

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И СХЕМОТЕХНИКА

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

Часть 2



Могилев 2018

УДК 621.3
ББК 32.81
Э 45

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «5» октября 2018 г.,
протокол № 3

Составители: канд. техн. наук, доц. А. Г. Старовойтов;
ст. преподаватель И. В. Курлович

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

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

Учебно-методическое издание

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И СХЕМОТЕХНИКА

Часть 2

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	М. М. Дударева

Подписано в печать . Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 16 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2018



Содержание

10	Исследование работы выпрямительного диода.....	4
11	Исследование характеристик биполярного транзистора.....	7
12	Исследование характеристик полевых транзисторов с управляющим переходом и изолированным затвором	10
13	Исследование работы усилительного каскада на биполярном транзисторе.....	13
14	Исследование характеристик и параметров операционного усилителя.....	17
15	Исследование схем на основе операционных усилителей.....	20
16	Исследование работы однофазных неуправляемых выпрямителей.....	23
17	Исследование параметров постоянных и переменных аналоговых сигналов.....	30
	Список литературы.....	37



Часть 2

10 Исследование работы выпрямительного диода

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

10.1 Задание к лабораторной работе

На основании заданного преподавателем типа диода необходимо рассчитать сопротивление и мощность ограничивающего резистора $R_{огр}$ (R_1). Параметры выпрямительного диода взять из электронного справочника *INQUIRY.EXE*, выбрать стандартное значение сопротивления из ряда E24, заполнить таблицу 10.1.

Таблица 10.1 – Исходные данные

Тип диода	Параметры источника ЭДС $E, В$	Параметры диода							$R_{огр}$ (R_1), Ом	$P_{огр}$, Вт	Тип резистора $R_{огр}$
		I_{np} , мА	$U_{np \max}$, В	$I_{np \max}$, мА	$U_{обр \max}$, В	$I_{обр \max}$, мкА	$T, ^\circ C$	f_{\max} , кГц			

10.2 Порядок выполнения работы

10.2.1 Рассчитать параметры и выбрать ограничивающее сопротивление для исследования параметров выпрямительного диода (рисунки 10.1 и 10.2):

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

10.2.2 Для построения вольтамперной характеристики диода (ВАХ) в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 10.1. Осуществить моделирование её работы, изменяя ЭДС источника питания.

Диод выбирается из библиотеки элементов согласно заданию и подключается к источнику постоянного напряжения.

ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1.

Для снятия обратной ветви ВАХ необходимо изменить полярность источника питания, ограничивающее сопротивление R_1 взять порядка 1 кОм.

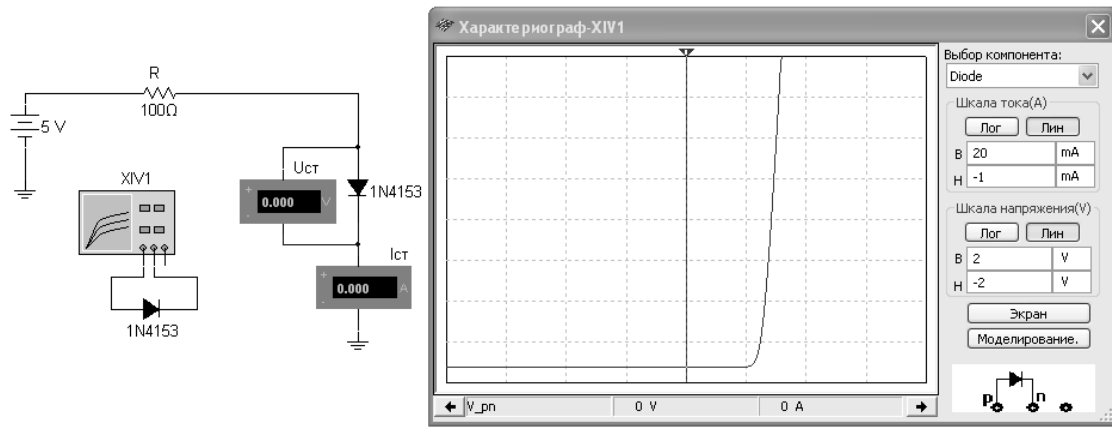


Рисунок 10.1 – Схема для снятия ВАХ в среде Multisim

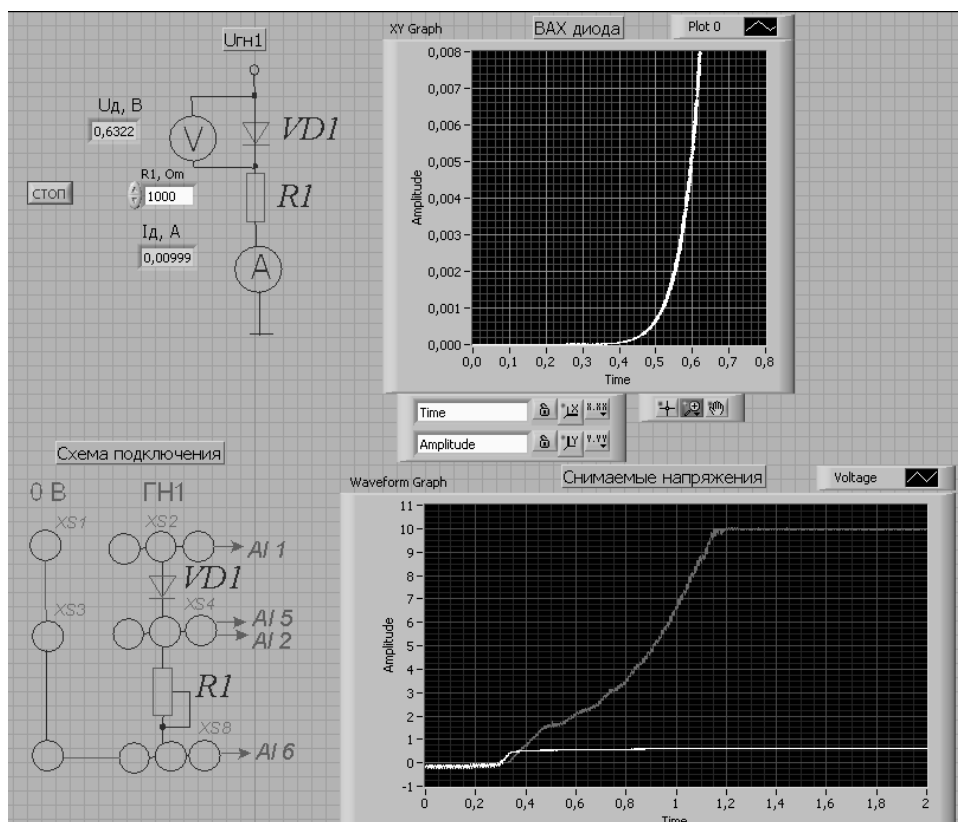


Рисунок 10.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования выпрямительного диода в среде LabVIEW

10.2.3 Снять ВАХ диода при изменении опции «температура окружающей среды».

10.2.4 Для экспериментального получения ВАХ диода на макетной плате из набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 10.2.

Постоянное напряжение на вход схемы подаётся от генератора ГН1 блока управления К32. Прямое падение напряжения на диоде U_{np} поступает на дифференциальный канал АИ1, а напряжение на ограничивающем резисторе $R1$ на дифференциальный канал АИ2 устройства сбора данных

NI USB-6009. Для определения тока I_{np} необходимо применить закон Ома:

$$I_{np} = \frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{U_{ГН1} - U_{np}}{R_1},$$

что реализовано на блок-диаграмме виртуального прибора (рисунок 10.3). Считывание напряжений осуществляется блоком «DAQ Assistant». ВАХ формируется с помощью блоков «Build XY Graph» и «XY Graph» и отображается в виде, представленном на рисунке 10.3.

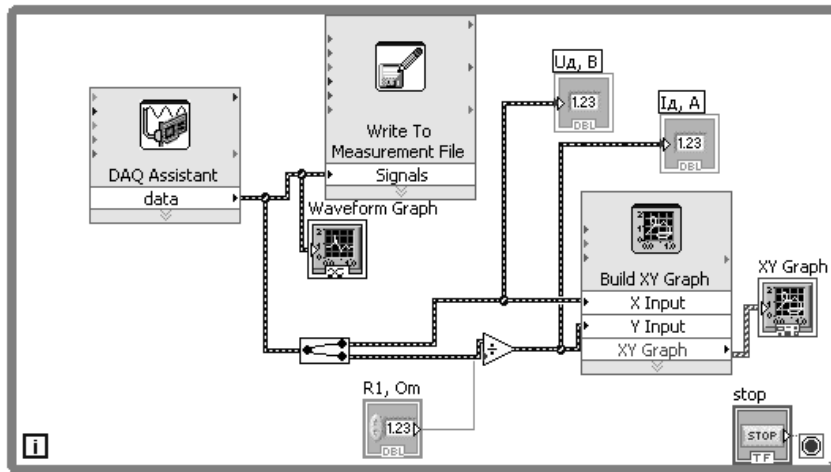


Рисунок 10.3 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального снятия характеристик

10.2.5 По полученным ВАХ диода определить:

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

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

– обратное статическое сопротивление диода при обратном напряжении, равном $0,5 U_{обр \max}$:

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

– прямое дифференциальное сопротивление диода:

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

Результаты занести в таблицу 10.2.

Таблица 10.2 – Результаты измерений

Способ исследования	Результаты измерений						Результаты вычислений		
	U_{np} , В	I_{np} , мА	$U_{обр}$, В	$I_{обр}$, мА	ΔU_{np} , В	ΔI_{np} , мА	R_{np} , Ом	$R_{обр}$, Ом	$R_{диф}$, Ом
Моделирование									
Эксперимент									

Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты со справочными данными.

10.2.6 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчёта

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

Контрольные вопросы

- 1 Что представляют собой полупроводниковые приборы?
- 2 Какие полупроводниковые материалы используются в диодах?
- 3 Где используются полупроводниковые диоды?
- 4 Объясните принцип работы $p-n$ -перехода.
- 5 Что такое вольт-амперная характеристика (ВАХ)?

11 Исследование характеристик биполярного транзистора

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

11.1 Задание к лабораторной работе

На основании заданного преподавателем типа транзистора необходимо рассчитать сопротивление ограничивающих резисторов R_1 , R_2 (рисунок 11.1) с учётом обеспечения тока коллектора $I_k < 0,5 I_{k \max}$. Параметры транзистора взять из электронного справочника *INQUIRY.EXE*, заполнить таблицу 11.1.

Таблица 11.1 – Исходные данные

Тип транзистора	Параметры источников ЭДС		Параметры транзистора и ограничивающих резисторов				
	$E_1, В$	$E_2, В$	$I_{k \max}, мА$	$U_{кэ \max}, В$	$h_{21 \varepsilon}$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$

11.2 Порядок выполнения работы

11.2.1 Для построения вольт-амперных входной и выходной характеристик биполярного транзистора ($n-p-n$) в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 11.1.

Транзистор выбирается из библиотеки элементов согласно заданию. На базу подается напряжение от источника ЭДС-1 E_1 , который задает ток базы I_b , измеряемый амперметром А1. Напряжение эмиттер-коллектор задается источником ЭДС-2 E_2 , ток в цепи коллектора измеряется амперметром А2, напряжение – вольтметром В1. Выходную ВАХ можно получить с помощью характериографа ХИВ1.

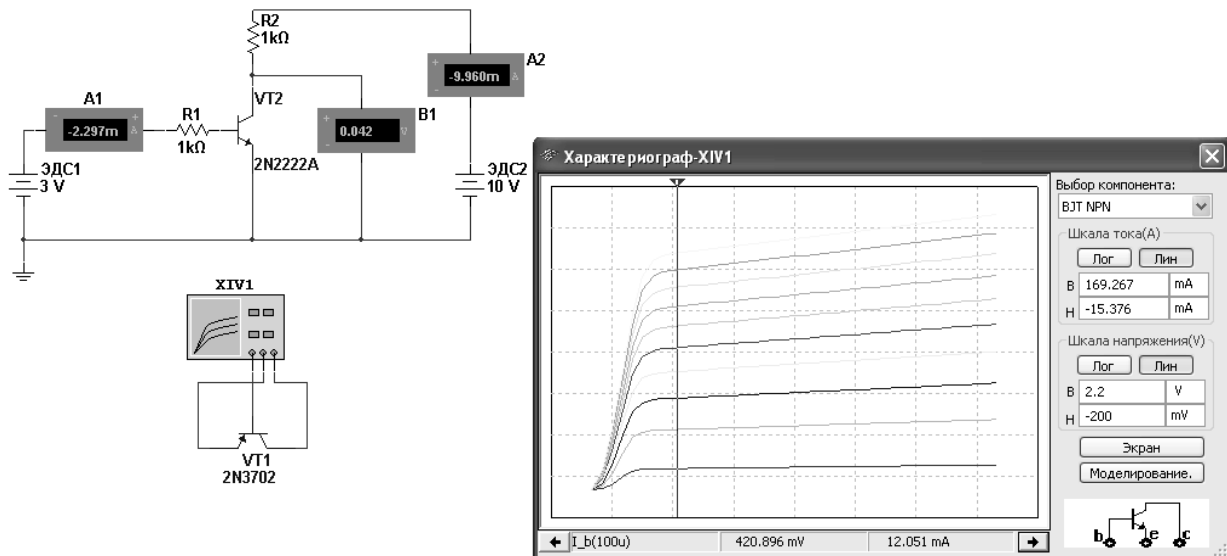


Рисунок 11.1 – Схема для снятия входных и выходных ВАХ биполярного транзистора в среде Multisim

11.2.2 Для экспериментального получения характеристик биполярного транзистора на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 11.2.

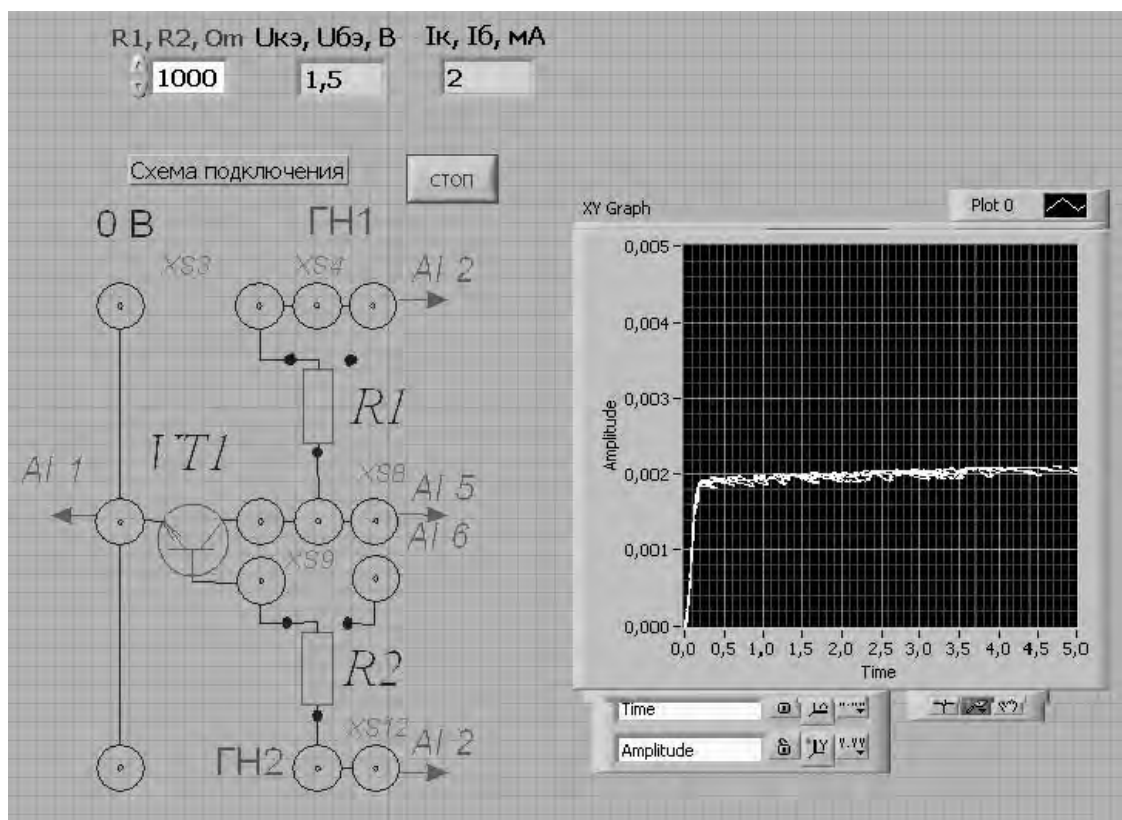


Рисунок 11.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования параметров биполярного транзистора в среде LabVIEW

Постоянное напряжение на вход схемы подаётся от генератора ГН1 блока управления К32 и снимается каналом AI2 устройства сбора данных NI USB-6009. Напряжение $U_{кэ}$ поступает на канал AI1. Для определения тока коллектора I_k необходимо применить закон Ома:

$$I_k = \frac{U_{R_2}}{R_2}.$$

Ток на базу транзистора поступает с генератора ГН2 через резистор R_3 . ВАХ отображается в виде, представленном на рисунке 11.2.

11.2.3 Снять ВАХ биполярного транзистора для нескольких значений тока базы I_b , сравнить их с полученными при моделировании.

11.2.4 Для того чтобы снять входные характеристики (зависимость I_b от $U_{бэ}$), необходимо в схеме сделать следующие изменения: канал AI2 устройства сбора данных NI USB-6009 подключить к генератору ГН2 (гнездо XS12), канал AI6 – к гнезду XS8, изменить в формуле для закона Ома R_1 на R_2 (снимаем ток базы), канал AI1 подключить к гнезду XS3.

11.2.5 Снять входные ВАХ биполярного транзистора для нескольких значений напряжения $U_{кэ}$, сравнить их с полученными при моделировании.

11.2.6 Воспользовавшись графиками семейств входных и выходных ВАХ, определить h -параметры биполярного транзистора. Заполнить таблицу 11.2.

Таблица 11.2 – h -параметры биполярного транзистора

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

11.2.7 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчёта

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

Контрольные вопросы

- 1 Какие типы транзисторов Вы знаете? В чём заключаются их принципиальные отличия?
- 2 От чего зависит ток коллектора биполярного транзистора?
- 3 Какое условие необходимо выполнить, чтобы перевести транзистор в режим отсечки?
- 4 Какую роль играют параллельно соединённые резистор и конденсатор в цепи эмиттера?

12 Исследование характеристик полевых транзисторов с управляющим переходом и изолированным затвором

Цель работы: получение стокзатворных, выходных характеристик и параметров полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и изолированным затвором.

12.1 Задание к лабораторной работе

На основании заданного преподавателем типа транзисторов необходимо рассчитать сопротивление ограничивающих резисторов R_1 , R_2 (рисунок 12.1) с учётом обеспечения тока стока $I_c < 0,5 I_{c \max}$. Параметры транзистора взять из электронного справочника *INQUIRY.EXE*. Заполнить таблицу 12.1.



Таблица 12.1 – Исходные данные

Тип транзистора	Параметры источников ЭДС		Параметры транзистора и ограничивающих резисторов					
	E_1 , В	E_2 , В	$I_{c \max}$, мА	$U_{cu \max}$, В	$U_{zu \max}$, В	S , мА/В	R_1 , Ом	R_2 , Ом

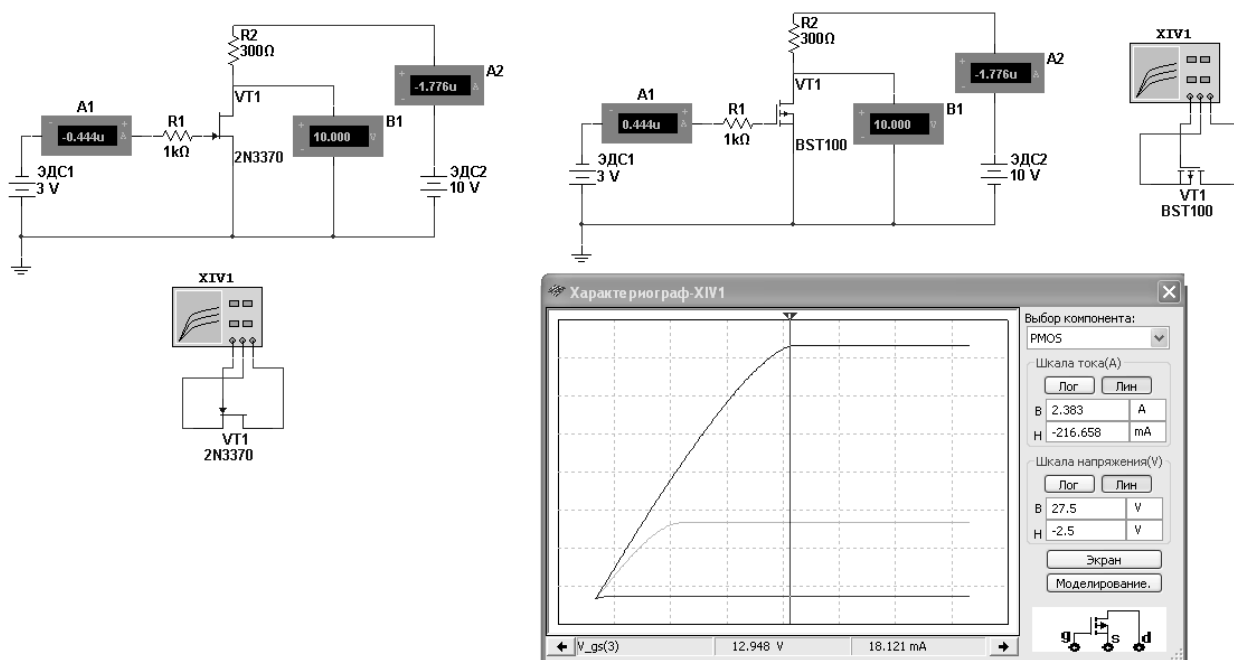


Рисунок 12.1 – Схемы для снятия стокзатворной и выходных ВАХ полевых транзисторов с управляющим p - n -переходом и изолированным затвором в среде Multisim

12.2 Порядок выполнения работы

12.2.1 Для построения вольт-амперных стокзатворной и выходной характеристик полевых транзисторов (n - p - n) в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 12.1.

Транзистор выбирается из библиотеки элементов согласно заданию. На затвор подается напряжение от источника ЭДС-1, который задает ток затвора I_z , измеряемый амперметром А1. Напряжение сток-исток задается источником ЭДС-2, ток в цепи стока измеряется амперметром А2, напряжение – вольтметром В1. Выходную ВАХ можно получить с помощью характерографа.

12.2.2 Для экспериментального получения характеристик полевого транзистора на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 12.2.

Постоянное напряжение на вход схемы подается от генератора ГН1 блока управления К32 и снимается каналом А12 устройства сбора данных NI USB-6009. Напряжение сток-исток U_{cu} поступает на канал А11. Для определения тока стока I_c необходимо применить закон Ома:

$$I_{\kappa} = \frac{U_{R_2}}{R_2}.$$

Ток на затвор транзистора поступает с генератора ГН2 через резистор R3. ВАХ отображается в виде, представленном на рисунке 12.2.

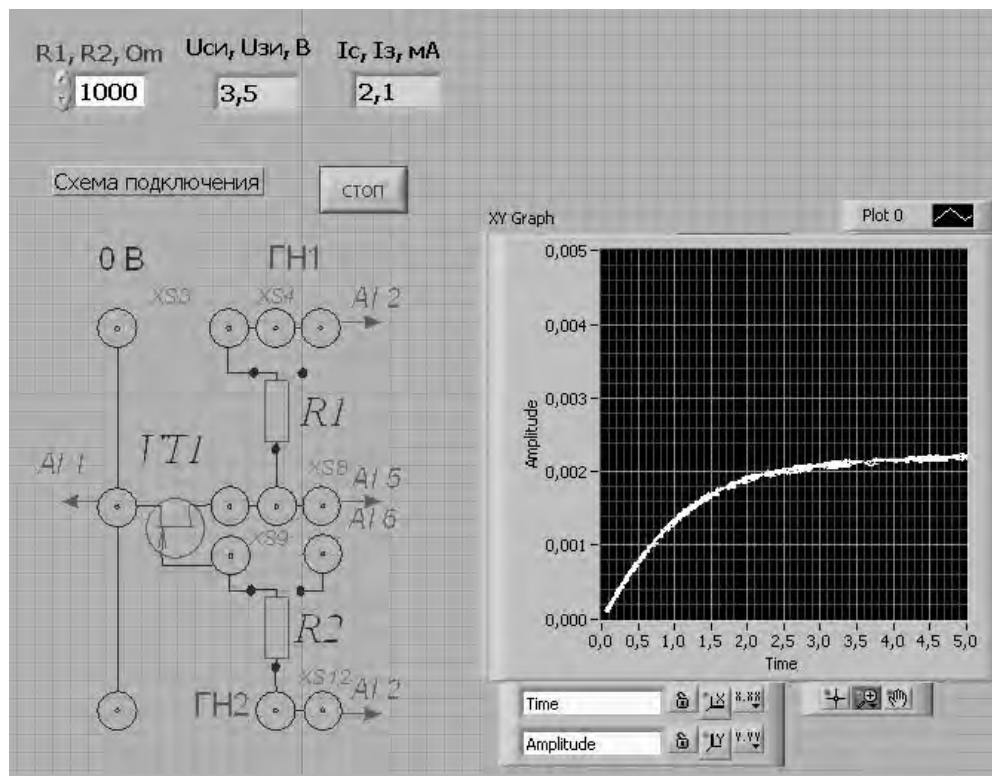


Рисунок 12.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования параметров биполярного транзистора в среде LabVIEW

12.2.3 Снять выходные ВАХ полевого транзистора для нескольких значений тока затвора I_3 , сравнить их с полученными при моделировании.

12.2.4 Снять стокзатворные ВАХ полевого транзистора для нескольких значений напряжения $U_{си}$, сравнить их с полученными при моделировании.

12.2.5 Определить статические параметры полевого транзистора S_i , R_i , μ_i и проверить соотношение между ними. Заполнить таблицу 12.2.

Таблица 12.2 – Параметры полевого транзистора

Способ исследования	Результаты вычислений		
	S_i , мА/В	R_i , кОм	μ_i
Моделирование			
Эксперимент			

12.2.6 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчёта

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

Контрольные вопросы

- 1 Какие типы транзисторов Вы знаете? В чём заключаются их принципиальные отличия?
- 2 Объясните суть передаточных характеристик полевых транзисторов.
- 3 Почему процесс усиления по току не осуществляется в схеме включения транзистора с общей базой?
- 4 Объясните принцип работы полевого транзистора с $p-n$ - переходом.
- 5 Изобразите и поясните статические стоковые характеристики полевых транзисторов.

13 Исследование работы усилительного каскада на биполярном транзисторе

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

13.1 Задание к лабораторной работе

На основании заданного преподавателем типа транзистора, параметров усилителя произвести расчёт элементов схемы (рисунок 13.1) и осуществить их выбор.

Заполнить таблицу с исходными данными, используя справочную информацию.

Таблица 13.1 – Исходные данные

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

Продолжение таблицы 13.1

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



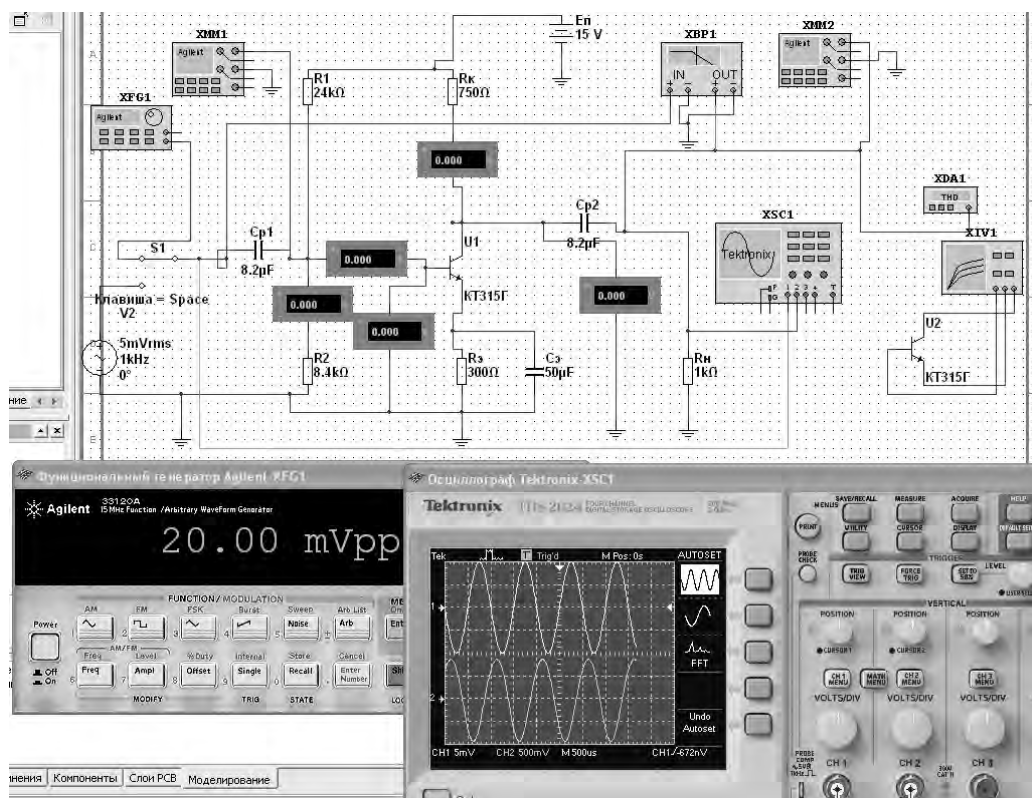


Рисунок 13.1 – Схема усилительного каскада в среде Multisim

13.2 Порядок выполнения работы

13.2.1 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы усилителя в программе Multisim, построив модели согласно рисунку 13.1. Напряжения и токи в схемах отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа Tektronix-XSC1. Входной сигнал формируется функциональным генератором Agilent-XFG1.

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

13.2.2 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_{ex} , коэффициенты усиления K_i , K_u , K_p .

13.2.3 Подать на вход усилительного каскада переменный синусоидальный сигнал с амплитудой, не превышающей $U_{mБ}$. Снять осциллограмму выходного сигнала. Измерить параметры усилителя в режиме переменного сигнала (свойство прибора «AC»). Заполнить таблицу 13.2 (моделирование).

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

13.2.5 Исследовать влияние R_n , C_3 на амплитуду выходного сигнала.

13.2.6 С помощью плоттера Боде 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 13.2 (моделирование).

13.2.7 Для экспериментального исследования усилительного каскада на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 13.2. На вход схемы подавать синусоидальное напряжение от генератора $U_{ГЧ1}$. Блок-диаграмма виртуального прибора для снятия характеристик в среде LabVIEW приведена на рисунке 13.3. Выделение действующего значения входного и выходного напряжений $U_{вх}$, $U_{вых}$ осуществляется блоком «Amplitude and Level Measurements». Спектр выходного сигнала для определения коэффициента нелинейных искажений (коэффициента гармоник) выделяется блоком «Spectral Measurements».

Таблица 13.2 – Результаты исследования усилительного каскада

Способ исследований	Результаты измерений								
	R_n , В	C_3 , мкФ	$U_{вх}$, мВ	$I_{вх}$, мА	U_n , В	I_n , мА	K_T , %	f_n , кГц	f_v , кГц
Моделирование									
Эксперимент									

Продолжение таблицы 13.2

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

13.2.8 Определить основные параметры усилительного каскада. Результаты занести в таблицу 13.2 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

13.2.9 Сделать выводы по результатам работы.

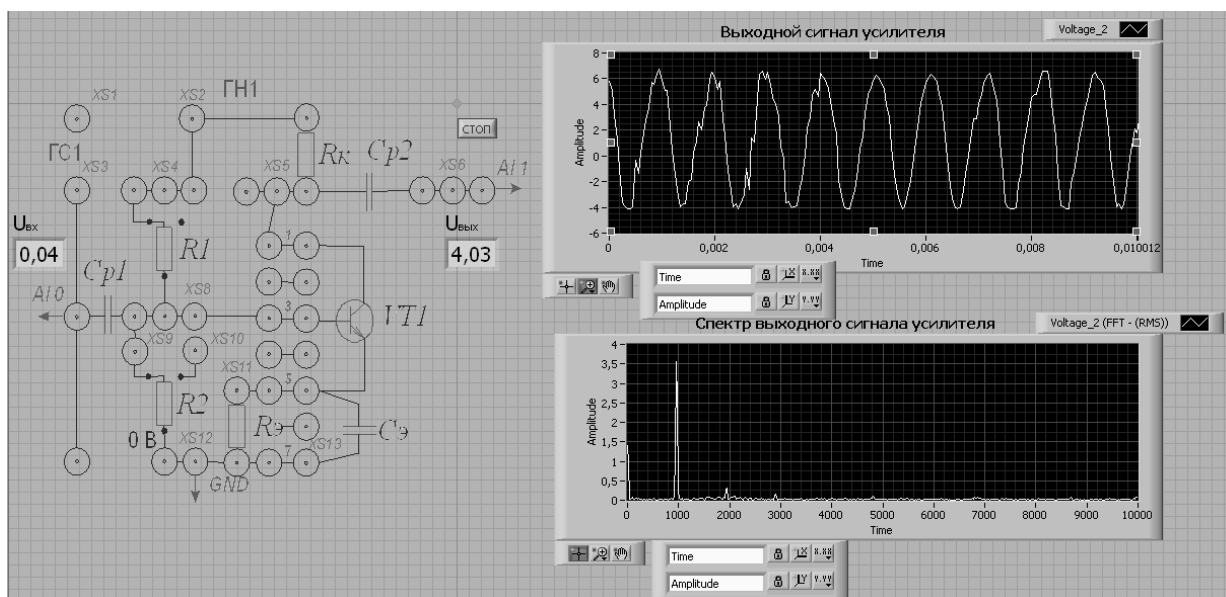


Рисунок 13.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования усилительного каскада в среде LabVIEW

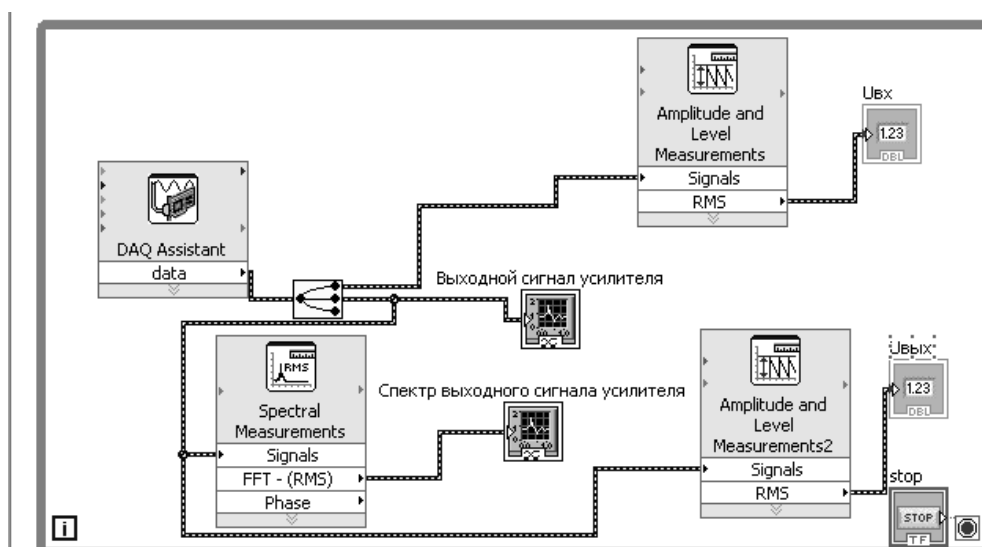


Рисунок 13.3 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального исследования усилительного каскада на биполярном транзисторе

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, осциллограммы входных и выходных напряжений, входные и выходные характеристики биполярного транзистора, АЧХ усилителя, основные параметры усилителя в виде таблицы, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Какие факторы определяют усилительные свойства транзистора?
- 2 Какими отличительными особенностями характеризуются три схемы включения транзистора?
- 3 Какова разность фаз между входными и выходными синусоидальными сигналами в усилителе с общим эмиттером, общей базой, общим истоком?
- 4 На чём основан принцип термостабилизации рабочей точки транзисторного каскада?

14 Исследование характеристик и параметров операционного усилителя

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

14.1 Порядок выполнения работы

14.1.1 Определить коэффициент усиления заданного преподавателем операционного усилителя без обратной связи в программе Multisim. Для этого необходимо собрать схему, представленную на рисунке 14.1.

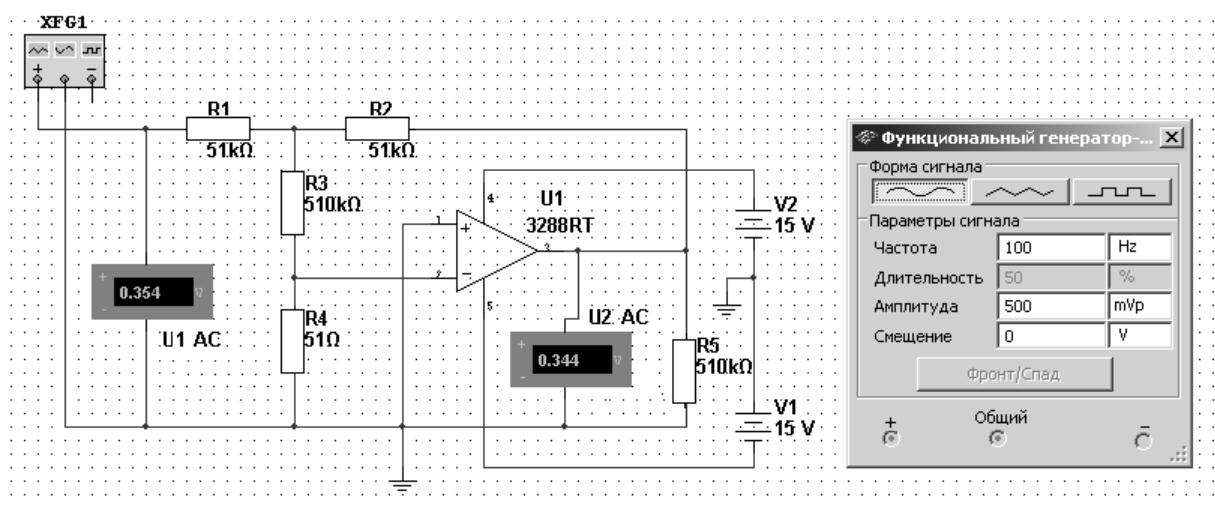


Рисунок 14.1 – Схема для измерения коэффициента усиления ОУ без обратной связи в среде Multisim

Коэффициент усиления вычислить по формуле

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

14.1.2 Определить входное сопротивление операционного усилителя R_{ex} , собрав схему, представленную на рисунке 14.2.

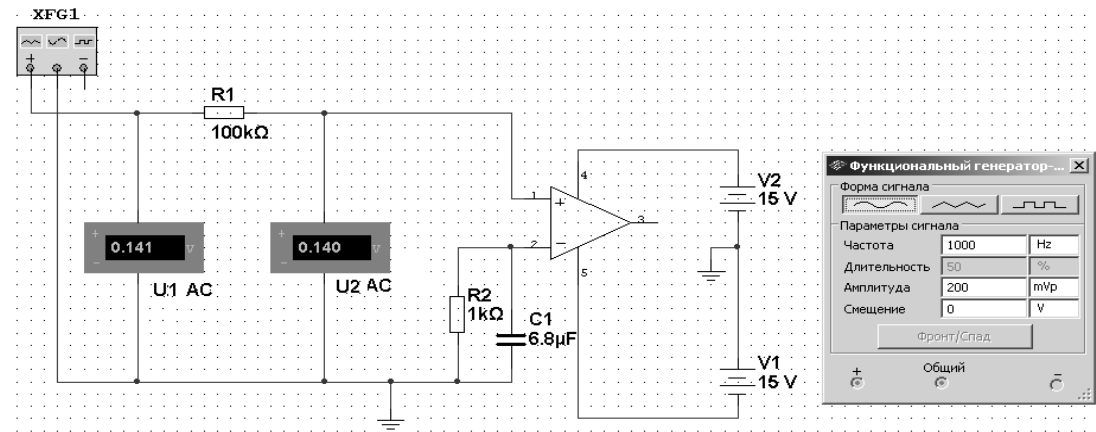


Рисунок 14.2 – Схема для измерения входного сопротивления ОУ в среде Multisim

Формула для определения входного сопротивления

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

14.1.3 Для экспериментальной проверки правильности определения K_U на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 14.3. Блок-диаграмма виртуального прибора представлена на рисунке 14.4.

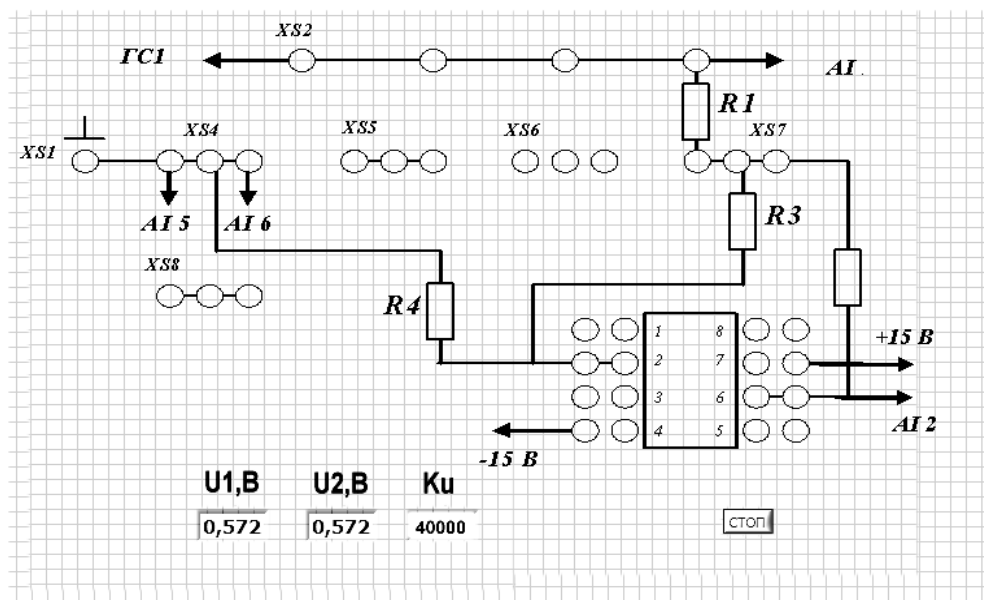


Рисунок 14.3 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования коэффициента ОУ в среде LabVIEW

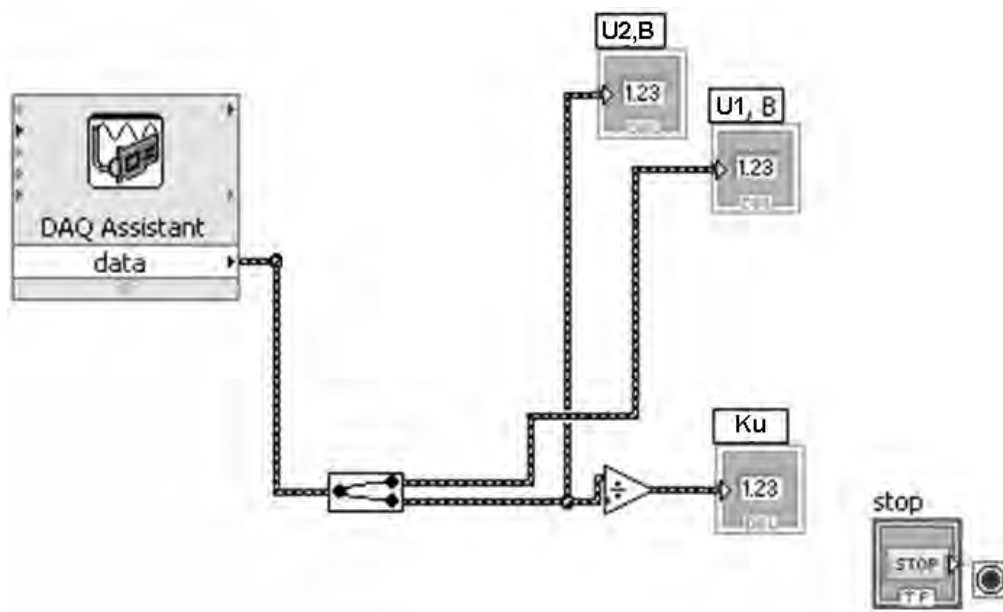


Рисунок 14.4 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального исследования ОУ

14.1.4 Определить основные параметры операционного усилителя. Результаты занести в таблицу 14.1. Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

Таблица 14.1 – Результаты исследований

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

14.1.5 Сделать выводы по результатам работы.

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 14.1, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Что представляет собой операционный усилитель?
- 2 Какие внешние условия влияют на работу ОУ?
- 3 Приведите порядок величины коэффициента усиления ОУ.
- 4 Где используются ОУ?
- 5 Приведите основные характеристики ОУ.

15 Исследование схем на основе операционных усилителей

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

15.1 Порядок выполнения работы

15.1.1 На основании заданного преподавателем типа операционного усилителя, пользуясь справочником заполнить таблицу 15.1.

Таблица 15.1 – Параметры ОУ

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

15.1.2 По заданным параметрам заполнить таблицу 15.2 и произвести расчет устройств (рисунок 15.1). Резисторы выбрать из ряда E24.

Таблица 15.2 – Результаты расчета

Тип ОУ	Заданные параметры (рисунок 15.1, а)		Заданные параметры (рисунок 15.1, б)		Заданные параметры (рисунок 15.1, в)			
	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 15.2

Рассчитанные параметры					
(рисунок 16.1, а)		(рисунок 16.1, б)		(рисунок 16.1, в)	
R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом

15.1.3 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы устройств, представленных на рисунке 15.1, в программе Multisim, построив их модели. Напряжения и осциллограммы в схемах отображаются с помощью виртуальных вольтметров и осциллографа. Входной сигнал формируется функциональным генератором.

Для отображения параметров усилителя по постоянному току в свойствах измерительных приборов установить «DC», при измерении переменных сигналов установить «AC». Результаты моделирования для неинвертирующего усилителя занести в таблицу 15.3 (моделирование).

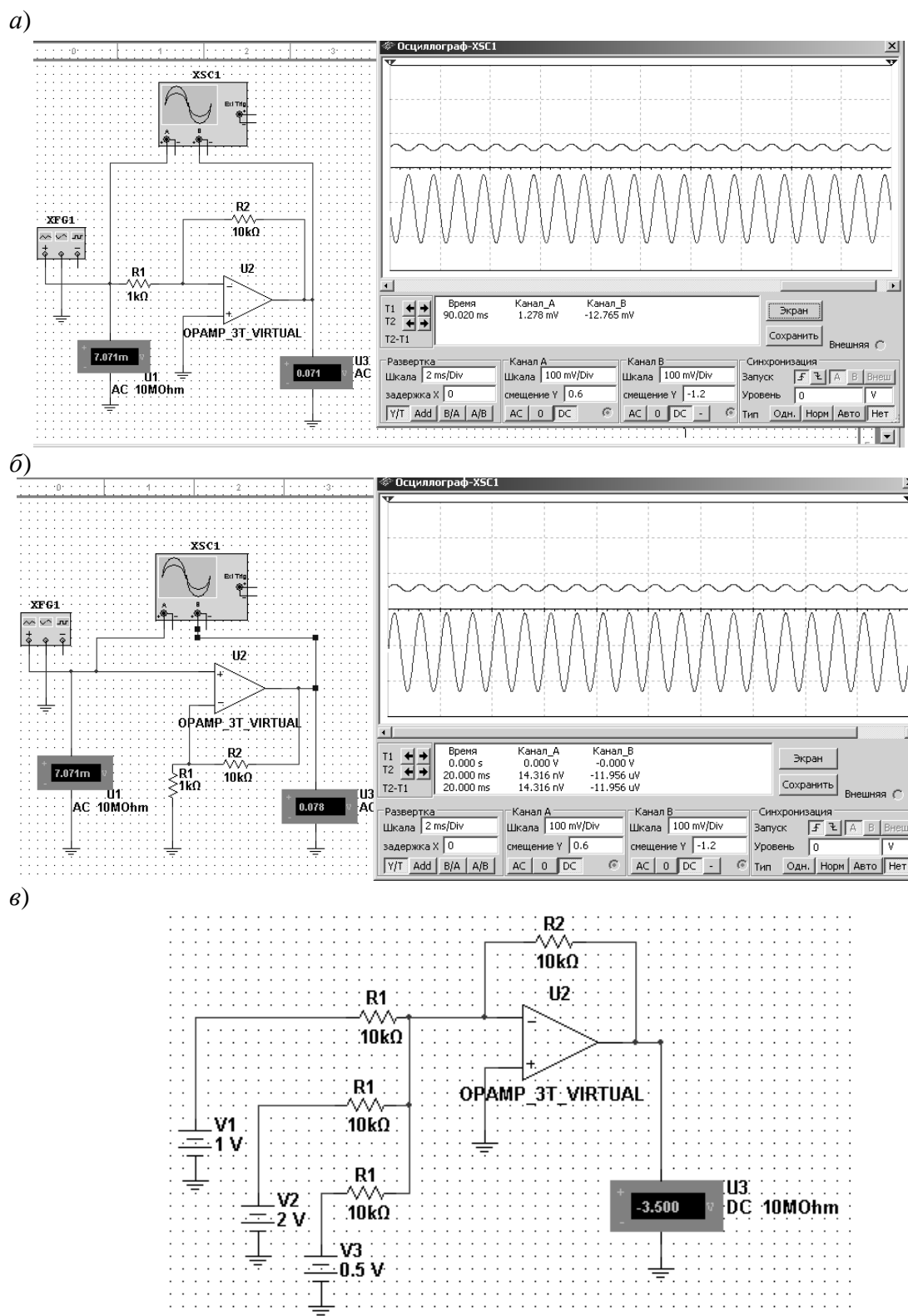


Рисунок 15.1 – Схемы инвертирующего усилителя (а), неинвертирующего усилителя (б) и сумматора (в) в среде Multisim

Снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) неинвертирующего усилителя, изменяя частоту входного сигнала или воспользовавшись плоттером Боде (Bode Plotter XBP1). 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.

15.1.4 Экспериментально исследовать неинвертирующий усилитель на базе заданного преподавателем ОУ. Для этого на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 15.2. На вход схемы подавать синусоидальное напряжение от генератора $U_{ГЧ1}$. Блок-диаграмма виртуального прибора для снятия характеристик в среде LabVIEW представлена на рисунке 15.3. Выделение действующего значения входного и выходного напряжений $U_{вх}$, $U_{вых}$ осуществляется блоком «Amplitude and Level Measurements».

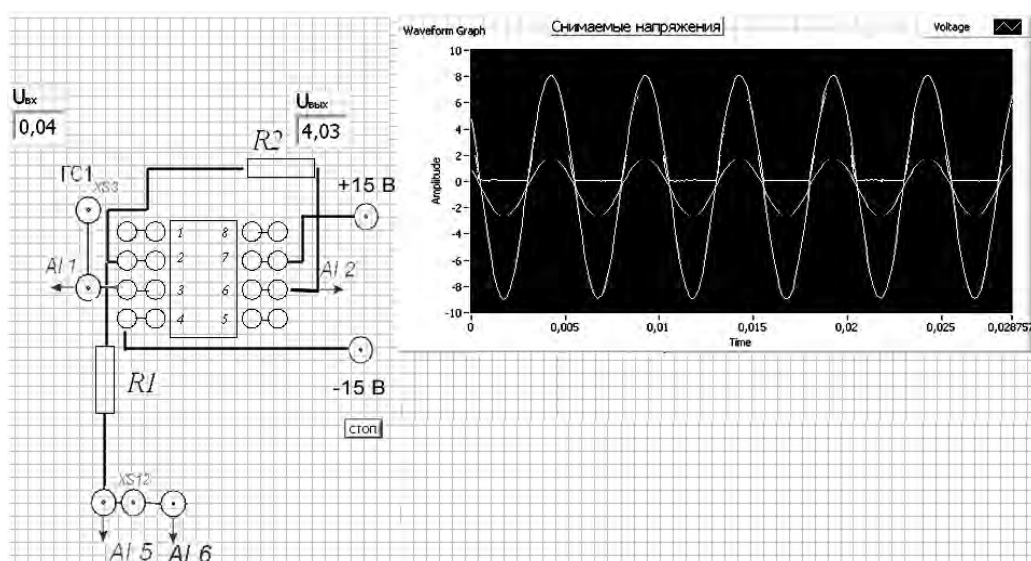


Рисунок 15.2 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ в среде LabVIEW

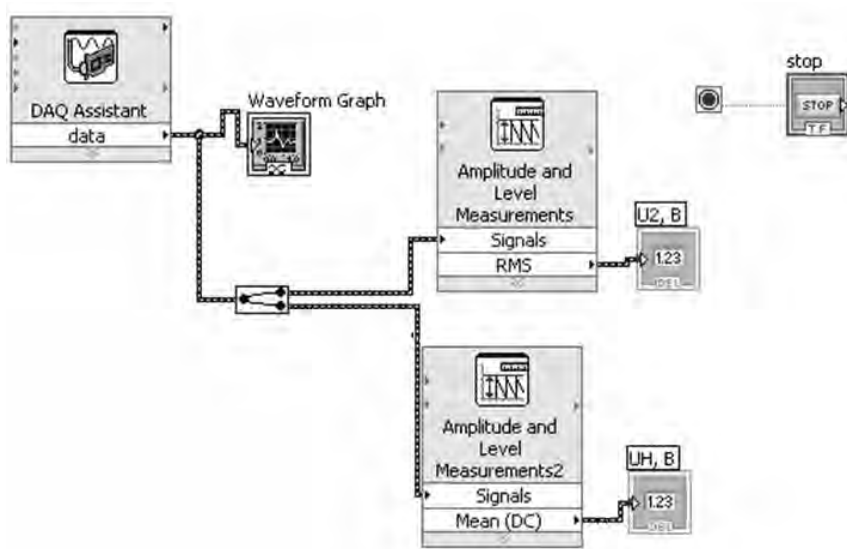


Рисунок 15.3 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ

Определить основные параметры усилительного каскада. Результаты занести в таблицу 15.3 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

Таблица 15.3 – Результаты моделирования и эксперимента

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

15.1.5 Сделать выводы по результатам работы.

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 Какие типы усилителей, использующих ОУ, Вам известны?
- 2 По каким соотношениям необходимо рассчитывать эти схемы?
- 3 Какие основные ОУ Вы можете назвать?
- 4 Что такое амплитудно-частотная характеристика ОУ?
- 5 Какая функция характеризует зависимость напряжения выходного сигнала от напряжения входного сигнала?

16 Исследование работы однофазных неуправляемых выпрямителей

Цель работы: изучение принципа функционирования, методик расчёта, характеристик и параметров неуправляемых выпрямителей.

16.1 Основные теоретические сведения

Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения переменной составляющей на выходе выпрямителя до величины, при которой обеспечивается нормальная работа питаемого устройства.

Принцип работы сглаживающих фильтров основан на использовании элементов, имеющих различную проводимость для постоянного и переменного токов.

Показателем качества сглаживающих фильтров служит коэффициент сглаживания пульсаций $k_{сг}$, равный отношению коэффициентов пульсаций на входе $k_{н\text{ вх}}$ и выходе (нагрузке) k_n фильтра: $k_{сг} = k_{н\text{ вх}} / k_n$.

Для емкостного фильтра при $R_n \gg 1/(m \cdot f \cdot C)$ можно найти изменение напряжения за период пульсаций T/m и коэффициент пульсаций:

$$U_{m1n} = \frac{1}{2 \cdot C} \int_0^{T/m} I_n dt = \frac{I_n \cdot T}{2 \cdot m \cdot C} = \frac{U_n}{2 \cdot m \cdot C \cdot f \cdot R_n};$$

$$k_n = \frac{U_{m1n}}{U_n} = \frac{1}{2 \cdot m \cdot C \cdot f \cdot R_n}.$$

16.2 Задание к лабораторной работе

На основании заданных параметров нагрузки и сглаживающего фильтра (таблица 16.1), используя диоды, исследованные в лабораторной работе № 10, произвести расчёт параметров выпрямителей (рисунки 16.1–16.3).

Таблица 16.1 – Параметры для разных типов схем

Тип схемы	m	U_2/U_n	I_2/I_n	$K_{н1}$	$S_{мп}/P_n$	I_0/I_n	$U_{обр\text{ max}}/U_0$
Однополупериодная	1	2,22	1,57	1,57	3,1	1	3,14
Двухполупериодная со средней точкой трансформатора	2	1,11	0,79	0,667	1,48	0,5	3,14
Мостовая однофазная	2	1,11	1,11	0,667	1,23	0,5	1,57
Мостовая трёхфазная	6	0,427	0,82	0,057	1,05	0,33	1,05

16.3 Порядок выполнения работы

16.3.1 Рассчитать параметры выпрямителей: однофазного однополупериодного, двухполупериодного со средней точкой трансформатора, двухполупериодного мостового. Заполнить таблицу 16.2.

16.3.2 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы выпрямителей в программе Multisim, построив их модели согласно рисункам 16.1–16.3. Напряжения и токи в схемах отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа Tektronix-XSC1.



Таблица 16.2 – Исходные данные

Схема выпрямления	Тип диодов	Заданные параметры				
		U_1 , В	U_n , В	R_n , Ом	C_ϕ , мкФ	f , Гц
Однофазная однополу- периодная						
Двухполупериодная						
Мостовая						

Продолжение таблицы 16.2

Рассчитанные параметры									
U_2 , В	k_{mp}	I_2 , А	P_n , Вт	$P_{n\text{ ср}}$, Вт	P_2 , Вт	k_n	$k_{сг}$	I_d , А	$U_{обр}$, В

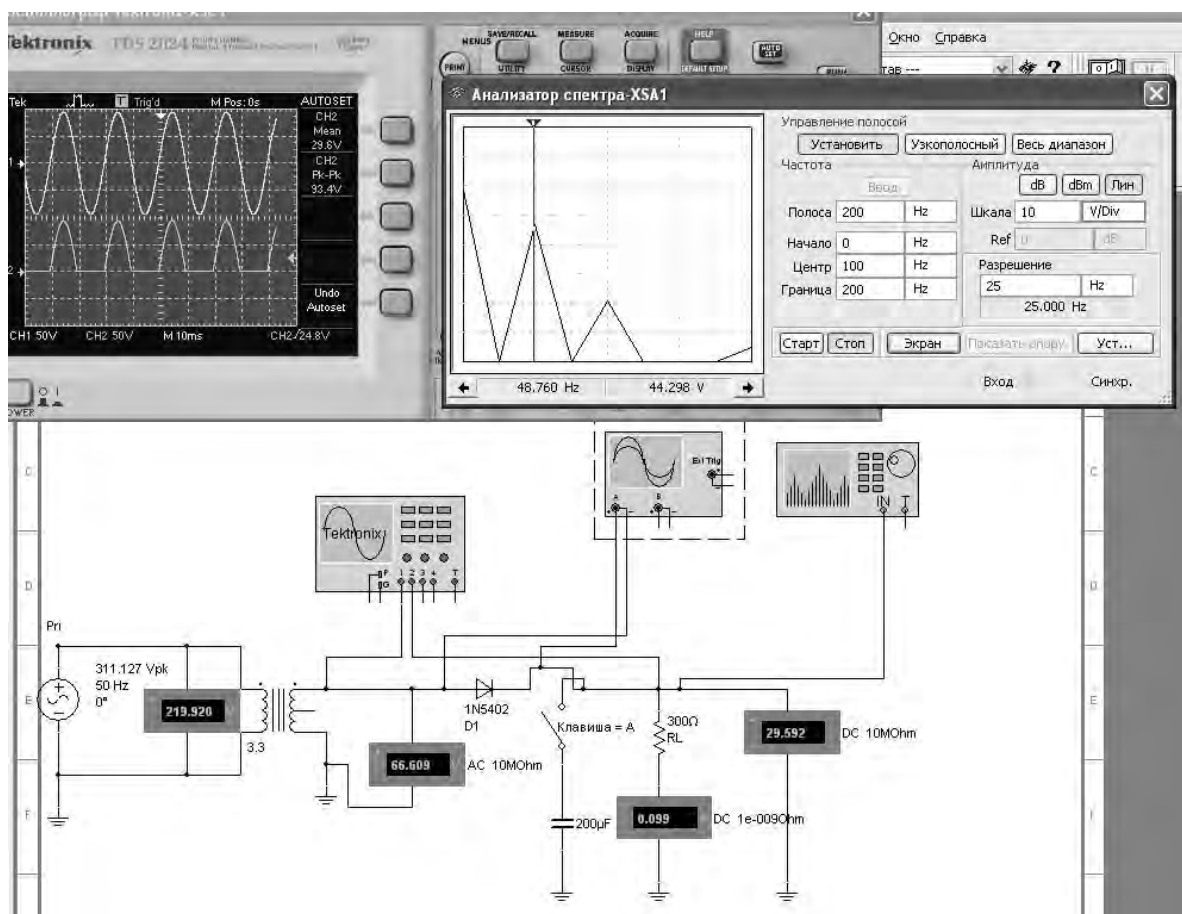


Рисунок 16.1 – Схема однофазного однополупериодного выпрямителя в среде Multisim

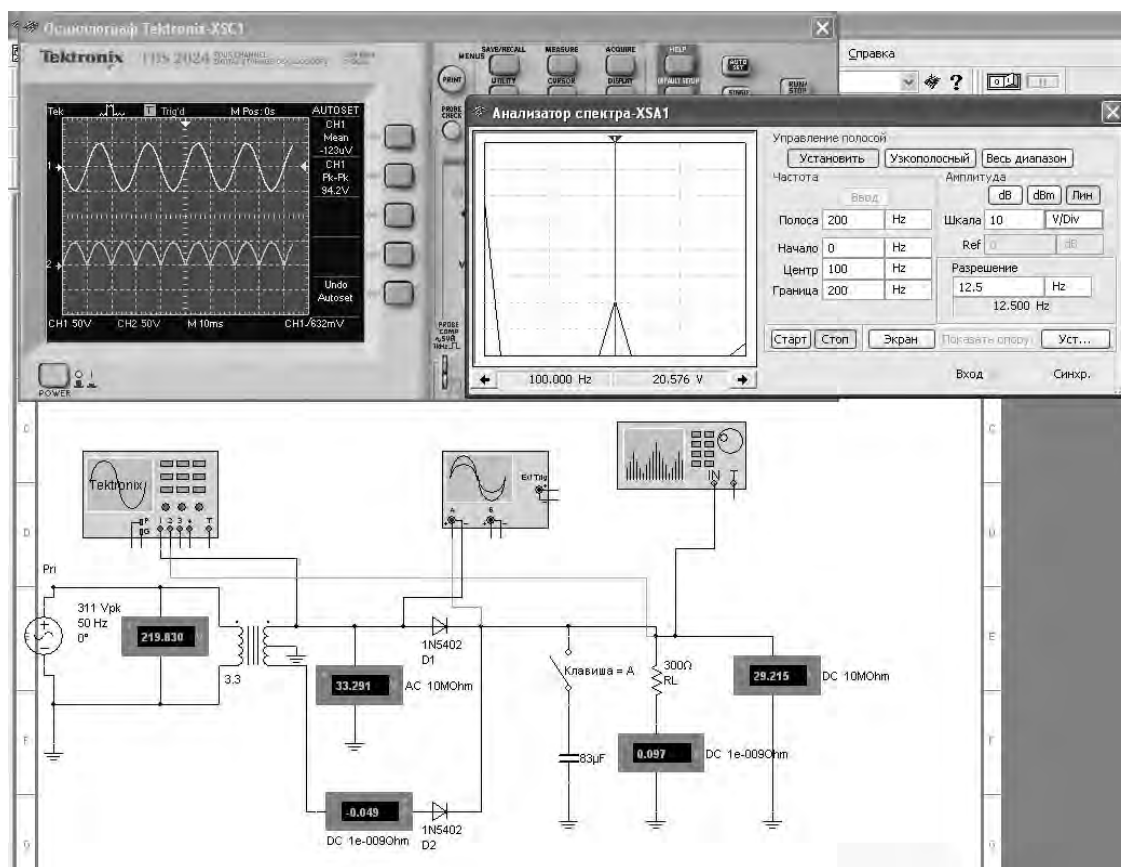


Рисунок 16.2 – Схема двухполупериодного выпрямителя со средней точкой трансформатора в среде Multisim

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

16.3.4 Измерить значение тока нагрузки I_n , тока через диод I_d и максимального обратного напряжения на диоде $U_{обр}$. Определить коэффициент пульсаций нагрузки с фильтром k_n и коэффициент сглаживания $k_{сг}$. Для определения амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения U_{m1} воспользоваться анализатором спектра XSA1.

Результаты занести в таблицу 16.3 (моделирование).

16.3.5 Для экспериментального исследования однофазного однополупериодного выпрямителя на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 16.4. На вход схемы подавать синусоидальное напряжение от генератора $U_{ГС1}$. Блок-диаграмма виртуального прибора для снятия характеристик приведена на рисунке 16.5. Выделение первой гармоники выпрямленного напряжения U_{m1} для определения коэффициента пульсаций k_n осуществляется блоком «Distortion Measurements».

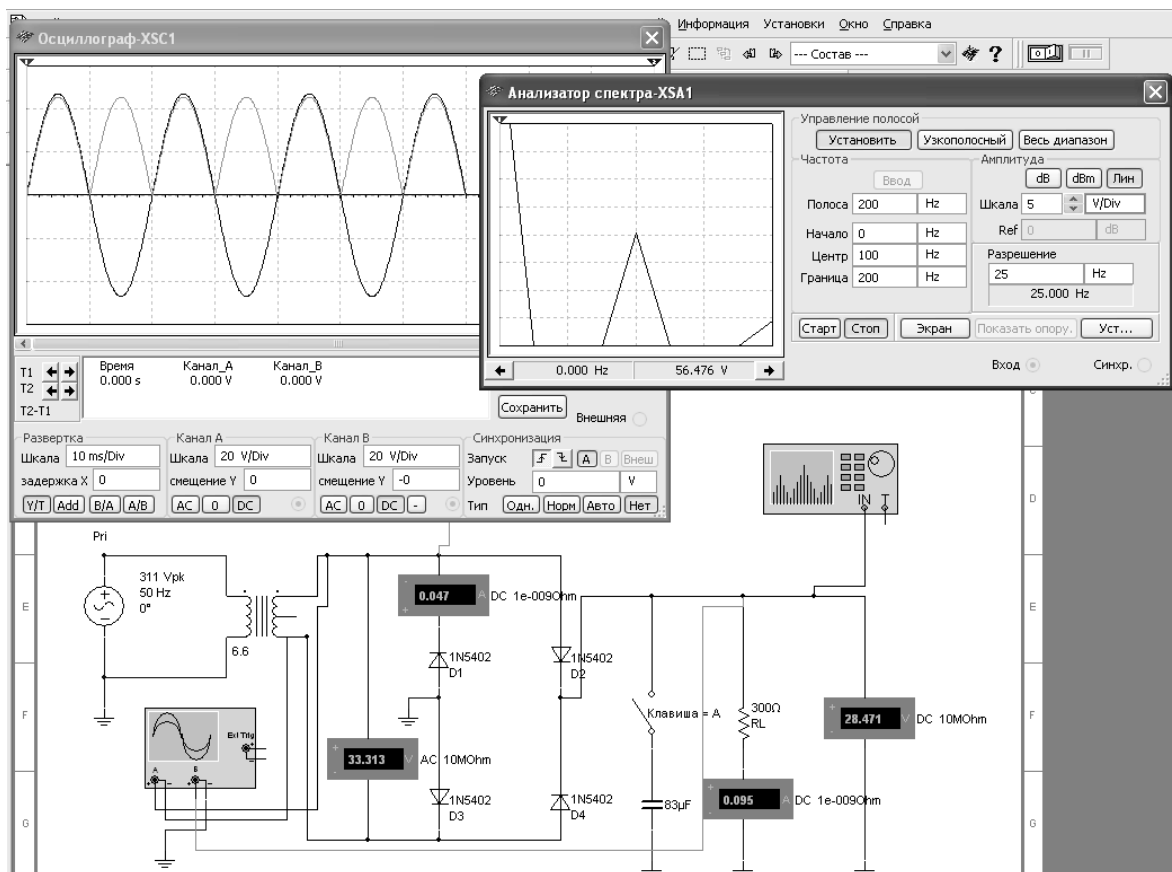


Рисунок 16.3 – Схема двухполупериодного мостового выпрямителя в среде Multisim

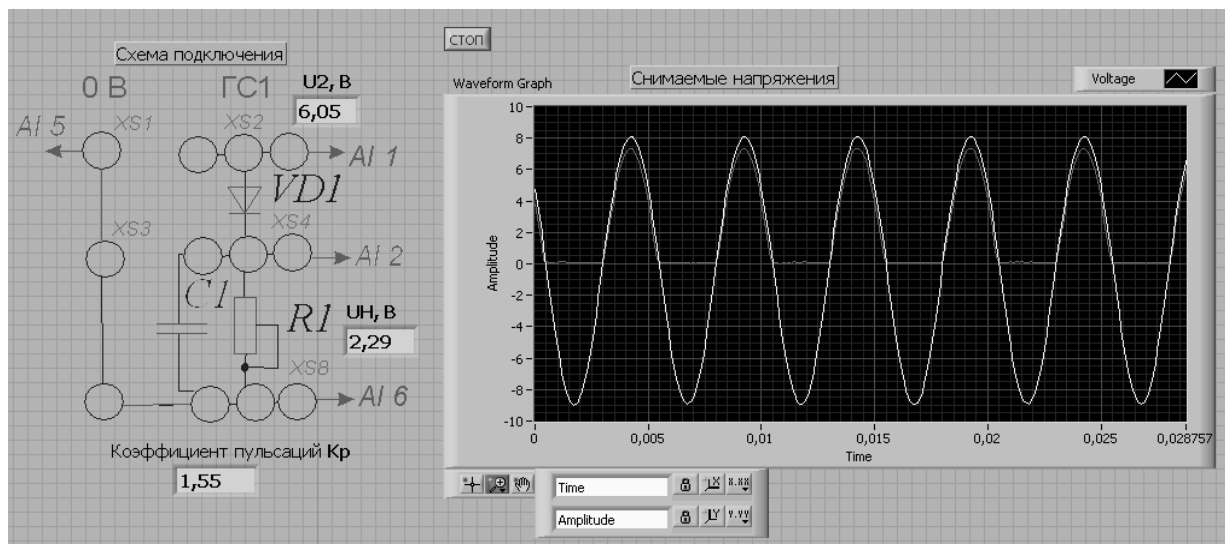


Рисунок 16.4 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования однополупериодного выпрямителя в среде LabVIEW

Таблица 16.3 – Результаты моделирования и эксперимента

Схема выпрямления	Способ исследования	Результаты измерений					Результаты вычислений	
		U_2 , В	I_n , мА	U_n , В	I_d , мА	$U_{обр}$, В	k_u	$k_{сг}$
Однофазная однополупериодная	Моделирование							
	Эксперимент							
Двухполупериодная со средней точкой трансформатора	Моделирование							
	Эксперимент	–	–	–	–	–	–	–
Двухполупериодная мостовая	Моделирование							
	Эксперимент							

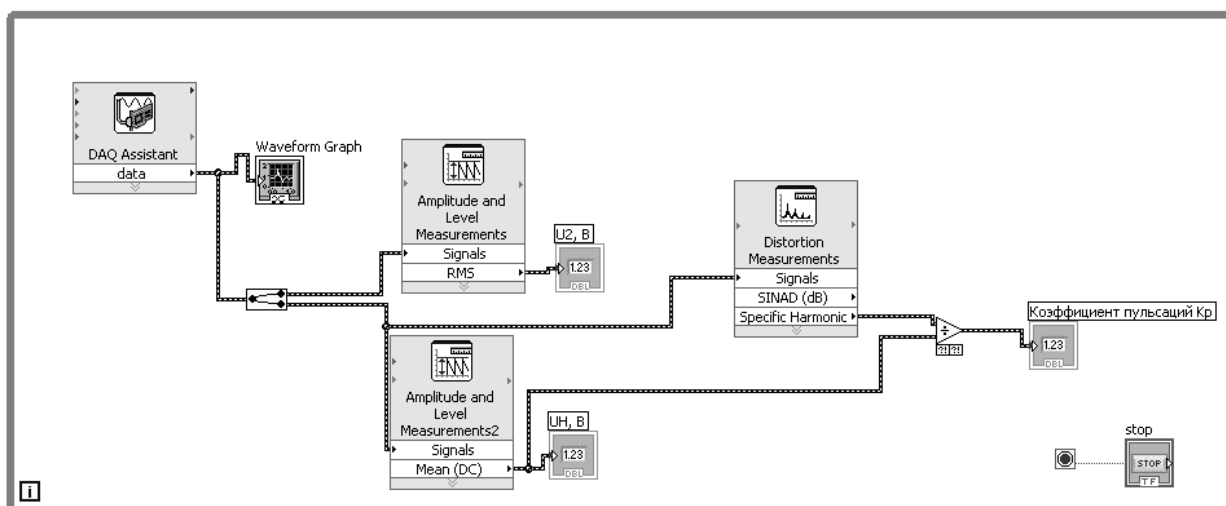


Рисунок 16.5 – Блок-диаграмма виртуального прибора в LabVIEW для экспериментального снятия характеристик однополупериодного выпрямителя

16.3.6 Для экспериментального исследования двухполупериодного выпрямителя на макетной плате из полученного набора элементов собрать схему, приведенную на рисунке 16.6.

16.3.7 Определить основные параметры выпрямителей. Результаты занести в таблицу 16.3 (эксперимент). Сравнить результаты моделирования, экспериментальные результаты с расчётными данными.

16.3.8 Сделать выводы по результатам работы.

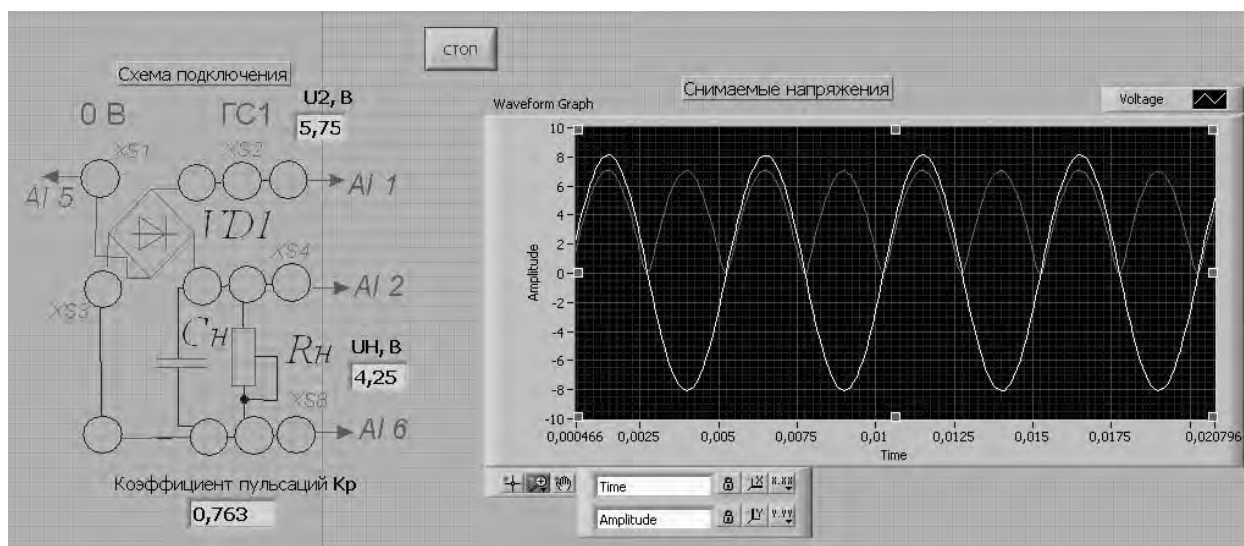


Рисунок 16.6 – Виртуальный прибор для экспериментального исследования двухполупериодного мостового выпрямителя в среде LabVIEW

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 Чем вызвана необходимость создания вторичных источников питания (ВИП)?
- 2 Приведите основные признаки классификации ВИП.
- 3 Назовите основные выходные характеристики ВИП.
- 4 Составьте структурную схему выпрямителя источника питания и определите назначение его функциональных узлов.
- 5 Сравните основные параметры неуправляемых одно- и двухполупериодных однофазных выпрямителей. Используя графики выходных напряжений, объясните разницу в значениях параметров.

17 Исследование параметров постоянных и переменных аналоговых сигналов

Цель работы: приобретение навыков работы с комплектом лабораторного оборудования, измерения основных параметров электрических сигналов.

17.1 Основные теоретические сведения

Токи и напряжения, действующие в электрических цепях, как материальные носители информации называются сигналами.

По характеру изменения во времени различают гармонические, периодические, негармонические и непериодические сигналы.

Выражения для гармонических напряжений и токов

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_u);$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i),$$

где U_m , I_m , ω , φ_u , φ_i – амплитуды, угловая частота и начальные фазы напряжения и тока

Кроме перечисленных параметров, гармонический сигнал характеризуется периодом повторения T и циклической частотой f . Между параметрами T , f , ω имеется следующая связь:

$$f = \frac{1}{T}; \omega = 2\pi \cdot f; T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

Период T измеряется в секундах, циклическая частота f – в герцах, угловая частота ω – в радианах в секунду.

Часто гармонические колебания характеризуются не только мгновенными значениями, но и их действующим и средним значениями.

Действующие значения гармонических колебаний определяются выражениями

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_m^2 \sin^2(\omega t + \varphi_u) dt} = \frac{u_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707U_m;$$

$$I \approx 0,707I_m.$$

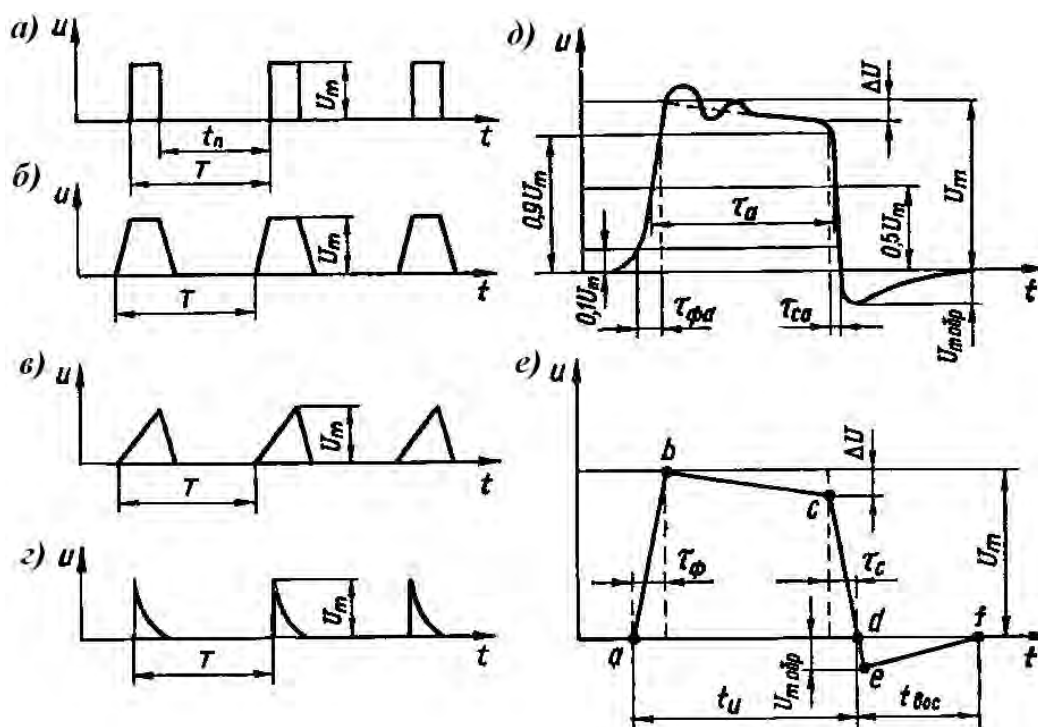
Средние значения гармонического тока и напряжения за период T определяются выражениями



$$I_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T I_m \sin(\omega t + \varphi_i) dt = 0;$$

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_m \sin(\omega t + \varphi_u) dt = 0.$$

Наряду с гармоническими сигналами, в электронике широко используются импульсные периодические сигналы. Наиболее часто в импульсных электронных схемах используются импульсы прямоугольной (рисунок 17.1, *a*), трапецеидальной (рисунок 17.1, *б*), линейно изменяющейся (треугольной) (рисунок 17.1, *в*) и экспоненциальной (рисунок 17.1, *г*) форм. Импульсы, форма которых приведена на рисунке 17.1, *a–г*, являются идеализированными. Форма реальных импульсов не является геометрически правильной из-за нелинейности характеристик полупроводниковых приборов и влияния реактивных сопротивлений в схемах. Поэтому реальные прямоугольные импульсы, наиболее часто используемые в практических импульсных устройствах, имеют форму, иллюстрируемую рисунком 17.1, *д*. Участки быстрого нарастания и спада напряжения или тока называются соответственно фронтом и срезом импульса, а интервал, на котором напряжение или ток изменяются сравнительно медленно, – вершиной импульса.



a – импульсы прямоугольной формы; *б* – трапецеидальной формы; *в* – линейно изменяющейся (треугольной) формы; *г* – экспоненциальной формы; *д* – реальный вид прямоугольного импульса; *е* – упрощенная форма реального прямоугольного импульса

Рисунок 17.1 – Графическое изображение импульсных сигналов

Активные длительности фронта $\tau_{\phi a}$ и среза τ_{ca} определяются между уровнями $0,1U_m$ и $0,9U_m$, где U_m – амплитуда импульса. Активная длительность вершины τ_a оценивается на уровне $0,5U_m$. Импульс, показанный на рисунке 17.1, *д*, имеет обратный выброс («хвост») с амплитудой U_m *обр*. Кроме того, на его вершину наложены затухающие синусоидальные колебания, которые часто возникают из-за наличия в схеме паразитных колебательных цепей, образованных распределенными индуктивностями и емкостями.

Упрощенная форма реального прямоугольного импульса показана на рисунке 17.1, *е*. Спрямоуголенные отрезки *ab*, *be*, *cd* отображают соответственно фронт, вершину и срез импульса, а отрезки *de* и *ef* – нарастание и спад обратного выброса. Скорость нарастания напряжения или тока на рисунке 17.1

характеризуется крутизной фронта импульса $S_{\phi} = \frac{U_m}{\tau_{\phi}}$, а убывание напряже-

ния или тока на вершине – относительным снижением $\delta U_m = \frac{\Delta U}{U_m}$.

Одним из важнейших показателей импульсных сигналов является длительность импульсов. Помимо вышеуказанного параметра τ_a , определяющего активную длительность вершины на уровне $0,5U_m$, длительность импульса характеризует время t_u , определяемое либо на уровне $0,1 U_m$, либо по основанию импульса (рисунок 17.1, *з*). Длительность применяемых в современной электронной технике импульсных сигналов имеет весьма широкий диапазон: от единиц наносекунд до единиц и даже десятков секунд. Импульсы микросекундной части этого диапазона (от 10^{-7} до 10^{-1} с) наиболее употребительны и используются в ЭВМ, импульсной связи, радиолокации, телевидении и других областях технической электроники.

К основным параметрам импульсов следует отнести также период повторения импульсов T – интервал времени между началом двух соседних однополярных импульсов. Величину, обратную периоду повторения, называют частотой повторения (следования) импульсов f .

Часть периода занимает пауза t_n (рисунок 17.1, *а*) – отрезок времени между окончанием и началом двух соседних импульсов.

Отношение длительности импульса к периоду повторения называют коэффициентом заполнения $\gamma = \frac{t_u}{T}$. Величину, обратную коэффициенту запол-

нения, называют скважностью импульсов: $q = \frac{1}{\gamma} = \frac{T}{t_u}$. Качество работы им-

пульсных устройств во многом зависит от времени восстановления импульса $t_{вос}$ (рисунок 17.1, *е*). Чем меньше $t_{вос}$, тем более надежно работает схема, тем выше ее быстродействие.

Временная диаграмма пилообразного напряжения приведена на рисунке 17.2. Основными параметрами такого напряжения являются: длительность рабочего t_p и обратного t_o хода пилообразного напряжения; период следования импульсов T ; амплитуда импульсов U_m ; коэффициент нелинейности ε



и коэффициент использования напряжения источника питания ξ . Коэффициент нелинейности ε характеризует величину отклонения напряжения на рабочем участке от линейного закона и оценивается относительным изменением скорости пилообразного напряжения du/dt на рабочем участке за время t_p :

$$\varepsilon = \frac{(du/dt)_{\max} - (du/dt)_{\min}}{(du/dt)_{\max}},$$

где $(du/dt)_{\max}$ – скорость изменения напряжения в начале рабочего участка;

$(du/dt)_{\min}$ – скорость изменения напряжения в конце рабочего участка (рисунок 17.2).

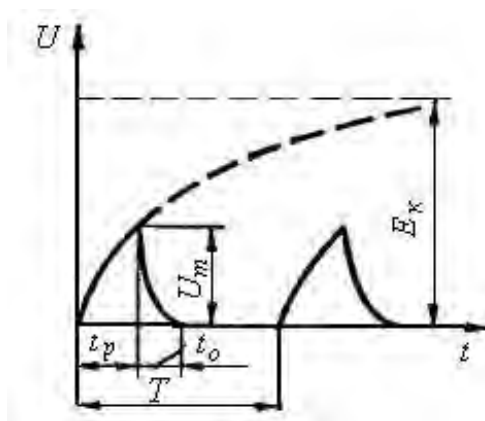


Рисунок 17.2 – Временная диаграмма пилообразного напряжения

В зависимости от области применения пилообразного напряжения коэффициент нелинейности имеет значение от долей до единиц и даже десятков процентов.

Эффективность работы генератора линейно изменяющегося напряжения оценивается коэффициентом использования источника питания E_k :

$$\xi = \frac{U_m}{E_k}.$$

Для наиболее совершенных схем генераторов ξ может иметь величину порядка 0,9.

17.2 Задание к лабораторной работе

С помощью функционального генератора среды Multisim и генератора ЛЗ1, входящего в лабораторный комплект, сформировать сигналы, параметры которых указаны в таблице 17.1.

Таблица 17.1 – Параметры сигналов

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

17.3 Порядок выполнения работы

17.3.1 Подключить генератор ЛЗ1 к гнездам «Вход ГС1» блока управления БУ К32. Блок мультиметра К 32 подключить к разъёмам «Выход~» или «Выход=». Вставить макетную плату в БУ К32.

17.3.2 В среде Multisim подключить функциональный генератор XPG1 ко входу осциллографа XSC1 (рисунок 17.3).

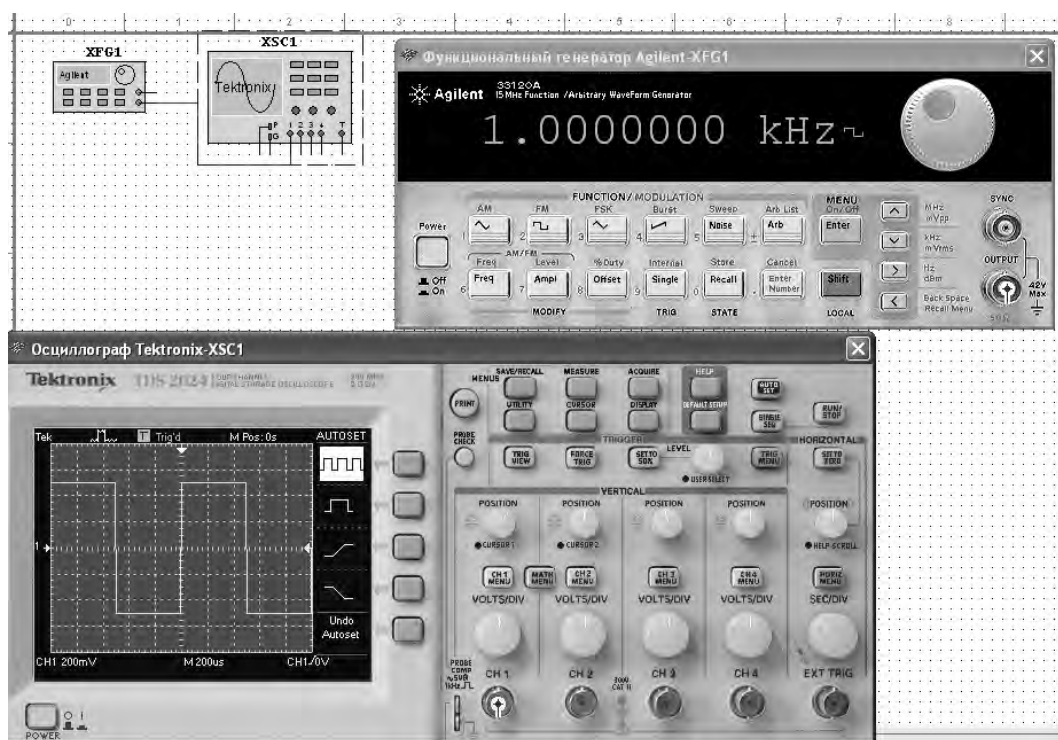


Рисунок 17.3 – Схема для исследования параметров сигналов в среде Multisim

17.3.3 Сформировать сигналы, указанные в задании (таблица 17.1). Полученные сигналы зафиксировать с помощью осциллографа. Определить параметры сигналов. Результаты занести в таблицы 17.2–17.5 (моделирование).

Таблица 17.2 – Результаты измерений для постоянного сигнала

Тип сигнала	Способ исследования	$U_m, В$
Постоянный	Моделирование	
	Эксперимент	

Таблица 17.3 – Результаты измерений для гармонического сигнала

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

Таблица 17.4 – Результаты измерений для импульсного сигнала

Тип сигнала	Способ исследования	U_m , В	T , с	t_u , с	q	γ	τ_ϕ , с	τ_c , с	S_ϕ , В/с	U_m обр, В	$t_{вос}$, с
Импульсный	Моделирование										
	Эксперимент										

Таблица 17.5 – Результаты измерений для пилообразного сигнала

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

17.3.4 Разработать виртуальный прибор для исследования параметров сигналов в среде LabVIEW (рисунок 17.4). Блок-диаграмма виртуального прибора (рисунок 17.5) 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.

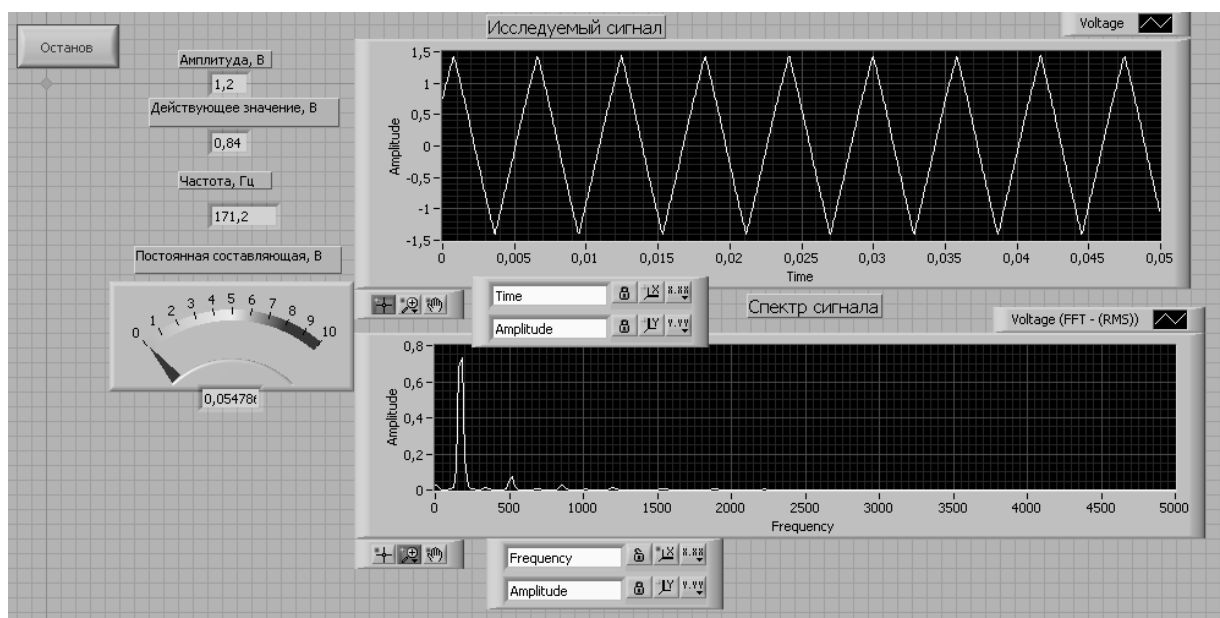


Рисунок 17.4 – Виртуальный прибор для исследования параметров сигналов в среде LabVIEW

17.3.5 С помощью генератора ЛЗ1 и блока управления БУ К32 сформировать сигналы, указанные в задании (см. таблицу 17.1). Исследовать

полученные сигналы с помощью виртуального прибора. Результаты занести в таблицы 17.2–17.5 (эксперимент).

17.3.6 Сделать выводы по результатам работы.

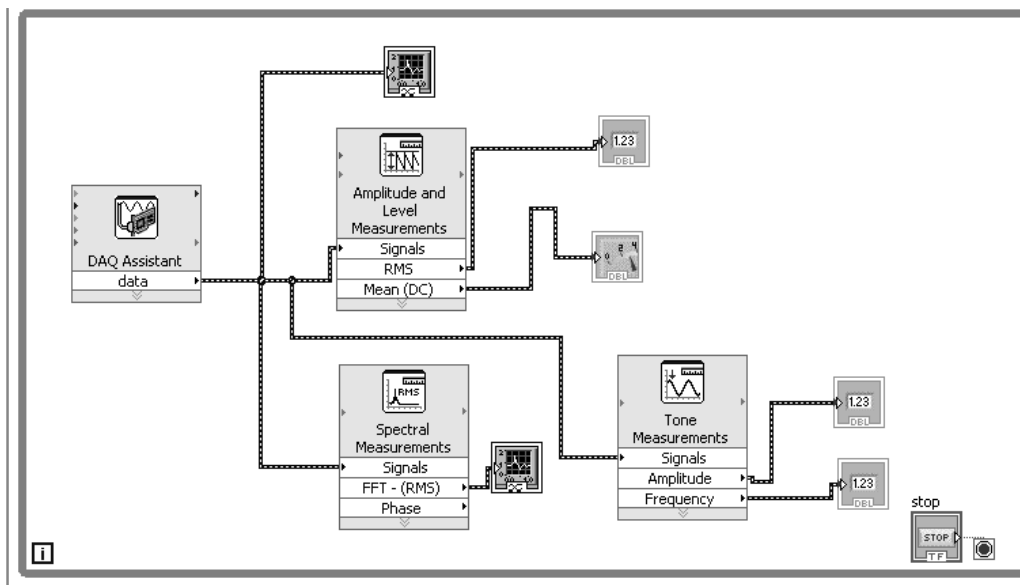


Рисунок 17.5 – Блок-диаграмма для исследования параметров сигналов в среде LabVIEW

Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, задание к работе, распечатку «окна схемы» среды Multisim, распечатку лицевой панели и панели блок-диаграммы в среде LabVIEW, таблицу с результатами измерений, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите виды сигналов.
- 2 Какими параметрами характеризуется переменный аналоговый сигнал?
- 3 Какими параметрами характеризуется импульсный сигнал?
- 4 Назовите параметры пилообразного сигнала.

Список литературы

1 **Миленина, С. А.** Электротехника, электроника и схемотехника : учебник и практикум для академ. бакалавриата / С. А. Миленина ; под ред. Н. К. Миленина. – Москва : Юрайт, 2015. – 399 с.

2 **Марченко, А. Л.** Электротехника и электроника : в 2 т. Т.1: Электротехника / А. Л. Марченко, Ю. Ф. Опадчий. – Москва : ИНФРА-М, 2015. – 574 с.

3 **Иванов, В. Н.** Электроника и микропроцессорная техника : учебник / В. Н. Иванов, И. О. Мартынова. – Москва : Академия, 2016. – 288 с.

4 **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.

5 **Клочков, М. И.** Расчет элементов и моделирование схем энергетической и информационной электроники: учебное пособие / М. И. Клочков. – Хабаровск: ДВГУПС, 2004. – 138 с.

6 Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Лаборатория на компьютере: в 2 т. / Под общ. ред. Д. И. Панфилова. – Москва: МЭИ, 2004. – 304 с.

7 **Москатов, Е. А.** Справочник по полупроводниковым приборам / Е. А. Москатов. – Москва: Радио, 2005. – 208 с.

8 **Ткаченко, Ф. А.** Техническая электроника / Ф. А. Ткаченко. – Минск: Дизайн ПРО, 2002. – 368 с.

