



**Некоммерческое
акционерное общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра электропривод
и автоматизация

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 5В071700 – Теплоэнергетика

Алматы 2017

СОСТАВИТЕЛИ: И.Т. Алдибеков, Э.Б. Даркенбаева, М.Б. Жаркымбекова.
Электротехника и электроника. Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071700 – Теплоэнергетика. - Алматы: АУЭС, 2017.– 54 с.

Методические указания содержат программу выполнения работ, методику подготовки и проведения экспериментов, анализа полученных результатов.

Каждая лабораторная работа содержит следующие разделы: цель работы, подготовка к работе, контрольные вопросы, программа и порядок выполнения работы, выводы по работе. Приведены исследуемые электрические схемы, соответствующие таблицы, где должны фиксироваться результаты расчётов и экспериментов, даны пояснения по реализации каждого пункта задания.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальности 5В071700 – Теплоэнергетика.

Ил. 37, табл.32, библиограф. – 9 назв.

Рецензент: Доцент каф. ЭССиС Б.К. Курпенов

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2017 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2017г

Содержание

1 Лабораторная работа №1. Исследование линейной электрической цепи постоянного тока с одним источником ЭДС при различном соединении резисторов.....	4
2 Лабораторная работа №2. Исследование сложной электрической цепи постоянного тока с двумя источниками ЭДС.....	8
3 Лабораторная работа №3 Исследование линейной электрической цепи синусоидального тока с последовательным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсатора и резонанса напряжений.....	12
4 Лабораторная работа №4 Исследование линейной электрической цепи синусоидального тока с параллельным соединением резистора, индуктивной катушки, конденсатора и резонанса токов.....	17
5 Лабораторная работа №5. Исследование трехфазные цепи с симметричным источником питания при соединении нагрузки по схеме «звезда».....	20
6 Лабораторная работа №6. Исследование трехфазные цепи с симметричным источником питания при соединении трехфазной нагрузки по схеме «треугольник».....	25
7 Лабораторная работа №7. Исследование однофазного двухобмоточного трансформатора.....	28
8 Лабораторная работа №8. Исследование электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения.....	30
9 Лабораторная работа №9. Исследование трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.....	34
10 Лабораторная работа №10. Исследование простейших однополупериодных и двухполупериодных выпрямителей.....	39
11 Лабораторная работа №11. Исследование усилителей на биполярных транзисторах.....	42
12 Лабораторная работа №12. Исследование схем усиления электрически сигналов на базе операционных усилителей.....	46
13 Лабораторная работа №13. Исследование параметрического стабилизатора напряжения.....	49
Список литературы.....	54

1 Лабораторная работа №1. Исследование линейной электрической цепи постоянного тока с одним источником ЭДС при различном соединении резисторов

Цель работы:

- экспериментальное исследование свойств электрических цепей постоянного тока при последовательном, параллельном и смешанном соединениях резисторов;
- проверка основных методов их расчета;
- приобретение навыков обращения с различными приборами и экспериментального определения значений сопротивлений, токов и напряжений и их действительных направлений.

1.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

1.1.1 Лабораторный стенд ЭЦПОТ.001 РБЭ (901).

1.1.2 Мультиметры, соединительные провода.

1.2 Программа и порядок выполнения работы

1.2.1 Исследование электрической цепи при последовательном соединении резисторов.

1.2.1.1 Вычертить схему последовательного соединения трех резисторов (рисунок 1.1). Значения приложенного напряжения и сопротивлений резисторов для соответствующих вариантов приведены в таблице 1.1. Вариант задания соответствует номеру бригады.

Таблица 1.1 – Значения напряжения и сопротивлений резисторов

Вариант	№ схемы	E_1 , В	E_2 , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R , Ом
1	1	15	7	220	330	150	47
2	2	9	15	470	680	330	220
3	3	15	12	680	1000	470	150

1.2.1.2 Для схемы на рисунке 1.1, по индивидуально заданному значению напряжения на ее зажимах и параметрам сопротивлений, заданным в таблице 1.1, определить эквивалентное сопротивление R_3 цепи, напряжения на резисторах и мощность P , потребляемую ею, а также мощности (P_1 , P_2 , P_3), выделяемые на резисторах. Результаты расчета свести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты расчета и эксперимента

Параметры	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_3 , Ом	U , В	I , А	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	P , Вт	P_1 , Вт	P_2 , Вт	P_3 , Вт
Расчет													

Эксперимент													
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

1.2.1.3 Измерить фактические параметры резисторов заданной электрической цепи с помощью универсального измерительного цифрового прибора. Результаты измерений занести в таблицу 1.2 в строку «Расчет».

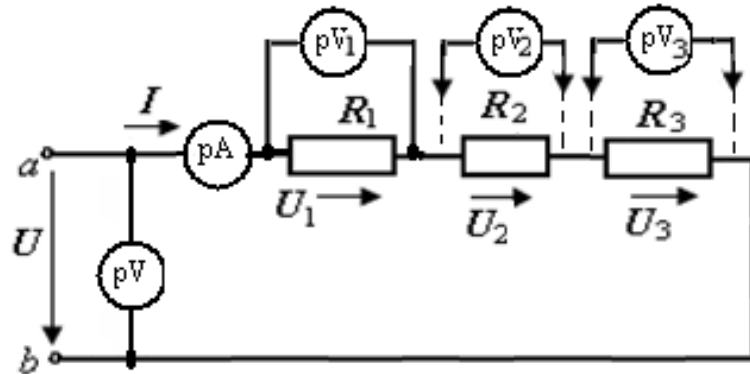


Рисунок 1.1 – Схема цепи с последовательно соединенными резисторами

1.2.1.4 Используя регулируемый источник постоянного напряжения лабораторного стенда и элементы наборного поля стенда, указанные в таблице 1.1, собрать схему на рисунке 1.1.

1.2.1.5 Установив значение напряжения на зажимах цепи, равное заданному в таблице 1.1, снять показания приборов и занести их в таблицу 1.2 в строку «Эксперимент». Определить и указать на схеме направления токов и напряжений на резисторах.

Амперметр включается в разрыв ветви таким образом, чтобы направление тока совпадало с направлением от «+» к «-» прибора. Тогда прибор покажет величину и знак тока, соответствующий выбранному направлению. Вольтметр включается параллельно элементу цепи таким образом, чтобы направление напряжения на нём совпадало с направлением от «+» к «-» прибора. Тогда прибор покажет величину и знак напряжения на этом элементе, соответствующий выбранному направлению. Необходимо помнить, что направление падения напряжения на пассивном элементе совпадает с направлением тока в нём.

Минусовая клемма прибора обычно имеет черный цвет и помечена знаком «-» или «com».

1.2.1.6 Сравнить результаты аналитического расчета и эксперимента. Проверить выполнение второго закона Кирхгофа для данной цепи. Составить баланс мощностей.

1.2.2 Исследование электрической цепи при параллельном соединении резисторов.

1.2.2.1 Вычертить схему параллельного соединения трех резисторов (рисунок 1.2). Значения приложенного напряжения и сопротивлений резисторов для соответствующих вариантов приведены в таблице 1.1.

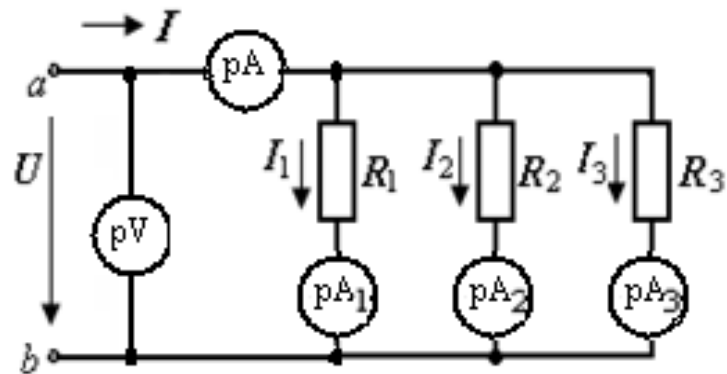


Рисунок 1.2 – Схема цепи с параллельно соединенными резисторами

1.2.2.2 Для схемы на рисунке 1.2, по индивидуально заданному значению напряжения на ее зажимах и параметрам сопротивлений, заданным в таблице 1.1, определить эквивалентное сопротивление $R_{\text{Э}}$ цепи, токи (I, I_1, I_2, I_3) во всех ветвях цепи и мощность P , потребляемую ею, а также мощности (P_1, P_2, P_3), выделяемые на резисторах. Результаты расчета свести в таблицу 1.3 в строку «Расчет».

1.2.2.3 Используя регулируемый источник постоянного напряжения лабораторного стенда и элементы наборного поля стенда, указанные в таблице 1.1, собрать схему на рисунке 1.2.

Таблица 1.3 – Результаты расчета и эксперимента

Параметры	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_{\text{Э}},$ Ом	$U,$ В	$I,$ А	$I_1,$ А	$I_2,$ А	$I_3,$ А	P Вт	P_1 Вт	P_2 Вт	P_3 Вт
Расчет													
Эксперимент													

1.2.2.4 Установив значение напряжения на зажимах цепи, равное заданному в таблице 1.1, снять показания приборов и занести их в таблицу 1.3 в строку «Эксперимент». Определить и указать на схеме направления токов и напряжений на резисторах.

1.2.2.5 Сравнить результаты аналитического расчета и эксперимента. Проверить выполнение первого закона Кирхгофа для данной цепи. Составить баланс мощностей.

1.2.3 Исследование цепи при смешанном соединении резисторов.

1.2.3.1 Вычертить схему смешанного соединения четырех резисторов (рисунок 1.3). Значения приложенного напряжения и сопротивлений резисторов для соответствующих вариантов приведены в таблице 1.1.

1.2.3.2 Рассчитать эквивалентное сопротивление полной цепи R_{Σ} , токи (I_1, I_2, I_3, I_4) в ветвях исследуемой цепи и мощность P , потребляемую ею, а также мощности (P_1, P_2, P_3, P_4), выделяемые на резисторах. Результаты расчета свести в таблицу 1.4 в строку «Расчет».

1.2.3.3 Используя регулируемый источник постоянного напряжения лабораторного стенда и элементы наборного поля стенда, указанные в таблице 1.1, собрать схему на рисунке 1.3.

Таблица 1.4 – Результаты расчета и эксперимента

Параметры	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_4,$ Ом	$R_{\Sigma},$ Ом	$U,$ В	$U_{ac},$ В	$U_{cd},$ В	$I_4,$ А	$I_1,$ А	$I_2,$ А	$I_3,$ А	P Вт
Расчет													
Эксперимент													

1.2.3.4 Установив значение напряжения на зажимах цепи, равное заданному в таблице 1.4, снять показания приборов и занести их в таблицу 1.4 в строку «Эксперимент». Определить и указать на схеме направления токов и напряжений на резисторах.

1.2.3.5 Сравнить результаты аналитического расчета и эксперимента. Проверить выполнение первого и второго законов Кирхгофа для данной цепи. Составить баланс мощностей.

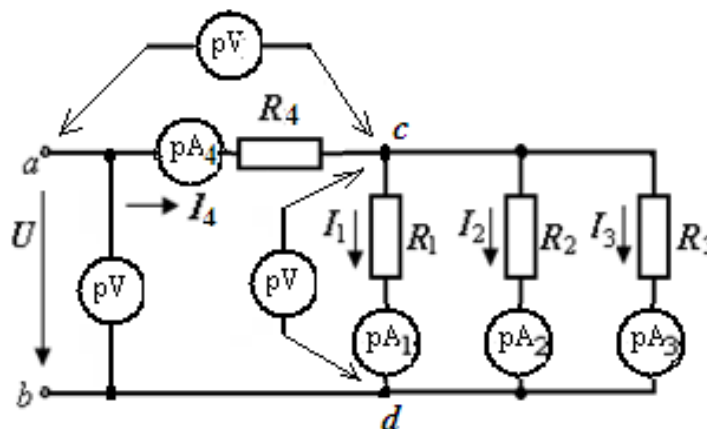


Рисунок 1.3 – Схема цепи со смешанным соединением резисторов

1.2.3.6 Составить отчет и сделать выводы по работе в целом. Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

1. Что называется резистором?

2. Опишите виды соединения резисторов. Как определяется эквивалентное сопротивление при различном соединении резисторов?
3. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
4. Как определяют ток в цепи и напряжения на резисторах при их последовательном соединении? Чему равна сумма напряжений на резисторах? Сформулируйте второй закон Кирхгофа.
5. Как определяют токи в ветвях цепи при параллельном соединении резисторов? Чему равна сумма токов в параллельных ветвях? Сформулируйте первый закон Кирхгофа.
6. Как определяют токи в ветвях цепи при смешанном соединении резисторов и напряжение на параллельных ветвях?
7. Как определяют мощность источника энергии и мощности, выделяемые на резисторах (приемниках энергии) и как составляют баланс мощностей цепи постоянного тока?
8. Как изменится полное сопротивление цепи и ток в неразветвленной части при последовательном и параллельном соединении нескольких резисторов?
9. Приведите формулы для определения сопротивления электрической цепи при последовательном, параллельном и смешанном соединении n резисторов с одинаковыми сопротивлениями.
10. В каких случаях применяется последовательное или параллельное соединение электроприемников?
11. Изложите практическое применение последовательного и параллельного соединения резисторов.

2 Лабораторная работа №2. Исследование сложной электрической цепи постоянного тока с двумя источниками ЭДС

Цель работы:

- экспериментальная проверка основных методов анализа сложных цепей постоянного тока таких, как метод, основанный на использовании законов Кирхгофа (метод уравнений Кирхгофа), и метод наложения;
- приобретение навыков обращения с различными приборами и экспериментального определения значений сопротивлений, токов и напряжений и их действительных направлений

2.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

2.1.1 Лабораторный стенд ЭЦПОТ.001 РБЭ (901).

2.1.2 Мультиметры, соединительные провода.

2.2 Программа и порядок выполнения работы

2.2.1 Использование метода уравнений Кирхгофа

2.2.1.1 Начертить заданную схему электрической цепи и указать на ней произвольно выбранные направления токов в ветвях. Варианты исследуемой схемы приведены на рисунке 2.2. Значения параметров указаны в таблице 2.1. Обычно вариант задания соответствует порядковому номеру бригады.

Таблица 2.1 – Варианты исследуемой схемы и значения параметров

Вариант	№ схемы	E_1 , В	E_2 , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом
1	1	15	7	220	330	150
2	2	9	15	470	680	330
3	3	15	12	680	1000	470

2.2.1.2 Измерить фактические параметры элементов заданной электрической цепи с помощью универсального измерительного цифрового прибора. Результаты измерений занести в таблицу 2.2

Таблица 2.2 – Результаты измерения параметров резисторов

Элемент цепи	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом
Значения, Ом			

2.2.1.3 Для исследуемой схемы составить уравнений по первому и второму законам Кирхгофа и рассчитать токи в ветвях цепи по заданным значениям ЭДС E_1 и E_2 и измеренным в п. 2.3.1.2 значениям резисторов. Результаты расчета занести в таблицу 2.3 в строку «Расчёт».

2.2.1.4 Собрать схему своего варианта. Установить заданные значения ЭДС E_1 и E_2 . Измерить токи в ветвях и напряжения на элементах (источники ЭДС и резисторы) цепи.

Амперметр включается в разрыв ветви таким образом, чтобы направление тока совпадало с направлением от «+» к «-» прибора. Тогда прибор покажет величину и знак тока, соответствующий выбранному направлению.

Вольтметр включается параллельно элементу цепи таким образом, чтобы направление напряжения на нём совпадало с направлением от «+» к «-» прибора. Тогда прибор покажет величину и знак напряжения на этом элементе, соответствующий выбранному направлению. Необходимо помнить, что направление падения напряжения на пассивном элементе совпадает с направлением тока в нём.

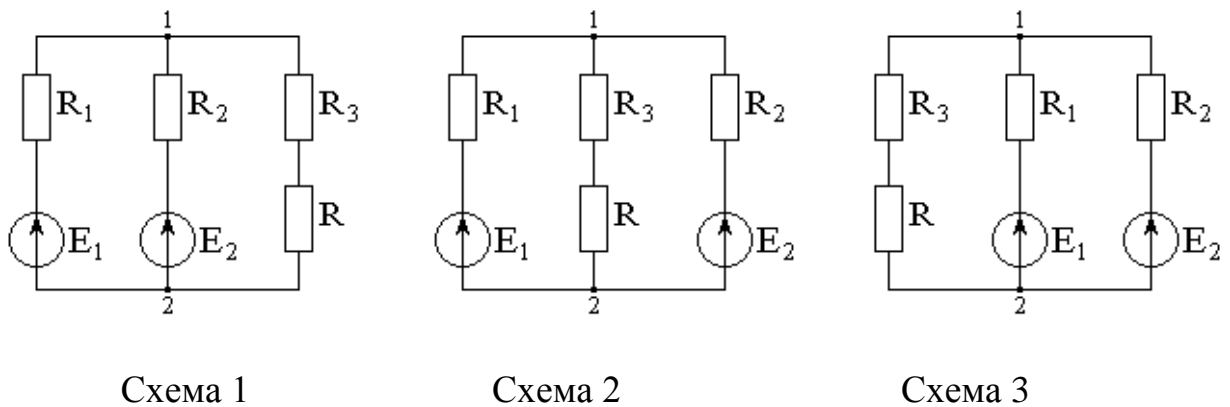


Рисунок 2.2 – Варианты исследуемых схем

Минусовая клемма прибора обычно имеет черный цвет и помечена знаком « \square » или «com».

Результаты измерений занести в таблицу 2.3 в строку «Эксперимент».

Таблица 2.3 – Измеренные значения напряжений и токов цепи

	$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$I_3, \text{мА}$	$U_{R1}, \text{В}$	$U_{R2}, \text{В}$	$U_{R3}, \text{В}$	$U_R, \text{В}$
Эксперимент									
Расчёт									
δ									

Правильность определения значения и направления измеренных величин подтвердить подстановкой их в уравнения, составленные по первому и второму законам Кирхгофа.

2.2.1.5 Рассчитать для узла 1 схемы погрешность δ_i (в %) измерения токов, отнеся алгебраическую сумму токов, сходящихся в узле, к наибольшему из них, и умножив полученное на 100%. Результаты расчёта занести в таблицу 2.4.

2.2.1.6 Рассчитать для двух контуров схемы погрешности δ_u (в %) измерения напряжений, отнеся алгебраическую сумму напряжений в контуре, включая напряжения на источниках ЭДС, к наибольшему из них, и умножив полученное на 100%. Результаты расчёта занести в таблицу 2.5.

Таблица 2.4 – Погрешность определения токов

Узел цепи	$\sum I, \text{мА}$	$I_{\text{max}}, \text{мА}$	$\delta_i, \%$
1			

Таблица 2.5 – Погрешность определения напряжений

Контур цепи	$\sum U, \text{В}$	$U_{\text{max}}, \text{В}$	$\delta_u, \%$
1			
2			

2.2.2 Использование метода наложения.

2.2.2.1 Начертить заданную схему электрической цепи с двумя источниками ЭДС и две соответствующие ей схемы наложения. Варианты исследуемой схемы приведены на рисунке 2.1. Значения параметров указаны в таблице 2.1. Вариант задания соответствует порядковому номеру бригады.

2.2.2.2 Рассчитать токи (I_1, I_2, I_3) в ветвях цепи по заданным значениям ЭДС E_1 и E_2 и измеренным в п. 2.2.1.2 значениям резисторов с использованием метода наложения. Для этого определяют частичные токи ($I_1', I_2', I_3', I_1'', I_2'', I_3''$), возникающие от действия каждого источника ЭДС, удаляя другого источника ЭДС из схемы, но оставляя при этом его внутреннее сопротивление. Частичные токи должны быть показаны на двух соответствующих схемах наложения с указанием их выбранных направлений. Затем определяют токи (I_1, I_2, I_3) в ветвях заданной цепи путем алгебраического сложения соответствующих частичных токов. Результаты расчета занести в таблицу 2.6 в столбец «Расчёт» и проверить правильность результатов расчета по законам Кирхгофа.

2.2.2.3 Собрать схему заданной цепи с двумя источниками ЭДС (E_1 и E_2). Установить заданные значения ЭДС E_1 и E_2 . Измерить токи (I_1, I_2, I_3) в ветвях цепи, определить и показать на схеме их действительные направления. Результаты эксперимента занести в таблицу 2.3 в столбец «Эксперимент» и проверить их достоверность по законам Кирхгофа.

2.2.2.4 Собрать первую схему наложения с одним источником ЭДС E_1 . Установить заданное значение ЭДС E_1 . Измерить частичные токи (I_1', I_2', I_3') в ветвях схемы, определить и показать на схеме их действительные направления. Результаты эксперимента занести в таблицу 2.6 в столбец «Эксперимент» и проверить их достоверность по законам Кирхгофа.

2.2.2.5 Собрать вторую схему наложения только с одним источником ЭДС E_2 . Установить заданное значение ЭДС E_2 . Измерить частичные токи (I_1'', I_2'', I_3'') в ветвях схемы, определить и показать на схеме их действительные направления. Результаты эксперимента занести в таблицу 2.6 в столбец «Эксперимент» и проверить их достоверность по законам Кирхгофа.

Таблица 2.6 - Результаты расчета и эксперимента

Схемы Параметр	Схема с двумя ЭДС (E_1 и E_2)		Схема с одним ЭДС (E_1)		Схема с одним ЭДС (E_2)	
	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
$E_1, В$						
$E_2, В$						
$R_1, Ом$						
$R_2, Ом$						
$R_3, Ом$						
$I_1, А$						
$I_2, А$						
$I_3, А$						

I_1', A						
I_2', A						
I_3', A						
I_1'', A						
I_2'', A						
I_3'', A						

2.3.2.6 Рассчитать экспериментальные значения токов (I_1, I_2, I_3) в ветвях заданной цепи путем алгебраического сложения экспериментальных значений соответствующих частичных токов ($I_1', I_2', I_3', I_1'', I_2'', I_3''$), а затем полученные значения токов сравнить с данными, полученными в п. 2.3.2.3.

2.3.2.7 Сравнить результаты аналитического расчета и эксперимента. Составить баланс мощностей для заданной цепи.

2.3.2.8 Составить отчет и сделать выводы по работе в целом. Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные методы расчета сложных линейных электрических цепей.
2. В чем заключается сущность метода уравнений Кирхгофа.
3. Какова последовательность расчета по методу уравнений Кирхгофа.
4. В чем заключается сущность метода наложения.
5. Какова последовательность расчета по методу наложения.
6. Для исследуемой схемы составить следующие системы уравнений:
 - по законам Кирхгофа;
 - по методу контурных токов.
7. В чём суть метода контурных токов и метода наложения?
8. Назовите условие передачи максимальной мощности от активного двухполюсника к пассивному.

3 Лабораторная работа №3 Исследование линейной электрической цепи синусоидального тока с последовательным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсатора и резонанса напряжений

Цель работы:

- освоить методы расчета линейных электрических цепей синусоидального тока с последовательным соединением приемников;
- экспериментом проверить результаты аналитического расчета;
- убедиться в возможности получения в таких цепях режима резонанса напряжений.

3.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

3.1.1 Лабораторный стенд ЭЦПОТ.001 РБЭ (901).

3.1.2 Мультиметры, соединительные провода.

3.2 Программа и порядок выполнения работы

3.2.1 Исследование электрической цепи синусоидального тока с последовательным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсатора

3.2.1.1 Начертить заданную схему электрической цепи с последовательным соединением резистора r , индуктивной катушки (L, r_k) и конденсатора (рисунок 3.1) и указать на ней выбранные направления тока и напряжений. Варианты значения параметров (r, L, r_k, C) элементов схемы и приложенного синусоидального напряжения (U, f) указаны в таблице 3.1. Обычно вариант задания соответствует порядковому номеру бригады.

Таблица 3.1 – Варианты параметров элементов схемы и приложенного напряжения

Вариант	$U_{ex},$ В	$f, Гц$	$r, Ом$	$r_k, Ом$	$L, мГн$	$C, мкФ$
1	5	1000	680	330	10	0,47
2	7	1900	100	150	40	0,01
3	9	2500	150	220	10	0,22

3.2.1.2 Рассчитать методом преобразования действующие значения тока и напряжений на элементах цепи и занести их в таблицу 3.2.

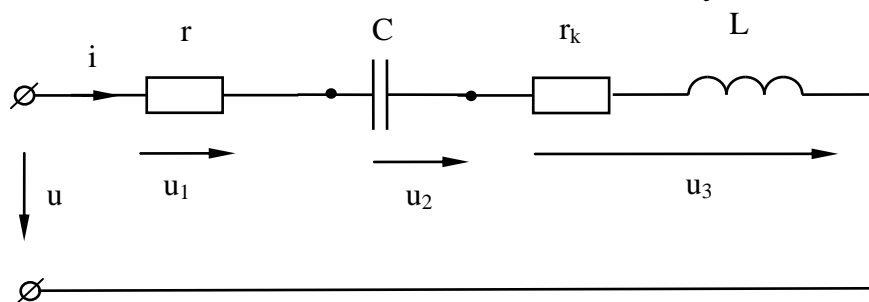


Рисунок 3.1- Схема электрической цепи с последовательным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсатора

3.2.1.3 Рассчитать активную, реактивную и полную мощности цепи и занести их в таблицу 3.2. Составить баланс мощностей и построить векторную диаграмму напряжений.

Таблица 3.2 – Результаты расчета и эксперимента

Параметры	U В	f Гц	r Ом	ω мкФ	ω м	L мГн	I А	U _r В	U _c В	U _L В	P Вт	Q Вар	S BA
Аналит.													
Эксперимент													

3.2.1.4 Для экспериментальной проверки результатов расчета собрать схему исследуемой цепи на рисунке 3.1 на лабораторном стенде. Для этого из набора миниблоков выбрать резистор, конденсатор и индуктивность с параметрами, заданными в таблице 3.1, а также необходимые измерительные приборы. В качестве амперметра и вольтметра использовать цифровые универсальные измерительные приборы, предварительно переключив их в режим измерения переменного (AC) напряжения и тока, соответственно, и выбрав необходимый предел измеряемой величины

3.2.1.5 Схему подключить к зажимам генератора напряжений специальной формы, переключатель генератора установить в положение «синусоидальное напряжение».

3.2.1.6 Включить схему, установить заданные в таблице 3.1 значения напряжения U и частоты f , замерять значения тока и напряжений и занести их в таблицу 3.2. После проведения эксперимента отключить схему.

3.2.1.7 Рассчитать полную S , активную P и реактивную Q мощности всей цепи по экспериментальным значениям тока и напряжений. Сравнить полученные результаты с результатами аналитического расчета.

3.2.2 Исследование резонанса напряжений.

3.2.2.1 Рассчитать резонансную (частоту циклическую ω_0 и линейную f_0), при которой схема на рисунке 3.1 будет работать в режиме резонанса напряжений при сохранении остальных ее параметров. Занести полученные результаты расчетов в строку «расчет» сводной таблицы 3.3.

3.2.2.2 Рассчитать полное сопротивление цепи z , ток и напряжения на элементах при резонансе, а также добротность Q_1 и характеристическое сопротивление ρ_1 контура. Рассчитать добавочное сопротивление контура $r_{доб}$. такое, чтобы суммарное активное сопротивление контура $r_{\Sigma} = (r + r_k) + r_{доб}$ увеличилось в 1,5...3 раза. Добротность контура при этом Q_2 будет меньше, чем Q_1 .

Рассчитать также активную и реактивную мощности при резонансе напряжений. Занести полученные результаты расчетов в строку «расчет» сводной таблицы 3.3.

3.2.2.3 Собрать схему резонансного контура (рисунок 3.1), установив параметры элементов схемы для своего варианта.

В качестве источника использовать генератор сигналов специальной формы, предварительно переключив его в режим синусоидальных колебаний.

Установить напряжение на входе цепи $5 \dots 9 \text{ В}$ и в процессе всего эксперимента поддерживать неизменным, контролируя его величину вольтметром.

В качестве амперметра и вольтметра использовать цифровые универсальные измерительные приборы, предварительно переключив их в режим измерения переменного (AC) напряжения и тока, соответственно, и выбрав необходимый предел измеряемой величины (например, для вольтметра 20 В , а для амперметра 40 мА).

3.2.2.4 Включить схему, установить значения напряжения U и резонансной частоты f_0 , замерять значения тока и напряжений и занести их в таблицу 3.3 при значениях добротности Q_1 .

3.2.2.5 Сравнить полученные результаты с результатами аналитического расчета. Убедиться в том, что в режиме резонанса напряжений, значения токов, напряжений на элементах цепи и активная мощность имеют максимальные значения, при одинаковых параметрах источника. Объяснить причины этого явления. Отключить схему.

Таблица 3.3 – Результаты расчета и эксперимента

Параметры	U , В	f_0 , Гц	I , А	r_Σ Ом	C , мкФ	L , мГн	U_r В	U_C , В	U_L , В	P , Вт	Q , Var	S , ВА
Аналитический												
Эксперимент												

3.2.2.6 По экспериментальным данным определить фактические значения резонансной частоты ω_0 , f_0 , характеристического сопротивления ρ , суммарного активного сопротивления контура r_Σ , индуктивности L и емкости C . Рассчитать действующие значения тока и напряжений на элементах цепи, активной реактивной и полной мощностей цепи. Результаты занести в строку «эксперимент» таблицы 3.3. Сравнить результаты расчетов и экспериментов.

3.2.2.7 Измерить значения тока $I(f)$ контура для диапазона частот от $0,2 f_0$ до $2 f_0$, для двух значений добротности Q_1 и Q_2 . Результаты измерений занести в таблицу 3.4.

3.2.2.8 По результатам измерений пункта 3.3.2.7 построить резонансные кривые контура $I=f(f)$ для двух значений добротности Q_1 и Q_2 . По резонансным кривым определить граничные частоты $f_{1гр}$ и $f_{2гр}$, полосы пропускания контуров.

Обратите внимание на то, что контур с большей добротностью имеет меньшую полосу пропускания.

Таблица 3.4 – Результаты измерения

f , Гц				f_0					<i>Примечание</i>
I , мА									<i>при Q_1</i>
I , мА									<i>при Q_2</i>

По результатам измерений построить векторные диаграммы тока и напряжений для трех частот: меньше резонансной ($f_{1гр}$), резонансной (f_0) и больше резонансной ($f_{2гр}$). По векторной диаграмме сделать вывод о характере входного сопротивления контура для этих частот.

3.2.3 Сделать выводы по работе в целом и составить отчет. Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

1. Какой ток (напряжение) называют синусоидальным током (напряжением)? Что называют периодом T , линейной f и угловой частотами синусоидальной функции времени? Взаимосвязь между ними.

2. Какова связь между действующим, средним и амплитудным значениями тока, напряжения или ЭДС?

3. Что называется фазовым сдвигом напряжения и тока? Запишите значения фазовых сдвигов напряжения и тока:

а) для цепи с сопротивлением r ;

б) для цепи с индуктивным элементом L ;

в) для цепи с емкостным элементом C .

4. В каких пределах может меняться фазовый сдвиг напряжения и тока на входе любой цепи синусоидального тока?

5. Какова зависимость индуктивного X_L и емкостного X_C сопротивлений от частоты? Что собой представляют треугольники сопротивлений, проводимостей и мощностей?

6. Что характеризует активная мощность цепи? Запишите все возможные формулы для активной мощности в цепях синусоидального тока и ее единицу измерения. Напишите формулы активной, реактивной и полной мощностей в цепях с последовательным соединением элементов.

7. Порядок построения векторных диаграмм напряжений.

8. Что называют явлением резонанса? Перечислите виды резонанса и электрические цепи, в которых они могут возникнуть.

9. Назовите условия, при которых в электрической цепи будет наблюдаться явление резонанса напряжений.

10. Приведите определения основных характеристик резонансного контура: добротности Q , резонансной частоты ω_0 , f_0 и характеристического сопротивления ρ , а также расчетные формулы для их определения.

11. Активная и реактивная мощности цепи при резонансе напряжений.

4 Лабораторная работа №4 Исследование линейной электрической цепи синусоидального тока с параллельным соединением резистора, индуктивной катушки, конденсатора и резонанса токов

Цель работы: освоение метода расчета линейных электрических цепей синусоидального тока с параллельным соединением приемников и экспериментальная проверка результатов аналитического расчета и возможности получения в таких цепях режима резонанса токов.

4.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

4.1.1 Лабораторный стенд ЭЦПОТ.001 РБЭ (901).

4.1.2 Мультиметры, соединительные провода.

4.2 Программа и порядок выполнения работы

4.2.1 Исследование электрической цепи синусоидального тока с последовательным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсатора.

4.2.1.1 Начертить заданную схему электрической цепи с параллельным соединением резистора r , индуктивной катушки (L, r_k) и конденсатора (рисунок 4.1) и указать на ней выбранные направления токов и напряжения. Варианты значения параметров (r, L, r_k, C) элементов схемы и приложенного синусоидального напряжения (U, f) указаны в таблице 4.1. Обычно вариант задания соответствует порядковому номеру бригады.

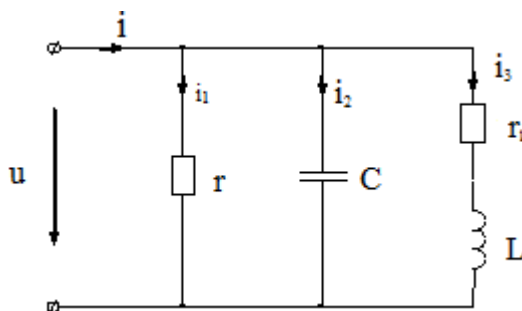


Рисунок 4.1- Схема цепи с параллельно соединенными элементами

Таблица 4.1 – Варианты параметров элементов схемы и приложенного напряжения

Вариант	$U_{вх},$ В	$f,$ Гц	$r,$ Ом	$r_k,$ Ом	$L,$ мГн	$C,$ мкФ
1	5	1000	220	330	10	0,47
2	7	1900	680	390	40	10
3	9	2500	150	100	100	0,01

4.2.1.2 Рассчитать методом преобразования действующие значения токов в ветвях цепи и занести их в таблицу 4.2.

4.2.1.3 Рассчитать активную, реактивную и полную мощности, коэффициент мощности цепи и занести их в таблицу 4.2. Составить баланс мощностей и построить векторную диаграмму токов.

Таблица 4.2

Параметры	U, В	f, Гц	R, Ом	C, мкФ	r _к , Ом	L, мГн	I, А	I ₁ , В	I ₂ , В	I ₃ , В	P, Вт	Q, Вар	S, ВА	cosφ
Расчет														
Эксперимент														

4.2.1.4 Для экспериментальной проверки результатов расчета собрать схему исследуемой цепи на рисунке 4.1 на лабораторном стенде. Для этого из набора миниблоков выбрать резистор, конденсатор и индуктивность с параметрами, заданными в таблице 4.1, а также необходимые измерительные приборы. В качестве амперметра и вольтметра использовать цифровые универсальные измерительные приборы, предварительно переключив их в режим измерения переменного (AC) напряжения и тока, соответственно, и выбрав необходимый предел измеряемой величины.

4.2.1.5 Схему подключить к зажимам генератора напряжений специальной формы, переключатель генератора установить в положение «синусоидальное напряжение».

4.2.1.6 Включить схему, установить заданные в таблице 4.1 значения приложенного напряжения U и частоты f , замерять значения токов в ветвях цепи и занести их в таблицу 4.2. После проведения эксперимента отключить схему.

4.2.1.7 Рассчитать полную S , активную P и реактивную Q мощности всей цепи, а также коэффициент мощности $\cos\varphi$ по экспериментальным значениям токов и приложенного напряжения. Полученные результаты занести в строку «эксперимент» таблицы 4.2. и сравнить их с результатами аналитического расчета.

4.2.2 Исследование резонанса токов.

4.2.2.1 Рассчитать резонансную (частоту циклическую ω_0 и линейную f_0), при которой схема на рисунке 4.1 будет работать в режиме резонанса токов при сохранении остальных ее параметров. Занести полученные результаты расчетов в строку «расчет» сводной таблицы 4.3.

4.2.2.2 Рассчитать полное сопротивление цепи z , токи в ветвях при резонансе, а также добротность Q и характеристическое сопротивление ρ контура при резонансе. Рассчитать также активную, реактивную и полную мощности при резонансе токов и занести полученные результаты расчетов в строку «расчет» таблицы 4.3.

4.2.2.3 Собрать схему резонансного контура (рисунок 4.1), установив параметры элементов схемы для своего варианта.

В качестве источника использовать генератор сигналов специальной формы, предварительно переключив его в режим синусоидальных колебаний. Установить напряжение на входе цепи $5 \dots 12 \text{ В}$ и в процессе всего эксперимента поддерживать неизменным, контролируя его величину вольтметром. В качестве амперметра и вольтметра использовать цифровые универсальные измерительные приборы, предварительно переключив их в режим измерения переменного (AC) напряжения и тока, соответственно, и выбрав необходимый предел измеряемой величины.

4.2.2.4 Включить схему, установить значения приложенного напряжения U и резонансной частоты f_0 , замерять значения токов в ветвях цепи и занести их в таблицу 4.3. После проведения эксперимента отключить схему.

4.2.2.5 Сравнить полученные результаты с результатами аналитического расчета. Обратит внимание на то, что ток I_P на входе цепи в режиме резонансе токов значительно меньше того же тока в первом режиме! Объяснить причины этого явления.

Рассчитайте значения отношений I/I_P и $\cos \varphi_P / \cos \varphi$, сопоставьте их и сделайте выводы.

Таблица 4.3 - Результаты расчета и эксперимента

Параметры	$U,$ B	$f_0,$ $Гц$	$I_P,$ A	$I_{1P},$ B	$I_{2P},$ B	$I_{3P},$ B	$P_P,$ Bm	$Q_P,$ Var	$\cos \varphi_P$
Расчет									
Эксперимент									

4.2.2.6 По экспериментальным данным определить фактические значения резонансной частоты (ω_0, f_0), характеристического сопротивления ρ , суммарного активного сопротивления контура r_Σ , индуктивности L и емкости C , а также активной, реактивной и полной мощностей цепи. Результаты занести в строку «эксперимент» таблицы 4.3. Сравнить результаты расчетов и экспериментов.

4.2.2.7 Измерить значения тока $I(f)$ в неразветвленной части цепи для диапазона частот от $0,2 f_0$ до $2 f_0$.

Результаты измерений занести в таблицу 4.4. и построить частотные характеристики ($I=f(f), I_1=f(f), I_2=f(f), I_3=f(f)$) данного параллельного колебательного контура.

Таблица 4.4 – Результаты измерения

$f, \text{Гц}$				f_0			
$I, \text{мА}$							
$I_1, \text{мА}$							
$I_2, \text{мА}$							
$I_3, \text{мА}$							

4.2.3 Сделать выводы по работе в целом и составить отчет. Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

1. Каковы зависимости индуктивной b_L и ёмкостной b_C проводимостей от частоты? Что собой представляют треугольник проводимостей и мощностей?

2. Как определяют активную, реактивную и полную проводимости цепи с параллельным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсаторов?

3. Как определяют токи в ветвях и активную, реактивную и полную мощности цепи с параллельным соединением элементов?

4. Что понимают под волновой проводимостью и добротностью параллельного контура и как их определяют?

5. Назовите условия, при которых в электрической цепи будет наблюдаться явление резонанса токов.

6. Как определяют резонансную частоту при идеальных и реальных катушек и конденсаторов?

7. Чему равны полная проводимость, сдвиг фаз, полный ток на входе цепи, активные и реактивные токи, активные и реактивные мощности при резонансе токов?

8. Что собой представляют треугольники сопротивлений, проводимостей и мощностей?

9. Законы Ома и Кирхгофа в дифференциальной форме записи?

10. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме записи?

11. Какова зависимость индуктивного X_L и ёмкостного X_C сопротивлений от частоты?

5 Лабораторная работа №5. Исследование трехфазные цепи с симметричным источником питания при соединении нагрузки по схеме «звезда»

Цель работы:

- получение навыков экспериментального исследования трехфазных цепей при соединении источника и приемника звездой;

- экспериментально изучить основные соотношения фазных и линейных величин в симметричных и несимметричных режимах, роль нейтрального провода.

5.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

5.1.1 Лабораторный стенд ЭЦПОТ.001 РБЭ (901).

5.1.2 Мультиметры, соединительные провода.

5.2 Программа и порядок выполнения работы

5.2.1 Исследование трехфазные цепи при соединении симметричной нагрузки по схеме «звезда» в нормальном и аварийном режимах.

5.2.1.1 Вычертить схемы соединения «звезда» трехфазного источника и приемника электрической энергии, указать на них положительные направления ЭДС, фазных и линейных напряжений (рисунок 5.1).

5.2.1.2 На основании второго закона Кирхгофа определить соотношения между фазными и линейными напряжениями.

5.2.1.3 По заданным в таблице 5.1, значением фазного напряжения построить векторную диаграмму фазных и линейных напряжений симметричного источник трехфазной ЭДС. По векторной диаграмме определить значение линейных напряжений и отношения $U_{л}/U_{ф}$.

5.2.1.4 Записать формулы для активной, реактивной и полной мощностей трехфазного приемника, соединенного по схеме звезда, при симметричном и не симметричном режиме их работы.

5.2.1.5 По заданным в таблице 5.1 параметрам симметричного источника трехфазной ЭДС и приемника, рассчитать напряжения и токи в цепи, схема которой приведена на рисунке 5.1 для всех режимов, указанных в таблице 5.1. Результаты расчетов свести в таблицу 5.2.

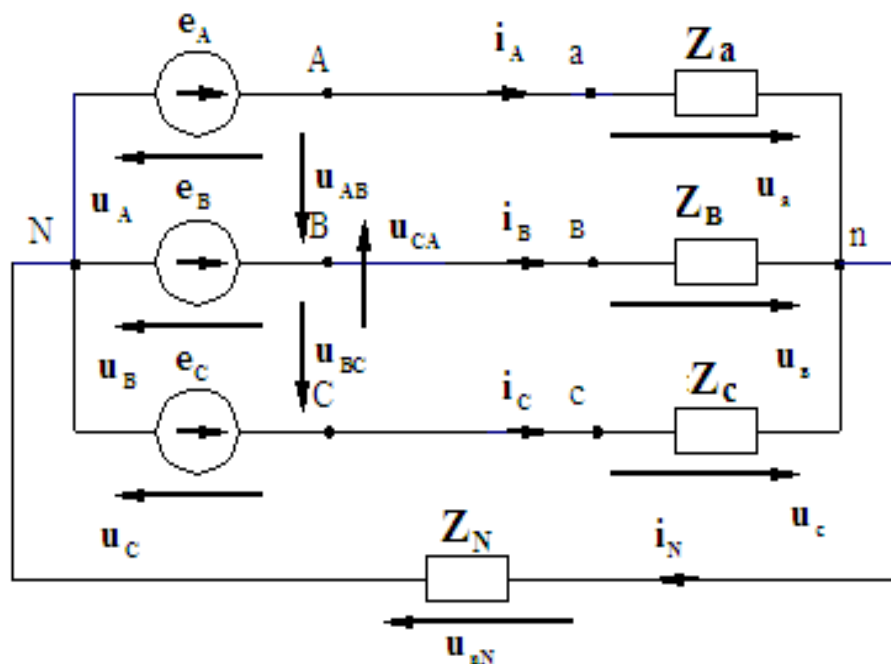


Рисунок 5.1- Схема трехфазной цепи при соединении фаз генератора и нагрузки по схеме « звезда - звезда»

Таблица 5.1- Параметры элементов трехфазной цепи

Вариант	$E_{\Phi}=U_{\Phi}$, В.	f, Гц.	$Z_a=r$, Ом	$Z_b=r$, Ом	$Z_c=r$, Ом
1					
2					
3					

5.2.1.6 Собрать схему (рисунок 5.1) на лабораторном стенде, выбрав из набора миниблоков три резистора с параметрами, заданными в таблице 5.1, и все необходимые приборы, для экспериментальной проверки результатов расчетов.

5.2.1.7 Включить трехфазный источник. Замерять величины линейных (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}) и фазных (U_A , U_B , U_C) напряжений блока трехфазного напряжения. Определить отношение $U_{л}/U_{\Phi}$. Замерять величины фазных напряжений (U_a , U_b , U_c) трехфазной нагрузки и напряжения (U_{nN}) смещения, фазные (линейные) токи (I_A , I_B , I_C) и ток (I_N) в нулевом проводе. Эксперименты произвести для двух случаев:

- для схемы «звезда» с нулевым проводом ($Z_N=0$);
- для схемы «звезда» без нулевого провода ($Z_N=\infty$).

Результаты измерений занести их в таблицу 2. Сравнить результаты аналитического расчета и эксперимента. Сделать выводы.

5.2.1.8 Для экспериментального исследования аварийных режимов в трехфазной цепи аналогично произвести эксперименты при $Z_a = \infty$ и $Z_a = 0$.

Результаты измерений занести их в таблицу 5.2. Сравнить результаты аналитического расчета и эксперимента. Сделать выводы.

Таблица 5.2 – Результаты расчета и измерений

Режим работы	Способ определения	$U_{AB},$ В	U_{BC} В.	U_{CA} В.	U_A В.	U_B В.	U_C В.	U_a В.	U_b В.	U_c В.	U_{nN} В.	I_A А.	I_B А.	I_C А.	I_N А.	Z_N Ом
Симмет. режим $Z_a = Z_b =$ $= Z_c = r.$	Расчет															0
	Экспер.															0
	Расчет															∞
	Экспер.															∞
Аварий- ный режим (обрыв) $Z_a = \infty$ $Z_b = Z_c = r.$	Расчет															0
	Экспер.															0
	Расчет															∞
	Экспер.															∞
Аварий- ный режим (кор.зам) $Z_a = 0.$ $Z_b =$ $= Z_c = r.$	Расчет															0
	Экспер.															0
	Расчет															∞
	Экспер.															∞
Несим. режим $Z_a \neq Z_b \neq$ $\neq Z_c$	Расчет															0
	Экспер.															0
	Расчет															∞
	Экспер.															∞

5.2.2 Исследование трехфазные цепи при соединении несимметричной нагрузки по схеме «звезда».

5.2.2.1 По заданным в таблице 5.3 параметрам симметричного источника трехфазной ЭДС и несимметричного приемника, рассчитать сопротивления фаз приемника, напряжения и токи в цепи, схема которой приведена на рисунке 1 для всех режимов, указанных в таблице 5.2. Рассчитать активные, реактивные и полную мощности в цепи. Результаты расчетов свести в таблицу 5.2.

5.2.2.2 Используя блок трехфазного напряжения и резисторы, индуктивные и емкостные элементы из миниблока, собрать схему на рисунке 5.1.

Таблица 5.3

Варианты	$E_{\Phi} = U_{\Phi}$ В	f, Гц	r_a , Ом	L_a , мГн	C_a , мкФ	Z_a , Ом	r_b , Ом	L_b , мГн	C_b , мкФ	Z_b , Ом	r_c , Ом	L_c , мГн	C_c , мкФ	Z_c , Ом
1														
2														
3														

5.2.2.3 Включить схему. Замерять величины линейных (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}) и фазных (U_A , U_B , U_C) напряжений блока трехфазного напряжения. Замерять величины фазных напряжений (U_a , U_b , U_c) несимметричной трехфазной нагрузки и напряжения (U_{nN}) смещения, фазные (линейные) токи (I_A , I_B , I_C) и ток (I_N) в нулевом проводе. Эксперименты произвести для двух случаев:

- для схемы «звезда» с нулевым проводом ($Z_N=0$);
- для схемы «звезда» без нулевого провода ($Z_N=\infty$).

Результаты измерений занести их в таблицу 5.2. Сравнить результаты аналитического расчета и эксперимента. Сделать выводы.

5.2.2.4 Сделать выводы по работе в целом и составить отчет. Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

- Какие электрической цепи называют трехфазными цепями?
- Что называют трехфазной симметричной системой ЭДС?
- По каким схемам соединяют фаз трехфазных источников и приемников?
- Какие токи и напряжения в трехфазных цепях называются фазными?
- Какие токи и напряжения в трехфазных цепях называются линейными?
- Каково соотношение между линейными и фазными напряжениями (токами) любых трехфазных источников и приемников при схеме «звезда»?
- Назовите роль нулевого провода. При каких случаях возникает напряжение смещения?
- Какие трехфазные источники и приемники электрической энергии называется симметричными и несимметричными?
- Как определяют токи и мощности в симметричных и несимметричных трехфазных цепях?
- Нарисовать схему и построить векторную диаграмму токов и напряжений в аварийном режиме при обрыве фазы приемника согласно варианту.
- Нарисовать схему и построить топографическую диаграмму и векторную диаграмму токов трехфазной цепи с нагрузкой, соединенной треугольником, состоящей из резистора, индуктивности и емкости согласно варианту.

12. Нарисовать таблицу 5.1. Определить по диаграммам, как изменяются токи и напряжения в несимметричных режимах по сравнению с симметричным.

6 Лабораторная работа №6. Исследование трехфазные цепи с симметричным источником питания при соединении трехфазной нагрузки по схеме «треугольник»

Цель работы:

- освоить методы расчета и получение навыков экспериментального исследования трехфазных цепей при соединении нагрузки «треугольник»;
- экспериментально изучить основные соотношения фазных и линейных величин в симметричных и несимметричных режимах при схеме соединения нагрузки «треугольник».

6.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

6.1.1 Лабораторный стенд ЭЦПОТ.001 РБЭ (901).

6.1.2 Мультиметры, соединительные провода.

6.2 Программа и порядок выполнения работы

6.2.1 Исследование трехфазные цепи при соединении симметричной нагрузки по схеме «треугольник» в нормальном и аварийном режимах.

6.2.1.1 Вычертить схемы соединения «треугольник» трехфазного приемника электрической энергии, указать на них положительные направления ЭДС, фазных и линейных токов (рисунок 6.1).

6.2.1.2 На основании первого закона Кирхгофа определить соотношения между фазными и линейными токов.

6.2.1.3 По заданным в таблице 6.1, построить векторную диаграмму фазных и линейных токов симметричного источник трехфазной ЭДС. По векторной диаграмме определить значение линейных токов и отношения U_l/U_ϕ .

6.2.1.4 Записать формулы для активной, реактивной и полной мощностей трехфазного приемника, соединенного по схеме «треугольник», при симметричном и не симметричном режимах их работы.

6.2.1.5 По заданным в таблице 6.1 параметрам симметричного источника трехфазной ЭДС и приемника, рассчитать токи в цепи, схема которой приведена на рисунке 6.1 для всех режимов, указанных в таблице 6.2. Результаты расчетов свести в таблицу 6.2.

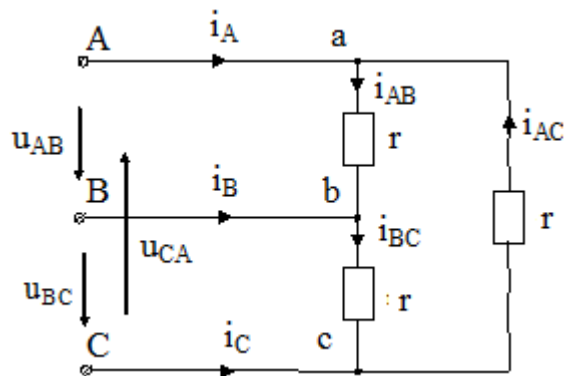


Рисунок 6.1 – Схема трехфазной цепи при соединении фаз генератора и нагрузки по схеме «треугольник»

Таблица 6.1- Параметры элементов трехфазной цепи

Вариант	$E_{\Phi}=U_{\Phi}$, В.	f , Гц.	$Z_{ab}=r$, Ом	$Z_{bc}=r$, Ом	$Z_{ca}=r$, Ом
1					
2					
3					

6.2.1.6 Собрать схему (рисунок 6.1) на наборном поле лабораторного стенде, выбрав из набора миниблоков три резистора с параметрами, заданными в таблице 6.1, и все необходимые приборы, для экспериментальной проверки результатов расчетов. Входы цепи подключить к выходам блока трехфазного напряжения.

6.2.1.7 Включить трехфазный источник. Замерять величины линейных (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}) и фазных (U_A , U_B , U_C) напряжений блока трехфазного напряжения. Определить отношение $U_{л}/U_{\Phi}$. Замерять величины фазных (I_{ab} , I_{bc} , I_{ca}) и линейных (I_A , I_B , I_C) токов трехфазной нагрузки.

Результаты измерений занести их в таблицу 6.2. Сравнить результаты аналитического расчета и эксперимента. Сделать выводы.

6.2.1.8 Для экспериментального исследования аварийных режимов в трехфазной цепи аналогично произвести эксперименты при $Z_{ab} = \infty$, (обрыв фазы приемника) и $Z_{ла} = \infty$, (обрыв линии А).

Результаты измерений занести их в таблицу 6.2. Сравнить результаты аналитического расчета и эксперимента. Сделать выводы.

6.2.2 Исследование трехфазные цепи при соединении несимметричной нагрузки по схеме «треугольник»

6.2.2.1 По заданным в таблице 6.3 параметрам симметричного источника трехфазной ЭДС и несимметричного приемника, рассчитать сопротивления фаз приемника, линейные напряжения, фазные и линейные токи в цепи, схема которой приведена на рисунке 6.1 для всех режимов, указанных в таблице 6.2. Рассчитать активные, реактивные и полную мощности в цепи. Результаты расчетов свести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты расчета и измерений

Режим работы.	Способ определения	$U_A,$ В.	$U_{BC},$ В.	$U_{CA},$ В.	$U_{AB},$ В.	$U_{BC},$ В.	$U_{CA},$ В.	$I_A,$ А.	$I_B,$ А.	$I_C,$ А.	$I_{AB},$ А.	$I_{BC},$ А.	$I_{CA},$ А.
Симмет. режим $Z_{AB}=Z_{BC}=Z_{CA}=r.$	Расчет												
	Эксперимент												
Аварийн. режимы: $Z_{AB} = \infty$ $Z_{BC}=Z_{CA}=r.$	Расчет												
	Эксперимент												
$Z_{AB}=Z_{BC}=Z_{CA}=r.$ $Z_{\Delta A} = \infty$	Расчет												
	Эксперимент												
Несиммет режим $Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$	Расчет												
	Эксперимент												

6.2.2.2 Используя блок трехфазного напряжения и резисторы, индуктивные и емкостные элементы из миниблока, собрать схему на рисунке 6.1.

Таблица 6.3- Параметры элементов трехфазной цепи

Варианты	$E_{\Phi}=U_{\Phi}$ В	$f,$ Гц	$r_{AB},$ Ом	$L_{AB},$ мГн	$C_{AB},$ мкФ	Z_{AB} Ом	$r_{BC},$ Ом	$L_{BC},$ мГн	$C_{BC},$ мкФ	$Z_{BC},$ Ом	$r_{CA},$ Ом	$L_{CA},$ мГн	$C_{CA},$ мкФ	$Z_{CA},$ Ом
1														
2														
3														

6.2.2.3 Включить схему. Замерять величины линейных (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}) и фазных (U_A, U_B, U_C) напряжений блока трехфазного напряжения и несимметричной трехфазной нагрузки, фазных (I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}) и линейных (I_A, I_B, I_C) токов. Результаты измерений занести их в таблицу 6.2. Сравнить результаты аналитического расчета и эксперимента. Сделать выводы.

6.2.2.3 Сделать выводы по работе в целом и составить отчет. Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

1. Какие схемы соединения трехфазных источников и приемников электрической энергии называются треугольником?

2. Приведите соотношение между линейными и фазными токами в симметричных трехфазных цепях при соединении фаз трехфазных источников и приемников по схеме «треугольник».

3. Приведите соотношение между линейными и фазными токами в несимметричных трехфазных цепях, при схемах соединения фаз трехфазных источников и приемников «треугольник».

4. Приведите соотношение между линейными и фазными напряжениями в трехфазных цепях при схемах соединения фаз трехфазных источников и приемников «треугольник».

5. Назовите достоинства и недостатки схемы соединения треугольник трехфазных источников и приемников электрической энергии.

6. Как связаны линейные и фазные токи, напряжения в трехфазной цепи при соединении треугольником.

7. Каково соотношение между линейными и фазными токами в симметричном режиме.

8. Построить топографическую диаграмму и векторную диаграмму токов в симметричном режиме, сопротивления нагрузки во всех фазах активные и равные ($R_{ab} = R_{bc} = R_{ca}$).

9. Нарисовать схему и построить векторную диаграмму токов и напряжений в аварийном режиме при обрыве линейного провода согласно варианту.

7 Лабораторная работа №7. Исследование однофазного двухобмоточного трансформатора

Цель работы:

- освоить устройство, принцип действия однофазного трансформатора;
- экспериментально исследовать свойств однофазного двухобмоточного трансформатора и научиться по результатам экспериментов определять основные параметры трансформатора.

7.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

7.1.1 Лабораторный стенд , имеющий модуль питания стенда (МПС), модуль питания (МП), модуль однофазного трансформатора (ОдТр) и модуль измерительный (МИ).

7.1.2 Соединительные провода

7.2 Программа и порядок выполнения работы

7.2.1 Снять внешнюю характеристику трансформатора при активной нагрузке и сравнить ее с расчетной.

7.2.2 Перед проведением работы необходимо привести модули схемы (рисунок 7.2) в исходное состояние. Для этого при выключенном

автоматическом выключателе $QF1$ модуля питания стенда: установить переключатель $SA2$ модуля однофазного трансформатора в положение «∞».

В работе используется однофазный двухобмоточный трансформатор, каталожные данные которого приведены в Приложении А.

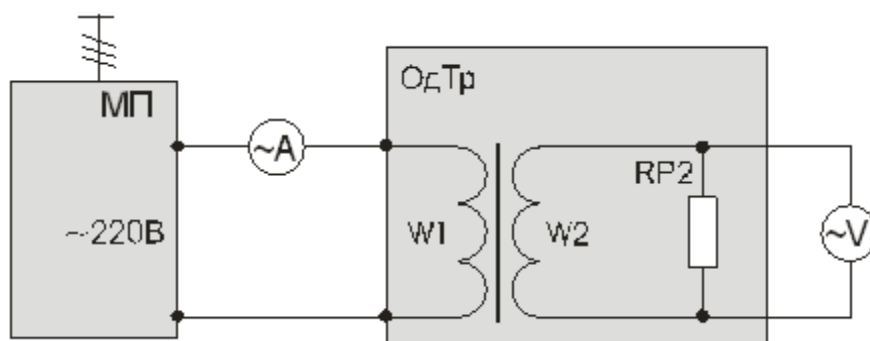


Рисунок 7.2 – Схема для снятия внешней характеристики трансформатора

7.2.3 Однофазный трансформатор подключается к нерегулируемому источнику переменного тока «~220» модуля МП. Для создания нагрузки во вторичную цепь трансформатора включается регулируемое сопротивление $RP2$. Контроль параметров в первичной и вторичной обмотках осуществляется с помощью приборов PV и PA модуля МИ.

7.2.4 Опыт проводится в следующем порядке:

– включить автоматические выключатели $QF1$ и $QF2$ модулей МПС и МП соответственно, трансформатор работает на холостом ходу, данную точку занести в таблицу 7.1;

– переключателем $SA2$ модуля $ОдТр$ изменять ток вторичной обмотки до тех пор, пока ток в первичной обмотке не будет равен $I_1 = I_{1H} = S_H / U_{1H}$. Здесь S_H – полная мощность (Приложение А), кВА; U_{1H} – номинальное вторичное напряжение (Приложение А), В.

Переключатель $SA2$ в положение «0» не выводить.

Данные опыта занести в таблицу 7.1. После проведения опыта $SA2$ перевести в положение «∞», отключить автоматы $QF2$, $QF1$.

Таблица 7.1- Результаты измерений и расчета

Данные опыта		Расчетные данные		
U_2 , В	I_1 , А	$k_{тр}$	$k_{нг}$	I_2 , А

7.2.5 По опытным данным можно построить внешнюю характеристику трансформатора и рассчитать коэффициента трансформации $k_{тр} = U_1 / U_2$ и коэффициента нагрузки $k_{нг} = I_2 / I_{2H}$. Ток вторичной обмотки $I_2 = I_1 \cdot k_{тр}$.

7.2.6 Сделать выводы по работе в целом и составить отчет.

Контрольные вопросы

1. По каким причинам сердечники трансформаторов собираются из тонких листов электротехнической стали с изоляцией между листами.
2. Поясните принцип действия трансформаторов.
3. Чем обусловлены электрические и магнитные потери в трансформаторах.
4. С какими целями проводится опыт холостого хода.
5. С какими целями проводится опыт короткого замыкания.
6. При каких значениях напряжения на входе первичной обмотки трансформатора проводится опыт короткого замыкания.
7. Почему ток холостого хода трансформатора очень мал и составляет несколько процентов от номинального тока.
8. Как определяют коэффициент трансформации и коэффициент нагрузки.
9. Как определяют КПД трансформатора.

8 Лабораторная работа №8. Исследование электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения

Цель работы:

- изучение устройства, принцип действия и режимы работы электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения;
- экспериментальное исследование характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения и построение его энергетической диаграммы электродвигателя.

8.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

8.1.1 Лабораторный стенд, содержащий модуль питания стенда (МПС), модуль питания (МП), модуль добавочных сопротивлений №1 (МДС1), силовой модуль (СМ), модуль преобразователя частоты (ПЧ), модуль ввода/вывода (МВВ).

8.1.2 Соединительные провода.

8.2 Программа и порядок выполнения работы

8.2.1 Изучить схему для экспериментального исследования электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ), состав и назначение модулей, используемых в работе.

8.2.2 Собрать схему для экспериментального исследования ДПТ. Провести пробное включение.

8.2.3 Снять естественную механическую и электромеханическую характеристику.

8.2.4 Провести обработку экспериментальных данных, составить отчет и сделать заключение по работе.

8.2.5 Схема для исследования двигателя постоянного тока независимого возбуждения представлена на рисунке 8.1.

Якорная цепь ДПТ подключается к выходу нерегулируемого источника постоянного тока МП через датчики тока и напряжения. Обмотка возбуждения подключается к нерегулируемому источнику постоянного тока МП. Выходы ДТ, ДН и ПЧН силового модуля подключаются к входам ADC1, ADC2 и ADC3 соответственно модуля МВВ.

Тормозные режимы обеспечивает асинхронный электродвигатель, подключенный к преобразователю частоты, переведенному в режим регулирования момента.

8.2.6 Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

- переключатель SA1 модуля МДС1 установить в положение «∞».
- перед началом работы необходимо перевести ПЧ в режим регулирования по моменту (Приложение Б).
- после перевода ПЧ в режим регулирования момента установить SA1 МДС1 в положение «0» и не менять до окончания работы.

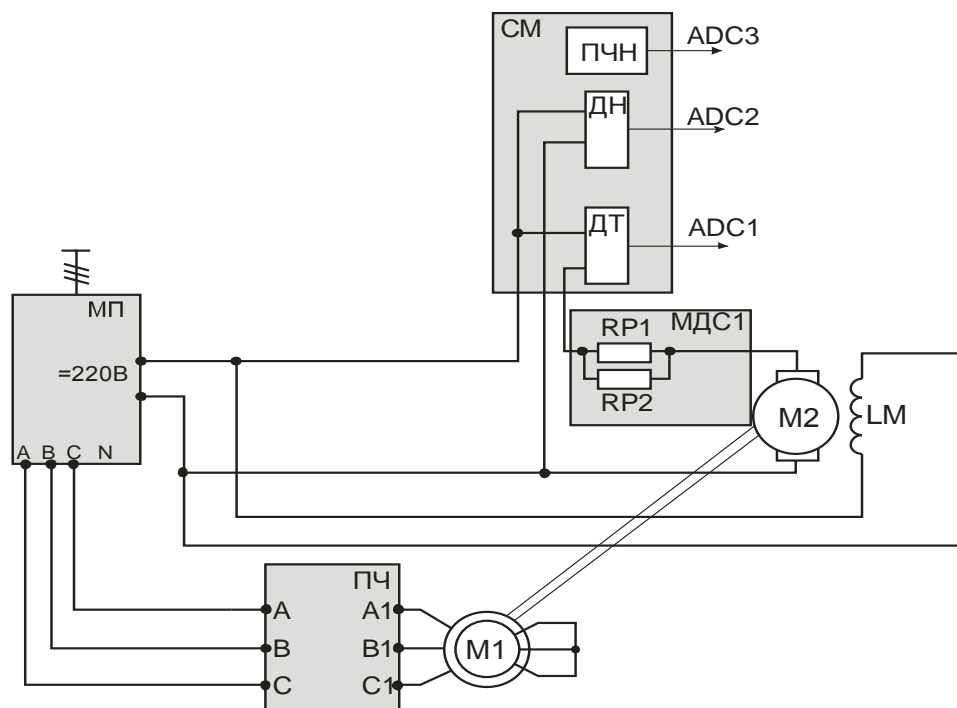


Рисунок 8.1 - Схема для исследования двигателя независимого возбуждения

8.2.6 Снятие естественных механической и электромеханической характеристик.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматы QF1 и QF2 модулей МПС и МП соответственно, запуститься двигатель постоянного тока;

– подать разрешение на работу ПЧ (SA3) и, выбрав переключателем SA1 модуля необходимое направление вращения, задавать с помощью потенциометра RP1 тормозной момент. Если частота вращения двигателя увеличивается, поменять направление задания момента;

– при проведении опыта контролировать ток якоря. Он не должен превышать 1,5А;

– в процессе проведения опыта необходимо снять точку холостого хода, несколько точек двигательного режима.

Данные опыта занести в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

n, об/мин									
I _я , А									
U _я , В									
P _я , Вт									
ΔP _{ЭЛЯ} , Вт									
ΔP _{МЕХ.ДПТ} , Вт									
P _В , Вт									
η									
ω, 1/с									
M _В , Н·м									

После проведения опыта установить все переключатели модулей в исходное состояние.

8.2.7 Выполнить расчеты по следующим формулам:

Мощность, подводимая к двигателю, Вт:

$$P_{я} = U_{я} \cdot I_{я}. \quad (8.1)$$

Потери в якорной цепи ДПТ, Вт:

$$\Delta P_{ЭЛЯ} = I_{я}^2 \cdot r_{я}, \quad (8.2)$$

где $r_{я}$ – сопротивление якорной цепи ДПТ (Приложение В), Ом.

Мощность на валу двигателя.

$$P_{В} = P_{я} - \Delta P_{ЭЛ} - \Delta P_{МЕХ.ДПТ}, \quad (8.3)$$

где $\Delta P_{\text{мех.дпт}}$ – механические потери электродвигателя (Приложение В), Вт.

Коэффициент полезного действия для двигательного режима:

$$\eta = \frac{P_{\text{в}}}{P_{\text{я}}} . \quad (8.4)$$

Частота вращения двигателя, 1/с.

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot n . \quad (8.5)$$

Момент на валу двигателя, Н·м.

$$M_{\text{в}} = \frac{P_{\text{в}}}{\omega} . \quad (8.6)$$

8.2.8 По данным таблицы 8.1 построить механическую и электромеханическую характеристики, а также зависимость $\eta = f(M_{\text{в}})$, $\eta = f(I_{\text{я}})$. Необходимо построить диаграммы для двигательного, режима, а также для режима холостого хода.

8.2.9 Составить отчет и сделать выводы по работе в целом. Обратит внимание на причины возможных расхождений расчетных величин с экспериментальными.

Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

1. Опишите устройство и принцип действия электродвигателей постоянного тока?
2. Что понимают под механической и электромеханической характеристиками?
3. Как определяют основные параметры (мощность, момент на валу, частота вращения, КПД, потери мощности)?
4. Как изменить направление вращения ДПТ?
5. Что называют энергетической диаграммой двигателя?
6. Почему у ДПТ возрастает ток якоря при увеличении нагрузки на его валу?
7. Почему при уменьшении тока возбуждения частота вращения ДПТ возрастает?
8. Как должен изменяться ток якоря при уменьшении тока возбуждения и постоянном моменте сопротивления на валу двигателя?
9. Как изменится вид механической характеристики двигателя, если ввести в цепь якоря добавочное сопротивление $R_{\text{дв}}$?

9 Лабораторная работа №9. Исследование трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы:

- изучение устройства, принцип действия и режимы работы асинхронного двигателя;
- экспериментальное исследование характеристик трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором путем снятия соответствующих опытных характеристик.

9.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

9.1.1 Лабораторный стенд, содержащий модуль питания стенда (МПС), модуль питания (МП), модуль измерителя мощности (МИМ), силовой модуль (СМ), модуль тиристорного преобразователя (ТП), модуль ввода/вывода (МВВ), модуль измерительный (МИ).

9.1.2 Соединительные провода.

9.2 Программа и порядок выполнения работы

9.2.1 Изучить схемы для исследования асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (в дальнейшем изложении АД).

9.2.2 Снять механическую и электромеханическую характеристики двигателя.

9.2.3 Построить графики зависимости η , $\cos(\varphi)=f(M)$.

9.2.4 Построить энергетические диаграммы двигателя для нескольких режимов работы.

9.2.5 Провести обработку экспериментальных данных, составить отчет и сделать заключение по работе.

9.2.6 Схема для исследования асинхронного электродвигателя представлена на рисунке 9. 1. Асинхронный двигатель, исследуемый в данной работе, подключается к выходам 3х380В модуля питания через измеритель мощности и датчики тока и напряжения.

Выходы датчиков тока и напряжения, а также выход ПЧН подключаются к входам ADC1, ADC2, ADC3 модуля ввода/вывода. Выход датчика тока якоря тиристорного преобразователя соединяется с входом ADC4 модуля ввода/вывода.

Напряжение на якоре контролируется с помощью вольтметра модуля МИ. В качестве нагрузочной машины выступает двигатель постоянного тока, подключенный к тиристорному преобразователю (ТП).

9.2.7 Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

– переключатель «Сеть» тиристорного преобразователя перевести в нижнее положение, переключатель SA2 – в положение «Момент», SA3 – в положение «Руч», SA4 – в положение «НМ», SA6 «Разрешение» – в нижнее положение;

- перед началом работы ТП должен быть переведен в режим регулирования момента (Приложение В).

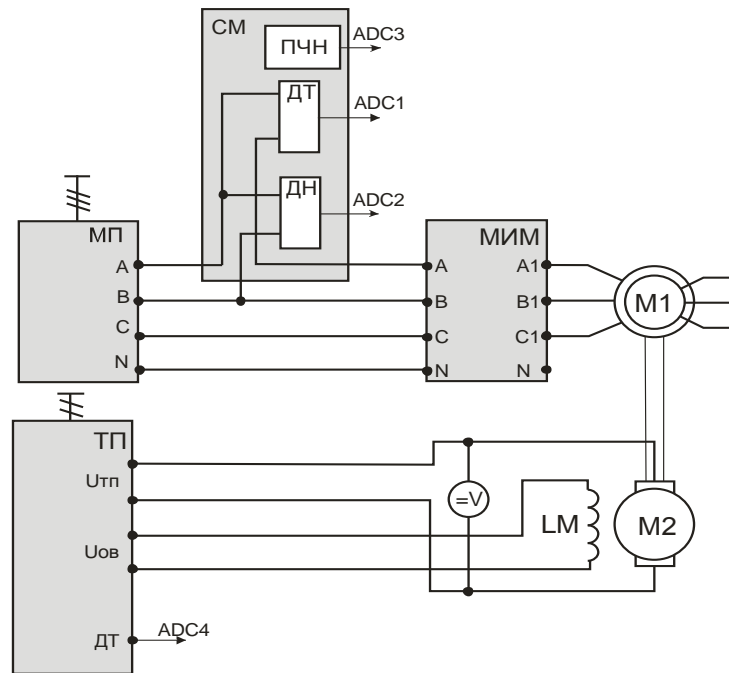


Рисунок 9 1 - Схема для исследования асинхронного электродвигателя

9.2.8 Снятие механической и электромеханической характеристик двигателя.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматические выключатели QF1, QF2 – подается напряжение на асинхронный двигатель;

– подать питание на ТП включением кнопки «Сеть»;

– подать разрешение на работу ТП (SA6) и, выбрать направление задания момента (переключатель SA5 модуля ТП);

– изменением потенциометра RP1 задавать момент нагрузки. Если частота вращения увеличивается, следует поменять направление момента нагрузки;

– снять несколько точек двигательного режима, поменять направление момента (переключатель SA5 ТП), снять несколько точек генераторного режима. При проведении опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать 1,5А.

Данные опыта занести в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Результаты измерений и расчета

n, об/мин									
U _Ф , В									
I _С , А									
P _С , Вт									
ω, 1/с									
S, В·А									
cos(φ)									
ΔP _{ЭЛСТ} , Вт									
ΔP _{МЕХ.АД} , Вт									
P _В , Вт									
M _В , Н·м									
η									

9.2.9 После проведения опыта установить все переключатели модулей в исходное состояние.

9.2.10 Выполнить расчеты по следующим формулам:

Частота вращения двигателя, 1/с:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n. \quad (9.1)$$

Полная мощность, потребляемая из сети, В·А:

$$S = 3 \cdot U_{\Phi} \cdot I_{C}. \quad (9.2)$$

Коэффициент мощности cos(φ) электродвигателя:

$$\cos(\varphi) = \frac{P_C}{S}, \quad (9.3)$$

где P_С – активная мощность, потребляемая из сети, Вт.

Электрические потери в цепи статора, Вт

$$\Delta P_{\text{ЭЛСТ}} = 3 \cdot I_C^2 \cdot r_C, \quad (9.4)$$

где r_С – сопротивление фазы обмотки статора (Приложение В).

Полезная мощность на валу двигателя, Вт

$$P_B = P_C - \Delta P_{\text{ЭЛСТ}} - \Delta P_{\text{МЕХ.АД}}, \quad (9.5)$$

где ΔP_{МЕХ.АД} – механические потери двигателя (Приложение В), Вт.

Момент на валу двигателя, Н·м:

$$M_B = \frac{P_B}{\omega}. \quad (9.6)$$

Коэффициент полезного действия в двигательном режиме электродвигателя

$$\eta = \frac{P_B}{P_C}. \quad (9.7)$$

Коэффициент полезного действия в генераторном режиме:

$$\eta = \frac{P_C}{P_B}. \quad (9.8)$$

9.2.11 По данным опытов построить механическую, электромеханическую характеристику, а также зависимости $\eta = f(M_B)$; $\cos(\varphi) = f(M_B)$.

9.2.12 *Построение энергетических диаграмм.* Энергетические диаграммы представляют собой графическое отображение распределения потерь и показывают направление потоков мощностей в электроприводе.

Диаграмма отображается в масштабе для конкретного режима работы и для конкретной точки. Направление потоков мощностей показывается стрелками с указанием величин потерь.

Примерный вид диаграммы для двигательного режима представлен на рисунке 9.2.

Результаты расчета для конкретной точки привести в таблице 9.2.

Таблица 9.2

ω , 1/с	M_B , Н·м	P_C , Вт	$\Delta P_{ЭЛ}$, Вт	$\Delta P_{МЕХ}$, Вт	P_B , Вт

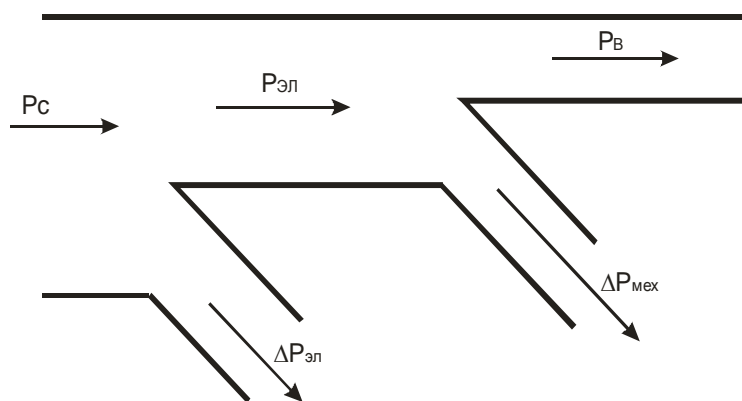


Рисунок 9.2 - Энергетическая диаграмма АД для двигательного режима

В лабораторной работе необходимо построить диаграммы для двигательного режима, а также для режима холостого хода.

9.2.13 Составить отчет и сделать выводы по работе в целом. Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

1. Объясните устройство и принцип действия асинхронного двигателя.
2. Что понимают под скольжением?
3. Назовите режимы работы асинхронной машины. При каких значениях скольжения они имеют место?
4. Почему по мере увеличения нагрузки на валу асинхронного двигателя автоматически возрастет его электромагнитный вращающий момент?
5. Что представляют собой механическая и электромеханическая характеристики? Какие характеристики относятся к рабочим характеристикам?
6. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?
7. Может ли асинхронный двигатель создавать момент при синхронной частоте вращения?
8. Как изменится момент асинхронного двигателя при понижении напряжения питающей сети?
9. Объяснить физический смысл зависимости $\cos \varphi_1 = f(P_2)$.
10. На механической характеристике двигателя указать точку перехода в генераторный режим, точку реального и идеального холостого хода.
11. Что представляют собой энергетические диаграммы?
12. Приведите формулы для определения полной мощности, частоты вращения, электрические потери в цепи статора, полезной мощности на валу, момента на валу, КПД и $\cos \varphi$.

10 Лабораторная работа №10. Исследование простейших однополупериодных и двухполупериодных выпрямителей

Цель работы:

- изучение устройства и принципа действия простейших однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей;
- экспериментальное исследование работы выпрямителей, научиться измерять основные параметры выпрямленного напряжения и тока с помощью электронного осциллографа.

10.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

10.1.1 Лабораторный стенд ЭЦПОТ.001 РБЭ (901).

10.1.2 Электронный осциллограф, мультиметры, соединительные провода.

10.2 Программа и порядок выполнения работы

10.2.1 Для однополупериодной схемы выпрямления, по заданным в таблице 10.1 величинам (частота сети f , действующее значение напряжение U_2 источника на входе выпрямителя, сопротивление нагрузки R_H), рассчитать:

- значения постоянной составляющей выпрямленного напряжения U_H и тока I_H ;
- амплитуду основной гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения $U_{m(0)}$;
- коэффициента пульсаций p .

Результаты расчета занести в таблицу 1, в строку – «расчет».

Таблица 10.1

Параметры	$U_2, В$	$f, Гц$	$R_H, Ом$	$U_H, В$	$I_H, А$	$U_{m(0)}, В$	p
Расчет							
Эксперимент							

10.2.2 Для двухполупериодной схемы выпрямления, по заданным в таблице 10.2 величинам (частота сети f , действующее значение напряжение U_2 источника на входе выпрямителя, сопротивление нагрузки R_H), рассчитать:

- значения постоянной составляющей выпрямленного напряжения U_H и тока I_H ;
- амплитуду основной гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения $U_{m(0)}$;
- коэффициента пульсаций p .

Результаты расчета занести в таблицу 10.2, в строку – « расчет».

Таблица 10.2

Параметры	$U_2, В$	$f, Гц$	$R_H, Ом$	$U_H, В$	$I_H, А$	$U_{m(0)}, В$	ρ
Расчет							
Эксперимент							

10.3 Исследование однополупериодной схемы выпрямления

10.3.1 Из набора миниблоков, выбрать резистор с параметром R_H , заданным в таблице 10.1, и диод КД 226. Собрать схему однополупериодного выпрямителя (рисунок 10.3), подключив вход ее к выходу генератора синусоидальных напряжений блока генераторов напряжений.

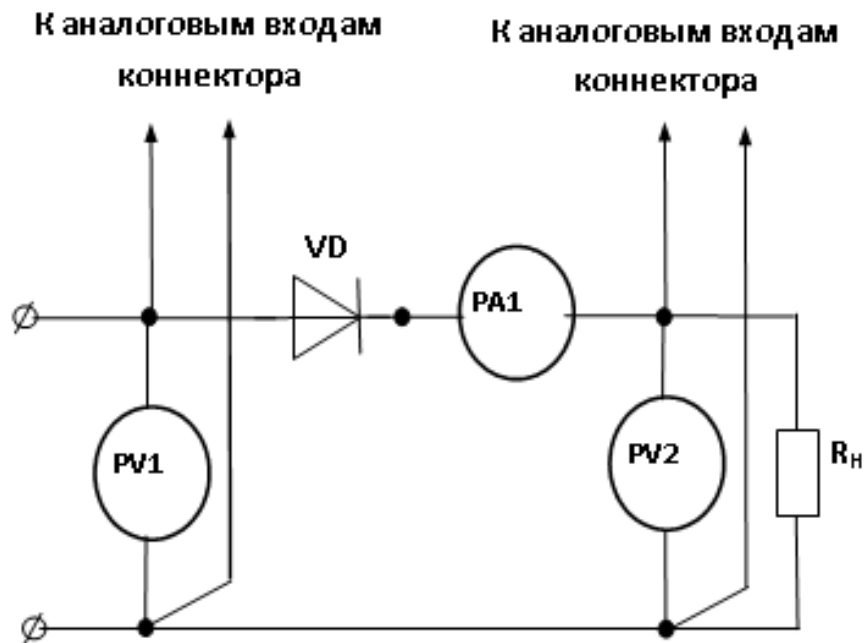


Рисунок 10.3- Схема однополупериодного выпрямителя

10.3.2 Настроить осциллограф в соответствии с ожидаемыми величинами измеряемых напряжений. Вольтметр $PV1$ установить в режим измерения переменных напряжений (AC), а вольтметр $PV2$ и амперметр $PA1$ – в режим измерения постоянного напряжения и тока (DC).

10.3.3 Включить схему и снять показания приборов: $U_{PV1} = U_2$; $U_{PV2} = U_H$; $I_{PA} = I_H$, занести их в таблицу 10.1 в строку «эксперимент». Сравнить полученные результаты с их расчетными величинами. Отключить схему. Сделать выводы.

10.3.4 Зарисовать осциллограммы напряжений на входе и выходе выпрямителя.

10.3.5 Установить на вольтметре *PV2* режим измерения «АС», в этом режиме вольтметр показывает действующее значение переменной составляющей $U_{(0)}$ выпрямленного напряжения. Включить схему, снять показание вольтметра *PV2*, Выключить схему.

Рассчитать значение коэффициента пульсаций: $p = \frac{U_{(0)} \cdot \sqrt{2}}{U_H}$.

Результат расчета занести в таблицу 10.1 в строку «эксперимент». Сравнить полученное значение коэффициента пульсаций p с его расчетной величиной.

10.4 Исследование двухполупериодной схемы выпрямления

10.4.1 Из набора миниблоков, выбрать резистор с параметром R_H , заданным в таблице 10.2, и четыре диода КД 226. Собрать схему двухполупериодного выпрямителя (рисунок 10.4), подключив вход ее к выходу генератора синусоидальных напряжений блока генераторов напряжений.

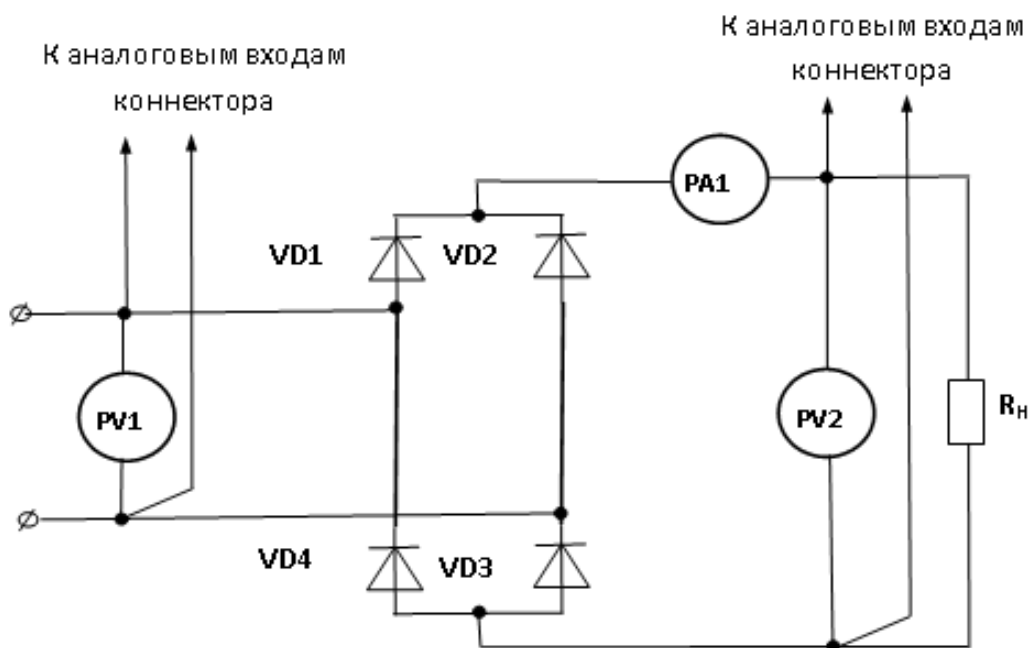


Рисунок 10.4 - Схема двухполупериодного выпрямителя

10.4.2 Настроить осциллограф, в соответствии с ожидаемыми величинами измеряемых напряжений. Вольтметр *PV1* установить в режим измерения переменных напряжений (АС), а вольтметр *PV2* и амперметр *PA1* – в режим измерения постоянного напряжения и тока (DC).

10.4.3 Включить схему и снять показания приборов: $U_{PV1} = U_2$; $U_{PV2} = U_H$; $I_{PA} = I_H$, занести их в таблицу 10.2 в строку

«эксперимент». Сравнить полученные результаты с их расчетными величинами. Отключить схему. Сделать выводы.

10.4.4 Зарисовать осциллограммы напряжений на входе и выходе выпрямителя.

10.4.5 Установить на вольтметре $PV2$ режим измерения AC , в этом режиме вольтметр показывает действующее значение переменной составляющей $U_{(0)}$ выпрямленного напряжения. Включить схему, снять показание вольтметра $PV2$. Выключить схему. Рассчитать значение коэффициента пульсаций: $p = \frac{U_{(0)} \cdot \sqrt{2}}{U_H}$. Результат расчета занести в таблицу 10.2

в строку «эксперимент». Сравнить полученное значение коэффициента пульсаций p с его расчетной величиной.

10.4.6 Составить отчет и сделать выводы по работе в целом. Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

1. Какой нелинейный элемент называется электрическим вентилем? Привести его вольт-амперную характеристику. Дать определение идеального вентиля.

2. Объясните принцип действия выпрямителей на полупроводниковых диодах.

2. Опишите работу однополупериодной схемы выпрямителя.

3. Опишите работу двухполупериодной схемы выпрямителя.

4. По заданному действующему значению синусоидального напряжения на входе U_2 определить постоянную составляющую выпрямленного напряжения U_H для однополупериодной схемы выпрямления.

5 По заданному действующему значению синусоидального напряжения на входе U_2 определить постоянную составляющую выпрямленного напряжения U_H для двухполупериодной схемы выпрямления.

6. Что характеризует коэффициент пульсаций p .

11 Лабораторная работа №11. Исследование усилителей на биполярных транзисторах

Цель работы:

- изучение конструкции, принципа работы и схемы включения биполярного транзистора;

- получить экспериментальные навыки по определению основных параметров усилителей на биполярных транзисторах, входных и выходных характеристик транзистора.

11.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

11.1.1 Лабораторный стенд ЭЦПОТ.001 РБЭ (901).

11.1.2. Мультиметры, электронный осциллограф, соединительные провода.

11.2 Программа и порядок выполнения работы

11.2.1 Вычертить схему усилительного каскада с общим эмиттером, на биполярном транзисторе типа n-p-n (рисунок 11.2) и описать назначение ее элементов.

11.2.2. Из набора миниблоков выбрать элементы, указанные в таблице 11.1.

Таблица 11.1 – Параметры элементов схемы усилительного каскада с общим эмиттером

Резисторы МЛТ, 2 Вт, $\pm 5\%$					Конденсаторы К73-17, 63 В		Транзистор
R_1	R_2	R_C	R_E	R_H	C_1	C_2	VT1
100 кОм	100 кОм	1 кОм	10 Ом	2,2 кОм	1 мкФ	0,47 мкФ	КТ503 Г (n-p-n)

11.2.3 Для исследования усилительного каскада на биполярном транзисторе по схеме с общим эмиттером собрать схему (рисунок 11.2), используя выбранные элементы (таблица 11.1). Здесь: G1 – генератор напряжений специальной формы; G2 – генератор постоянных напряжений 220 В/15В.

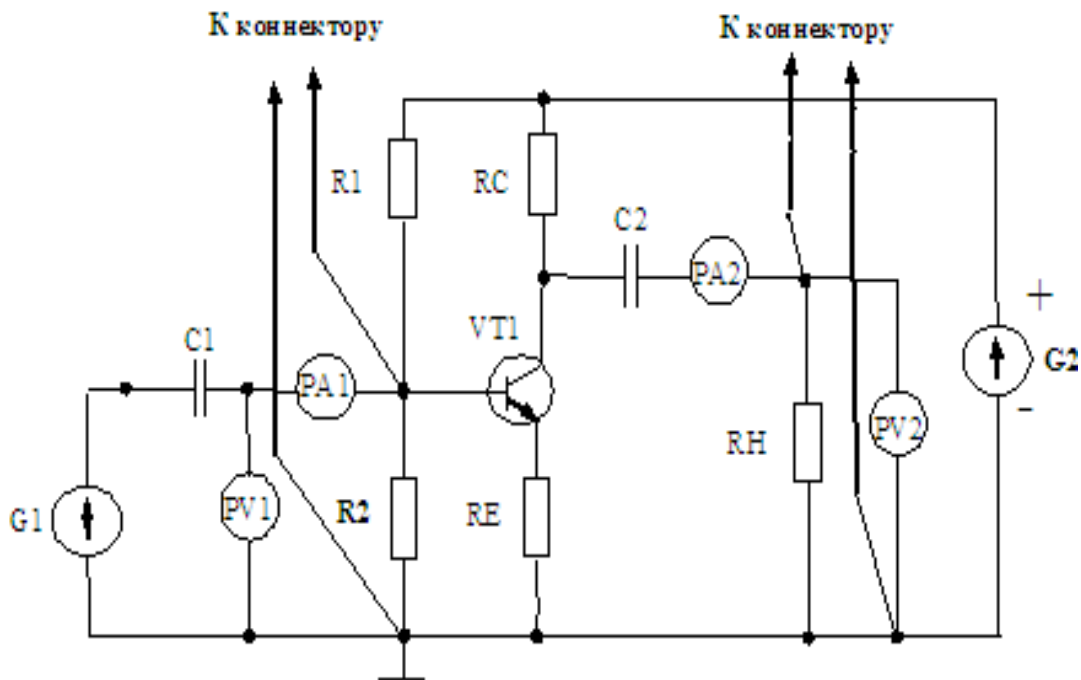


Рисунок 11.2 - Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе по схеме с общим эмиттером

11.2.4 Мультиметры установить в режим измерения переменных напряжений и токов. После проверки схемы руководителем, включить $G1$, для этого включить «сеть» блока генераторов напряжений. Установить форму входного сигнала \sim , напряжение U_1 и частоту f_1 на его выходе, равными их значениям заданным в таблице 2. Включить источник $G2$.

11.2.5 Настроить осциллограф в режиме измерения переменной составляющей сигнала « \sim », получив на его экране осциллограммы входного и выходного напряжений в удобном масштабе.

11.2.6 Снять показания приборов и занести их в таблицу 11.2. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений. Отключить схему.

Таблица 11.2 – Результаты измерений и расчета

Форма сигнала	Частота f_k , кГц	U_1 мВ	U_2 мВ	I_1 мА	I_2 мА	k_U	K_I	k_P
\sim	$f_1=$							
	$f_2=$							
\square	$f_1=$							
	$f_2=$							

11.2.7 Установить напряжение U_1 и частоту f_2 на его выходе, равными их значениям, заданным в таблице 2. Включить источник $G2$. Настроить осциллограф в режиме измерения переменной составляющей сигнала « \sim », получив на его экране осциллограммы входного и выходного напряжений в удобном масштабе. Снять показания приборов и занести их в таблицу 11.2.

Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений. Отключить схему.

11.2.8 Установить форму входного сигнала \square , напряжение U_1 и частоту f_1 на выходе G1, равными их значениям заданным в таблице 11.2. Включить источник G2. Настроить осциллограф в режиме измерения переменной составляющей сигнала «~», получив на его экране осциллограммы входного и выходного напряжений в удобном масштабе. Снять показания приборов и занести их в таблицу 11.2. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений. Отключить схему

11.2.9. Установить частоту f_2 на выходе G1, равной ее значению, заданному в таблице 2. Включить источник G2. Настроить осциллограф в режиме измерения переменной составляющей сигнала «~», получив на его экране осциллограммы входного и выходного напряжений в удобном масштабе. Снять показания приборов и занести их в таблицу 11.2. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений. Отключить схему.

11.2.10 Используя полученные показания приборов (таблица 11.2), рассчитать значения коэффициентов усиления каскада: по напряжению $k_u = U_2/U_1$; по току $k_I = I_2/I_1$; по мощности $k_p = k_u k_I$. Результаты расчетов занести в таблицу 11.2. Сделать выводы.

11.2.11 Составить отчет и сделать выводы по работе в целом. Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой биполярные транзисторы и из каких материалов они изготавливаются?
2. Назовите основные характеристики биполярных транзисторов.
3. Охарактеризуйте схемы включения транзисторов. Назовите их достоинства и недостатки.
4. Перечислите основные электрические параметры транзисторов.
5. Как определяют коэффициенты усиления: по напряжению, по току и по мощности?
6. Какое устройство называется усилителем? Объясните принцип работы усилительного каскада на биполярном транзисторе по схеме с общим эмиттером. Назовите достоинства и недостатки.
7. Перечислите пути повышения входного сопротивления и снижения выходного сопротивления усилителей.
8. Перечислите пути повышения коэффициентов усиления по напряжению и току.

12 Лабораторная работа №12. Исследование схем усиления электрических сигналов на базе операционных усилителей

Цель работы:

- изучение устройства и принципа действия операционных усилителей (ОУ);
- освоить методику расчета параметров элементов обратной связи в схемах инвертирующего и не инвертирующего усилителей на базе ОУ для получения заданной величины коэффициента усиления;
- получение практических навыков по сборке схем инвертирующего и не инвертирующего усилителей на базе ОУ.

12.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

2.1 Лабораторный стенд ЭЦПОТ.001 РБЭ (901).

2.2 Мультиметр, соединительные провода.

12.2 Программа и порядок выполнения работы

12.2.1 Для не инвертирующего усилителя по заданным в таблице 12.1 значениям входного $U_{ВХ}$ и выходного $U_{ВЫХ}$ напряжений определить коэффициент усиления по напряжению k_U . По вычисленному значению k_U и значению сопротивления R_1 , определить величину сопротивления R_2 , необходимую для получения расчетного значения k_U . Результаты расчета занести в таблицу 12.1, в строку – «расчет».

Таблица 12.1 – Результаты расчета и измерений

Параметры	$U_{ВХ}$ В	$U_{ВЫХ}$ В	R_1 Ом	R_2 Ом	R_H Ом	k_U
Расчет						
Эксперимент						

12.2.2 Для инвертирующего усилителя по заданным в таблице 12.2 значениям входного $U_{ВХ}$ и выходного $U_{ВЫХ}$ напряжений определить коэффициент усиления по напряжению k_U . По вычисленному значению k_U и значению сопротивления R_1 , определить величину сопротивления R_2 , необходимую для получения расчетного значения k_U . Результаты расчета занести в таблицу 12.2, в строку – «расчет».

Таблица 12.2

Параметры	$U_{ВХ}$ В	$U_{ВЫХ}$ В	R_1 Ом	R_2 Ом	R_H Ом	k_U

Расчет						
Эксперимент						

12.2.3 *Исследование не инвертирующего усилителя.* Из набора миниблоков, выбрать резисторы с параметрами R_1 , R_2 и R_H заданными в таблице 12.1, операционный усилитель КР 140 УД 608А.

12.2.4 Собрать схему не инвертирующего усилителя (рисунок 12.3), подключив вход ее к выходу регулируемого генератора постоянных напряжений, блока генераторов напряжений.

12.2.5 К выводам питания ОУ подключить два нерегулируемых генератора постоянных напряжений, блока генераторов напряжений. На вход и выход ОУ подключить два мультиметра, поставить в режим измерения постоянных напряжений.

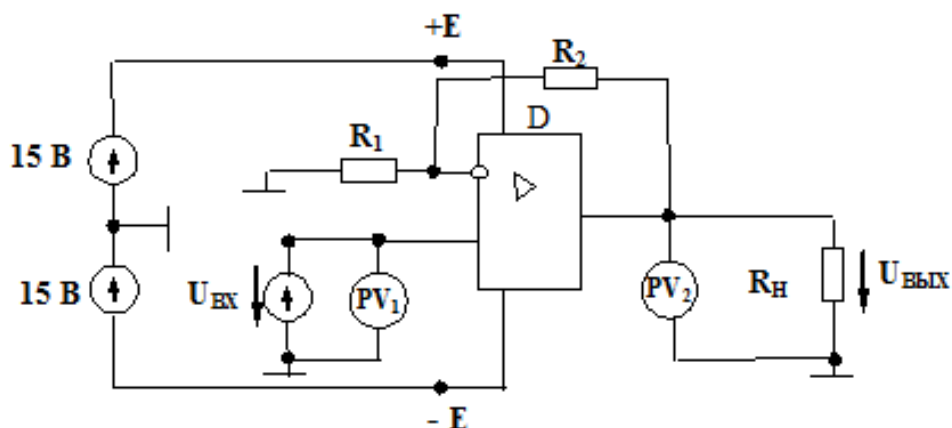


Рисунок 12.3 - Схема для экспериментального исследования, не инвертирующего усилитель на ОУ

12.2.6 После проверки схемы преподавателем, включить источники питания ОУ, подать напряжение на вход ОУ, включив регулируемый генератор постоянных напряжений. Установить напряжение на входе ОУ равное $U_{ВХ}$, заданному в таблице 12.1. Снять показания приборов и занести их в таблицу 12.1 в строку «эксперимент».

12.2.7 Рассчитать значение коэффициента усиления: $k_U = \left| \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} \right|$. Сравнить его значение с расчетным, сделать выводы.

12.2.8 *Исследование инвертирующего усилителя.* Собрать схему инвертирующего усилителя (рисунок 12.4), подключив вход ее к выходу регулируемого генератора постоянных напряжений, блока генераторов напряжений.

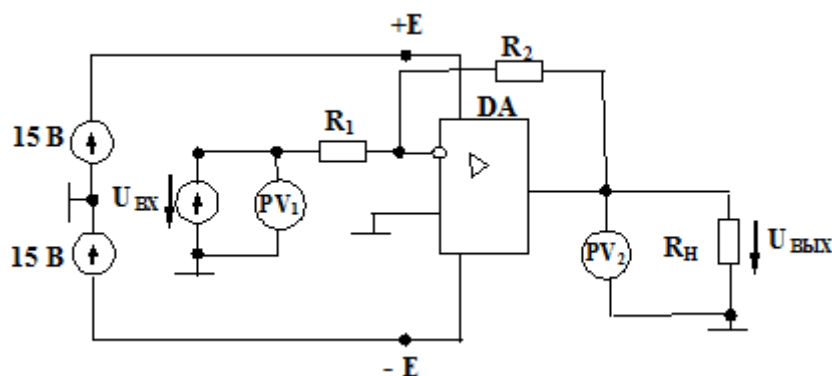


Рисунок 12.4 - Схема для экспериментального исследования, инвертирующего усилителя на ОУ

К выводам питания ОУ подключить два нерегулируемых генератора постоянных напряжений, блока генераторов напряжений. На вход и выход ОУ подключить два мультиметра, поставить в режим измерения постоянных напряжений.

12.2.9 После проверки схемы преподавателем, включить источники питания ОУ, подать напряжение на вход ОУ, включив регулируемый генератор постоянных напряжений. Установить напряжение на входе ОУ равное $U_{ВХ}$, заданному в таблице 12.2. Снять показания приборов и занести их в таблицу 2 в строку Эксперимент.

12.2.10 Рассчитать значение коэффициента усиления: $k_U = \left| \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} \right|$.

Сравнить его значение с расчетным, сделать выводы.

12.2.11 Составить отчет и сделать выводы по работе в целом. Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой операционные усилители? В каких областях техники они используются?
2. Какие операций могут выполнить операционные усилители?
3. Назовите преимущества ОУ перед усилителями, собранными на биполярных или полевых транзисторах.
4. Приведите назначение всех выводов ОУ.
5. Для чего нужно двух полярное питание ОУ?
6. Какими свойствами обладают ОУ?
7. Охарактеризуйте работу не инвертирующего усилителя на базе ОУ. Как определяют коэффициент усиления по напряжению?
8. Охарактеризуйте работу инвертирующего усилителя на базе ОУ. Как определяют коэффициент усиления по напряжению?

13 Лабораторная работа №13. Исследование параметрического стабилизатора напряжения

Цель работы:

- изучение устройства и принципа действия параметрического стабилизатора напряжения;
- освоить методику расчета параметров стабилизатора;
- определение коэффициентов стабилизации и внутреннего сопротивления параметрического стабилизатора.

13.1 Оборудование, приборы и материалы, необходимые для выполнения работы

13.1.1 Лабораторный стенд ЭЦПОТ.001 РБЭ (901).

13.1.2 Мультиметры, соединительные провода.

13.2 Программа и порядок выполнения работы

13.2.1 Для параметрического стабилизатора на рисунке 13.2 по заданным в таблице 13.1 величинам (стабилизированное напряжение на нагрузке $U_{CT} = U_H$; максимальное и минимальное значения токов стабилизации $I_{CT\max}$; максимальное и минимальное значения токов нагрузки, $I_{H\min}$ и по наибольшим относительным ожидаем отклонениям входного напряжения питания Δ_H и Δ_B от его номинального значения $U_{ВХН}$) рассчитать значения номинального напряжения на входе стабилизатора $U_{ВХН}$ и сопротивления балластного резистора $R_{ДБ}$.

13.2.2 Рассчитать значения максимального допустимого $U_{ВХ\max} = U_{ВХН} + \Delta_B \cdot U_{ВХН}$ и минимального допустимого $U_{ВХ\min} = U_{ВХН} - \Delta_H \cdot U_{ВХН}$ напряжений на входе стабилизатора. Результаты расчета занести в таблицу 13.1, в строку «расчет»

Таблица 13.1 –Результаты расчета

Параметр	U_{CT} В	$I_{CT\max}$ мА	$I_{CT\min}$ мА	$I_{H\max}$ мА	$I_{H\min}$ мА	Δ_B	Δ_H	$U_{ВХН}$ В	$U_{ВХ\max}$ В	$U_{ВХ\min}$ В	$R_{ДБ}$ Ом	R_H Ом
Расчет												

13.2.3 Из набора миниблоков выбрать стабилитрон КС510А, 10 В, потенциометр СП4-2М, 1 кОм, тумблер МТД-1. Установить сопротивление потенциометра равным сопротивлению балластного резистора $R_{ДБ}$, рассчитанному в пункте 13.3.1. В дальнейших экспериментах сопротивление потенциометра должно оставаться постоянным.

13.2.4 Используя стабилитрон КС510А, 10 В, потенциометр СП4-2М, 1 кОм, тумблер МТД-1, резистор МЛТ с сопротивлением $R = R_H = 470 \text{ Ом}$,

мультиметры стенда, собрать схему на рисунке 13.3 для измерения параметров стабилизатора. Входные зажимы схемы подключить к регулируемому источнику постоянного напряжения стенда.

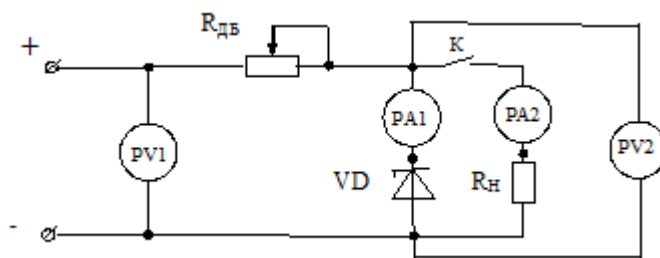


Рисунок 13.3 - Схема для измерения параметров стабилизатора

13.2.5 После проверки схемы руководителем, разомкнуть тумблер К. Включить источник регулируемого напряжения, установить на его выходе напряжение равное $U_{ВХН}$, снять показания приборов, результаты занести в таблицу 13.2 в строку $R_H = \infty$. Отключить схему.

13.2.6 Замкнуть тумблер К. Включить источник регулируемого напряжения, установить на его выходе напряжение равное $U_{ВХН}$, снять показания приборов, результаты занести в таблицу 13.2. Отключить схему.

Таблица 13.2 – Результаты измерений и расчета

$U_{ВХ}$, В	R_H , Ом	U_H , В	$I_{СТ}$, А	I_H , А	К
$U_{ВХН}$	∞				
	$R_{НН}$				
$U_{ВХ \max}$	∞				
	$R_{НН}$				
$U_{ВХ \min}$	∞				
	$R_{НН}$				

13.2.7 Разомкнуть тумблер К. Включить источник регулируемого напряжения, установить на его выходе напряжение равное $U_{ВХН \max}$, снять показания приборов, результаты занести в таблицу 13.2 в строку $R_H = \infty$. Отключить схему.

13.2.8 Замкнуть тумблер К. Включить источник регулируемого напряжения, установить на его выходе напряжение равное $U_{ВХН \max}$, снять показания приборов, результаты занести в таблицу 13.2 в строку $R_H = R_{НН}$. Отключить схему.

13.2.9 Разомкнуть тумблер К. Включить источник регулируемого напряжения, установить на его выходе напряжение равное $U_{ВХН \min}$, снять показания приборов, результаты занести в таблицу 13.2 в строку $R_H = \infty$. Отключить схему.

13.2.10 Замкнуть тумблер К. Включить источник регулируемого напряжения, установить на его выходе напряжение равное $U_{BXH \min}$, снять показания приборов, результаты занести в таблицу 13.2 в строку $R_H = R_{HH}$. Отключить схему.

13.2.11 Для каждого из режимов рассчитать коэффициент стабилизации:

$$K = \frac{\Delta U_{BX} / U_{BXH}}{\Delta U_H / U_{HH}}, \quad (13.1)$$

где U_{HH} – напряжение на нагрузке R_{HH} при входном напряжении стабилизатора U_{BXH} , $\Delta U_{BX} = U_{BX \max} - U_{BXH}$, ΔU_H равно разности напряжений нагрузки U_{HH} и напряжения нагрузки для данного режима. Результаты расчета занести в таблицу 13.2.

13.2.12 Провести анализ полученных результатов и сделать выводы.

13.2.13 Составить отчет и сделать выводы по работе в целом. Отчет по работе составляется в соответствии с требованиями по его оформлению.

Контрольные вопросы

1. Какие отличия имеют вольт-амперные характеристики полупроводниковых стабилитронов от вольт-амперных характеристик полупроводниковых выпрямительных диодов?
2. Какое включение стабилитронов применяется в схемах параметрических стабилизаторов напряжения?
3. Опишите принцип работы параметрических стабилизаторов напряжения?
4. Поясните назначение балластного резистора в схемах стабилизаторов?
5. Приведите основные параметры полупроводниковых стабилитронов?
6. Какие параметры стабилизатора определяют величину его коэффициента стабилизации?

Приложение А

Паспортные и расчетные данные трансформатора

Таблица А.1

Наименование параметра	Значение
Тип	ОСМ1 0,16.УЗ
Мощность, В·А	160
Номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора, В	220
Номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора, В	42
Активное сопротивление первичной обмотки трансформатора r_1 при $t^\circ = 20^\circ \text{C}$, Ом	5,7
Активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора r_2 при $t^\circ = 20^\circ \text{C}$, Ом	1,2

Паспортные и расчетные данные электрических машин

Таблица А.2 - Паспортные данные машины постоянного тока

Наименование параметра	Значение
Тип	ПЛ-072
Мощность, Вт	180
Номинальное напряжение питания обмотки якоря, В	220
Номинальное напряжение питания обмотки возбуждения, В	200
Номинальная частота вращения, об/мин	1500
Номинальный ток якоря, А	1,3
к.п.д.	0,63
Масса, кг	7,65
Сопротивление обмотки якоря $R_{я,20^\circ\text{C}}$ (расчетное значение), Ом	17,5
Сопротивление обмотки возбуждения $R_{ОВ,20^\circ\text{C}}$ (расчет. значение), Ом	820
Механические потери, $P_{\text{мех ДПТ}}$, Вт	15

Таблица А.3 - Паспортные и расчетные данные асинхронного двигателя с фазным/короткозамкнутым ротором

Наименование параметра	Значение
Тип	АИС71ВУЗ/АИР63В4УЗ
Мощность, Вт	370
Номинальное напряжение питания обмотки статора, Δ/Y , В	220/380
Номинальная частота вращения, об/мин	1370/1320
Номинальный ток фазы статора, А	1,18/1,37
$\cos \varphi$	0,7
Номинальный момент, Н·м	1,4

Активное сопротивление статора $r_{1,27^{\circ}\text{C}}$, Ом	19
Активное сопротивление ротора $r_{2,27^{\circ}\text{C}}$, Ом	25
Механические потери, $P_{\text{мех АД}}$, Вт	11

Примечание - Механические характеристики как естественные, так и искусственные желательно снимать при пониженном напряжении, а затем в момент пересчитывать по формуле:

$$U_{\text{пониж, л}}=220 \text{ В, } M=M_{\text{опыт}}\cdot(380/220)^2\approx M_{\text{опыт}}\cdot3.$$

Таблица А.4 - Паспортные данные импульсного датчика скорости

Наименование параметра	Значение
Тип	TRD-S500VD
Напряжение питания, В	5
Разрешающая способность, имп/об	500

Список литературы

- 1 Касаткин А.С. Электротехника.- М., 2008.
- 2 Иванов И.И. Электротехника и основы электроники.-СПб., 2012.
- 3 Касаткин А.С. Курс электротехники.- М., 2005.
- 4 Белов Н.В.Электротехника и основы электроники. – СПб., 2012.
- 5 Подкин Ю.Г. Электротехника и электроника.Т.1 – М., 2011.
- 6 Петленко А.Я. Электротехника и электроника.-М., 2010.
- 7 Новиков Ю.Н. Электротехника и электроника.- СПб., 2005.
- 8 Денисенко В.И., Зуслина Е.Х. Теоретические основы электротехники: Учебное пособие.-Алматы: АИЭС, 2000.- 83 с.
- 9 Денисенко В.И., Креслина С.Ю. Теоретические основы электротехники 1 Конспект лекции (для студентов всех форм обучения специальности 050718 – Электроэнергетика). - Алматы: АИЭС, 2006.- 63 с.

Исабай Танирбергонович Алдибеков
Эльмира Байджумаевна Даркенбаева
Макпал Бексұлтановна Жаркынбекова

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 5В071700 – Теплоэнергетика

Редактор Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать _____
Тираж 40 экз.
Объем 3,1 уч. – изд.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографическая №1
Заказ _____ Цена 1550

Копировально – множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126