Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электропривода
и автоматизации
промышленных установок

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
5В073100 – Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

Алматы 2016

СОСТАВИТЕЛИ: Ю.В. Кузьмин, Э.Б. Даркенбаева, М.Б. Жаркымбекова. Основы электротехника и электроники. Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды.- Алматы: АУЭС, 2016.–66 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 5В073100 – Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды.

Ил. 37, табл.32, библ. – 9 назв.

Рецензент: старший преподаватель Б.К. Курпенов

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2016 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2016г

Содержание

1 Лабораторная работа №1. Исследование линейной электрической цепи постоянноготока…..... 4
2 Лабораторная работа №2. Исследование линейной электрической цепи однофазного синусоидального тока……... 7
3 Лабораторнаяработа №3. Исследование резонанса напряжения…… 9
4 Лабораторная работа №4. Исследование трехфазной электрической цепи при соединении«звездазвезда»……..... 12
5 Лабораторная работа №5. Исследование трехфазной цепи при соединении треугольником……. 17
6 Лабораторная работа №6. Исследование цепей с электрическими вентилями…….. 20
7 Лабораторная работа №7. Исследование двухкаскадного усилителя с *RC* связью……... 23
8 Лабораторная работа №8. Исследование операционного усилителя (ОУ)……... 30
9 Лабораторная работа №9. Исследование однофазного двухобмоточного трансформатора…… 37
10 Лабораторная работа №10. Исследование асинхронного электродвигателя с фазнымротором…… 39
11 Лабораторная работа №11. Исследование асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором…… 49
12 Лабораторная работа №12. Исследование электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения ……..... 59
Список литературы……..... 67

1 Лабораторная работа №1. Исследование линейной электрической цепи постоянного тока

Цель работы: экспериментальная проверка основных методов расчета цепей постоянного тока таких, как законы Кирхгофа, метод контурных токов, метод наложения.

1.1 Подготовка к работе

Ответить на *контрольные вопросы* и приготовить заготовку отчёта о проведении лабораторной работы, где должны быть нарисованы исследуемая схема и таблицы для внесения экспериментальных данных.

1.2 Контрольные вопросы

1.2.1 Как с помощью *амперметра* и *вольтметра* определить величину сопротивления резистора?

1.2.2 Как включить универсальный измерительный цифровой прибор *для измерения тока* в ветви схемы?

1.2.3 Как включить универсальный измерительный цифровой прибор *для измерения напряжения* на элементе схемы?

1.2.4 Для исследуемой схемы составить следующие системы уравнений:

– *по законам Кирхгофа*;

– *по методу контурных токов*.

1.2.5 В чём суть метода контурных токов и метода наложения?

1.2.6 Назовите *условие передачи максимальной мощности* от активного двухполюсника к пассивному.

1.3 Программа и порядок выполнения работы

1.3.1 Начертить заданную схему электрической цепи и указать на ней произвольно выбранные направления токов в ветвях. Варианты исследуемой схемы приведены на рисунке 1.1. Значения параметров указаны в таблице 1.1. Обычно вариант задания соответствует порядковому номеру бригады.

Т а б л и ц а 1.1 – Варианты исследуемой схемы и значения параметров

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

1.3.2 Измерить фактические параметры элементов заданной электрической цепи с помощью универсального измерительного цифрового прибора. Результаты измерений занести в таблицу 1.2.

Т а б л и ц а 1.2 – Результаты измерения параметров резисторов

Элемент цепи	R_1	R_2	R_3	R
R, Ом				

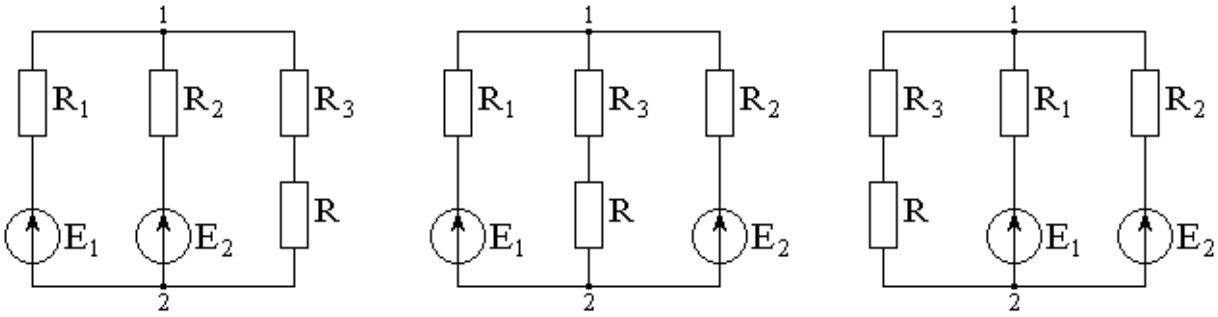


Рисунок 1.1 – Варианты исследуемых схем

1.3.3 Рассчитать токи в ветвях исследуемой цепи одним из предложенных преподавателем методов по заданным значениям *ЭДС* E_1 и E_2 и измеренным в п.

1.3.4 Значениям резисторов. Результаты расчета занести в таблицу 1.3 в строку «*Расчёт*».

1.3.5 Собрать схему своего варианта. Установить заданные значения *ЭДС* E_1 и E_2 и резисторов. Измерить токи в ветвях и напряжения на элементах 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.

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

Результаты измерений занести в таблицу 1.3 в строку «*Эксперимент*».

Т а б л и ц а 1.3 – Измеренные значения напряжений и токов цепи

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

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

1.3.6 Рассчитать для узла 1 схемы погрешность δ_i, измерения токов, отнеся алгебраическую сумму токов, сходящихся в узле, к наибольшему из них. Результаты расчёта занести в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Погрешность определения токов

Узел цепи	I, мА	I_{max}, мА	δ_i,
1			

1.3.7 Рассчитать для двух контуров схемы погрешность $\square_u$, $\square$ измерения напряжений, отнеся алгебраическую сумму напряжений в контуре, включая напряжения на источниках *ЭДС*, к наибольшему из них. Результаты расчёта занести в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 – Погрешность определения напряжений

Контур цепи	U, В	U_{max}, В	δ_u,
1			
2			

1.3.8 Проверить *условие передачи максимальной мощности* от активного двухполюсника к пассивному. Для этого вместо постоянного R включить переменный резистор и, изменяя его величину от 0 (режим короткого замыкания ветви) до ∞ (режим холостого хода), записать показания амперметра и вольтметра, предварительно включив их для измерения тока и напряжения на переменном резисторе. Показания приборов занести в таблицу 1.6. Рассчитать сопротивление переменного резистора R, мощность P, выделяемую в нем и построить график зависимости $P = f(I)$ или $P = f(R)$.

Таблица 1.6 – Измерения в ветви с переменным резистором

U, В	0						
I, мА							0
R, Ом	(кз)						(хх)
P, мВт	0						0

По графику определить максимальную мощность P_{max} и соответствующий ей ток I. Рассчитать сопротивление нагрузки (переменного резистора) $R_{нагр.}$, при котором в ней выделяется максимальная мощность:

$$R_{наг} = \frac{P_{max}}{I^2}. \qquad (1.1)$$

Выводы по работе.

Сделать выводы по работе в целом, обратив внимание на причины возможных расхождений расчетных величин с экспериментальными.

2 Лабораторная работа №2. Исследование линейной электрической цепи однофазного синусоидального тока

Цель работы: приобретение навыков проведения измерений напряжения и тока в синусоидальном режиме. Определение параметров элементов цепи по действующим значениям напряжения и тока, а также выполнение эквивалентных преобразований и расчёта разветвлённых электрических цепей синусоидального тока.

Подготовка к работе.

Ответить на *контрольные вопросы* и приготовить заготовку отчёта о проведении лабораторной работы, где должны быть нарисованы исследуемая схема и таблицы для внесения экспериментальных данных.

2.1 Контрольные вопросы

2.1.1 Что называют *периодом T, линейной f* и *угловой частотами* синусоидальной функции времени? *Взаимосвязь* между ними.

2.2.2 Какова связь между *действующим* и *амплитудным* значениями тока, напряжения или *ЭДС*?

2.2.3 Что собой представляют треугольники сопротивлений, проводимостей и мощностей?

2.2.4 Законы Ома и Кирхгофа в *дифференциальной форме* записи.

2.2.5 Законы Ома и Кирхгофа в *комплексной форме* записи.

2.2.6 Какова зависимость *индуктивного* X_L и *ёмкостного* X_C сопротивлений от *частоты*?

2.2.7 Порядок построения *векторных диаграмм* токов и напряжений.

2.2.8 Порядок построения *топографической диаграммы* напряжений.

2.2.9 Действия с *комплексными* числами.

2.3 Программа и порядок выполнения работы

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

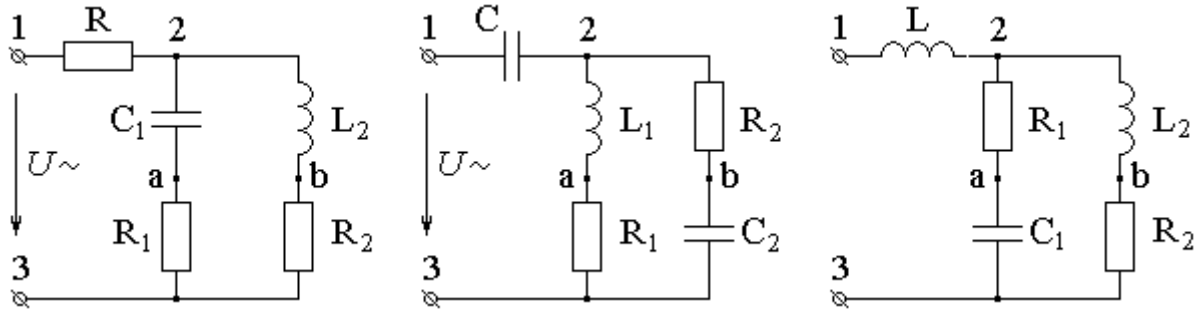


схема 1 схема 2 схема 3

Рисунок 2.1 – Варианты исследуемых схем

Таблица 2.1 – Варианты исследуемой схемы и значения параметров

Вариант схемы	$U_{вх}$, В	f, Гц	R, Ом	R_1, Ом	R_2, Ом	L, мГн	L_1, мГн	L_2, мГн	C, мкФ	C_1, мкФ	C_2, мкФ
1	5	1000	220	330	150	–	–	100	–	1,0	–
2	7	1900	–	390	330	–	40	–	0,47	–	0,056
3	9	2500	–	220	470	10	–	10	–	0,1	–

2.3.2 В качестве источника питания использовать регулируемый стабилизированный источник переменного напряжения трёх форм сигнала, предварительно переключив его в режим синусоидальных колебаний. Установить на входе цепи заданные, согласно варианту задания, напряжение $U_{вх}$ и частоту f.

2.3.3 Собрать схему цепи, измерить токи в ветвях и напряжения на ее элементах, а также напряжения на участках 2-3 U_{23} и *a-b* U_{ab}. Результаты измерений занести в таблицу, подобную таблице 2.2, которая приведена в качестве примера для схемы 1.

Таблица 2.2 – Результаты расчета и измерений

	I, мА	I_1, мА	I_2, мА	U_R, В	U_{R1}, В	U_{R2}, В	U_{C1}, В	U_{L2}, В	U_{23}, В	U_{ab}, В
измерения										
расчет										
δ, %										

Задавшись вектором тока I в неразветвленной части цепи, в выбранных масштабах тока m_i [мА/см] и напряжения m_u [В/см] построить векторную диаграмму токов и напряжений всей цепи. Необходимо воспользоваться циркулем, чтобы построить треугольник токов по известным трем сторонам треугольника. Для этого из начала вектора тока I делаем засечку циркулем радиусом, равным току I_1, а из конца вектора I радиусом, равным току I_2. Точка пересечения засечек определяет направления токов I_1 и I_2. Аналогично можно

построить и соответствующие треугольники напряжений. На основании полученной векторной диаграммы построить топографическую диаграмму напряжений цепи. По топографической диаграмме определить напряжение на участке *a-b* цепи. Сравнить результаты, полученные из построения топографической диаграммы, с полученными в эксперименте.

2.3.4 По данным п. 2.4.2 рассчитать на основании закона Ома значения сопротивлений R, X_L, X_C, а также индуктивность L и емкость C элементов заданной схемы. Ввиду относительной малости активных сопротивлений катушек индуктивности, ими можно пренебречь. Результаты расчёта внести в таблицу, подобную таблице 2.2, приведённую в качестве примера для схемы

Т а б л и ц а 2.2 – Значения параметров элементов схемы

R, Ом	R_1, Ом	R_2, Ом	X_{C1}, Ом	C_1, мкФ	X_{L2}, Ом	L_2, мГн

2.3.5 По найденным в п. 2.4.3 значениям сопротивлений рассчитать полное комплексное сопротивление участка *2-3* цепи $\underline{Z}_{23}$, а затем полное комплексное входное сопротивление цепи $\underline{Z}_{вх}$. На основании закона Ома для участка цепи рассчитать комплексы действующих значений токов в ветвях цепи. Сравнить расчётные значения токов с полученными в эксперименте. Рассчитать также полную S, активную P и реактивную Q мощности всей цепи.

Выводы по работе.

Следует обратить внимание на эквивалентность выполненных преобразований цепи и на причины расхождения результатов расчёта и эксперимента.

3 Лабораторная работа №3. Исследование резонанса напряжений

Цель работы: ознакомиться на практике с явлением резонанса напряжений, возникающим в последовательном колебательном контуре. Приобрести навыки расчета основных характеристик резонансного контура по заданным параметрам контура и по резонансной кривой контура, полученной экспериментально.

Подготовка к работе.

Ответить на контрольные вопросы и приготовить заготовку отчёта о проведении лабораторной работы, где должны быть нарисованы исследуемая схема и таблицы для внесения экспериментальных данных.

3.1 Контрольные вопросы

3.1.1 Что называют явлением резонанса?

3.1.2 Перечислите виды резонанса и электрические цепи, в которых они могут возникнуть?

3.1.3 Назовите условие, при котором в электрической цепи будет наблюдаться явление резонанса?

3.1.4 Назовите основной признак режима электрической цепи, когда в ней наблюдается явление резонанса?

3.1.5 Приведите определения основных характеристик резонансного контура: добротности Q, резонансной частоты ω_0, f_0 и характеристического сопротивления ρ?

3.1.6 Приведите расчетные формулы для определения основных характеристик резонансного контура:

а) по известным параметрам контура R, L и C;

б) по резонансной кривой контура $I(f)$.

3.1.7 Приведите расчетные формулы для определения параметров схемы замещения последовательного колебательного контура R, L и C по его известным основным характеристикам ω_0, Q, ρ.

3.2 Программа и порядок выполнения работы

3.2.1 Собрать схему резонансного контура (рисунок 3.1), установив параметры элементов схемы для своего варианта. Варианты параметров схемы приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Варианты параметров исследуемой схемы

Вариант	L, мГн	$R_{кат}$, Ом	C, мкФ	$R_{доб1}$, Ом
1	100	измерить	0,1	100
2	40	измерить	0,22	220
3	22	измерить	0,47	330

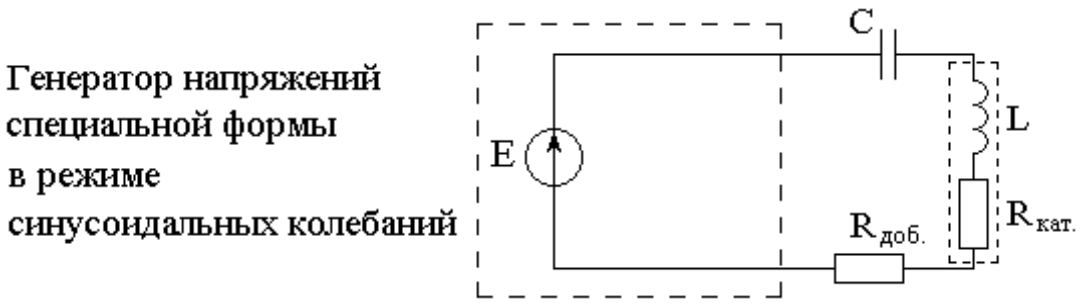


Рисунок 3.1 – Схема последовательного колебательного контура

В качестве источника использовать генератор сигналов специальной формы, предварительно переключив его в режим синусоидальных колебаний. Установить напряжение на входе цепи 5…9 B 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 Рассчитать резонансную частоту циклическую ω_0 и линейную f_0, добротность Q, и характеристическое сопротивление ρ контура. Рассчитать добавочное сопротивление контура $R_{доб2.}$ такое, чтобы суммарное активное сопротивление контура $R_\Sigma = R_{кат.} + R_{доб2}$ увеличилось в два раза. Добротность контура при этом Q_2 будет в два раза меньше, чем Q_1.

Занести полученные результаты в строку *«расчет»* сводной таблицы результатов (таблица 3.3).

3.2.3 Измерить значения тока контура для диапазона частот от *0,2* f_0 до *2* f_0, *I (f)* для двух значений добротности Q_1 и Q_2. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

Т а б л и ц а 3 .2 – Результаты измерения параметров

f, Гц					f_0					*Примечание*
I, мА										Q_1, $R_{доб1}$
I, мА										Q_2, $R_{доб2}$

3.2.4 По результатам измерений пункта 3.4.3 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 и рассчитать фактические значения добротностей.

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

Рассчитать фактические значения резонансной частоты ω_0, f_0, характеристического сопротивления ρ, суммарного активного сопротивления контура R_Σ, индуктивности L и емкости C. Результаты расчетов занести в строку «эксперимент» сводной таблицы результатов в таблице 3.3.

Т а б л и ц а 3 .3 – Сводная таблица результатов расчета и измерений

		ω_0	f_0	Q	ρ	R_Σ	L	C
Q_1, $R_{доб1}$	*расчет*							
	эксперимент							
Q_2, $R_{доб2}$	*расчет*							
	эксперимент							

3.2.5 Для граничных и резонансной частот, например, в контуре с добротностью Q_1, измерить значения напряжений на элементах контура.

Записать измеренные значения. 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.

Выводы по работе.

Сделать выводы по работе в целом, обратив внимание на причины возможных расхождений расчетных величин с экспериментальными.

4 Лабораторная работа №4. Исследование трехфазной электрической цепи при соединении «звезда – 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.

Предварительная поготовка

Повторить раздел курса ТОЭ «Трехфазные цепи»:

[Л5. 169 с -177 с; 179 с – 182 с; 185-186];

[Л2. 184 с -199 с].

4.1 Контрольные вопросы

4.1.1 Какое соединение фаз источника и приемника называется «соединение звездой»?

4.1.2 Какие точки на схеме трехфазной цепи называют нейтральными, какой провод называют нейтральным (нулевым) проводом?

4.1.3 Какие провода называются линейными, какие величины токов и напряжений называют фазными, какие линейными?

4.1.4 Какой режим трехфазной цепи называется симметричным?

4.1.5 Какие соотношения между фазными и линейными величинами токов и напряжений при симметричном режиме, какому значению равны $I_л, U_{лN}$?

4.1.6 Записать формулу для расчета напряжений $U_{лN}$ по методу двух узлов.

4.1.7 Построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений для трехфазной цепи без нейтрального провода при следующих режимах:

- симметричный режим (во всех фазах активные сопротивления);
- аварийные режимы – обрыв и короткое замыкание одной из фаз приемника согласно варианту, сопротивления двух других фаз активные и равные.

Определить по топографическим и векторным диаграммам, как изменяются токи и напряжения в аварийных режимах по сравнению с симметричным режимом.

4.1.8 Построить годограф потенциала точки n для следующих режимов:

- сопротивление R в одной из фаз согласно варианту изменяется от 0 до ∞, сопротивления двух других фаз активные и равные;

- емкость C в одной из фаз изменяется от 0 до ∞, сопротивления двух других фаз активные и равные.

4.1.9 Построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений для трехфазной цепи с нейтральным проводом при следующих режимах:

- симметричный режим (во всех фазах приемника активные сопротивления);

- аварийный режим – обрыв одной из фаз нагрузки согласно варианту, сопротивление двух других фаз активные и равные;

- неоднородная нагрузка согласно варианту.

Пользуясь топографическими и векторными диаграммами, определить, как изменяются по сравнению с симметричным режимом токи и напряжения в несимметричных режимах.

4.1.10 Нарисовать схемы трехфазной цепи при соединении «звезда-звезда» с нейтральным проводом и без нейтрального провода (рисунок 4.1 - 4.2). Нарисовать таблицы 4.1,4.2.

4.1.11 Измерить параметры используемых в работе сопротивлений резисторов R_1, R_2, R_3. Подобрать равные сопротивления резисторов $R_1 = R_2 = R_3$.

4.1.12 Включить блок трехфазных напряжений и установить значение фазных ЭДС в соответствии с заданием преподавателя. Собрать фазы источника звездой.

4.1.13 Собрать трехфазную цепь при соединении фаз источника и приемника звездой с нейтральным проводом. Нейтральные точки источника и приемника соединить накоротко через амперметр. Сопротивления всех фаз приемника активные и равные: $R_A = R_1, R_B = R_2, R_C = R_3$ (симметричный режим). Измерить токи в фазах приемника, ток в нейтральном проводе I_N, фазные и линейные напряжения приемника. Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

4.1.14 Экспериментально исследовать аварийный режим, возникающий в цепи с нейтральным проводом при обрыве одной из фаз приемника (согласно варианту). Сопротивление двух других фаз приемника такие же, как в п. 4.1.3. Измерить токи в фазах приемника, I_N, фазные и линейные напряжения приемника. Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

4.1.15 Экспериментально исследовать несимметричный режим в трехфазной цепи с нейтральным проводом при изменении активного сопротивления в одной из фаз приемника (согласно варианту). Сопротивление

двух других фаз приемника такие же, как в п. 4.1.3. Измерить токи в фазах приемника, ток I_N, фазные и линейные напряжения приемника. Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

4.1.16 Экспериментально исследовать несимметричный режим в трехфазной электрической цепи с нейтральным проводом. Включить в фазы приемника активное сопротивление R, индуктивность L, емкость C (согласно варианту). Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

4.1.17 Собрать симметричную трехфазную цепь при соединении фаз источника и приемника звездой. Оборвать нейтральный провод. Между нейтральными точками источника и приемника подключить вольтметр. Сопротивление всех фаз приемника такие же, как в п. 4.3.3. Измерить токи в фазах приемника, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали U_{nN}. Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

4.1.18 Экспериментально исследовать аварийный режим, возникающий в трехфазной цепи без нейтрального провода при обрыве одной из фаз приемника, фаза та же, что и в п. 4.3.4 (режим «холостого хода»). Сопротивления двух других фаз нагрузки такие же, как в п. 4.1.3 Измерить токи, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали U_{nN}. Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

4.1.19 Экспериментально исследовать аварийный режим, возникающий в трехфазной электрической цепи без нейтрального провода при коротком замыкании одной из фаз нагрузки (фаза та же, что и в п. 4.1.4). Сопротивление двух других фаз приемника, такие же, как в п. 4.1.3. Измерить токи, фазные и линейные напряжения приемника, напряжение смещения нейтрали U_{nN}. Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

4.1.20 Экспериментально исследовать несимметричный режим в трехфазной электрической цепи без нейтрального провода. Включить в одну из фаз (фаза та же, что и в п. 4.1.4) переменное активное сопротивление, сопротивления других фаз приемника одинаковые и такие же, как в п. 4.1.3. Измерить токи, фазные и линейные напряжения, напряжение смещения нейтрали U_{nN} для 2-х значений переменного активного сопротивления. Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

4.1.21 Экспериментально исследовать несимметричный режим в трехфазной электрической цепи без нейтрального провода. Включить в одну из фаз (фаза та же, что и в п. 4.1.4) переменную емкость C, сопротивление двух других фаз активные и одинаковые (такие же, как в п. 4.1.3). Измерить токи, фазные и линейные напряжения, напряжение смещения нейтрали U_{nN} для 2-х значений емкости C. Результаты измерений занести в таблицу 2.2.

4.2 Оформление и анализ результатов работы

4.2.1 По экспериментальным данным п. 4.1.3 построить топографическую диаграмму напряжений (на топографической диаграмме указать положение нейтральной точки N источника и приемника n), векторную диаграмму токов.

Проверить соотношение между линейными и фазными напряжениями в симметричном режиме.

По известным значениям фазных напряжений и сопротивлений фаз нагрузки рассчитать действующее значение токов в фазах нагрузки. Ток в нейтральном проводе I_N определить из векторной диаграммы, убедиться, что в симметричном режиме ток $I_N = 0$. Результаты расчета занести в таблицу 4.1. Сравнить теоретические значения с экспериментальными.

4.2.2 По экспериментальным данным п. 4.1.4 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов в фазах нагрузки. Определить по векторной диаграмме ток I_N. Результат занести в таблицу 4.1 (в строку «Теоретические исследования»). Пользуясь построенными теоретически топографической и векторной диаграммами (п. 4.2.9), определить значения напряжений и токов при обрыве одной из фаз нагрузки(фаза та же, что в п. 4.3.4). Результаты занести в таблицу 4.1.

4.2.3 По экспериментальным данным п. 4.3.5 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. По векторной диаграмме токов определить ток в нейтральном проводе I_N. Сравнить с током I_N, определенным экспериментально. Результаты занести в таблицу 4.2.

4.2.4 По экспериментальным данным п. 4.3.6 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. По векторной диаграмме токов определить ток в нейтральном проводе I_N. Сравнить с током I_N, определенным экспериментально. Результаты занести в таблицу 4.2.

4.2.5 По экспериментальным данным п. 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5 построить график зависимости I_N от тока в фазе с переменным сопротивлением.

4.2.6 По экспериментальным данным п.

4.2.7 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. Пользуясь теоретически построенными диаграммами (п. 4.2.7), определить значения напряжений и токов. Результаты занести в таблицу 4.2 (в строку «Теоретические исследования»).

4.2.7 По экспериментальным данным п. 4.3.8 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. Пользуясь теоретически построенными диаграммами (п. 4.2.7), определить теоретические значения напряжений и токов. Результаты занести в таблицу 4.2 (в строку « Теоретические исследования»).

4.2.8 По экспериментальным данным п. 4.3.9 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. Пользуясь теоретически построенными диаграммами (п. 4.2.7), определить теоретические значения

напряжений и токов. Результаты занести в таблицу 4.2 (в строку «Теоретические исследования»).

4.2.9 По экспериментальным данным п. 4.2.10 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. Рассчитать напряжение смещения нейтрали U_{nN} для двух значений переменного активного сопротивления (значения сопротивлений такие, как п. 4.2.10), отложить эти напряжения на топографической диаграмме и отметить на диаграмме нейтральные точки приемника n для этих же значений сопротивлений. Определить по диаграмме теоретические значения фазных напряжений приемника U_{An}, U_{Bn}, U_{Cn}. По найденным значениям фазных напряжений приемника рассчитать токи I_A, I_B, I_C. Результаты занести в таблицу 4.2 (в строку «Теоретические исследования»). Показать, что годографом n является прямая линия.

4.2.10 По экспериментальным данным п. 4.1.11 построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов. На топографической диаграмме построить годограф потенциала точки n (круговую диаграмму), определить положение точки n на круговой диаграмме для двух значений емкости C (как в п. 4.2.8) и фазные напряжения приемника U_{An}, U_{Bn}, U_{Cn}.; рассчитать токи I_A, I_B, I_C.. Результаты занести в таблицу 4.2 (в строку «Теоретические исследования»).

4.2.11 Для всех исследуемых режимов работы трехфазной цепи:

- сравнить экспериментальные значения с теоретическими и сделать выводы;

- сравнить значения токов и напряжений в трехфазной цепи с нейтральным проводом и при его обрыве, сделать выводы и оценить роль нейтрального провода.

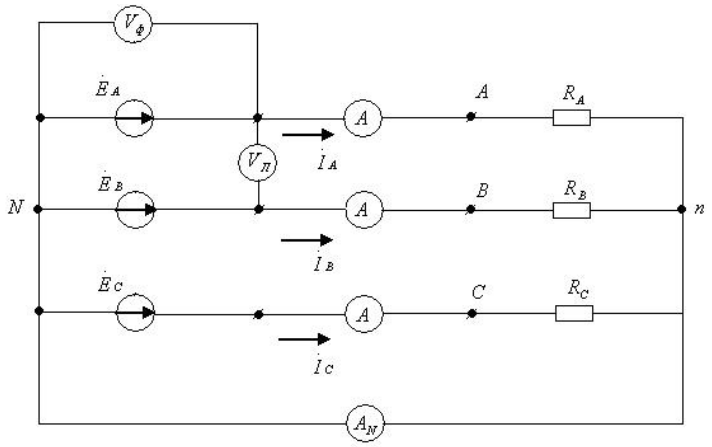


Рисунок 4.1

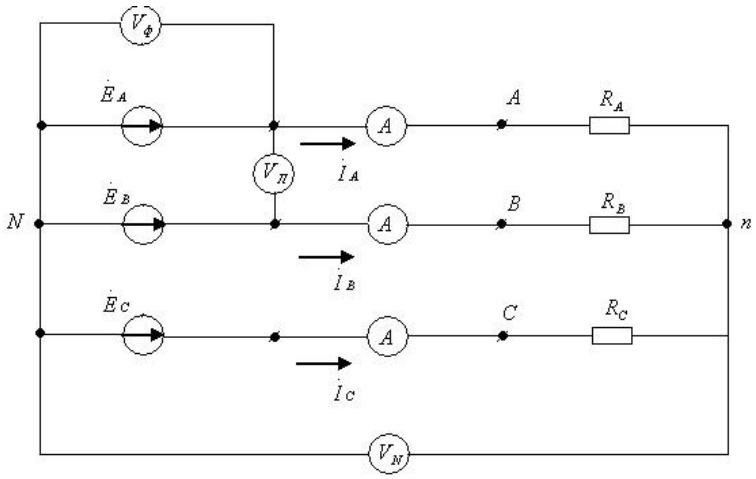


Рисунок 4.2

Таблица 4.1

Режим работы	Вид исследов	Значение напряжения, В									Значения токов, мА			
	экспер.													
	Теоре-тич.													

Таблица 4.2

Режим работы	Вид исследов	Значение напряжения, В										Значения токов, мА		
	экспер.													
	Теоре-тич.													

Таблица 4.3

Вариант	Режим работы цепи					
	Обрыв и короткое замыкание	Переменное сопротивление R в фазе	Переменная емкость С в фазе	Неоднородная нагрузка		
				фаза А	фаза В	фаза С
1	В	В	В	L	С	R
2	А	А	А	С	R	L
3	С	С	С	R	С	L
4	В	В	В	R	L	С
5	А	А	А	С	L	R
6	С	С	С	L	R	С

5 Лабораторная работа №5. Исследование трехфазной цепи при соединении треугольником

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования трехфазных цепей при соединении треугольником.

Предварительная поготовка.
Повторить раздел курса ТОЭ «Трехфазные цепи»:
[Л4. 146 с -198 с; 206 с – 215 с];
[Л6. 216 с -239 с].

Нарисовать схему трехфазной цепи при соединении треугольником. На схеме указать линейные и фазные токи, напряжения (рисунок 5.1).

5.1 Контрольные вопросы

5.1.1 Как связаны линейные и фазные токи, напряжения в трехфазной цепи при соединении треугольником?

5.1.2 Каково соотношение между линейными и фазными токами в симметричном режиме?

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

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

5.1.5 Нарисовать схему и построить векторную диаграмму токов и напряжений в аварийном режиме при обрыве фазы приемника согласно варианту.

5.1.6 Нарисовать схему и построить топографическую диаграмму и векторную диаграмму токов трехфазной цепи с нагрузкой, соединенной треугольником, состоящей из резистора, индуктивности и емкости согласно варианту.

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

5.2 Порядок выполнения работы

5.2.1 Собрать трехфазную цепь с нагрузкой, соединенной треугольником, состоящей из трех резисторов с одинаковыми сопротивлениями (R_{ab}, R_{bc}, R_{ca}). Установить значения фазных ЭДС по указанию преподавателя. Предусмотреть приборы для измерения напряжений и токов. Измерить значения фазных и

линейных токов и напряжений в симметричном режиме и занести их в таблицу 5.1.

5.2.2 Экспериментально исследовать аварийный режим в цепи при обрыве одного из линейных проводов согласно варианту. Сопротивления нагрузки такие же, как в п. 5.2.1. Измерить значения напряжений источника и приемника, токов в аварийном режиме и занести их в таблицу 5.1.

5.2.3 Экспериментально исследовать аварийный режим в цепи при обрыве одной из фаз нагрузки согласно варианту. Сопротивление двух других фаз нагрузки такие же, как в п.5.1.3. Измерить значение напряжений приемника и источника, токов в аварийном режиме и занести их в таблицу 5.1.

5.2.4 Собрать трехфазную цепь, соединенную треугольником, состоящую из резистора, индуктивности и емкости согласно варианту. Измерить значения напряжений и токов и занести их в таблицу 5.1.

5.3 Оформление и анализ результатов работы

5.3.1 Построить по экспериментальным данным п. 5.3.1 топографическую диаграмму и векторную диаграмму токов. Проверить соотношение между линейными и фазными токами в симметричном режиме. По известным значениям фазных напряжений и сопротивлений фаз приемника рассчитать токи. Результаты расчета занести в таблицу 5.1.

5.3.2 Построить по экспериментальным данным п. 5.3.2 топографическую диаграмму фазных напряжений источника и приемника. Построить векторную диаграмму фазных токов и найти из нее линейные токи. Значения, найденные по топографической и векторной диаграммам, занести в таблицу 5.1.

5.3.3 Построить по экспериментальным данным п. 5.3.3 топографическую диаграмму и векторную диаграмму фазных токов, найти из нее линейные токи, сравнить с измеренными значениями. Значения токов, найденные по диаграмме, занести в таблицу 5.1.

5.3.4 Построить по экспериментальным данным п. 5.3.4 топографическую диаграмму и векторную диаграмму фазных токов, найти из нее линейные токи и сравнить с измеренными значениями. Значения токов, найденные из диаграммы, занести в таблицу 5.1.

5.3.5 По опытным данным и диаграммам сделать расчет активной и полной мощностей в симметричном и аварийных режимах, исследуемых в лабораторной работе. Сравнить эти мощности, сделать вывод.

5.3.6 Рассчитать по опытным данным и топографической диаграмме активную, реактивную и полную мощности в исследуемом несимметричном режиме п. 5.3.4.

5.3.7 Сделать выводы по работе полностью. Сравнить экспериментальные значения с расчетными и полученными из векторных диаграмм. Обратить внимание на изменение напряжений на отдельных фазах приемника, фазных и линейных токов в аварийных режимах.

Таблица 5.1

Режимы	иссле-дов.	Значение напряжения						Значения токов					
		AB	BC	CA	ab	bc	ca	A	B	C	ab	bc	ca

Таблица 5.2

Вариант	Режим работы цепи				
	Обрыв линейного провода	Обрыв фазы	Неоднородная нагрузка		
			Фаза ав	Фаза вс	Фаза са
1	A	вс	R	L	C
2	B	ав	C	R	L
3	C	са	L	R	C
4	A	са	L	C	R
5	B	вс	C	L	R
6	C	ав	R	C	L

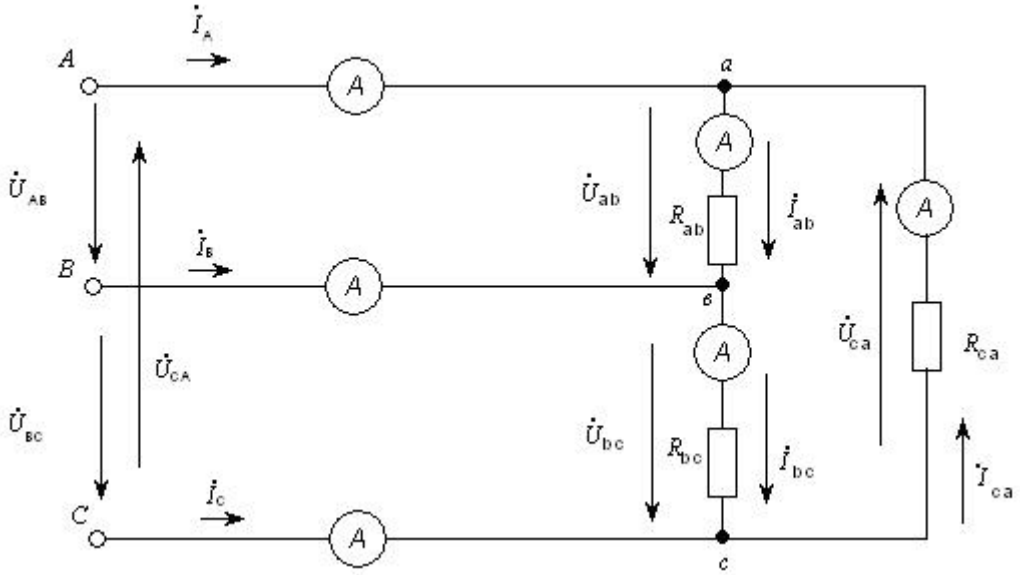


Рисунок 5.1- Схема соединения приемника треугольником

6 Лабораторная работа №6. Исследование цепей с электрическими вентилями

Цель работы: получение навыков экспериментального исследования электрических цепей с вентилями.

6.1 Контрольные вопросы

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

6.1.2 Построить график мгновенного значения тока в цепи с электрическим вентилем и активным сопротивлением при приложении синусоидального напряжения.

6.1.3 Привести схему однополупериодного выпрямителя с активным сопротивлением нагрузки. Построить графики мгновенных значений тока и напряжения на нагрузке, записать выражения для расчета действующего значения и постоянной составляющей тока и напряжения на нагрузке при идеальном выпрямлении.

6.1.4 Представить мостовую схему двухполупериодного выпрямителя. Построить графики мгновенных значений тока и напряжения на нагрузке, записать выражения для расчета действующего значения и постоянную составляющую тока и напряжения на нагрузке при идеальном выпрямлении.

6.1.5 Как рассчитывается действующее значение напряжения по заданным гармоническим составляющим?

6.2 Порядок выполнения работы

6.2.1 Собрать однополупериодный выпрямитель в соответствии со схемой (рисунок 6.1) . Напряжение источника установить в пределах 12 V, частота 50 Hz. Измерить постоянную составляющую и действующее значение переменной составляющей тока и напряжения на нагрузке.

6.2.2 С помощью осциллографа зарисовать кривые мгновенных значений напряжения источника и напряжения на нагрузке.

6.2.3 Собрать мостовой выпрямитель по схеме (рисунок 6.2). Установить напряжение питания и сопротивление нагрузки такими же, как в п.3.1. Измерить постоянную составляющую и действующее значение переменной составляющей тока и напряжения на нагрузке и действующее значение тока.

6.2.4 Подключить осциллограф к нагрузке и зарисовать кривую выпрямленного напряжения.

6.3 Оформление и анализ результатов работы

6.3.1 По измеренным в п.6.2.1 постоянной составляющей V и действующему значению переменной составляющей напряжения на нагрузке $V_{\sim}$ рассчитать величину действующего значения напряжения на нагрузке $V_н$ и сопоставить с величиной действующего значения напряжения источника.

6.3.2 По результатам измерений п.6.2.1 вычислить полную мощность источника питания S, активную мощность в нагрузке P, мощность искажения T

и сравнить с соответствующими значениями, полученными для идеального однополупериодного выпрямителя по выражениям, приведенным в п.6.2.1.

6.3.3 По измеренным в п.6.2.2 постоянной составляющей V и действующему значению переменной составляющей напряжения на нагрузке $V_{\sim}$ рассчитать величину действующего значения напряжения на нагрузке $V_н$ и сравнить с величиной действующего значения напряжения источника.

6.3.4 По результатам измерений п. 6.2.3. вычислить полную мощность источника питания S, активную мощность в нагрузке P, мощность искажения T и сравнить с соответствующими значениями, полученными для идеального двухполупериодного выпрямителя.

6.3.5 Сопоставить результаты, полученные для одно- и двухполупериодного выпрямителей.

6.3.6 Сделать выводы о проделанной работе.

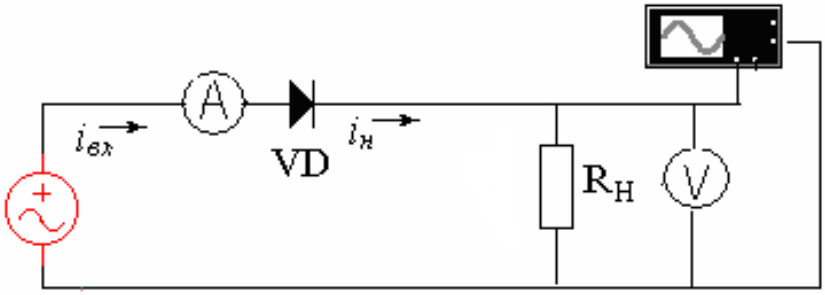


Рисунок 6.1

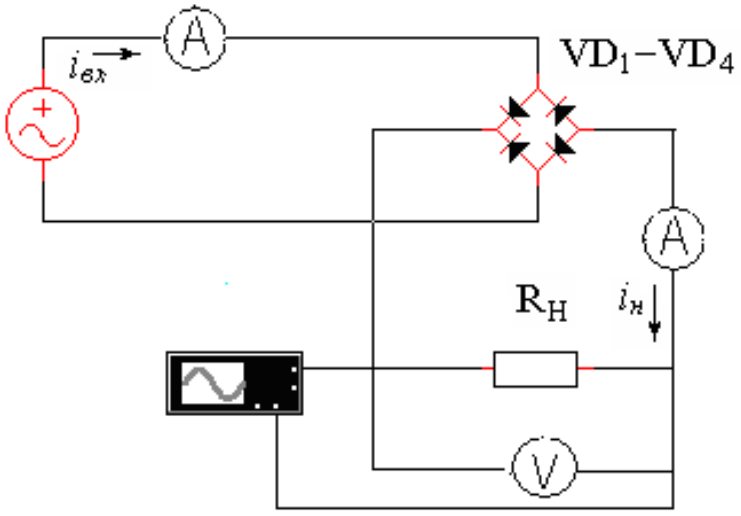


Рисунок 6.2

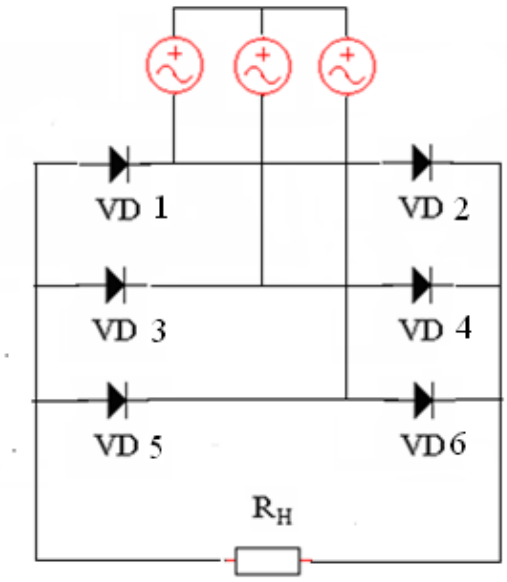


Рисунок 6.3

7 Лабораторная работа №7. Исследование двухкаскадного усилителя с *RC*- связью

Цель работы: исследование принципиальной схемы и назначение элементов усилительных каскадов, выбор рабочей точки, анализ усилителей с емкостной связью.

Перечень оборудования.

В работе используются: источник постоянного напряжения *ИсН3* – 15 В (20 мА), генератор сигналов *ГС* (пределы изменения частоты 20 Гц – 20 кГц), мили ампервольтметр мультиметр АРРА 203, осциллограф, набор резисторов и емкостей, сменная панель.

7.1 Порядок вкючение и выключения установки

7.1.1 Ознакомиться с режимом работы усилителя в схеме с общим эмиттером (ОЭ) (режим усиления, временные диаграммы, стабилизация рабочей точки, расчет основных параметров).

7.1.2 Снять амплитудную и амплитудно-частотную характеристику двухкаскадного усилителя с *RC* - связью.

7.1.3 Выявить влияние обратной связи на основные показатели усилителя. Построить график и составить отчет.

7.1.4 Электронные усилители - это устройства, увеличивающие мощность электрических сигналов за счет потребления энергии постоянного тока. В усилителях используют способность активных электронных элементов (транзисторов) к усилению.

7.1.5 Основные свойства усилительного каскада (*КПД*, нелинейные искажения, мощность сигнала на выходе каскада, т.д.) определяются положением начальной точки, которое задает ток покоя выходной цепи $I_{к0}$. Поэтому при изменении температуры, замене активного элемента и т.д. положение начальной рабочей точки не должно изменяться (сверх допустимых значений).

7.1.6 Стабилизация положения начальной рабочей точки осуществляется введением отрицательной обратной связи (ООС). ООС позволяет расширить полосу пропускания усилителя, увеличить входное сопротивление, уменьшить нелинейные искажения, но все это достигается ценой уменьшения коэффициента усиления усилителя.

7.1.7 На рисунке 7.1,.а изображен усилительный каскад с общим эмиттером (ОЭ). Усиленное выходное напряжение снимается с нагрузочного резистора R_H. При этом выходная мощность усиленного сигнала значительно больше мощности сигнала на входе усилителя. Это увеличение мощности происходит за счет потребления энергии источника питания E_K. В цепь базы для создания начального смещения включен делитель R_1, R_2.

7.1.8 Стабилизация осуществляется введением в схему последовательной отрицательной обратной связи по постоянному току. Напряжение обратной связи снимается с резистора $R_Э$, который включен в цепь эмиттера транзистора.

7.1.9 ЭДС вызывает во входной цепи переменную составляющую тока $i_{ВХ}$, которая суммируется в цепи базы с постоянной составляющей тока $I_{б0}$. Благодаря конденсатору C_1 в источнике входного напряжения отсутствует постоянная составляющая тока базы. Переменный ток i_K вызывает появление переменной составляющей в коллекторном токе и коллекторном напряжении. Переменная составляющая коллекторного напряжения через конденсатор связи C_2 поступает на выход усилителя и создает в резисторе R_H выходной ток $i_{ВЫХ}$. Если сопротивления R_K и R_H выбрать достаточно большими, то переменная составляющая коллекторного напряжения, а значит, и выходное напряжение будет значительно превышать входное напряжение. Емкости конденсаторов C_1 и C_2 должны быть такими, чтобы на всех частотах усиливаемых сигналов выполнялись условия $(1/\omega C_1) << R_{ВХ}$ и $(1/\omega C_2) << R_H$.

7.1.10 Следует отметить, что выходное напряжение усилительного каскада с ОЭ отличается по фазе от входного напряжения примерно на 180°.

7.1.11 Для исключения влияния отрицательной обратной связи по переменному току на коэффициент усиления параллельно резистору $R_Э$ включен конденсатор $C_Э$. Если конденсатор $C_Э$ отсутствует, то переменная составляющая эмиттерного тока создает на резисторе падение напряжения $U_Э = R_Э \cdot i_Э$, что снижает усиливаемое напряжение, так как $U_{БЭ} = U_{ВХ} - i_Э \cdot R_Э$, а следовательно, и коэффициент усиления. Чтобы переменная составляющая на всех частотах усиливаемого напряжения не проходила через резистор, емкость конденсатора $C_Э$ должна быть большой.

7.1.12 Схема замещения транзистора включенного по схеме с ОЭ для переменной составляющей представлена на рисунке 7.1,б.

Входное сопротивление усилительного каскада:

$$R_{BX} = r_Б + (1+\beta)(r_Э + R_Э) // R_1 // R_2 . \qquad (7.1)$$

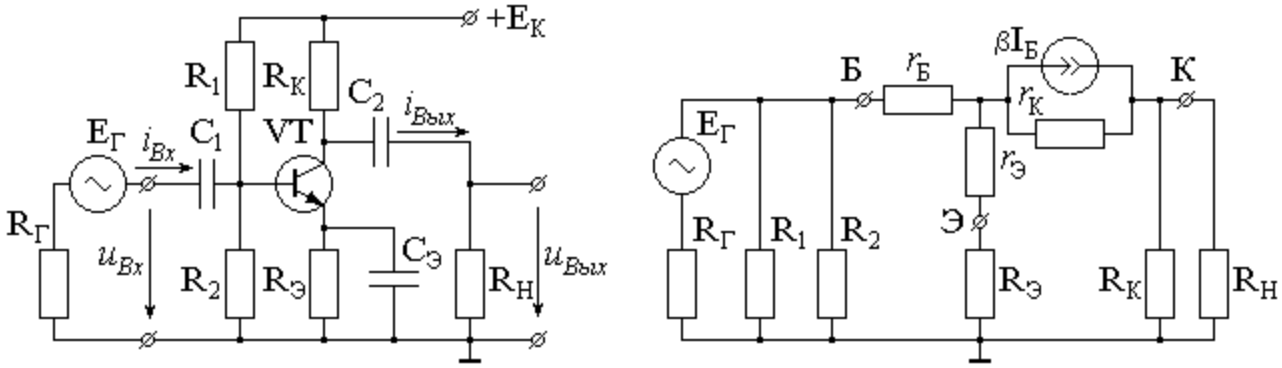
Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U = \frac{\beta \cdot R_K // R_Э}{r_Б + (1+\beta)\cdot(r_Э + R_Э)} . \qquad (7.2)$$

Выходное сопротивление:

$$R_{ВЫХ} = R_K // R_H , \qquad (7.3)$$

где $r_Э$ - сопротивление эмиттерного перехода (порядка сотен *Ом*);
$r_Б$ - сопротивление базы транзистора (порядка *100 Ом*);
β - коэффициент передачи базового тока.



а) схема с ОЭ; б) схема замещения.

Рисунок 7.1

Как правило, усилители состоят из нескольких каскадов, при этом каждый отдельный каскад в составе усилителя выполняет свои функции.

7.1.13 На рисунке 7.2 приведена принципиальная схема двухкаскадного усилителя с *RC* – связью, охваченного отрицательной обратной связью (последовательной по напряжению).

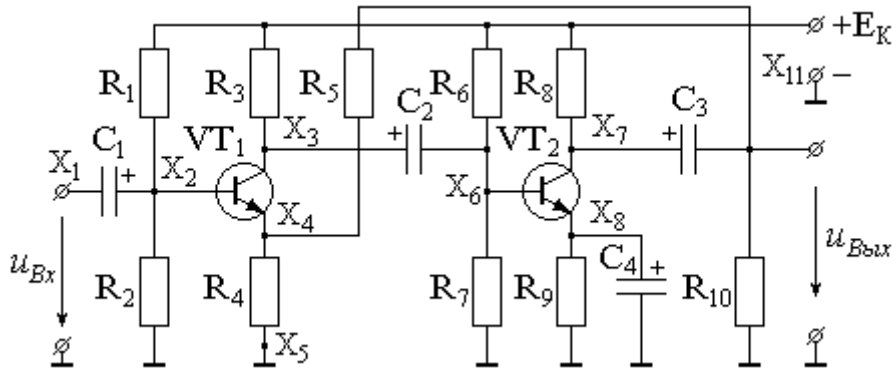


Рисунок 7.2 - Принципиальная схема усилителя

Конденсаторы C_1, C_2 *и* C_3 образуют межкаскадные связи и служат для разделения каскадов усилителя по постоянному току и совместно с C_4 формируют заданную амплитудно - частотную характеристику.

Первый и второй каскады усилителя выполнены по схеме с *ОЭ*.

В общем случае для данного двухкаскадного усилителя:

$$R_{BX} \approx \beta_1 \cdot \beta_2 \frac{R_4 \cdot R_8}{R_{OC}} = \beta_1 \cdot \beta_2 \frac{R_4 \cdot R_8}{R_5}; \qquad (7.4)$$

$$K_{U\,OC} \approx R_{OC} / R_4 = R_5 / R_4; \qquad (7.5)$$

$$R_{ВЫХ\,OC} \approx R_{OC} / \beta_2 = R_5 / \beta_2. \qquad (7.6)$$

7.2 Подготовка к работе

7.2.1 Произвести визуальный осмотр стенда и проверить его комплектность.

7.2.2 Ознакомиться с описанием лабораторного стенда.

7.2.3 Отключить все приборы стенда, для чего перевести тумблеры на блоках питания (*БП*) в нижнее положение.

7.2.4 Включить в розетку электросети *«~220 В»* вилки шнуров питания стенда и осциллографа.

7.2.5 Произвести сборку схемы (см. пункт «Порядок выполнения работы.»). Подключить источники сигналов, измерительные приборы и источники питания.

7.2.6 Включить тумблер *«~220 В»*; стенд подготовлен к выполнению лабораторной работы.

7.3 Порядок выполнения работы.

7.3.1 Усилительный каскад с *ОЭ*.

Собрать усилительный каскад с *ОЭ*, представленный на рисунке 7.1.а, перечень элементов в таблице 7.1.

Таблица 7.1

Элемент	Номинал
Биполярный транзистор VT_1	КТ315
резистор R_1	100 кОм
резистор R_2	7,5 кОм
резистор R_3	15 кОм
резистор R_4	1,5 кОм
конденсатор C_1	50 мкФ
конденсатор C_2	10 мкФ
резистор $R_Н$	2,4 кОм

7.3.2 Подайте на вход усилителя переменное напряжение $u_{ВХ}$ с блока *ГС*. При заданных номиналах элементов схемы снимите осциллограммы напряжений в точках X_1, X_2, X_3, X_4 и X_6 относительно общей точки X_5.

7.3.3 Измерьте с помощью электроизмерительного прибора *МВА* значения напряжений в точках X_2 и X_3 (входное и выходное напряжения). По полученным значениям вычислите коэффициент усиления по напряжению. Сравните полученное значение с ожидаемым теоретическим значением.

7.3.4 Не меняя уровня входного напряжения, измените величину сопротивления R_4 *с 1,5 кОм на 2 кОм*. Определите коэффициент усиления каскада при этом значении сопротивления R_4.

7.3.5 Вычислите отношение коэффициентов усиления по напряжению для одной и той же схемы, полученных при R_4*=1,5 кОм* и R_4*=2 кОм* и $U_{ВХ}$*=const*, проанализируйте влияние величины сопротивления R_4 на коэффициент усиления.

7.3.6 Двухкаскадный усилитель с емкостной связью.

Необходимо собрать принципиальную схему усилителя (рисунок 7.2), перечень элементов (таблица 7.2).

Таблица 7.2

Элемент	Номинал
биполярный транзистор VT_1, VT_2	КТ315
резистор R_1	100 кОм
резистор R_2	7,5 кОм
резистор R_3	15 кОм
резистор R_4	1,5 кОм
резистор (переменный) R_5	22 кОм
резистор R_6	47 кОм
резистор R_7	15 кОм
резистор R_8	2 кОм
резистор R_9	510 Ом

оканчание таблицы 7.2

резистор R_{10}	2,4 кОм
конденсатор C_1	20 мкФ
конденсатор C_2	5 мкФ
конденсатор C_3	5 мкФ
конденсатор C_4	20 мкФ

7.3.7 Снять и построить амплитудную характеристику двухкаскадного усилителя для случаев:

а) при отсутствии обратной связи;

б) усилитель охвачен отрицательной обратной связью.

7.3.8 Для данных случаев оценить предельное значение амплитуды входного сигнала, соответствующее границе линейного усиления.

7.3.9 Необходимо изменить сопротивление R_{10} на величину *1,2 кОм*. Снять амплитудные характеристики для выше оговоренных случаев. Оценить влияние сопротивления нагрузки на полученные характеристики.

7.3.10 Следующим этапом следует снять и построить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилителя при первичных номинальных значениях параметров схемы для случаев:

а) при отсутствии обратной связи;

б) усилитель охвачен отрицательной обратной связью.

По характеристикам определить частотный диапазон усилителя и оценить влияние ООС на данный параметр усилителя.

Измените значения параметров следующих элементов схемы:

C_1=50 мкФ; C_2=10 мкФ; C_3=10 мкФ; C_4=50 мкФ.

7.3.11 Снимите и постройте АЧХ усилителя. Оцените влияние емкостей конденсаторов связи на вид АЧХ.

7.3.12 По данным предыдущих опытов оцените влияние ООС на основные показатели усилителя.

7.4 Методические указания

7.4.1 Питание усилительных схем осуществляется от источника постоянного напряжения *ИсН3*. При этом питание с клемм *15 В* и *0* в соответствии с назначениями следует соединить проводниками с гнездами $+E_K$ и X_{11}.

7.4.2 Включить тумблер *«~220В»* и соответствующие тумблеры на блоке питания *БП* можно только после проверки схемы преподавателем.

7.4.3 При заменах элементов схемы необходимо предварительно снять питание со схемы (отсоединить проводник от гнезда $+E_K$) и отключить источник входного напряжения (блок *ГС*).

7.4.4 При выполнении п.7.3.1 усилительный каскад с *ОЭ* собрать на основе транзистора *VT_1 – КТ315*. Условные обозначения элементов схемы соответствуют принятым обозначениям на сменной панели. Сопротивление R_H

необходимо установить на место под условным обозначением R_7 . Остальные элементы на сменной панели должны отсутствовать.

7.4.5 На вход усилителя подайте синусоидальное напряжение с гнезд *ГН* и ⊥ генератора сигналов *ГС*. На блоке *ГС* поставьте переключатель *«РОД РАБОТЫ»* в позицию *ГН 1:10*. Частота этого напряжения изменяется ступенями *10 Гц…100 кГц* переключателем *«ДИАПАЗОН»*, а между ступенями изменяется плавно ручкой *«ЧАСТОТА»*. Амплитуда этого напряжения регулируется при помощи ручки *«АМПЛИТУДА»*.

7.4.6 При выполнении данного пункта установите частоту входного сигнала *f=1000 Гц*, а его уровень выберите таким, чтобы наблюдаемый на выходе усилителя сигнал имел максимальное усиление и минимальные нелинейные искажения.

7.4.7 Измерение частоты осуществляется измерителем частоты *ИзмЧ*. Все измерения напряжений и наблюдение формы сигнала производить с помощью осциллографа.

7.4.8 Методика измерения амплитуды напряжения с помощью осциллографа заключается в следующем. Исследуемый сигнал посредством специального кабеля подают на вход осциллографа и с помощью входного аттенюатора, задающего масштаб по вертикали m_v (*В/дел*), добиваются того, чтобы размер изображения по вертикали *H* занимал большую часть экрана. Искомую амплитуду определяют по формуле: $U_m = H \cdot m_v$.

7.4.9 Для получения устойчивого изображения на экране необходимо пользоваться регулятором *«Уровень»*, расположенным на передней панели осциллографа.

7.4.10 При определении значений амплитуд входного и выходного сигналов необходимо переключатель режима работы входа осциллографа *(≅,⊥,~)*, который передает сигналы вертикального отклонения к аттенюатору, установить в положение *«Переменное напряжение (~)»*. В данном положении последовательно с сигнальным входом включается конденсатор, чтобы исключить из сигнала, поданного на вход осциллографа, постоянную составляющую напряжения.

7.4.11 Осциллограммы в характерных точках (п.7.3.6) каскада следует снимать, когда переключатель режима работы входа осциллографа *(≅,⊥,~)* установлен в положении *«Переменное и постоянное напряжения (≅)»*.

7.4.12 При выполнении п.7.3.7 необходимо собрать принципиальную схему усилителя, представленного на рисунке 4.2, дать проверить схему соединений преподавателю, после чего можно включить стенд и приступить к дальнейшей работе.

7.4.13 Амплитудная характеристика снимается на частоте *f=1000 Гц*.

Для снятия амплитудной характеристики без *ООС* следует исключить из схемы сопротивление R_5 (переменное).

7.4.14 Амплитудные характеристики снимать до появления искажений формы выходного сигнала (при этом в каждом случае следует зафиксировать U_{BX}' верхнюю границу линейного участка амплитудной характеристики).

Экспериментальные данные занести в таблицу 7.1 и по ним построить график.

Таблица 7.4 – Амплитудная характеристика усилителя

U_{BX}, *мВ*	*50*	*100*	*150*	*200*	*250*	*300*
$U_{ВЫХ}$, *мВ*						
$K_U=U_{ВЫХ}/U_{BX}$						

7.4.15 Амплитудно – частотную характеристику снимать при напряжении на входе усилителя равном U_{BX}', т.е. равном максимальному значению, при котором еще отсутствуют нелинейные искажения в выходном сигнале. Данное значение напряжения на входе следует поддерживать постоянным во всем диапазоне изменения частоты.

7.4.16 Результаты измерений занести в таблицу 4.2. По данным таблицы построить АЧХ, то есть график зависимости коэффициента усиления K_U от частоты в логарифмическом масштабе *lg f.*

Таблица 7.5 – Амплитудно-частотная характеристика при U_{BX}=*60…70 мВ*

f, Гц	*10*	*20*	*50*	*100*	*500*	*1000*	*2000*	*10000*	*100000*
$U_{ВЫХ}$, *мВ*									
$K_U=U_{ВЫХ}/U_{BX}$									
lg f									

7.4.17 Амплитудно – частотные характеристики снимать до появления частотных искажений.

7.4.18 По графикам характеристик необходимо, в каждом случае, определить полосу пропускания (диапазон усиливаемых частот) и оценить влияние емкостей конденсаторов на вид АЧХ.

7.5 Контрольные вопросы

7.5.1 Каково назначение элементов в схеме усилителя?

7.5.2 Привести основные соотношения для выбора режима покоя. Что влияет на режим покоя?

7.5.3 Какие виды обратных связей существуют? С какой целью они применяются в усилителях? Стабилизация режима покоя.

7.5.4 Как влияет ООС на параметры усилителя?

7.5.5 Какие существуют способы подачи смещения во входные цепи транзисторов? Укажите их достоинства и недостатки.

7.5.6 Как изменится вид АЧХ, если емкость конденсатора связи увеличить вдвое?

7.5.7 Какие существуют схемы межкаскадной связи? Их достоинства и недостатки.

7.5.8 Каким образом влияет емкость $C_э$, включенная в эмиттерную цепь транзистора, на вид АЧХ?

7.5.9 Какие параметры усилителя собранного по схеме с *ОЭ* влияют на «завал» АЧХ в области высоких частот?

8 Лабораторная работа №8. Исследование операционного усилителя (ОУ)

Цель работы: ознакомиться с принципом действия, основными свойствами и параметрами операционных усилителей, а также рассмотреть основные типы усилительных схем, в которых они используются.

Перечень оборудования.

В работе используются: источник постоянного напряжения *ИсН3* – 15 В (20 мА), источник постоянного напряжения *ГН1* – 1,5…6 В (50 мА), генератор сигналов *ГС* (пределы изменения частоты 10 Гц – 100 кГц), измеритель частоты *ИзмЧ*, амперволтметры *АВ1* и *АВ2*, мили амперволтметр *МВА*, осциллограф, съемный элемент *DA* на операционном усилителе *К553УД1А*, набор резисторов и емкостей, сменная панель *17Л-03/20*.

8.1 Задание для выполнение лабораторных работ

8.1.1 Ознакомиться и изучить назначение, основные характеристики и схемы включения ОУ.

8.1.2 Собрать схемы инвертирующего, неинвертирующего усилителя, повторителя напряжения и усилителя с дифференциальным входом и согласно порядку выполнения работы, провести исследование данных схем включения ОУ при синусоидальном и постоянном входном сигналах, для одной из схем включения снять амплитудно-частотную характеристику.

8.1.3 Собрать схему генератора сигналов треугольной формы и снять осциллограмму выходного напряжения.

8.1.4 Построить графики и составить отчет.

Основные положения.

Операционный усилитель (ОУ) – это модульный многокаскадный усилитель с дифференциальным входом, по своим характеристикам приближающийся к «идеальному усилителю». Идеальный ОУ имеет коэффициент усиления по напряжению, стремящийся к бесконечности (у

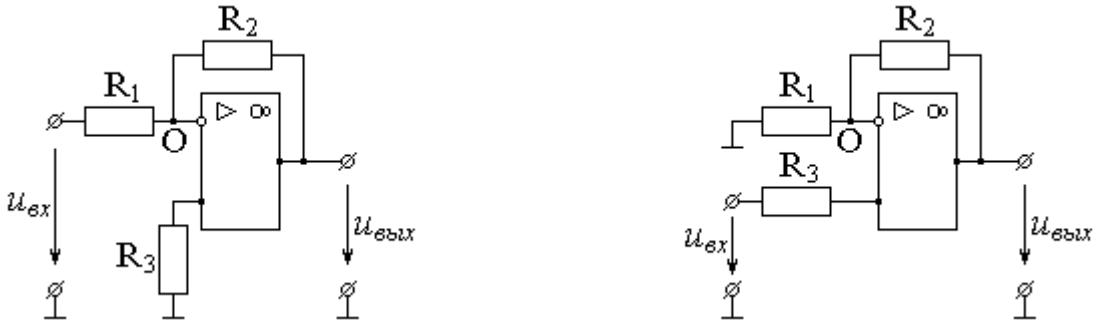
реальных ОУ он обычно превышает 10^5), обладает большим входным сопротивлением (10^6 Ом и более) и малым выходным сопротивлением (доли Ом). ОУ являются основными элементами электронных устройств и, в том числе, аналоговых вычислительных машин, в составе которых они выполняют суммирование, интегрирование, дифференцирование и другие операции над аналоговыми величинами. Тип операции целиком определяется параметрами и видом нелинейности внешних (по отношению к ОУ) элементов обратной связи. Большинство современных ОУ конструктивно выполняются в виде интегральных схем (ИС).

Схема простейшего инвертирующего усилителя показана на рисунке 8.1, а. Использование сопротивлений R_1 и R_2 называют введением обратной связи.

Коэффициент усилителя с обратной связью равен:

$$K_{ос} = \frac{u_{вых}}{u_{вх}} = -\frac{R_2}{R_1}. \qquad (8.1)$$

Знак минус перед правой частью этого равенства означает, что выход инвертирован, то есть выходное напряжение находится в противофазе к входному.



а) инвертирующий усилитель; б) не инвертирующий усилитель.

Рисунок 8.1- Схемы усилителей

Входное сопротивление схемы инвертирующего усиления равно R_1, в силу того, что благодаря обратной связи в точке О (рисунок 5.1,а) сохраняется приблизительно нулевой потенциал. Сопротивление R_1 должно быть выбрано так, чтобы не нагружать источник входного напряжения $u_{вх}$, а сопротивление R_2 должно быть достаточно большим, чтобы чрезмерно не нагружать операционный усилитель.

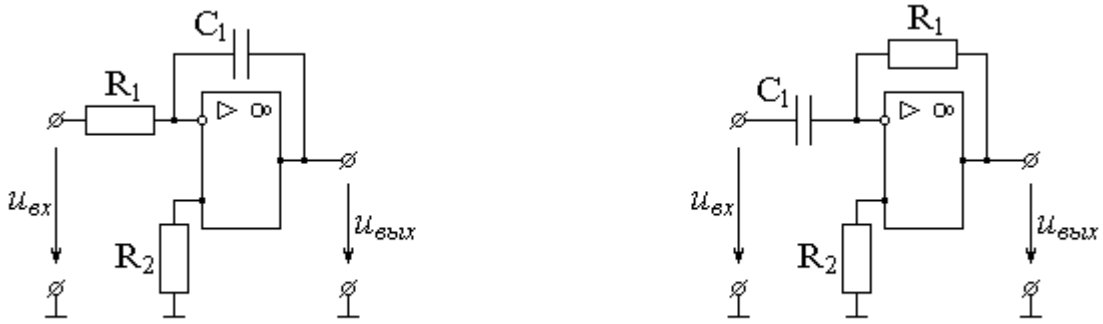
Схема неинвертирующего усилителя показана на рисунке 8.1, б.

Коэффициент усиления с обратной связью:

$$K_{ос} = \frac{u_{вых}}{u_{вх}} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}. \qquad (8.2)$$

Отличительной чертой рассмотренных усилителей является высокое входное сопротивление, обусловленное действием последовательной отрицательной обратной связи по напряжению.

Широкое применение находят интегрирующие и дифференцирующие операционные схемы на основе ОУ (рисунок 8.2).



а) интегрирующий ОУ; б) дифференцирующий ОУ.

Рисунок 8.2- Операционные схемы

$$u_{c_1} = \frac{1}{C_1}\int i_c(t)dt\,. \tag{8.3}$$

Так как

$$i_c = -i_{вх} = -\frac{u_{вх}}{R_1}, \tag{8.4}$$

то отсюда следует, что

$$u_{вых} = -\frac{1}{C_1}\int \frac{u_{вх}}{R_1}dt = -\frac{1}{R_1C_1}\int u_{вх}dt\,. \tag{8.5}$$

Дифференцирование является операцией, обратной интегрированию, поэтому получить дифференцирующее устройство можно из интегратора, поменяв местами резистор R_1 и конденсатор C_1 на рисунке 8.2 (б).

8.2 Подготовка к работе

8.2.1 Произвести визуальный осмотр стенда и проверить его комплектность.

8.2.2 Ознакомиться с описанием лабораторного стенда.

8.2.3 Отключить все приборы стенда, для чего перевести тумблеры на *БП* в нижнее положение.

8.2.4 Включить в розетку электросети «~220 В» вилки шнуров питания стенда и осциллографа.

8.2.5 Произвести сборку схемы (рисунок 8.3). Порядок выполнения работы. Подключить источники сигналов, измерительные приборы и источники питания.

8.2.6 Включить тумблер «~220 В». Стенд подготовлен к выполнению лабораторной работы.

8.3 Порядок выполнения работы

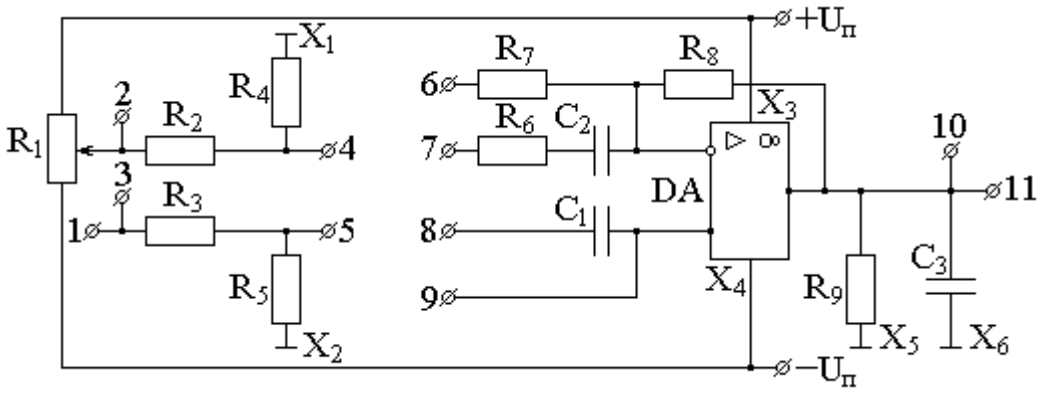


Рисунок 8.3- Исследование операционного усилителя

8.3.1 Инвертирующий усилитель.

Включите операционный усилитель по схеме (рисунок - 8.3).

8.3.2 Предварительно вычислите величину R_1, необходимую для получения коэффициента усиления $K_{ОС}$, равного 10, если R_2 = 100 кОм. R_3 равен нулю.

8.3.3 Установите R_1 на место R_7 и R_2 на место R_8 в схему исследования ОУ на рисунке 8.3. Измерьте величину и определите полярность выходного напряжения при постоянном напряжении на входе $U_{вх}$ = 0,5 В. Вычислите коэффициент усиления. Сравните экспериментальное значение $K_{ОС}$ с теоретическим.

8.3.4 Для установки $U_{вх}$ = 0,5 В можно использовать делитель напряжения R_3, R_5 или потенциометр R_1 совместно с делителем напряжения R_2 и R_4 рисунок 8.3).

8.3.5 Неинвертирующий усилитель. Соберите схему усилителя, представленную на рисунке 8.1, б.

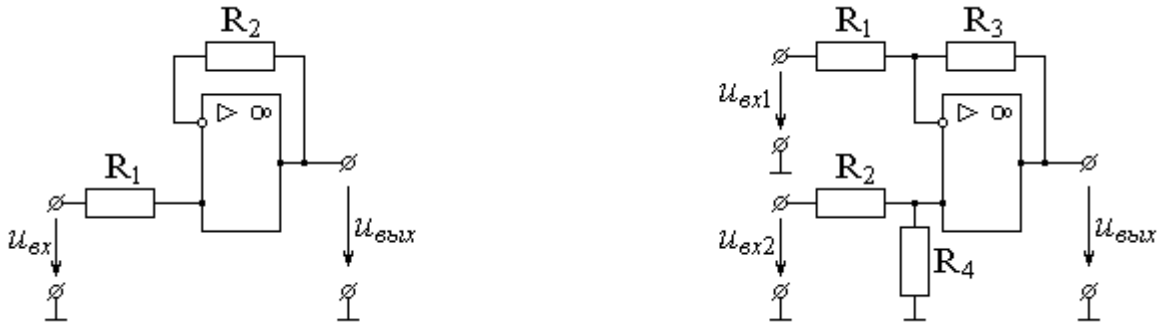
8.3.6 Предварительно вычислите величину R_1, необходимую для того, чтобы коэффициент усиления с обратной связью $K_{ОС}$ был равен 11, если R_2 = 100 кОм, R_3 равен нулю.

8.3.7 Измерьте величину и определите полярность выходного напряжения при постоянном напряжении на входе $U_{вх}$ = 0,5 В. Вычислите коэффициент усиления. Сравните экспериментальное значение $K_{ОС}$ с теоретическим.

8.3.8 Для установки $U_{вх}$ = 0,5 В можно воспользоваться указаниями, данными в предыдущем пункте.

8.3.9 Соберите схему, представленную на рисунке 8.4.а. $R_1 = R_2 = 10$ кОм. Установите R_1 на место R_8 и R_2 на место C_1 в схему исследования ОУ на рисунке 8.3.

8.3.10 Подайте на вход схемы сначала переменное напряжение частотой $f = 100$ Гц и амплитудой $U_m = 2{,}5$ В, а затем постоянное напряжение $U = 5$ В. Измерьте и запишите значения входных и выходных напряжений. Как соотносятся для двух сигналов (постоянного и переменного) отношения $U_{вых}/U_{вх}$.



а) повторитель напряжения; б) с дифференциальным входом.

Рисунок 8.4 - Схемы усилителей

8.3.11 Выполните условия: $R_1 = R_2 = 10$ кОм и $R_3 = R_4 = 51$ кОм.

$$u_{вых} = (R_3 / R_1)\cdot(u_{вх2} - u_{вх1}). \qquad (8.6)$$

8.3.11 Подайте на инвертирующий вход ($u_{вх1}$) постоянное напряжение $U = 1$ В, а на неинвертирующий вход ($u_{вх2}$) переменное напряжение частотой $f = 100$ Гц и амплитудой $U_m = 1$ В.

8.3.12 Снимите осциллограмму выходного напряжения усилителя и измерьте по ней минимальное и максимальное значения $u_{вых}$.

8.3.13 Для установки постоянного напряжения $U = 1$ В используйте потенциометр R_1 совместно с делителем R_2, R_4 на рисунке 8.3.

8.3.14 Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ). По заданию преподавателя соберите схему инвертирующего или неинвертирующего усилителя на рисунке 8.1 с коэффициентом усиления $K_{ОС} = 2$.

8.3.15 Для заданной схемы снимите значения амплитуды выходного напряжения при неизменном значении амплитуды входного напряжения $U_m = 1$ В и изменении частоты f от 10 Гц до 100 Кгц. с кратностью 10. Например, 10, 100, 1000 и т.д. Рассчитайте коэффициенты усиления $K_{ОС}$ и lgf для каждого значения частоты. Экспериментальные и расчетные данные представьте в табличной форме. Постройте АЧХ, то есть зависимость $K_{ОС}$ от lgf, и определите полосу пропускания усилителя.

8.3.16 Генератор сигналов треугольной формы. Соберите схему,представленную на рисунке 8.5.

8.3.17 Предварительно рассчитайте значения *R* и *C* интегратора такие, чтобы полученный на выходе сигнал треугольной формы имел пиковые значения ±2,5 В (от пика до пика 5 В).

8.3.18 Элементы интегратора *R* и *C* обеспечивают требуемые временные соотношения. Расчет их основан на использовании выражения (5.5) с учетом того, что на вход интегратора подается напряжение $u_{вх}(t)$ прямоугольной формы (меандр) с частотой f = 100 Гц и амплитудой U_m = 10 В.

8.3.19 Нарисуйте в соответствующем масштабе осциллограммы напряжений, полученные на входе и выходе интегратора.

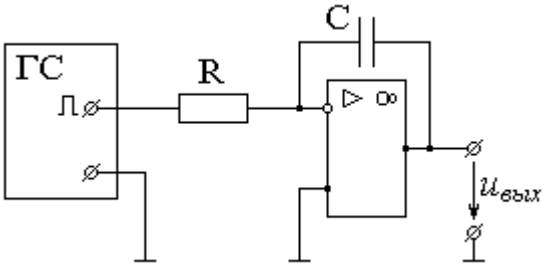


Рисунок 8.5 - Генератор сигналов треугольной формы

8.3.20 При сборке схем питание для ОУ осуществляют от блока *ИсН3*. При этом клеммы +15 В, 0 и −15В следует подключить к гнездам $+U_П$, X_5 и $-U_П$, соответственно (рисунок 8.5).

8.3.21 Включать тумблер «~220 В» и другие тумблеры на блоке питания (БП) можно только после проверки схемы преподавателем.

8.3.22 При выполнении пунктов 8.3.1. и 8.3.2. для контроля входного и выходного напряжений используйте измерительные приборы *AB1* и *AB2* в режиме измерения постоянных напряжений на соответствующих пределах измерений.

8.3.23 Для установки $U_{вх}$ = 0,5 В можно использовать делитель напряжения R_3, R_5. С выходных клемм блока *ГН1* постоянное напряжение подайте на вход делителя напряжения (плюсовую клемму соединить с гнездом 1, а минусовую − с гнездом X_2). Делитель напряжения должен иметь коэффициент деления, равный пяти. Рассчитайте для данного коэффициента R_3, если R_5 = 51 кОм. Регулируя напряжение блока *ГН2*, установите на клемме 5 U = 0,5 В. Подайте это напряжение на вход исследуемой схемы.

Для измерения величины и определения полярности входных и выходных напряжений усилителя удобно пользоваться осциллографом.

8.3.24 При выполнении п. 8.3.3 на вход усилителя (повторителя) подайте синусоидальное напряжение с гнезд *ГН* и ⊥ генератора сигналов *ГС*. Предварительно установите частоту сигнала f = 100 Гц. Для плавного изменения частоты служит регулятор «частота» на передней панели блока *ГС*. Измерение частоты осуществляется измерителем частоты (*ИзмЧ*).

8.3.25 Постоянное напряжение на вход повторителя можно подать непосредственно с выхода блока *ГН1*, используя для измерения величины напряжения амперовольтметр *АВ1*.

8.3.26 При выполнении п. 8.3.4 необходимо воспользоваться методическими указаниями п. 8.3.1 и п. 8.3.3 Коэффициент деления делителя напряжения R_2, R_4 равен пяти. Контроль величины входного напряжения $u_{вх1}$ осуществляется в точке 4 на рисунке 8.5. Сопротивление R_1 = 10 кОм (переменное).

8.3.27 При выполнении п. 8.3.5 измерять амплитуды входного и выходного напряжений усилителя удобно с помощью осциллографа.

8.3.28 При выполнении п.8.3.6 подключите вход интегратора к блоку *ГС*, используя выход «прямоугольный импульс положительной полярности». Установите частоту выходных импульсов f = 1000 Гц (блок *ИзмЧ*). Регулятором «Длительность» установите скважность импульсов, равную 2, наблюдая сигнал на осциллографе.

8.3.29 Методика измерения амплитуды напряжения с помощью осциллографа заключается в следующем. Исследуемый сигнал посредством специального кабеля подают на вход осциллографа и с помощью входного аттенюатора, задающего масштаб по вертикали m_V (*В/дел*), добиваются того, чтобы размер изображения по вертикали H занимал большую часть экрана. Искомую амплитуду определяют по формуле: $U_m = H \cdot m_V$.

8.3.30 Для получения устойчивого изображения на экране необходимо пользоваться регулятором *«Уровень»*, расположенным на передней панели осциллографа.

8.4 Контрольные вопросы

8.4.1 Назовите основные параметры ОУ.

8.4.2 Нарисуйте схему инвертирующего усилителя. Какой вид обратной связи используется в этой схеме? Как этот вид ООС влияет на параметры усилителя?

8.4.3 Нарисуйте схему неинвертирующего усилителя. Какой вид обратной связи используется в этой схеме? Как этот вид ООС влияет на параметры усилителя?

8.4.4 Назовите основные факторы, приводящие к появлению температурного дрейфа нуля операционного усилителя.

8.4.5 Нарисуйте схему интегрирующего усилителя. Объясните принцип действия схемы.

8.4.6 Нарисуйте схему генератора сигналов треугольной формы. Объясните принцип действия схемы.

8.4.7 Нарисуйте схему дифференцирующего усилителя. Объясните принцип действия схемы.

8.4.8 Нарисуйте схему повторителя напряжения. Укажите его особенности и назначение.

8.4.9 Нарисуйте схему дифференциального усилителя. Укажите его достоинства и недостатки.

9 Лабораторная работа №9. Исследование однофазного двухобмоточного трансформатора

Цель работы: экспериментальное исследование свойств однофазного двухобмоточного трансформатора.

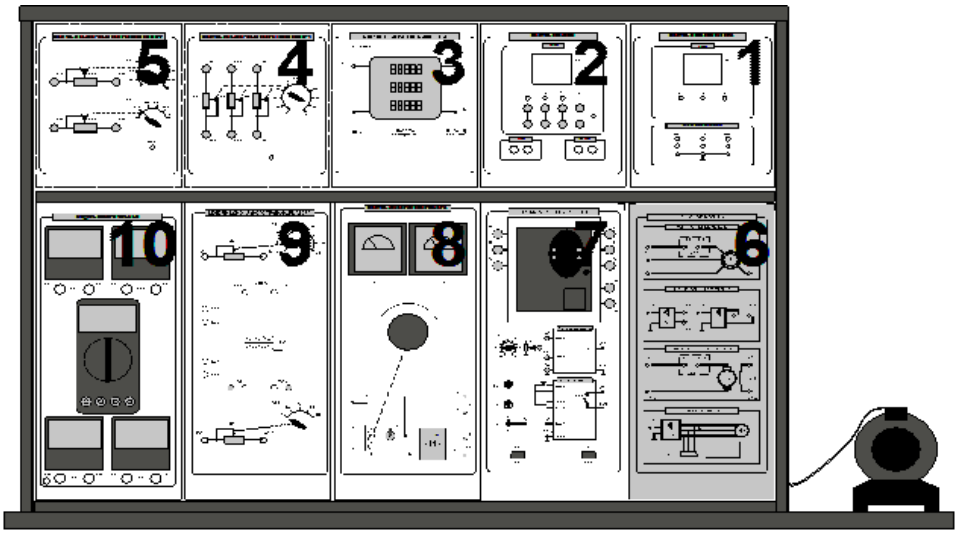


Рисунок 9.1 - Общий вид лабораторного стенда

Программа выполнения работы.

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

В лабораторной работе используются следующие модули:

– модуль питания стенда (МПС);

– модуль питания (МП);

– модуль однофазного трансформатора (ОдТр);

– модуль измерительный (МИ).

Перед проведением работы необходимо привести модули 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 Г.

9.1 Внешняя характеристика трансформатора

Внешняя характеристика представляет собой зависимость вторичного напряжения трансформатора от тока нагрузки $U_2 = f(I_2)$ при $U_1 = U_{1H} = const$; $cos\varphi_2 = const$.

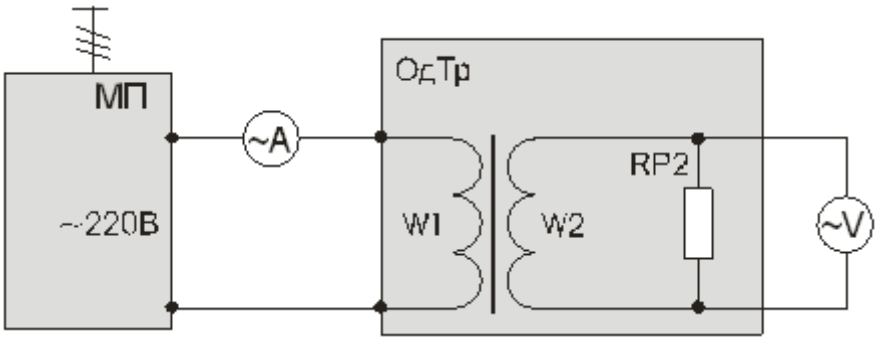


Рисунок 9.2 – Схема для снятия внешней характеристики трансформатора

9.1.1 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.

9.1.2 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 1;

– переключателем *SA2* модуля *ОдТр* изменять ток вторичной обмотки до тех пор, пока ток в первичной обмотке не будет равен $I_1 \approx I_{1H}$:

$$I_н = \frac{S_н}{U_{1н}},$$

где $S_Н$ – полная мощность (Приложение Г), кВА;

$U_{1Н}$ – номинальное вторичное напряжение (Приложение Г), В.

Переключатель SA2 в положение «0» не выводить.

Данные опыта занести в таблицу 1.

Таблица 9.1

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

После проведения опыта *SA2* перевести в положение «∞», отключить автоматы *QF2, QF1*.

По опытным данным можно построить внешнюю характеристику трансформатора и рассчитать коэффициенты нагрузки и трансформации.

Коэффициент трансформации:

$$K_{тр} = \frac{U_2}{U_1},$$

,

где U_2, U_1 – напряжения вторичной и первичной обмоток на холостом ходу.

Ток вторичной обмотки, А:

$$I_2 = I_1 \cdot K_{тр},$$

Коэффициент нагрузки:

$$K_{НГ} = \frac{I_H}{I_{2H}}.$$

9.2 Контрольные вопросы

9.2.1 Почему ток холостого хода трансформатора очень мал и составляет несколько процентов от номинального тока?

9.2.2 Чем объяснить, что КПД трансформатора, как правило, определяют расчетным способом?

10 Лабораторная работа №10. Исследование асинхронного двигателя с фазным ротором

Цель работы: исследование рабочих свойств электродвигателя путем снятия соответствующих опытных характеристик.

Программа работы:

1) Изучить схемы для исследования асинхронного электродвигателя с фазным ротором (в дальнейшем изложении АДФР).

2) Исследовать двигатель в режиме короткого замыкания.

3) Исследовать двигатель в режиме холостого хода.

4) По опытам холостого хода и короткого замыкания рассчитать параметры двигателя, построить схему замещения.

5) Снять рабочие характеристики двигателя по методу непосредственной нагрузки при введении сопротивлений в цепь ротора.

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

Пояснения к работе:

В лабораторной работе используются следующие модули:

– модуль питания стенда (МПС);

– модуль питания (МП);

– силовой модуль (СМ);

– модуль измерителя мощности (МИМ);

– модуль добавочных сопротивлений №1 (МДС1);

– модуль добавочных сопротивлений №2 (МДС2);

– модуль измерительный.

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

– переключатель SA1 МДС№1 установить в положение «∞»;

– переключатель SA1 МДС№2 установить в положение «∞».

Исследуемый асинхронный двигатель входит в состав электромашинного агрегата, включающего в себя собственно исследуемый двигатель М1, нагрузочный генератор – машину постоянного тока – М2, импульсный датчик скорости М3.

10.1 Опыт короткого замыкания

Опыт короткого замыкания проводится при неподвижном (заторможенном) роторе s = 1 и пониженном напряжении, при котором ток статора примерно равен номинальному току статора $I_{1к} \approx I_{1н}$.

Асинхронный электродвигатель подключается через измеритель мощности модуля МДС1 непосредственно к модулю МП.

Торможение двигателя осуществляется путем установки металлического стержня в отверстие полумуфты.

Понижение напряжения достигается включением добавочного сопротивления в цепь статора.

Ток статора, напряжение статора, мощность и коэффициент мощности электродвигателя измеряется модулем МИМ.

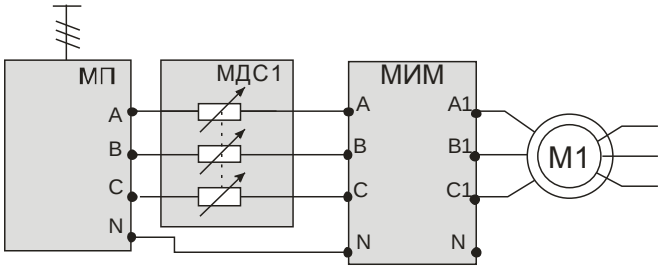


Рисунок 10.1 - Схема для проведения опыта короткого замыкания

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматические выключатели QF1 и QF2 соответственное МПС и МП;

– переключателем SA1 МДС№1 вводить сопротивление в цепь статора до тех пор, пока ток статора примерно будет равен номинальному.

Данные занести в таблицы - 1.

Таблица 10.1

Данные опыта				Расчетные данные							
$U_{1фк}$	$I_{1фк}$	$P_{1фк}$	$\cos\varphi_{1к}$	$P_{1к}$	$\Delta P_{ЭЛ.СТ}$	$\Delta P_{СТ}$	$P_{ЭМ.К}$	$M_{ЭМ.К}$	$z_К$	$r_К$	$x_К$
В	А	Вт		Вт	Вт	Вт	Вт	Н·м	Ом	Ом	Ом

После проведения опыта отключить автоматические выключатели QF1, QF2, установить модули в исходное состояние.

Удалить металлический стержень из электромашинного агрегата.

По данным опыта короткого замыкания определить пусковой ток и пусковой момент при s=1.

Трехфазная активная мощность при опыте короткого замыкания, Вт:

$$P_{1к} = m_{1К}P_{1ФК}. \quad (10.1)$$

Электрические потери в цепи статора, Вт:

$$\Delta P_{ЭЛ.СТ} = m_1 \cdot I_{1К}^2 \cdot r_1. \quad (10.2)$$

Потери в стали при напряжении $U_{1к}$, Вт:

$$\Delta P_{СТ} \approx \Delta P_{СТ1}\left(\frac{U_{1К}}{U_{1Н}}\right)^2, \quad (10.3)$$

где $\Delta P_{СТ1}$ – потери в стали при номинальном напряжении, Вт.

Электромагнитная мощность при опыте короткого замыкания, Вт

$$P_{ЭМ.К} = P_{1К} - \Delta P_{ЭЛ.СТ} - \Delta P_{СТ}. \quad (10.4)$$

Электромагнитный момент при опыте короткого замыкания, Н·м

$$M_{ЭМ.К} = \frac{P_{ЭМ.К}}{\omega_1}, \text{ или } M_{ЭМ.К} = \frac{P_{ЭМ.К}}{\frac{2\pi n_1}{60}}, \quad (10.5)$$

где n_1 – синхронная частота вращения, об/мин;

ω_1 синхронная угловая частота вращения, рад/сек.

$$\omega_1 = \frac{2\pi \cdot f}{p}, \quad (10.6)$$

где p – число пар полюсов (Приложение Б).

Электромагнитный момент при номинальном напряжении, Н·м:

$$M_{ЭМ.Н} = M_{ЭМ.К}\left(\frac{U_{1Н}}{U_{1К}}\right)^2. \quad (10.7)$$

Кратность пускового момента:

$$M_п* = \frac{M_{ЭМ.Н}}{M_Н}; \quad (10.8)$$

$$M_Н = \frac{P_{2Н}}{\omega_Н}, \quad (10.9)$$

где $P_{2Н}$ и $\omega_Н$ – номинальная мощность на валу и угловая номинальная частота вращения (Приложение Б).

Кратность пускового тока:

$$I_П* = \frac{I_{1К}}{I_{1Н}} \cdot \frac{U_{1Н}}{U_{1К}}. \quad (10.10)$$

10.2 Опыт холостого хода

Исследование двигателя в режиме холостого хода проводится для одного значения напряжения, равного номинальному и позволяет оценить величину тока холостого хода, а также потери в стали при номинальном напряжении.

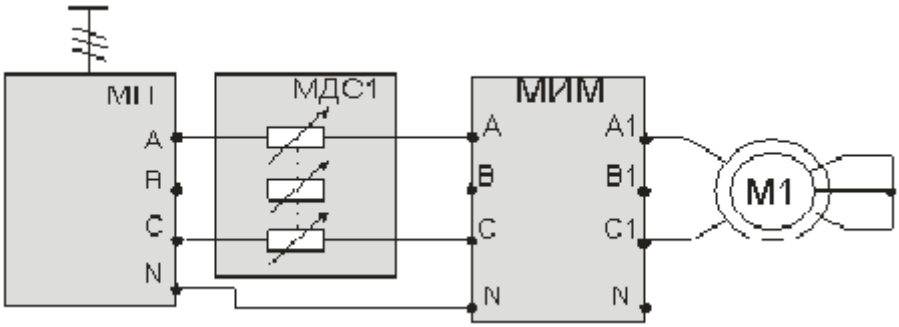


Рисунок 10.2 - Схема для проведения опыта холостого хода

Ток статора, напряжение статора, мощность и коэффициент мощности электродвигателя измеряется модулем МИМ.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматические выключатели QF1 и QF2 соответственное МПС и МП;

– переключатель SA1 МДС №1 установить из положения «∞» в положение «0», напряжение принимает значение, равное номинальному, запускается асинхронный двигатель.

Данные опыта занести в таблице – 10.2.

Таблица 10.2

Данные опыта				Расчетные данные							
$U_{1фн}$	I_{10}	$P_{1ф}$	n	ω	P_{10}	$\cos\varphi_{10}$	$\Delta P_{ЭЛ.СТ}$	P_{0m}	$\Delta P_{СТ}$	$\Delta P_{СТ1}$	I_{10} *
В	А	Вт	об/мин	рад/с	Вт		Вт	Вт	Вт	Вт	

После проведения опыта отключить автоматические выключатели QF2, QF1, установить модули в исходное состояние.

Расчетные данные.

1) Коэффициент мощности $\cos\varphi_{10}$:

$$\cos\varphi_{10} = \frac{P_{10}}{m_1 U_{1\Phi H} I_{1\Phi}}, \qquad (10.11)$$

где P_{10} – активная мощность трех фаз, Вт

$$P_{10} = m_1 P_{1\Phi}. \qquad (10.12)$$

2) Электрические потери в цепи статора, Вт

$$\Delta P_{ЭЛ.СТ} = m_1 I_{1к}^2 r_1. \quad \Delta P_{ЭЛ.СТ} = m_1 \cdot I_{1К}^2 \cdot r_1. \qquad (10.13)$$

3) Потери в стали сердечника статора при номинальном напряжении, Вт:

$$\Delta P_{СТ.1} = P_{10} - \Delta P_{ЭЛ.СТ} - \Delta P_{МЕХ.АД.} - \Delta P_{МЕХ.МПТ}, \qquad (10.14)$$

где r_1 – активное сопротивление фазы статора при температуре окружающей среды, Ом (Приложение Б);

$\Delta P_{МЕХ.АД.}$ – механические потери асинхронного двигателя, Вт (Приложение Б);

$\Delta P_{МЕХ.МПТ}$ – механические потери машины постоянного тока, Вт (Приложение Б).

Потери в стали сердечника статора при любом другом напряжении могут быть пересчитаны через квадрат напряжения:

$$\Delta P_{СТ} = \Delta P_{СТ.1}\left(\frac{U_1}{U_{1H}}\right)^2, \qquad (10.15)$$

где $\Delta P_{СТ}$ – потери в стали при любом значении напряжения U_1, Вт.

Значение тока холостого хода в относительных единицах:

$$I_{10}* = \frac{I_{10}}{I_{1H}}. \qquad (10.16)$$

10.3 Расчет параметров асинхронного двигателя

Опыт холостого хода и короткого замыкания позволяет рассчитать параметры асинхронного двигателя и построить схему замещения.

Из опыта холостого хода:

1) Активное сопротивление намагничивающей цепи:

$$r_m \approx \frac{P_{ст.1}}{m_1 I_{10}^2}. \qquad (10.17)$$

2) Полное сопротивление намагничивающей цепи:

$$z_m \approx \frac{U_{1ФН}}{I_{10}}. \qquad (10.18)$$

3) Индуктивное сопротивление намагничивающей цепи

$$x_m \approx \sqrt{z_m^2 - r_m^2}. \qquad (10.19)$$

Из опыта короткого замыкания:

1) Полное сопротивление:

$$z_к = \frac{U_{1ФК}}{I_{1К}}. \qquad (10.20)$$

2) Активное сопротивление:

$$r_к = \frac{P_{1К}}{m_1 I_{1К}^2};\ r_2' = r_к - r_1. \qquad (10.21)$$

3) Индуктивное сопротивление:

4)

$$x_к = \sqrt{z_к^2 - r_к^2};\ x_1 \approx x`_2 = \frac{x_к}{2}. \qquad (10.22)$$

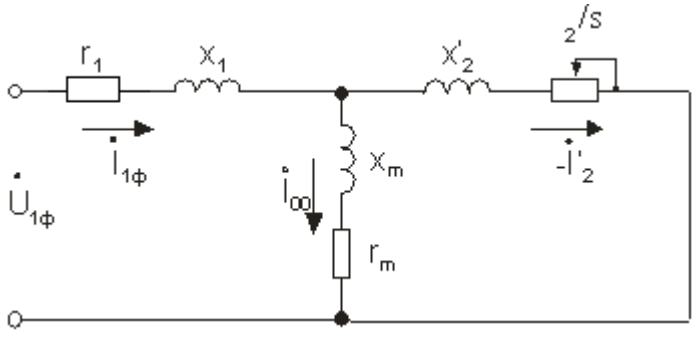


Рисунок 10.3 - Т-образная схема замещения

10.4 Снятие рабочих характеристик

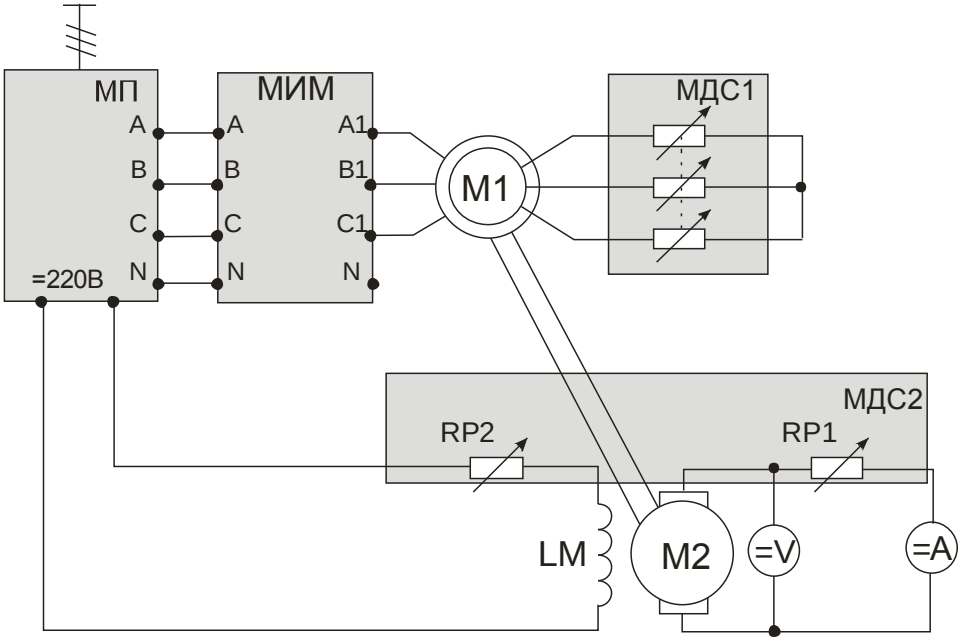


Рисунок 10.4 - Схема для снятия рабочих характеристик

Асинхронный двигатель подключается непосредственно к преобразователю частоты.

Ротор электродвигателя включается по схеме «звезда» через сопротивления МДС №1.

Питание обмотки возбуждения двигателя постоянного тока через сопротивление RP2 модуля МДС2 осуществляется от клемм «=220В» модуля МП.

Якорная цепь машины постоянного тока подключается на сопротивление RP1 модуля МДС2.

Для измерения тока, частоты выходного напряжения статора, мощности двигателя и коэффициента мощности асинхронного электродвигателя используется модуль МИМ.

Значения тока якоря $I_Я$, напряжения якоря $U_Я$ контролируется с помощью измерительных приборов.

Измерение тока ротора осуществляется с помощью прибора модуля МИ.

Текущее значение частоты вращения n агрегата также можно наблюдать на индикаторе СМ.

Рабочие характеристики снимаются при нескольких значениях сопротивления в цепи ротора (рекомендуемое значение сопротивления $R_{ДОБ}$ =50…200 Ом).

Опыт проводится в следующей последовательности:

– переключателем SA1 модуля МДС1 ввести сопротивление (задается преподавателем);

– включить автоматы QF1 и QF2 модулей МПС и МП, запустится асинхронный двигатель.

Нагрузкой ГПТ служат сопротивления RP1 модуля МДС2.

– переключателем SA1 МДС2, уменьшая сопротивление, увеличивать нагрузку ГПТ, пока ток якоря ГПТ не достигнет номинального значения $I_{НАГР} = I_Я \approx I_{ЯН}$ ($I_{ЯН} = 1{,}3$А). *Выше этого значения двигатель не нагружать! SA1 в «0» не выводить!*

– изменить сопротивление в цепи ротора и повторить опыт.

Опытные данные со стороны, как асинхронного двигателя, так и генератора, занести в таблице - 10.3.

Таблица 10.3

$U_{1Ф}$, В								
$I_{1Ф}$, А								
P_1, Вт								
n, об/мин								
$\cos\varphi_1$								
$\Delta P_{ЭЛ.СТ}$, Вт								
$\Delta P_{СТ}$, Вт								
$P_{ЭМ}$, Вт								
s								
$\Delta P_{ЭЛ.Р}$, Вт								
$\Delta P_{МЕХ.АД}$, Вт								
$\Delta P_{ЭЛ.ДОБ}$, Вт								
$\sum\Delta P$, Вт								
P_2, Вт								
$M_{ЭМ}$, Н·м								
η, %								
$I_Я$, А								
$U_{ОВ}$, В								
$C_М$								
$M_{ЭМ}$, Н·м								
$I_{ЯО}$, А								
M_0, Н·м								
$M_{2ГПТ}$, Н·м								
$P_{2ГПТ}$, Вт								

После проведения опыта установить все переключатели модулей в исходное состояние, отключить автоматические выключатели QF2, QF1.

Частота вращения электродвигателя, рад/с:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}. \qquad (10.23)$$

Электрические потери в обмотке статора асинхронного двигателя, Вт

$$\Delta P_{ЭЛ.СТ} = m_1 I_{1\hat{0}}^2 r_1, \quad (10.24)$$

где r_1 – активное сопротивление фазы статора, приводится в паспортных данных двигателя (Приложение Б), Ом.

Потери в стали сердечника статора при номинальном напряжении, Вт:

$$\Delta P_{СТ.1} = P_{10} - \Delta P_{ЭЛ.1} - \Delta P_{МЕХ.АД.} - \Delta P_{МЕХ.МПТ}, \quad (10.25)$$

где $\Delta P_{МЕХ.АД.}$ – механические потери асинхронного двигателя, Вт (Приложение Б);

$\Delta P_{МЕХ.МПТ}$ – механические потери машины постоянного тока, Вт (Приложение Б).

Потери в стали при напряжении $U_{1ф}$, Вт:

$$\Delta P_{СТ} = \Delta P_{СТ1}\left(\frac{U_{1\phi}}{U_{1н}}\right)^2. \quad (10.25)$$

Электромагнитная мощность, Вт:

$$P_{ЭМ} = P_1 - \Delta P_{ЭЛ.1} - \Delta P_{СТ}. \quad (10.26)$$

Скольжение:

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} \text{ или } s = \frac{n_1 - n}{n_1}. \quad (10.27)$$

Электрические потери в обмотке ротора, Вт:

$$\Delta P_{ЭЛ.Р} = P_{ЭМ} \cdot s. \quad (10.28)$$

Электрические потери в добавочных сопротивлениях ротора, Вт:

$$\Delta P_{ЭЛ.ДОБ} = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_{ДОБ}. \quad (10.29)$$

Суммарные потери в двигателе, Вт:

$$\sum \Delta P = \Delta P_{ЭЛ.СТ} + \Delta P_{СТ} + \Delta P_{ЭЛ.Р} + \Delta P_{ЭЛ.ДОБ}. \quad (10.30)$$

Полезная мощность на валу двигателя, Вт:

$$P_2 = P_1 - \sum \Delta P. \quad (10.32)$$

Полезный момент на валу двигателя, Н·м:

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega}. \quad (10.33)$$

Электромагнитный момент двигателя, Н·м:

$$M_{ЭМ} = \frac{P_1}{\omega_0}, \quad (10.34)$$

где ω_0 - синхронная угловая частота вращения электродвигателя, 1/с.

Коэффициент полезного действия, %:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\%. \quad (10.35)$$

Коэффициент мощности (расчетный):

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{m_1 U_{1Ф} I_{1Ф}}. \quad (10.36)$$

Электромагнитный момент ГПТ, Н·м:

$$M_{ЭМ.ГПТ} = C_М I_Я, \quad (10.37)$$

где $C_м$ – принимается из тарировочной кривой (Приложение В).
Момент холостого хода ГПТ, Н·м:

$$M_0 = C_м I_{я0}. \quad (10.38)$$

где $I_{Я0}$ – ток холостого хода, принимается из тарировочной кривой машины постоянного тока (Приложение В) и пропорционален механическим потерям и потерям в стали ГПТ, А.

Полный момент на валу ГПТ, Н·м:

$$M_{2ГПТ} = M_{ЭМ.ГПТ} + M_0. \quad (10.39)$$

Полезная мощность на валу ГПТ, Вт:

$$P_{2ГПТ} = M_{2ГПТ}\omega. \quad (10.40)$$

Рабочие характеристики представляют собой графически изображенные зависимости тока статора, потребляемой из сети активной мощности, частоты вращения, скольжения, электромагнитного момента, КПД и коэффициента мощности от полезной мощности на валу двигателя:

I_1, P_1, n, s, $M_{эм}$, η, $\cos\varphi_1 = f(P_2)$ при $f_1 = const$ и $U_1 = const$.

По данным опыта построить механическую $\omega = f(M_2)$ и электромеханическую $\omega = f(I_1)$ характеристики.

10.5 Контрольные вопросы

10.5.1 Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?

10.5.2 Как изменится момент асинхронного двигателя при понижении напряжения питающей сети?

10.5.3 Может ли асинхронный двигатель создавать момент при синхронной частоте вращения, т.е. может ли он вращаться с синхронной частотой вращения?

10.5.4 Как изменяется ток статора двигателя при повышении напряжения и неизменной нагрузке на валу двигателя?

10.5.5 Объяснить физический смысл зависимости $\cos\varphi_1 = f(P_2)$.

10.5.6 Как влияет величина добавочного сопротивления в цепи ротора на величину момента?

10.5.7 Как влияет величина добавочного сопротивления в цепи ротора на жесткость механической характеристики?

11 Лабораторная работа №11. Исследование асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы: исследование рабочих свойств трехфазного асинхронного электродвигателя путем снятия соответствующих опытных характеристик.

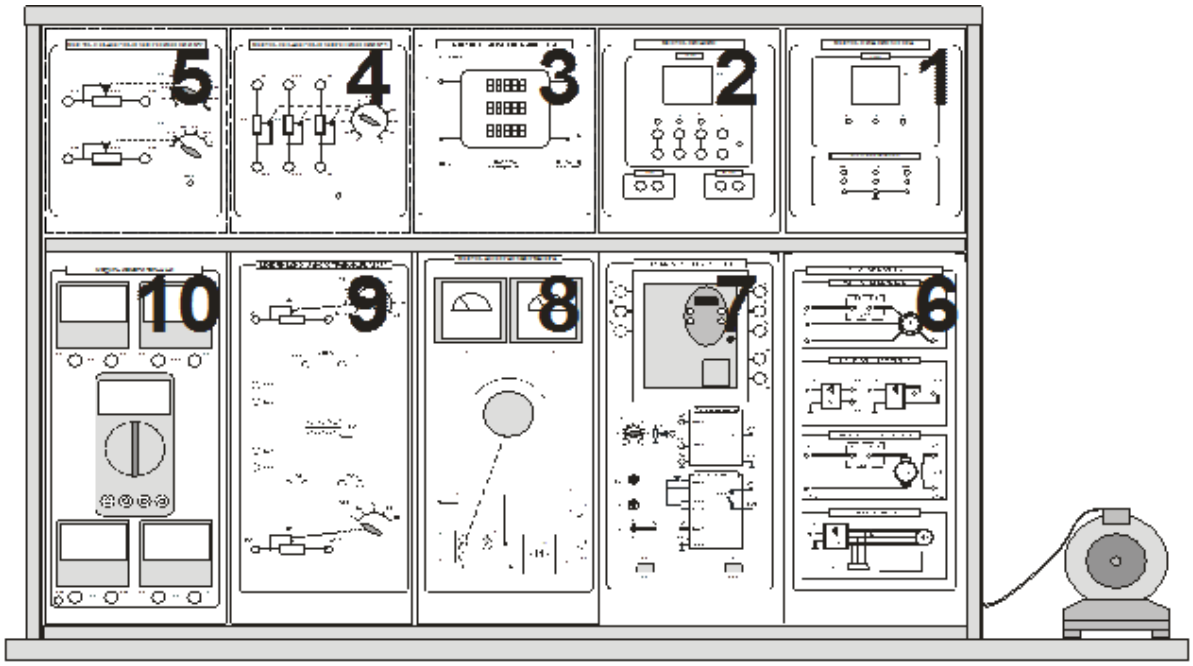


Рисунок 11.1 - Общий вид лабораторного стенда

11.1 Программа выполнения работы

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

11.1.2 Исследовать двигатель в режиме короткого замыкания.

11.1.3 Исследовать двигатель в режиме холостого хода.

11.1.4 Снять рабочие характеристики двигателя по методу непосредственной нагрузки.

11.1.5 По опытам холостого хода и короткого замыкания рассчитать параметры двигателя, построить схему замещения.

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

В лабораторной работе используются следующие модули:

– модуль питания стенда (МПС);

– модуль питания (МП);

– модуль измерителя мощности (МИМ);

– модуль добавочных сопротивлений №1 (МДС1);

– модуль добавочных сопротивлений №2 (МДС2);

– силовой модуль (СМ);

– модуль преобразователя частоты (ПЧ);

– модуль измерительный (МИ).

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

– переключатель *SA1* МДС №1 установить в положение «Ψ»;

– переключатель *SA1* МДС №2 установить в положение «Ψ».

Исследуемый асинхронный двигатель входит в состав электромашинного агрегата, включающего в себя собственно исследуемый двигатель *M1*, нагрузочный генератор – машину постоянного тока – *M2*, импульсный датчик скорости *M3*.

11.2 Опыт короткого замыкания асинхронного двигателя

Опыт короткого замыкания проводится при неподвижном (заторможенном роторе) и пониженном напряжении, при котором ток статора примерно равен номинальному току статора $I_{1K} \approx I_{1H}$.

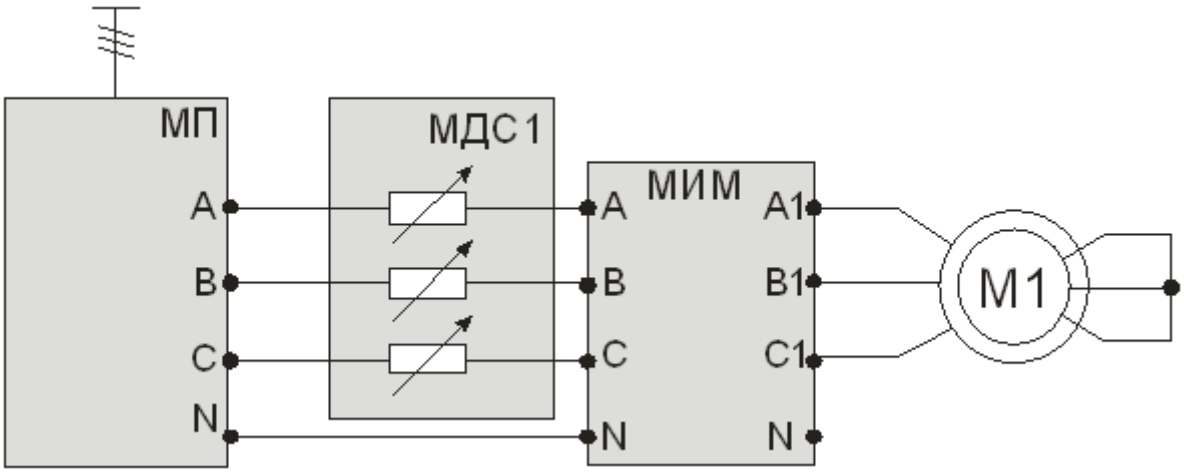


Рисунок 11.2 - Схема для проведения опытов короткого замыкания и холостого хода

Торможение двигателя осуществляется путем установки металлического стержня в отверстие полумуфты.

Понижение напряжения достигается включением добавочного сопротивления в цепь статора.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматические выключатели *QF1* и *QF2* соответственно МПС и МП;

– переключателем *SA1* МДС1 вводить сопротивление в цепь статора до тех пор, пока ток статора примерно не будет равен номинальному току статора.

Данные занести в таблицу 1.

Опыт необходимо производить максимально быстро.

Таблица 11.1

Данные опыта				Расчетные данные							
$U_{1ФК}$	$I_{1ФК}$	$P_{1ФК}$	$\cos\varphi_{1К}$	$P_{1К}$	$\Delta P_{эл.1}$	$\Delta P_{СТ}$	$P_{ЭМ.К}$	$M_{ЭМ.К}$	$z_К$	$r_К$	$x_К$
В	А	Вт		Вт	Вт	Вт	Вт	Н·м	Ом	Ом	Ом

После проведения опыта отключить автоматические выключатели *QF1*, *QF2*, установить модули в исходное состояние, удалить металлический стержень из электромашинного агрегата.

По данным опыта короткого замыкания определить пусковой ток, пусковой момент при *s=1*.

Расчетные данные:

1) Трехфазная активная мощность при опыте короткого замыкания, Вт:

$$P_{1К} = m_1 \cdot P_{1ФК}. \qquad (11.1)$$

2) Электрические потери в цепи статора, Вт:

$$\Delta P_{Э\Lambda 1} = m_1 \cdot I_{1К}^2 \cdot r_1, \quad (11.2)$$

где m_1 – число фаз обмотки статора;
r_1 – сопротивление фазы статора (Приложение Б), Ом.
3) Потери в стали при напряжении $U_{1К}$, Вт:

$$\Delta P_{СТ} \approx \Delta P_{СТ1} \cdot \left(\frac{U_{1К}}{U_{1Н}}\right)^2. \quad (11.3)$$

Где $\Delta P_{СТ1}$ – потери в стали при номинальном напряжении, Вт.
4) Электромагнитная мощность при опыте короткого замыкания, Вт.

$$P_{ЭМ.К}=P_{1К} - \Delta P_{ЭЛ.1} - \Delta P_{СТ}. \quad (11.4)$$

5) Электромагнитный момент при опыте короткого замыкания, Н·м:

$$M_{ЭМК} = \frac{P_{ЭМК}}{\omega_1}, \quad (11.5)$$

где ω_1 – синхронная частота вращения электродвигателя, рад/с.
6) Электромагнитный момент при номинальном напряжении, Н·м:

$$M_{ЭМН} = M_{ЭМК} \cdot \left(\frac{U_{1Н}}{U_{1К}}\right)^2. \quad (11.6)$$

Кратность пускового момента:

$$M_{П^*} = \frac{M_{ЭМ.Н.}}{M_Н}. \quad (11.7)$$

Номинальный момент электродвигателя, Н·м:

$$M_Н = \frac{P_{2Н}}{\omega_Н}, \quad (11.8)$$

где $P_{2Н}$ – номинальная мощность на валу, Вт;
$\omega_Н$ – угловая номинальная частота вращения (Приложение Б), рад/с.
9) Кратность пускового тока:

$$I_{П^*} = \frac{I_{1К.}}{I_{1Н}} \cdot \frac{U_{1Н}}{U_{1К}}. \quad (11.9)$$

11.3 Опыт холостого хода асинхронного двигателя

Исследование двигателя в режиме холостого хода проводится для одного значения напряжения, равного номинальному, и позволяет оценить величину тока холостого хода, а также потери в стали при номинальном напряжении.

Схема для проведения опыта холостого хода представлена на рисунке 1.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматические выключатели *QF1* и *QF2* соответственное МПС и МП;

– переключатель *SA1* МДС1 установить из положения «Ψ» в положение «0», напряжение принимает значение, равное номинальному, запускается асинхронный двигатель.

Данные опыта занести в таблицу 11.2.

Таблица 11.2

Данные опыта				Расчетные данные				
$U_{1ФН}$	I_{10}	$P_{1Ф}$	ω	P_{10}	$\cos\varphi_{10}$	$\Delta P_{ЭЛ.1}$	$\Delta P_{СТ}$	I_{10}*
В	А	Вт	рад/с	Вт		Вт	Вт	

После проведения опыта отключить автоматические выключатели *QF1*, *QF2*, установить модули в исходное состояние.

Расчетные данные:

1) Коэффициент мощности:

$$\cos\varphi_{10} = \frac{P_{10.}}{m_1 \cdot U_{1ФН} \cdot I_{1Ф}}. \qquad (11.10)$$

2) Активная мощность трех фаз, Вт:

$$P_{10} = m_1 P_{1Ф}. \qquad (11.11)$$

3) Потери в стали сердечника статора при номинальном напряжении, Вт

$$\Delta P_{СТ.1} = P_{10} - I^2_{10} \cdot r_1 - \Delta P_{МЕХАД} - \Delta P_{МЕХДПТ} - \Delta P_{МЕХДПТ}, \qquad (11.12)$$

где r_1 – активное сопротивление фазы статора при температуре окружающей среды (Приложение Б), Ом;

$\Delta P_{МЕХ.АД}$. – механические потери асинхронного двигателя (Приложение Б), Вт;

$\Delta P_{МЕХ.ДПТ}$ – механические потери машины постоянного тока (Приложение Б), Вт.

4) Потери в стали сердечника статора при любом другом напряжении

могут быть пересчитаны через квадрат напряжения:

$$\Delta P_{CT} = \Delta P_{CT.1} \cdot \left(\frac{U_1}{U_{1H}} \right)^2 . \qquad (11.13)$$

5) Значение тока холостого хода в относительных единицах:

$$I_{10^*} = \frac{I_{10.}}{I_{1H}} . \qquad (11.14)$$

11.3 Снятие рабочих характеристик

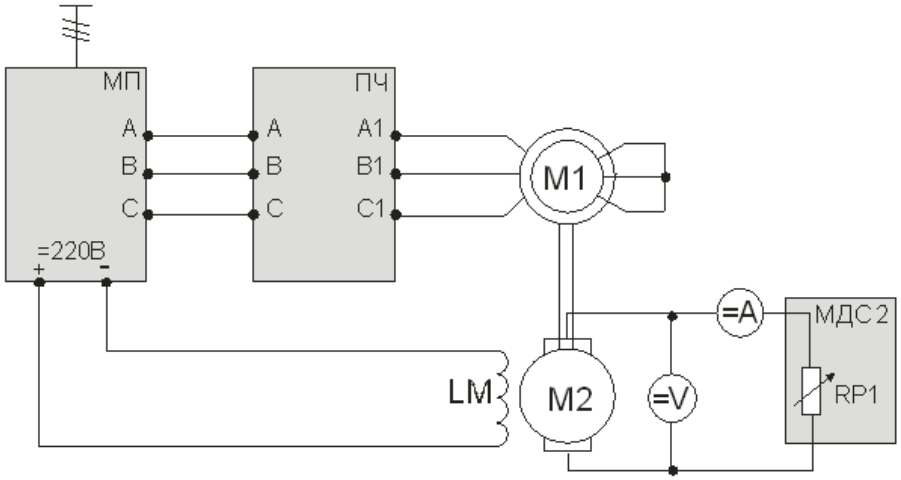


Рисунок 11.3 - Схема для снятия рабочих характеристик асинхронного двигателя

Асинхронный двигатель подключается непосредственно к преобразователю частоты.

Питание обмотки возбуждения двигателя постоянного тока (ДПТ) осуществляется от клемм «=220 В» модуля питания.

Якорная цепь машины постоянного тока подключается на сопротивление *RP1* МДС2.

Для измерения тока, частоты выходного напряжения статора, мощности двигателя и момента асинхронного двигателя используется преобразователь частоты.

Измерение тока якоря и напряжения на якоре осуществляется с помощью приборов МИ.

Текущее значение частоты вращения n агрегата наблюдать на индикаторе СМ.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматы *QF1* и *QF2* модулей МПС и МП;

– настроить преобразователь частоты (Приложение Г);

– установкой *SA1* модуля *ПЧ* в крайнее положение запустить асинхронный двигатель. Установить выходную частоту напряжения 50 Гц (*RP1*);

– переключателем *SA1* МДС2, уменьшая сопротивление, увеличивать нагрузку ГПТ пока ток якоря ГПТ, не достигнет номинального значения (1,3А). *Выше этого значения двигатель не нагружать! (SA1 в «0» не выводить!).*

Опытные данные со стороны как асинхронного двигателя, так и со стороны генератора занести в таблицы - 11.3. и 11.4.

Таблица 11.3

Со стороны асинхронного двигателя														
Данные опыта			Расчетные данные											
$I_{1Ф}$	P_1	n	$\cos\varphi_1$	U_1	$\Delta P_{ЭЛ.1}$	$\Delta P_{СТ}$	$P_{ЭМ}$	s	$\Delta P_{ЭЛ.2}$	$P_{МЕХ}$	$\sum\Delta P$	P_2	$M_{ЭМ}$	η
А	Вт	об/мин		В	Вт	Вт	Вт		Вт	Вт	Вт	Вт	Н·м	%

Таблица 11.4

Со стороны ГПТ								
Данные опыта		Расчетные данные						
$I_Я$	$U_Я$		ЭМ	ЯО	0	2	2	
А	В		м		м	·м	т	

После проведения опыта отключить автоматические выключатели *QF1, QF2,* установить модули в исходное состояние.

Расчетные данные со стороны асинхронного двигателя:

1) Линейное напряжение на статоре, В:

$$U_1 = 7.6 \cdot f. \qquad (11.15)$$

2) Электрические потери в обмотке статора асинхронного двигателя, Вт:

$$\Delta P_{Э\Pi 1} = m_1 - I^2{}_{1Ф} \cdot r_1, \qquad (11.16)$$

где r_1 – активное сопротивление фазы статора (Приложение Б);

3) Потери в стали при напряжении $U_{1Ф}$, Вт:

$$\Delta P_{CT} = \Delta P_{CT.1} \cdot \left(\frac{U_{1\Phi}}{U_{1H}} \right)^2 . \quad (11.17)$$

4) Электромагнитная мощность, Вт:

$$P_{ЭМ} = P_1 - \Delta P_{ЭЛ.1} - \Delta P_{СТ}. \quad (11.18)$$

5) Скольжение:

$$S = \frac{\omega_{1.} - \omega}{\omega_1}. \quad (11.19)$$

6) Электрические потери в обмотке ротора, Вт:

$$\Delta P_{ЭЛ.2} = P_{ЭМ} \cdot s. \quad (11.10)$$

7) Суммарные потери в двигателе, Вт:

$$\sum \Delta P = \Delta P_{ЭЛ.1} + \Delta P_{СТ} + \Delta P_{ЭЛ.2} + \Delta P_{МЕХ.АД}. \quad (11.11)$$

8) Электромагнитный момент асинхронного двигателя, Н·м:

$$M_{ЭМ} = \frac{P_{ЭМ}}{\omega_1}, \quad (11.12)$$

где ω_1 – синхронная угловая частота вращения, рад/с.

9) Полезный момент на валу двигателя, Н·м:

$$M_2 = M_{ЭМ} - M_0. \quad (11.13)$$

10) Полезная мощность на валу двигателя, Вт:

$$P_2 = P_1 - \sum \Delta P. \quad (11.14)$$

11) Коэффициент полезного действия, %:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%. \quad (11.15)$$

12) Коэффициент мощности (расчетный).

$$\cos \varphi_{10} = \frac{P_{10.}}{m_1 \cdot U_{1\Phi} \cdot I_{1\Phi}}. \quad (11.16)$$

11.4 Расчет параметров асинхронного двигателя. Построение схемы замещения

Опыты холостого хода и короткого замыкания позволяют рассчитать параметры асинхронного двигателя и построить схему замещения.

Из опыта холостого хода:

1) Активное сопротивление намагничивающей цепи, Ом:

$$r_{\mu} = \frac{\Delta P_{CT1}}{m_1 \cdot I_{1\Phi}^{\ 2}}. \tag{11.17}$$

2) Полное сопротивление намагничивающей цепи, Ом:

$$z_{\mu} = \frac{U_{1\Phi H}}{I_0^{\ 2}}. \tag{11.18}$$

3) Индуктивное сопротивление намагничивающей цепи.

$$x_{\mu} = \sqrt{z_{\mu}^2 - r_{\mu_1}^2}. \tag{11.19}$$

Из опыта короткого замыкания:

1) Полное сопротивление:

$$z_K = \frac{U_{1\Phi K}}{I_{1K}}. \tag{11.20}$$

2) Активное сопротивление:

$$r_K = \frac{P_{1K}}{m_1 \cdot I_{1K}^{\ 2}}, \tag{11.21}$$

$$r_2 = r_к - r_1. \tag{11.22}$$

3) Индуктивное сопротивление:

$$x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2}\ , \tag{11.23}$$

$$x_1 \approx x_2 \cdot \frac{x_K}{2}. \tag{11.24}$$

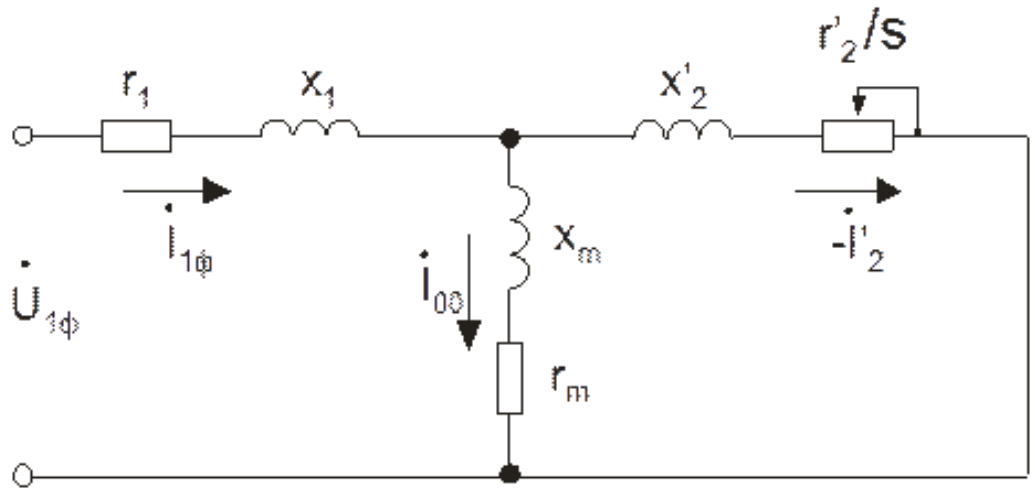


Рисунок 11.4 - «Т»-образная схема замещения асинхронного двигателя

11.5 Контрольные вопросы

11.5.1 Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?

11.5.2 Как изменится момент асинхронного двигателя при понижении напряжения питающей сети?

11.5.3 Может ли асинхронный двигатель создавать момент при синхронной частоте вращения, т.е. может ли он вращаться с синхронной частотой вращения?

11.5.4 Как изменяется ток статора двигателя при повышении напряжения и неизменной нагрузке на валу двигателя?

11.5.5 Объяснить физический смысл зависимости $\cos\varphi_1 = f(P_2)$.

12 Лабораторная работа №12. Исследование электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения

Цель работы: ознакомиться со способами пуска двигателя параллельного возбуждения, исследовать механические, рабочие и регулировочные свойства двигателя путем снятия соответствующих характеристик.

12.1 Программа работы

12.1.1 Изучить схему для экспериментального исследования электродвигателя постоянного тока параллельного возбуждения (в дальнейшем изложении ДПТПВ), состав и назначение модулей, используемых в работе.

12.1.2 Собрать схему для экспериментального исследования ДПТПВ. Провести пробное включение.

12.1.3 Снять естественную механическую характеристику;

12.1.4 Снять искусственную механическую характеристику при введении сопротивления в цепь якоря.

12.1.5 Снять искусственную механическую характеристику при ослаблении магнитного потока.

12.1.6 Снять рабочие характеристики ДПТПВ.

12.1.7 Снять регулировочные характеристики двигателя при изменении напряжения, подводимого к зажимам двигателя.

12.1.8 Снять регулировочные характеристики двигателя посредством ослабления магнитного потока.

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

12.2 Пояснения к работе

12.2.1 В лабораторной работе используются следующие модули:

– модуль питания стенда (МПС);

– модуль питания (МП);

– модуль автотрансформатора (ЛАТР);

– силовой модуль (СМ);

– модуль добавочных сопротивлений №1 (МДС1);

– модуль добавочных сопротивлений №2 (МДС2);

– модуль измерительный (МИ);

– модуль измерителя мощности (МИМ).

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

– переключатель SA1 модуля ЛАТР установить в нижнее положение, ручку автотрансформатора установить в крайнее положение против часовой стрелки;

– переключатель SA1 МДС1 установить в положение «∞»;

– переключатель SA1 МДС2 установить в положение «0»;

– переключатель SA2 МДС2 установить в положение «0».

Исследуемая машина постоянного тока входит в состав электромашинного агрегата, включающего в себя собственно исследуемую машину постоянного тока М2, нагрузочную машину – машину переменного тока – М1 и импульсный датчик скорости М3.

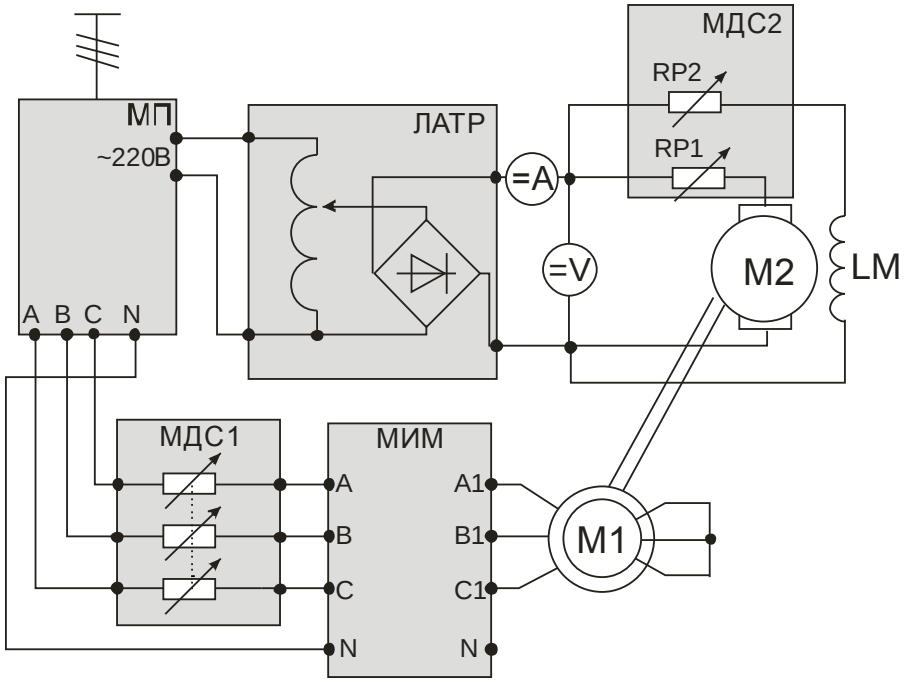


Рисунок 12.1 - Схема для снятия естественной механической характеристики

12.3 Снятие естественных механической и электромеханической характеристик

Естественная механическая характеристика двигателя параллельного возбуждения представляет собой зависимость скорости от момента нагрузки при постоянном значении напряжения на зажимах двигателя и отсутствии дополнительного сопротивления в цепи якоря: $n = f(I_Н)$ при U=const, $i_В$=const и $R_{дя}$=0.

Схема для снятия естественной механической характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, представлена на рисунке - 1.

Якорная цепь через добавочное сопротивление RP1 модуля МДС2 и обмотка возбуждения через добавочное сопротивление RP2 модуля МДС2 двигателя постоянного тока подключается к регулируемому источнику постоянного тока модуля ЛАТР.

Асинхронный двигатель подключается через добавочные сопротивления (МДС1) непосредственно к сети (МП) (асинхронная машина работает в режиме асинхронного генератора).

Значения тока якоря $I_Я$, напряжения якоря $U_Я$, можно определить с помощью приборов модуля измерительного. Параметры цепи статора наблюдать на индикаторе модуля измерителя мощности.

Значение скорости наблюдать на индикаторе силового модуля.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматы QF1 и QF2 модулей МПС и МП соответственно;

– переключатель SA1 модуля ЛАТР перевести в верхнее положение;

– ручкой автотрансформатора установить напряжение $U_Я$=200В, произвести первое измерение;

– переключателем SA1 МДС1 вводить сопротивления, тем самым нагружая ДПТ до тех пор, пока ток якоря не достигнет 1,5А или ток статора не достигнет 1,3А;

– при увеличении скорости ДПТПВ следует остановить ДПТ, отключить автомат QF2, и изменить направление вращения асинхронного генератора (поменять местами фазы «А» и «В»).

Данные опыта занести в таблице 12.1.

Таблица 12.1

n, об/мин				
$I_Я$, А				

После проведения опыта установить все переключатели модулей в исходное состояние.

12.4 Рабочие характеристики ДПТПВ

Рабочие характеристики двигателя представляют собой зависимости частоты вращения, электромагнитного момента, тока якоря и КПД от полезной мощности на валу двигателя при постоянном значении напряжения на зажимах двигателя ω; M, $I_Я$, ŋ=f(P_2) при $U_Я$=$U_{ЯН}$=const, $i_В$=const.

Схема для снятия рабочих характеристик двигателя постоянного тока параллельного возбуждения представлена на рисунке 12.1.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматы QF1, QF2;

– включить SA1 модуля автотрансформатора и установить напряжение $U_Я = 0{,}75 \cdot U_{ЯН}$ и произвести первое измерение;

– переключателем SA1 МДС1 вводить сопротивления, тем самым нагружая ДПТ до тех пор, пока ток якоря не достигнет 1,5А или ток статора не достигнет 1,3А;

– при увеличении скорости ДПТПВ следует остановить ДПТ, отключить автомат QF2, и изменить направление асинхронного генератора (поменять местами фазы «А» и «В»).

Данные опыта занести в таблице 12.2.

Таблица 12.2

Данные опыта			Расчетные данные											
$U_Я$	$I_Я$	n	ω	$i_В$	$P_Я$	$\Delta P_{ЭЛ.В.}$	P_1	$C_м$	M	$I_{Я0}$	M_0	M_2	P_2	ŋ
В	А	об/мин	1/с	А	Вт	Вт	Вт		Н·м	А	Н·м	Н·м	Вт	%

После проведения опыта установить модули в исходное состояние.

Расчетные данные:

1) Мощность, подводимая к якорю двигателя, Вт:

$$P_Я = U_Я \cdot I_Я. \quad (12.1)$$

2) Электрические потери в цепи возбуждения, Вт:

$$\Delta P_{ЭЛ.В.} = i_В^2 \cdot r_{В.20^0}. \quad (12.2)$$

3) Ток возбуждения ДПТ, А:

$$i_В = \frac{U_Я}{r_В}, \quad (12.3)$$

$r_В$ – сопротивление обмотки возбуждения (Приложение Б).

4) Мощность, подводимая к ДПТ, Вт:

$$P_1 = P_Я + \Delta P_{ЭЛ.В}. \quad (12.4)$$

5) Электромагнитный момент, Н·м:

$$M = C_M \cdot I_Я. \quad (12.5)$$

6) Момент холостого хода двигателя, пропорциональный механическим потерям и потерям в стали, Н·м:

$$M_0 = C_M \cdot I_{Я0}, \quad (12.6)$$

где См, $I_{Я0}$ – принимаются в зависимости от угловой частоты вращения (Приложение Г).

7) Полезный момент на валу ДПТ, Н·м:

$$M_2 = M - M_0. \quad (12.7)$$

8) Полезная мощность на валу двигателя, Вт: $P_2 = \omega \cdot M_2$.

КПД, %
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%. \quad (12.8)$$

По данным таблицы 12.2 построить рабочие характеристики.

12.5 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 - 12.2.

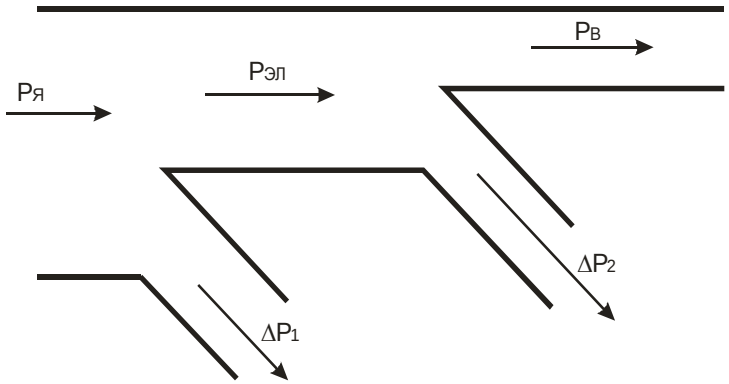


Рисунок 12.2 - Энергетическая диаграмма ДПТ для двигательного режима

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

12.5 Контрольные вопросы

12.5.1 Как изменить направление вращения ДПТ?

12.5.2 Почему у ДПТ возрастает ток якоря при увеличении нагрузки на его валу?

12.5.3 Почему при уменьшении тока возбуждения частота вращения ДПТ возрастает?

12.5.4 Как должен изменяться ток якоря при уменьшении тока возбуждения и постоянном моменте сопротивления на валу двигателя?

12.5.5 Как изменится вид механической характеристики двигателя, если ввести в цепь якоря добавочное сопротивление $R_{дя}$?

12.5.6 Нарисовать приблизительный вид энергетический диаграммы в точке короткого замыкания (моментного тормоза).

Приложение А

Паспортные и расчетные данные электрических машин

Таблица А.1 - 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 $R_{Я,20°C}$ (расчетное значение), Ом	17,5
Сопротивление обмотки возбуждения $R_{ОВ,20°C}$ (расчет. значение), Ом	820
Механические потери, $P_{мех\ ДПТ}$, Вт	15

Таблица А.2 - Паспортные и расчетные данные асинхронного двигателя с фазным/короткозамкнутым ротором

Наименование параметра	Значение
Тип	AIS71BУ3/АИР63В4У3
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 φ	0,7
Номинальный момент, Н·м	1,4
Активное сопротивление статора $r_{1,27°C}$, Ом	19
Активное сопротивление ротора $r_{2,\ 27°C}$, Ом	25
Механические потери, $P_{мех\ АД}$, Вт	11

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

$$U_{ПОНИЖ,\ Л}=220\ В,\ M=M_{ОПЫТ}\cdot(380/220)^2\approx M_{ОПЫТ}\cdot 3.$$

Таблица 3 - Паспортные данные импульсного датчика скорости

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

Список литературы

1 Иванов И.И. Электротехника и основы электроники. – СПб.: Лань, 2012.– 730 с.

2 Белов Н.В. Электротехника и основы электроники. – СПб.: Лань, 2012.– 432 с.

3 Подкин Ю.Г. Электротехника и электроника. – М.: Академия, 2011.– 520 с.

4 Касаткин А.С. Электротехника. – М.: Академия, 2008. – 544 с.

5 Петленко А.Я. Электротехника и электроника. –М.: Академия, 2010.– 340 с.

6 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники.- т.1. - СПб.: Питер, 2003.-463 с.

7 Сборник задач по теоретическим основам электротехники/ Л.А.Бессонов, И.Г.Демидова, М.Е.Заруди идр.-М.: Высшая школа, 2003.-528 с.

8 Прянишников В.А. ТОЭ: Курс лекций: Учебное пособие – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб., 2000. – 368 с.

9 Немцов М.В. Электротехника и электроника. – М.: Академия, 2010. – 512 с.

Сводный план 2015, поз. 25

Юрии Владимирович Кузьмин
Эльмира Байджумаевна Даркенбаева
Макпал Бексұлтановна Жаркынбекова

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
5В073100 – Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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

Подписано в печать _____
Тираж 20 экз.
Объем 4,19 уч. – изд.

Формат 60х84 1/16
Бумага типографическая №1
Заказ____ Цена 2095_

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