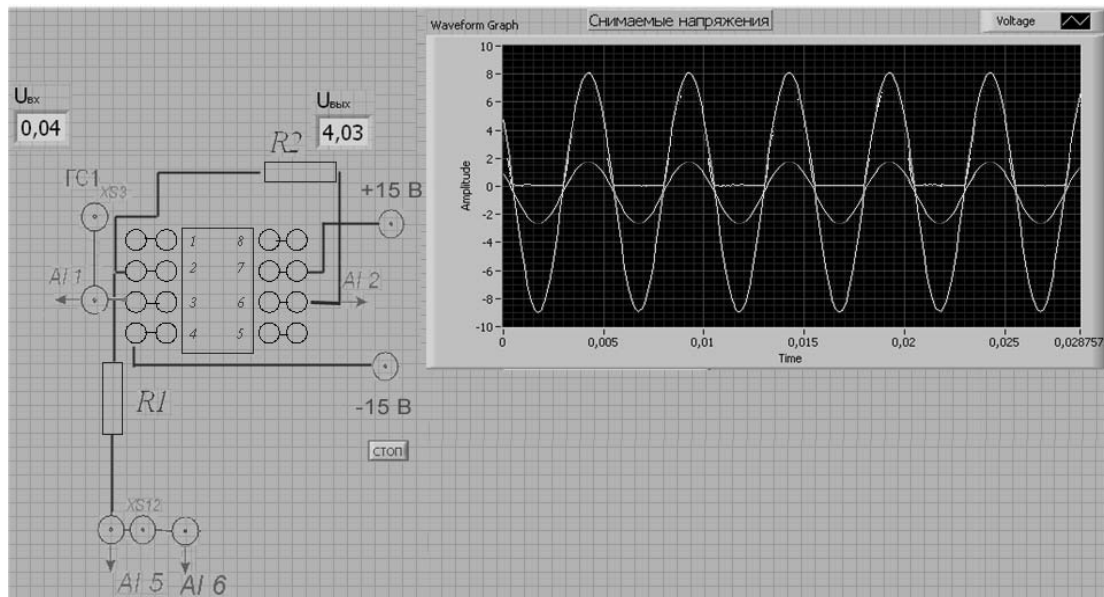


Рисунок 15.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ в среде LabVIEW

4 Определить тип ООС. Для R_2 и R_1 , заданных преподавателем, рассчитать K_u и глубину ОС $-F$. Результаты занести в таблицу 15.1.

Таблица 15.1 – Параметры ОС

	Модель №1		Модель №2		Модель №3		Эксперимент	
	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$
K_U								
F								
Тип ОС								

5 Сделать вывод.

15.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; задание к работе; схемы для моделирования усилителей с ОС в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; осциллограммы полученных напряжений; основные параметры ОС в виде таблицы; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Приведите типы обратных связей, основные параметры.
- 2 Приведите порядок исследования усилителей с обратными связями в программе Multisim и в среде LabVIEW.

16 Лабораторная работа № 16. Исследование работы сглаживающих фильтров

Цель работы: изучение принципов и характеристик простейших сглаживающих фильтров.

16.1 Порядок выполнения лабораторной работы

- 1 Рассчитать емкость конденсатора и индуктивность дросселя для $K_c = 5$ и нагрузки R_n , заданной преподавателем.
- 2 Промоделировать в программе Multisim схему источника питания, представленную на рисунке 16.1.
- 3 Снять нагрузочные характеристики для емкостного, индуктивного фильтра и для выпрямителя без фильтра. Для этого заполнить таблицы 16.1 – 16.3 и построить графики.
- 4 Оценить коэффициент сглаживания (используя спектроанализатор) и сравнить его с расчетным значением.
- 5 Для экспериментального исследования двухполупериодного выпрямителя с емкостным фильтром на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему. На вход схемы подавать синусоидальное напряжение от генератора $U_{ГС1}$. Выделение первой гармоники выпрямленного напряжения U_{m1} для определения коэффициента пульсаций k_n осуществляется блоком Distortion Measurements. Сравнить осциллограммы работы выпрямителя с фильтром и без него. Сравнить коэффициенты пульсаций, результаты сравнения и осциллограммы записать в отчет.
- 6 Сделать вывод.

Таблица 16.1 – Результаты исследований двухполупериодного выпрямителя с емкостным фильтром

Выходной параметр	$R_H, 0,1 \text{ кОм}$	$R_H, 0,2 \text{ кОм}$	$R_H, 0,4 \text{ кОм}$	$R_H, 0,8 \text{ кОм}$	$R_H, 1,6 \text{ кОм}$	$R_H, 3,2 \text{ кОм}$	$R_H, 6,4 \text{ кОм}$	$R_H, 12,8 \text{ кОм}$
$I_H, \text{ A}$								
$U_H, \text{ B}$								

Таблица 16.2 – Результаты исследований двухполупериодного выпрямителя с индуктивным фильтром

Выходной параметр	$R_H, 0,1 \text{ кОм}$	$R_H, 0,2 \text{ кОм}$	$R_H, 0,4 \text{ кОм}$	$R_H, 0,8 \text{ кОм}$	$R_H, 1,6 \text{ кОм}$	$R_H, 3,2 \text{ кОм}$	$R_H, 6,4 \text{ кОм}$	$R_H, 12,8 \text{ кОм}$
$I_H, \text{ A}$								
$U_H, \text{ B}$								

Таблица 16.3 – Результаты исследований двухполупериодного выпрямителя без фильтра

Выходной параметр	$R_H, 0,1 \text{ кОм}$	$R_H, 0,2 \text{ кОм}$	$R_H, 0,4 \text{ кОм}$	$R_H, 0,8 \text{ кОм}$	$R_H, 1,6 \text{ кОм}$	$R_H, 3,2 \text{ кОм}$	$R_H, 6,4 \text{ кОм}$	$R_H, 12,8 \text{ кОм}$
$I_H, \text{ A}$								
$U_H, \text{ B}$								

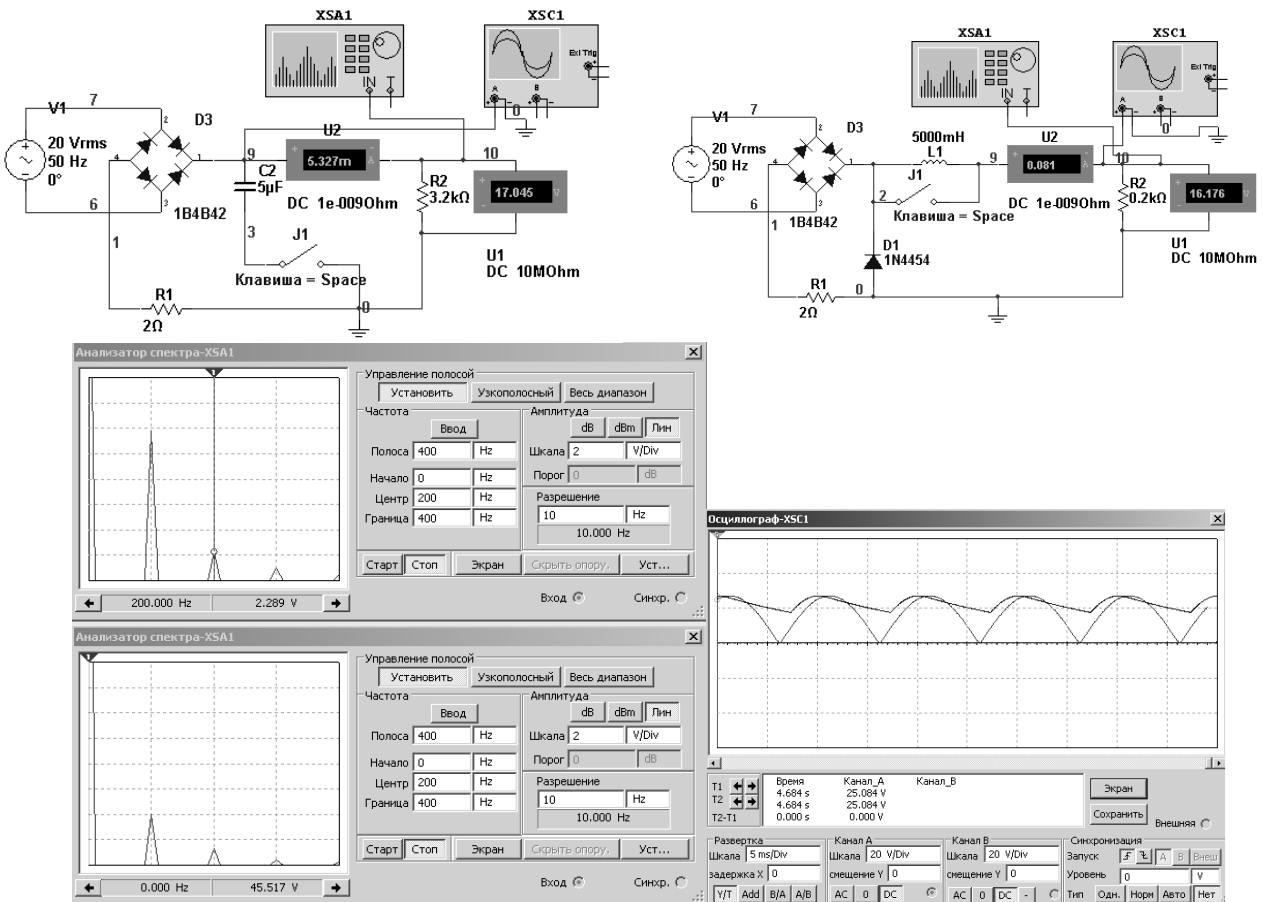


Рисунок 16.1 – Результаты моделирования

16.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; задание к работе; схемы для моделирования работы выпрямителей в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; осциллограммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора и нагрузке; основные параметры фильтров в виде таблицы; выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы сглаживающих фильтров.
- 2 Приведите основные параметры и характеристики сглаживающих фильтров.
- 3 Приведите порядок исследования сглаживающих фильтров в программе Multisim и в среде LabVIEW.

17 Лабораторная работа № 17. Исследование генератора на основе операционного усилителя

Цель работы: изучение принципа функционирования, методик расчета, характеристик и параметров генераторов гармонических колебаний.

17.1 Порядок выполнения лабораторной работы

- 1 На основании заданного преподавателем значения частоты f необходимо рассчитать сопротивление R и емкость C генератора с мостом Вина.

Таблица 17.1 – Исходные данные и результаты расчета

Заданный параметр	Расчетные параметры			
	R_3 , Ом	R_4 , Ом	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ
f , Гц				

- 2 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы генератора в программе Multisim, собрав схему, приведенную на рисунке 17.1. Номиналы элементов установить согласно таблице 17.1. Параметры усилителей взять из практических занятий.

Промоделировать работу генераторов, снять осциллограммы, определить частоту генерации f , действующее значение напряжения U , нелинейные искажения K_r . Заполнить таблицу 17.2.

Исследовать влияние напряжения питания, значения RC цепей на параметры выходного сигнала.

Таблица 17.2– Результаты моделирования и эксперимента

Способ исследований	RC-генератор с мостом Вина	
	f , Гц	U , В
Моделирование		
Эксперимент		

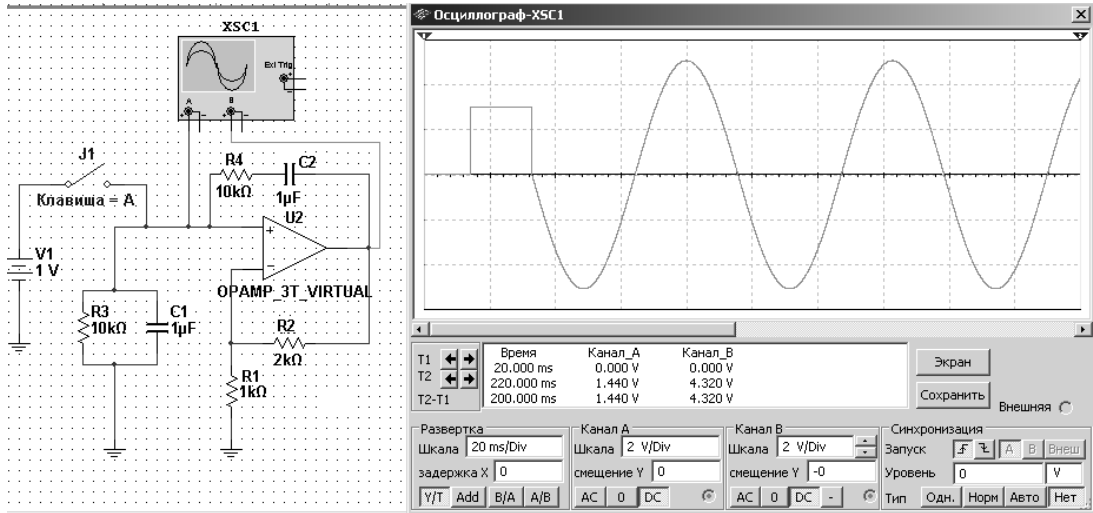


Рисунок 17.1– Генератор на ОУ с мостом Вина в обратной связи

3 Для экспериментального исследования генератора на ОУ с мостом Вина в цепи ПОС на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, представленную на рисунке 17.2.

Напряжение питания операционного усилителя (+15В, -15В) на схему подается с источника НУ 3002-D2. Выходной сигнал генератора снимается каналом AI1 устройства сбора данных NI USB-6009. Виртуальный прибор в среде LabVIEW (рисунок 17.3) отображает частоту f , действующее значение U и коэффициент нелинейных искажений выходного сигнала.

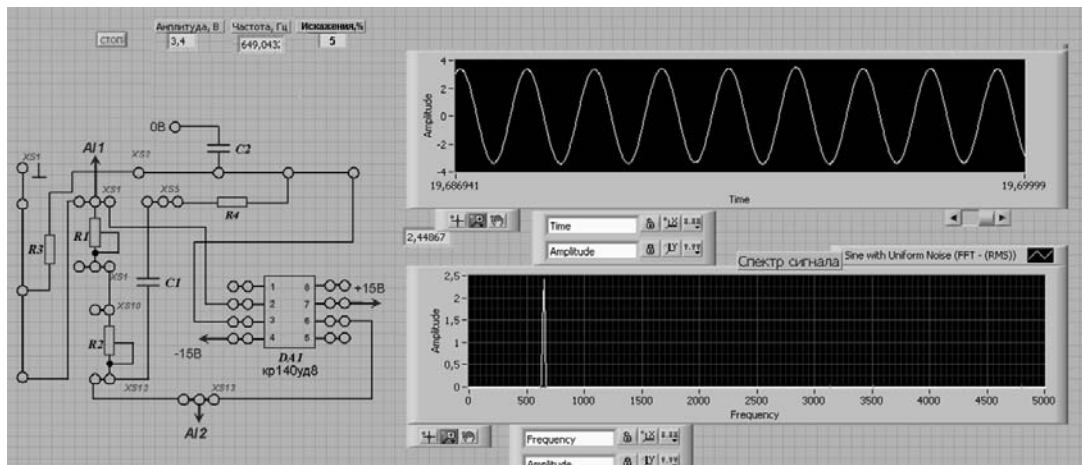


Рисунок 17.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования генератора с мостом Вина в среде LabVIEW

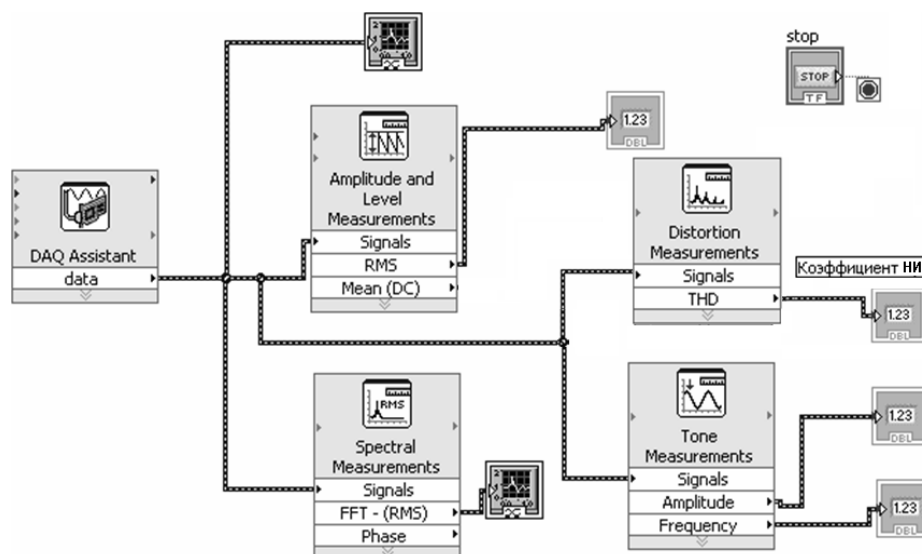


Рисунок 17.3 – Блок-диаграмма для исследования в среде генератора с мостом Вина в среде LabVIEW

Сравнить результаты расчета и моделирования с экспериментальными данными, заполнить таблицу 17.2.

4 Сделать выводы по результатам работы.

17.2 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы генераторов в среде Multisim; блок-диаграмму виртуального прибора для экспериментального снятия характеристик и диалоговое окно; осциллограммы выходных напряжений; основные параметры генератора на ОУ (см. таблицы 17.1 и 17.2); выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Опишите принцип работы генератора гармонических колебаний на основе операционного усилителя.

2 Приведите порядок расчёта, основные параметры и характеристики генератора гармонических колебаний.

3 Приведите порядок исследования генератора гармонических колебаний в программе Multisim и в среде LabVIEW.

Список литературы

- 1 Введение в Multisim [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://of.bsu.ru/e-book/mikroprochess/Manual_multisim_rus.pdf. – Дата доступа: 02.10.2018.
- 2 **Марченко, А. Л.** Лабораторный практикум по электротехнике и электронике в среде MULTISIM + CD: учебное пособие / А. Л. Марченко, С. В. Освальд. – Москва: ДМК Пресс, 2010. – 448 с.
- 3 **Суранов, А. Я.** LabVIEW 8.20: справочник по функциям / А. Я. Суранов. – Москва: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.
- 4 **Браммер, Ю. А.** Импульсные и цифровые устройства: учебник / Ю. А. Браммер, И. Н. Пащук. – 7-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 2003. – 351 с.
- 5 **Алехин, В. А.** Электроника: теория и практика. Моделирование в среде TINA-8: учебное пособие / В. А. Алехин. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2017. – 308 с. : ил.
- 6 **Иванов, В. Н.** Электроника и микропроцессорная техника: учебник / В. Н. Иванов. – Москва: Академия, 2016. – 288 с.
- 7 **Марченко, А. Л.** Основы электроники: учебное пособие для вузов / А. Л. Марченко. – Москва: ДМК Пресс, 2008. – 296 с.
- 8 **Лачин, В. И.** Электроника: учебное пособие / В. И. Лачин, Н. С. Савелов. – 7-е изд., перераб. и доп. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 703 с.
- 9 **Москатов, Е. А.** Справочник по полупроводниковым приборам / Е. А. Москатов. – Москва: Журнал «Радио», 2005. – 208 с.
- 10 **Бладыко, Ю. В.** Электроника. Практикум: учебное пособие / Ю. В. Бладыко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – 190 с.: ил.