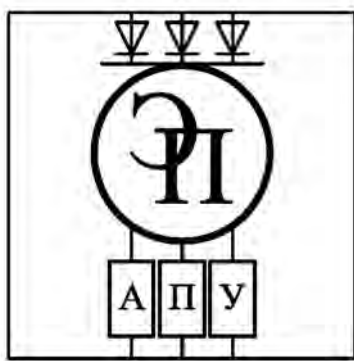


ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация
промышленных установок»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
15.03.06 «Мехатроника и робототехника»
дневной формы обучения*



Могилев 2018

УДК 62-83: 621.3.049.77
ББК 31.291:32.816
Э 45

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» «07» февраля 2018 г., протокол № 7

Составитель ст. преподаватель А. С. Третьяков

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации предназначены для студентов направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» дневной формы обучения. Даны необходимые сведения для выполнения лабораторных работ.

Учебно-методическое издание

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Ответственный за выпуск	Г. С. Ленеvский
Технический редактор	А. А. Подошеvко
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 46 экз. Заказ №

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

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2018



Содержание

Введение.....	4
1 Организация лабораторных работ.....	5
2 Лабораторная работа № 1. Экспериментальное исследование статических характеристик двигателя постоянного тока с независимым возбуждением	9
3 Лабораторная работа № 2. Экспериментальное исследование статических характеристик двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением	13
4 Лабораторная работа № 3. Экспериментальное исследование статических характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	17
5 Лабораторная работа № 4. Экспериментальное исследование статических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором.....	21
6 Лабораторная работа № 5. Экспериментальное исследование электропривода по системе «Генератор – двигатель».....	26
7 Лабораторная работа № 6. Экспериментальное исследование электропривода по системе «Электромашинный усилитель – двигатель».....	30
8 Лабораторная работа № 7. Экспериментальное исследование электропривода по системе «Магнитный усилитель – двигатель».....	34
9 Лабораторная работа № 8. Экспериментальное исследование электропривода по системе «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока»	39
Список литературы	42



Введение

Дисциплина «Электрические приводы мехатронных и робототехнических устройств» позволит студентам закрепить полученные теоретические знания, а также приобрести практический опыт по экспериментальному исследованию электрических машин и электроприводов и опыт самостоятельной работы с современными электроприводами.

В методических рекомендациях рассмотрены вопросы экспериментального исследования статических и динамических режимов работы электродвигателей и электроприводов.



1 Организация лабораторных работ

1.1 Техника безопасности

При проведении лабораторных работ имеются четыре основных вида опасностей по возможности нанесения существенного вреда здоровью студентов, лаборантов, преподавателей и других лиц, которые выполняют на данной установке определенные работы:

- 1) напряжение переменного тока 220 В частотой 50 Гц (агрегат электромашинный, станция управления, ПЭВМ);
- 2) напряжение постоянного тока 220 В (агрегат электромашинный);
- 3) вращающиеся части (агрегат электромашинный);
- 4) элементы лабораторного комплекса, имеющие рабочую температуру 100 °С и более.

Запрещается:

- выполнение лабораторной работы без прохождения инструктажа по технике безопасности;
- выполнение лабораторной работы без разрешения преподавателя, проводящего лабораторную работу;
- подача напряжения питания на комплекс без разрешения преподавателя;
- коммутация органов управления комплекса при поданном напряжении питания без разрешения преподавателя;
- во время выполнения лабораторных работ шуметь, громко разговаривать, заниматься посторонними делами, быть одетыми в одежду с длинными рукавами, длинными полами.

Категорически запрещается изменение настроек программного обеспечения, изменение настроек операционной системы и состава персонального компьютера.

1.2 Порядок выполнения работ

На первом (вводном) занятии студенты получают график выполнения лабораторных работ. Работы выполняются группой в составе 3...4 человек. Студенты должны заблаговременно готовиться к занятию. Подготовка должна включать в себя:

- 1) изучение правил техники безопасности при выполнении лабораторной работы;
- 2) изучение теоретических материалов по направлению исследований лабораторной работы;
- 3) ознакомление с электрооборудованием лабораторной работы;
- 4) изучение назначения элементов и режимов работы схемы электрической принципиальной лабораторной работы;
- 5) изучение методик проведения экспериментальных исследований.

Лабораторную работу следует выполнять в составе подгруппы. Количество студентов в подгруппе – не менее двух.



Допуск к выполнению лабораторной работы выдает преподаватель после проведения собеседования по данной работе, в ходе которого студент показывает знания по конструкции комплекса и программе исследований по данной лабораторной работе.

Перед началом проведения исследований на данном комплексе необходимо выполнить следующее:

- 1) проверить наличие ограждения вращающихся частей (агрегат электромашинный);
- 2) проверить отсутствие посторонних предметов на конструктивных компонентах комплекса, при их наличии убрать;
- 3) проверить наличие и надежность заземления всех элементов комплекса.

Готовность студентов к выполнению лабораторной работы проверяется преподавателем до начала работы. Студенты, явившиеся на занятия неподготовленными, а также не представившие своевременно отчет о выполнении предыдущей работы, к очередной лабораторной работе не допускаются. Студенты, нарушившие правила выполнения работ в лаборатории и правила техники безопасности, отстраняются от работы.

Полное содержание лабораторных работ и краткие теоретические сведения в рамках лабораторных работ представлены в электронном варианте и хранятся в лаборатории ПЭВМ а. 207/к2 кафедры «Электропривод и АПУ».

1.3 Общие методические указания к лабораторным работам

Статические характеристики (механические и электромеханические) любого двигателя экспериментальным методом могут быть получены с помощью различных нагрузочных устройств, которые создают тормозной момент на валу исследуемого двигателя, а его угловая скорость измеряется посредством тахогенератора.

В лабораторных установках используются два вида нагрузочных устройств:

1) нагрузочная машина (двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ с НВ)), работающая в режиме динамического торможения, – нагрузочное устройство А (рисунок 1);

2) нагрузочная машина (ДПТ с НВ), соединенная с агрегатом, состоящим из ДПТ с НВ и асинхронного двигателя (АД), – нагрузочное устройство Б (рисунок 2).

На рисунках 1 и 2 приведены следующие обозначения:

М1 – исследуемая машина, например, ДПТ с НВ;

М2 – нагрузочная машина (ДПТ с НВ), включённая по схеме динамического торможения;

RP1 – реостат для регулирования потока возбуждения машины М2, а следовательно, и момента на валу М1;

R1 – сопротивление динамического торможения;

М1 – исследуемая машина (АДКЗ);

М2 – нагрузочная машина;

G1 – генератор постоянного тока;

М3 – гонный двигатель;



QS1 – поворотный выключатель для замыкания якорей машин M1 и M2;
 QS2 – поворотный выключатель для смены полярности в обмотке возбуждения генератора постоянного тока G1.

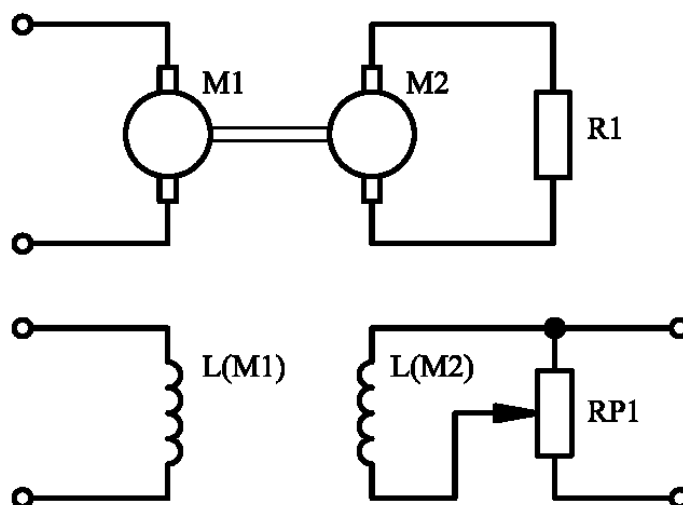


Рисунок 1 – Схема нагрузочного устройства А

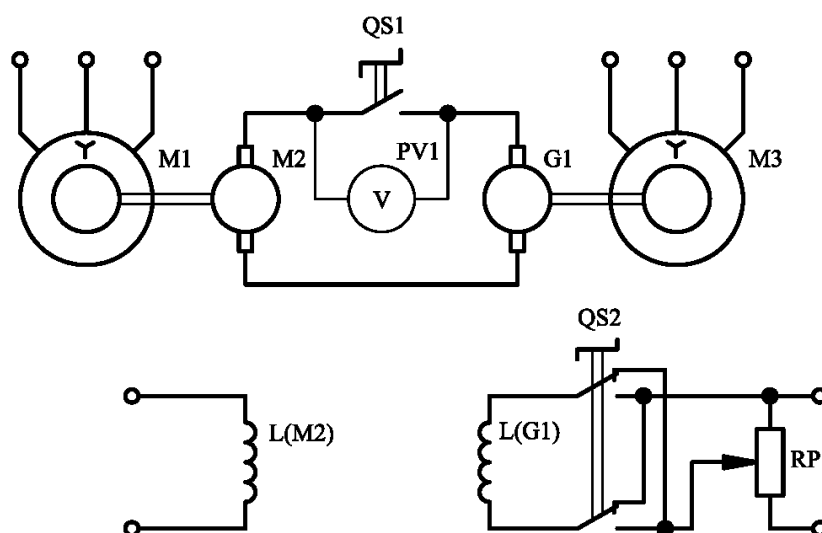


Рисунок 2 – Схема нагрузочного устройства Б

Рассмотрим более подробно эти нагрузочные агрегаты.

Нагрузочное устройство А. Величина тормозного момента задаётся с помощью реостата RP1, включенного в цепь обмотки возбуждения нагрузочной машины M2, по схеме делителя напряжения. Зависимость момента нагрузочной машины M2 от скорости показана на рисунке 3.

Поток энергии в рассматриваемой системе может быть направлен только из сети на вал двигателя. Следовательно, в данной схеме характеристики исследуемого двигателя могут быть сняты только для двигательного режима.

Нагрузочное устройство Б. Величина тормозного момента регулируется полярностью и величиной ЭДС машины G1. Зависимость момента нагрузочной машины M2 от скорости показана на рисунке 4. Данное нагрузочное устройство позволяет снимать статические характеристики исследуемого двигателя во всех

рабочих режимах (во всех квадратах плоскости (M, ω)).

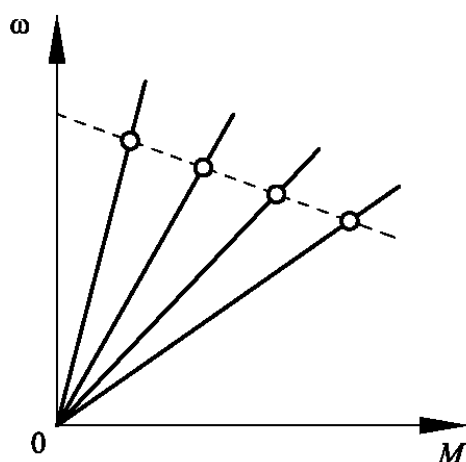


Рисунок 3 – Механические характеристики нагрузочного устройства А

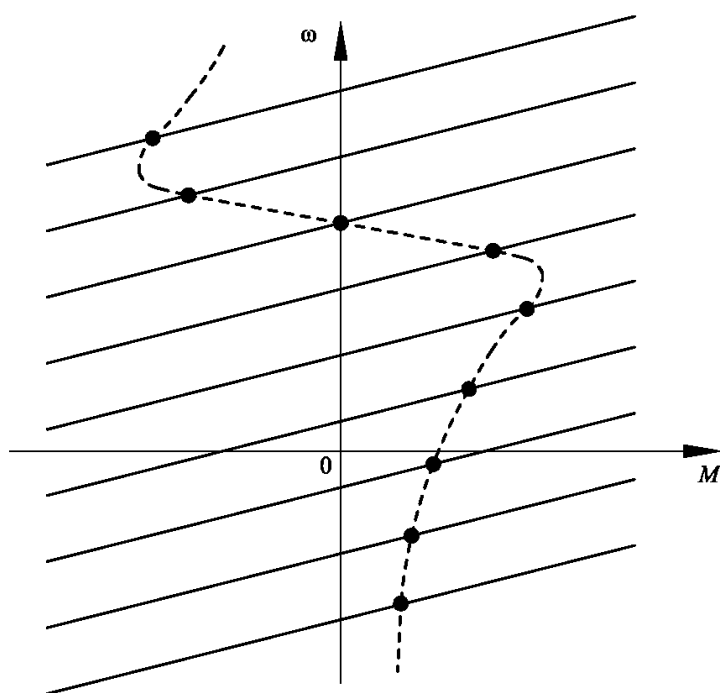


Рисунок 4 – Механические характеристики нагрузочного устройства Б

Если исследуемая машина М1 работает в двигательном режиме, то нагрузочная машина М2 – в генераторном, и наоборот. Перевод нагрузочной машины в различные режимы работы осуществляется путём изменения величины и полярности тока возбуждения машины G1 (реостатом RP1 и переключателем QS2), которая вращается с постоянной скоростью асинхронным двигателем М3.

При использовании нагрузочного устройства Б (см. рисунок 2) необходимо перед каждым опытом производить согласование полярности включения машин М2 и М3. Для этого при разомкнутом выключателе QS1 и номинальном потоке возбуждения машины М2 включают машины М1 и М3. При согласованной полярности включения машин М2 и G1, т. е. полюс одной машины соединён с

одноимённым полюсом другой, вольтметр PV1 будет показывать разность ЭДС машин M2 и G1, т. е. почти нулевое значение. В случае несогласованной полярности (вольтметр PV1 показывает значение, близкое к двойному номинальному напряжению якоря машины G1) необходимо реостатом RP1 уменьшить ток в обмотке возбуждения G1 и переключателем SA2 изменить полярность напряжения на обмотке возбуждения G1, затем с помощью реостата RP1 добиться нулевого показания вольтметра и замкнуть выключатель QS1. После выполнения согласования приступают к снятию характеристик.

Таким образом, механическая характеристика $\omega = f(M)$ исследуемого двигателя M1 может быть построена на основании зависимости $M_g = f(\omega)$ (M_g – электромагнитный момент нагрузочной машины M2, снятой экспериментально) и зависимости $M = f(\omega)$.

Содержание отчета

Отчет по лабораторным работам дисциплины «Теория электропривода» должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- описание лабораторного стенда;
- основные правила техники безопасности;
- таблицу с результатами экспериментов и расчетов;
- графики исследованных зависимостей;
- выводы по работе.

2 Лабораторная работа № 1. Экспериментальное исследование статических характеристик двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Цель работы

1 Изучить механические (МХ) и электромеханические (ЭМХ) характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ с НВ).

2 Освоить методику расчета МХ и ЭМХ для двигательного и тормозных режимов работы ДПТ с НВ.

3 Изучить способы получения искусственных МХ и ЭМХ.

2.1 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить правила техники безопасности при выполнении данной лабораторной работы.

2 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.



3 Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. Записать паспортные данные испытуемого асинхронного электродвигателя М1, нагрузочного электродвигателя М2, генератора G1 и гонного электродвигателя М3.

4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 5).

5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

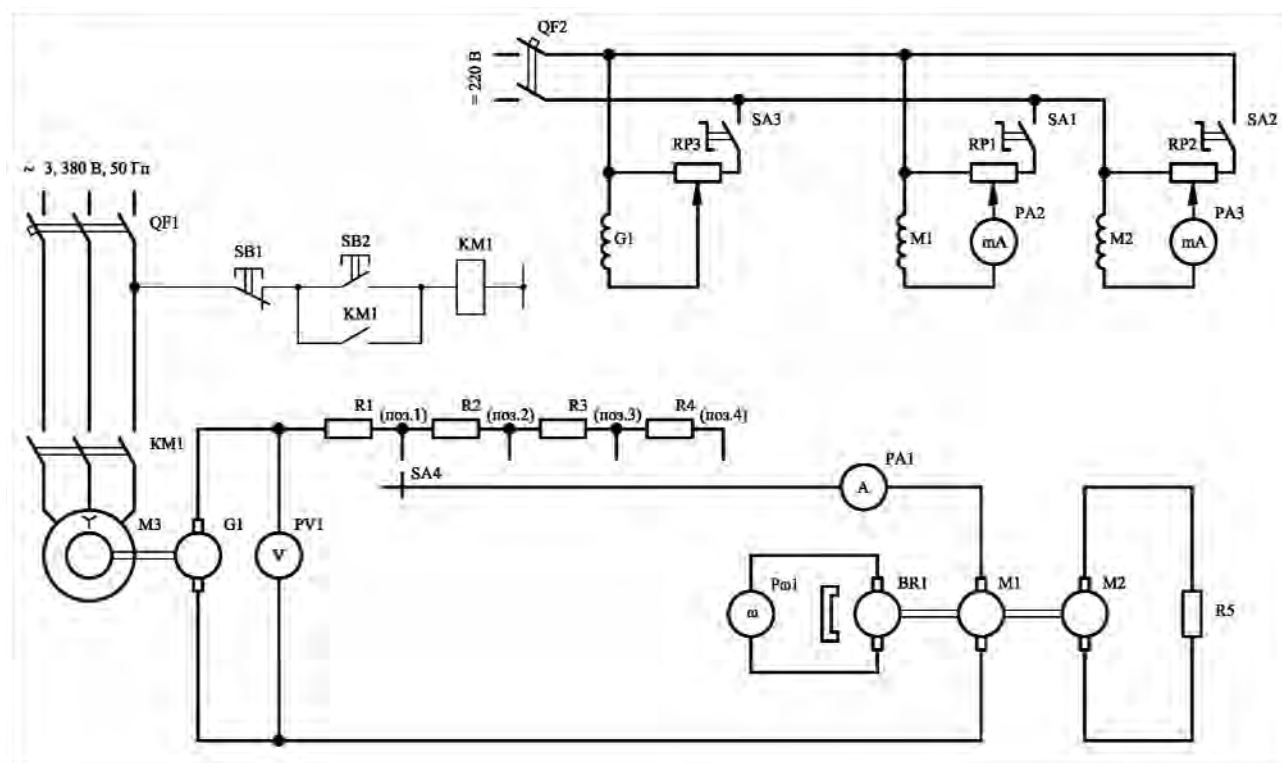


Рисунок 5 – Схема для исследования механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения

2.2 Методические указания по проведению исследований

2.2.1 Эксперимент № 1: снятие естественных МХ и ЭМХ.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности:

1) подать на стенд напряжение питания с помощью автоматических выключателей QF1, QF2;

2) с помощью тумблеров SA1...SA3 замкнуть обмотки возбуждения электродвигателей М1, М2 и генератора G1;

3) установить номинальный ток возбуждения машины М1 и минимальные токи в обмотках возбуждения машин G1 и М2;

4) включить приводной (гонный) двигатель М3 путём нажатия кнопки SB2. Постепенно увеличивая ток возбуждения генератора G1 с помощью реостата RP3, разогнать исследуемый двигатель М1. Напряжение на зажимах якоря генератора G1 контролировать по прибору PV1;

5) регулируя нагрузку на валу электродвигателя М1 путём изменения тока возбуждения машины М2 реостатом RP2, снять пять точек характеристики. В процессе снятия характеристики ток якоря не должен превышать значе-

ния $1,5I_n$ (следить по прибору РА1). Поток (ток возбуждения) исследуемого двигателя и напряжение на якоре в процессе опыта следует поддерживать неизменными. Результаты исследований занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты исследований и расчетов

Наименование характеристики	Данные опыта						Данные расчета				
	$R_я$	R_4	$I_я$	$I_в$	$U_я$	ω	$U_я \cdot I_я$	$I_я^2 \cdot R_я$	$I_я^2 \cdot R_4$	$P_э$	M
	Ом	Ом	А	А	В	рад/с	Вт	Вт	Вт	Вт	Н·м
Естественная $R_4 = 0$; $U_я = U_{ном}$; $\Phi = \Phi_{ном}$											
Искусственные	R_4 – задано; $U_я = U_{ном}$; $\Phi = \Phi_{ном}$										
	$R_4 = 0$; $U_я$ – задано; $\Phi = \Phi_{ном}$										
	$R_4 = 0$; $U_я = U_{ном}$; Φ – задано										

2.2.2 Эксперимент № 2: снятие искусственных МХ и ЭМХ (реостатных) для заданных значений добавочного сопротивления.

Повторить действия 1–5 п. 2.2.1. При этом выбрать требуемое сопротивление в цепи якоря с помощью пакетного выключателя SA4. Результаты исследований занести в таблицу 1.

2.2.3 Эксперимент № 3: снятие искусственных МХ и ЭМХ для заданных значений напряжения на якоре электродвигателя М1.

Повторить действия 1–5 п. 2.2.1. При этом с помощью реостата RP3 выставить пониженное напряжение $U_я$. Результаты исследований занести в таблицу 1.

2.2.4 Эксперимент № 4: снятие искусственных МХ и ЭМХ при изменении потока возбуждения электродвигателя М1.



Повторить действия 1–5 п. 2.2.1. При этом с помощью реостата RP1 ослабить магнитный поток машины G1. Результаты исследований занести в таблицу 1.

2.3 Обработка результатов эксперимента

Электромагнитный момент M , Н·м, испытуемого двигателя M1 в общем случае

$$M = \frac{P_{\text{э}}}{\omega}, \quad (1)$$

где ω – скорость вращения вала двигателя, рад/с;

$P_{\text{э}}$ – электромагнитная мощность, Вт.

$$P_{\text{э}} = U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 \cdot R_4 - I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}$ – мощность, отдаваемая генератором G1, Вт;

$I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}$ – мощность электрических потерь в цепи обмотки якоря двигателя, Вт;

$I_{\text{я}}^2 \cdot R_4$ – мощность потерь в реостате R1...R4, Вт.

Выбор сопротивления R4 определяется преподавателем.

Данные расчета занести в таблицу 1.

По данным исследований построить ЭМХ и МХ (зависимости $\omega = f(I_{\text{я}})$ и $\omega = f(M)$) и сравнить их с аналогичными расчётными. Все характеристики следует построить в одной системе координат в одинаковом масштабе. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Написать уравнения электромеханической и механической характеристик двигателя и проанализировать их.

2 Как влияет реакция якоря двигателя с независимым возбуждением на его механическую характеристику?

3 Как построить естественную механическую характеристику двигателя с независимым возбуждением по паспортным данным машины?

4 Написать и проанализировать уравнения механических характеристик и пояснить энергетику работы электродвигателя:

- в режиме противовключения;
- в режиме электродинамического тормоза;
- в режиме генераторного торможения.



3.2 Методические указания по проведению исследований

3.2.1 Эксперимент № 1: снятие естественной МХ и ЭМХ.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности:

1) подать на стенд напряжение питания с помощью автоматических выключателей QF1, QF2;

2) подготовить установку к проведению исследований. Подготовка установки заключается в согласовании включения якорей машин M2 и G1.

Подключение к сети исследуемого двигателя M1 осуществляется включением SA4, при этом в якорную цепь полностью введено добавочное сопротивление R1. По мере разгона M1 сопротивление полностью выводится (шунтируется выключателем SA6);

3) установить номинальный ток возбуждения машины M2 и минимальный ток в обмотке возбуждения G1;

4) разомкнуть переключатель SA6, установить переключатели SA7, SA8 в положение 1 ($R_1 = 0$; $(R_2 \dots R_3) = 0$; $(R_4 \dots R_6) = 0$);

5) включить приводной (гонный) двигатель M3 путём нажатия кнопки SB2. Постепенно увеличивая ток в ОБ G1 реостатом RP1, разогнать M1 до номинальной скорости. Затем подключить к сети M1 (включают SA4) и приступить к снятию характеристик;

6) регулируя нагрузку на валу электродвигателя M1 путём изменения тока возбуждения машины M2 реостатом RP2, снять 10 точек характеристики. В процессе снятия характеристики ток якоря не должен превышать значения $1,5I_{ном}$ (следить по прибору PA1). Поток (ток возбуждения) исследуемого двигателя и напряжение на якоре в процессе опыта следует поддерживать неизменными. Результаты исследований занести в таблицу 2;

7) плавно уменьшая ток в ОБ M3 до 0, снять показания приборов. Для дальнейшего увеличения нагрузки необходимо переключателем SA1 изменить полярность напряжения на ОБ M3, а затем плавно увеличить ток возбуждения. Результаты опыта занести в таблицу 2.

3.2.2 Эксперимент № 2: снятие искусственных ЭМХ (реостатных) для заданных значений добавочного сопротивления в цепи якоря.

Повторить действия 1–7 п. 3.2.1. При этом выбрать требуемое сопротивление R_1 в цепи якоря с помощью пакетного выключателя SA9. Результаты исследований занести в таблицу 2.

3.2.4 Эксперимент № 3: снятие искусственной МХ и ЭМХ исследуемого двигателя при шунтировании обмотки якоря.

Повторить действия 1–7 п. 3.2.1. При этом зашунтировать обмотку якоря с помощью пакетного выключателя SA7. Результаты исследований занести в таблицу 2.

3.2.4 Эксперимент № 4: снятие искусственной МХ и ЭМХ исследуемого двигателя при шунтировании обмотки возбуждения.



Повторить действия 1–7 п. 3.2.1. При этом зашунтировать обмотку якоря с помощью пакетного выключателя SA6. Результаты исследований занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты исследований и расчетов

Наименование характеристики	Данные опыта							Данные расчета					
	R_1	R_4	R_5	I_1	I_2	$U_{я}$	ω	$U_{я} \cdot I_{я}$	$I_{я}^2 \cdot R_{я}$	P	$M_{э}$	ΔM	M
	Ом	Ом	Ом	А	А	В	рад/с	Вт	Вт	Вт	Н·м	Вт	Н·м
Естественная $R_1 = 0$; $R_4 = 0$; $R_5 = 0$													
Реостатные R_1 – задано; $R_4 = 0$; $R_5 = 0$													
Шунтирование ОЯ R_1 – задано; R_4 – задано; $R_5 = 0$													
Шунтирование ОВ $R_1 = 0$; $R_4 = 0$; R_5 – задано													

3.3 Обработка результатов экспериментов

Момент M , Н·м, на валу исследуемого двигателя М1 определяется по формуле

$$M = M_{э} \pm \Delta M, \quad (3)$$

где ΔM – момент потерь вращения исследуемого двигателя, Н·м;

$M_{э}$ – электромагнитный момент, Н·м,

$$M_{э} = \frac{P}{\omega} = \frac{U_{я} \cdot I_{я} - I_{я}^2 \cdot R_{я}}{\omega}, \quad (4)$$

где $U_{я}$ – напряжение на якоре двигателя М2, В;

$I_{я}$ – ток якоря М2, А;



$R_{я}$ – сопротивление якоря машины М2, Ом.

Момент потерь ΔM берется из опытной кривой $\Delta M = f(\omega)$ (рисунок 7) для той скорости, для которой подсчитан электромагнитный момент M .

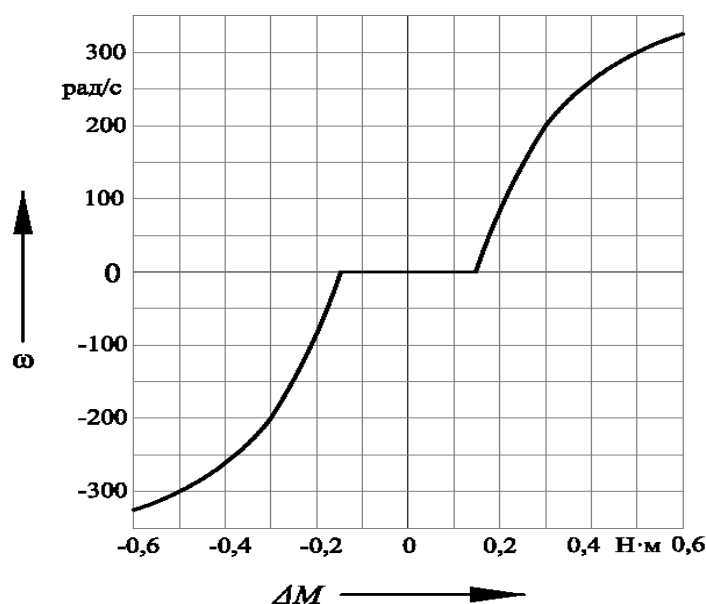


Рисунок 7 – Зависимость $\Delta M = f(\omega)$ для двигателя М2 при номинальном токе возбуждения

С достаточной точностью сопротивление обмотки якоря $R_{я}$, Ом, можно определить по паспортным данным М2:

$$R_{я} \approx 0,5 \cdot \frac{U_{н}}{I_{н}} \cdot (1 - \eta) . \quad (5)$$

Результаты расчетов занести в таблицу 2.

По данным исследований построить ЭМХ и МХ. Все характеристики следует построить в одной системе координат (ω, I) и (ω, M) . Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Почему для двигателя последовательного возбуждения нельзя получить точное аналитическое выражение механической характеристики?
- 2 Показать по уравнению механической характеристики, изменением каких параметров можно регулировать скорость двигателя.
- 3 Пояснить характеристики двигателя при шунтировании якоря.
- 4 Изобразить и пояснить механические характеристики двигателя в тормозных режимах.
- 5 Какие основные меры безопасности нужно соблюдать при пуске ДПТ с ПВ и при проведении опытов?



4 Лабораторная работа № 3. Экспериментальное исследование статических характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы

1 Изучить статические естественные и искусственные МХ и ЭМХ асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АДКЗ).

2 Освоить методику расчёта естественных и искусственных МХ и ЭМХ, используя паспортные данные.

3 Исследовать МХ и ЭМХ при симметричном питании статора АД пониженным напряжением, при изменении числа пар полюсов, при включении в цепь статора добавочных сопротивлений симметрично и несимметрично.

4.1 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить правила техники безопасности при выполнении данной лабораторной работы.

2 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

3 Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. Записать паспортные данные испытуемого асинхронного электродвигателя М1, нагрузочного электродвигателя М2, генератора G1 и гонного двигателя М3.

4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 8).

5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

6 Рассчитать и построить естественные механическую и электромеханическую характеристики двигателя М1.

4.2 Методические указания по проведению исследований

4.2.1 Эксперимент № 1: снятие естественной ЭМХ.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности:

1) подать на стенд напряжение питания с помощью автоматических выключателей QF1, QF2;

2) с помощью тумблеров SA1, SA2 замкнуть обмотки возбуждения электродвигателя М2 и генератора G1;

3) переключатель SA3 поставить в положение «Y»;

4) установить с помощью реостата RP4 номинальный ток возбуждения машины М2, с помощью реостата RP5 – минимальный ток в обмотках возбуждения генератора G1;

5) включить приводной (гонный) двигатель М3 путём нажатия кнопки SB4. Постепенно увеличивая ток возбуждения генератора G1, разогнать исследуемый двигатель М1;



б) включить исследуемый двигатель М1 путём нажатия кнопки SB4. Увеличивая ток в обмотке возбуждения генератора G1, разогнать его до скорости $(1,5...1,8) \cdot \omega_0$. При этом исследуемый двигатель М1 работает в режиме генератора и приводится в движение машиной М2, работающей в двигательном режиме. После этого начать снятие естественной характеристики. Плавно уменьшая ток в обмотке возбуждения генератора G1 до нуля, снять ЭМХ исследуемого двигателя в генераторном, а затем в двигательных режимах.

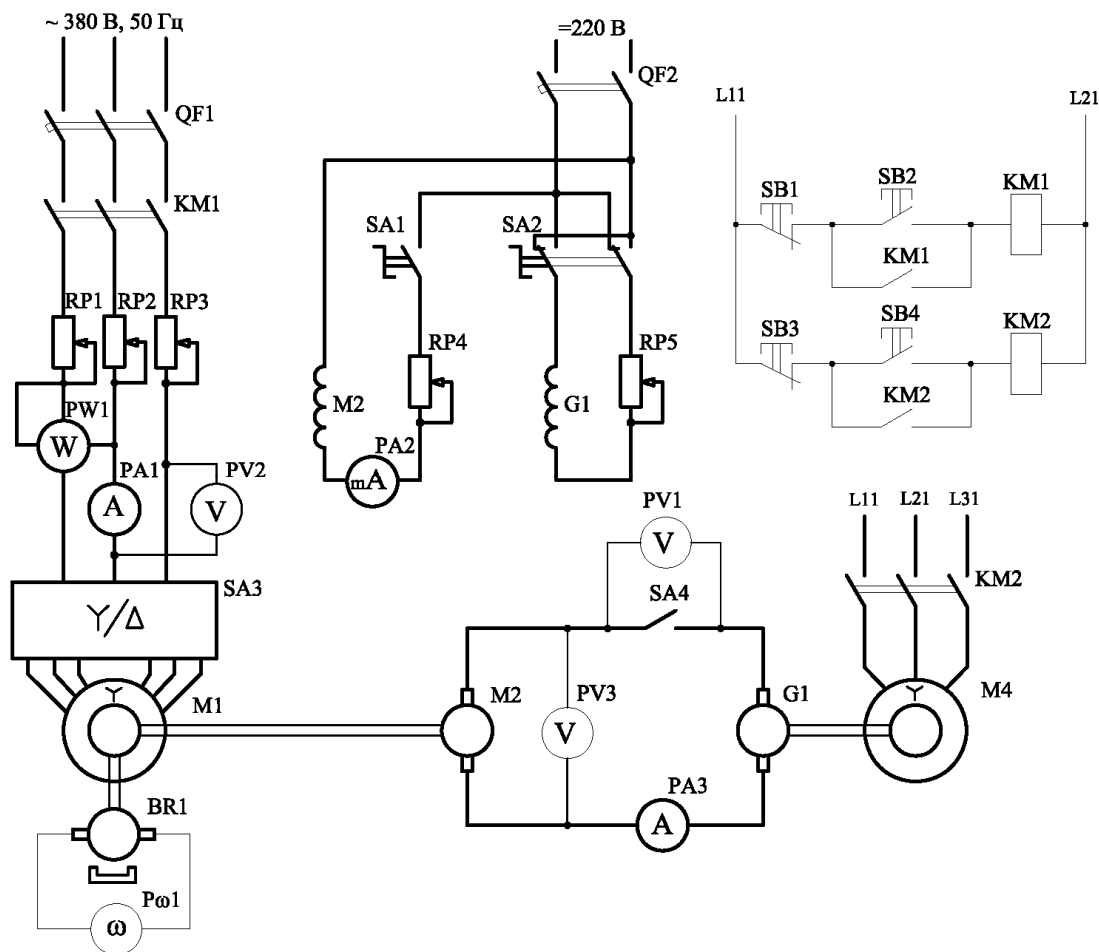


Рисунок 8 – Схема электрическая принципиальная лабораторной установки

Для дальнейшего увеличения нагрузки на валу исследуемого двигателя М1, а также для снятия МХ в режиме противовключения необходимо переключателем SA2 изменить полярность напряжения в обмотке возбуждения генератора G1, а затем, плавно увеличивая ток возбуждения машины М3, снять несколько точек характеристики.

Для построения МХ необходимо снять не менее 10...12 показаний приборов (например, задавая шаг изменения скорости М1 20 рад/с по прибору Pω1).

При проведении опыта следует иметь в виду, что, снимая участок характеристики после момента M_{max} , замеры по приборам надо производить **быстро**, чтобы избежать недопустимого перегрева обмоток статора токами, в несколько раз превышающими номинальное значение. Данные испытаний записать в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты исследований и расчетов

Наименование характеристики	Данные опыта							Данные расчёта				
	U_1	I_1	P_1	$I_я$	$U_я$	ω	R_1	$I_я \cdot U_я$	$I_я^2 \cdot R_я$	P	ΔM	M
	В	А	Вт	А	В	рад/с	Ом	Вт	Вт	Вт	Н·м	Н·м
$U = 127$ В; $R_1 = 0$; $2p = 6$; SA3 в положении «Y»												
$U = 127$ В; $R_1 \neq 0$ симметрично; $2p = 6$; SA3 в положении «Y»												
$U = 127$ В; $R_1 \neq 0$ несимметрично; $2p = 6$; SA3 в положении «Y»												
$U = 127$ В; $R_1 = 0$; $2p = 4$; SA3 в положении «Δ»												

4.2.2 Эксперимент № 2: снятие искусственной ЭМХ при симметричном включении в фазы статора активных сопротивлений.

Повторить действия 1–6 п. 4.2.1 При этом ввести в цепь статора симметрично нагрузку с помощью реостатов RP1...RP3. Результаты исследований занести в таблицу 3.

4.2.3 Эксперимент № 3: снятие искусственной ЭМХ при несимметричном включении в фазы статора активных сопротивлений.

Повторить действия 1–6 п. 4.2.1 При этом ввести в цепь статора несимметрично нагрузку с помощью реостатов RP1–RP3. Результаты исследований занести в таблицу 3.

4.2.4 Эксперимент № 4: снятие искусственной ЭМХ при изменении числа пар полюсов двигателя M1.

Повторить действия 1–6 п. 4.2.1 При этом переключить соединение обмотки статора со звезды на треугольник с помощью переключателя SA3. Результаты исследований занести в таблицу 3.

4.3 Обработка результатов экспериментов

Момент M , Н·м, на валу исследуемого двигателя M1 определяется по формуле

$$M = M_я \pm \Delta M, \quad (6)$$

где ΔM – момент потерь вращения, Н·м;



M_{ω} – электромагнитный момент нагрузочной машины М2, Н·м.

$$M_{\omega} = \frac{P}{\omega} = \frac{U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}}{\omega}, \quad (7)$$

где $U_{\text{я}}$ – напряжение на якоре двигателя М2, В;

$I_{\text{я}}$ – ток якоря М2, А;

$R_{\text{я}}$ – сопротивление якоря машины М2, Ом.

Момент потерь ΔM , Н·м, берется из опытной кривой $\Delta M = f(\omega)$ (рисунок 9) для той скорости, для которой подсчитан электромагнитный момент M . Знак «+» соответствует двигательному режиму работы М1, знак «-» – генераторному и режиму противовключения.

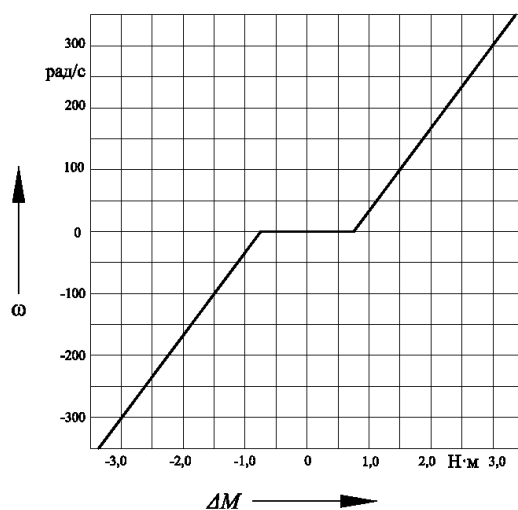


Рисунок 9 – Зависимость $\Delta M = f(\omega)$ для двигателя М1 при номинальном токе возбуждения

С достаточной точностью сопротивление обмотки якоря $R_{\text{я}}$, Ом, можно определить по паспортным данным М2:

$$R_{\text{я}} \approx 0,5 \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \cdot (1 - \eta). \quad (8)$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 3.

По данным исследований построить ЭМХ и МХ и сравнить их с аналогичными расчётными. Все характеристики следует построить в одной системе координат (ω, I) и (ω, M) . Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Изобразить и проанализировать естественные МХ и ЭМХ АД в трех квадрантах.

2 Изобразить и проанализировать искусственные МХ и ЭМХ АД:



- при симметричном и несимметричном изменении напряжения на статоре;
- при симметричном и несимметричном введении активных сопротивлений в цепь статора и в цепь ротора;
- при симметричном и несимметричном введении индуктивных сопротивлений в цепь статора;
- при изменении числа пар полюсов.

3 Написать формулы Клосса, показать область их использования и пояснить величины, входящие в формулы.

4 Объяснить методику снятия МХ в работе и пояснить причину отличия опытных характеристик от рассчитанных по формулам Клосса.

5 Лабораторная работа № 4. Экспериментальное исследование статических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором

Цель работы

1 Изучить статические естественные и искусственные МХ и ЭМХ асинхронного двигателя с фазным ротором (АДФР).

2 Освоить методику расчёта естественных и искусственных МХ и ЭМХ, используя паспортные данные.

5.1 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить правила техники безопасности при выполнении данной лабораторной работы.

2 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

3 Записать паспортные данные испытуемого асинхронного электродвигателя М1, нагрузочного электродвигателя М2, генератора G1 и гонного двигателя М3.

4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 10).

5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

5.2 Методические указания по проведению исследований

5.2.1 Эксперименты № 1 и 2: снятие искусственных ЭМХ $\omega = f(I_2')$ ($R_1 \dots R_3 = 0$; $R_4 \dots R_6 = 0$; $R_7 \dots R_9 = 0$) для двух значений напряжения: $U_1 = 120$ В и $U_1 = 80$ В.



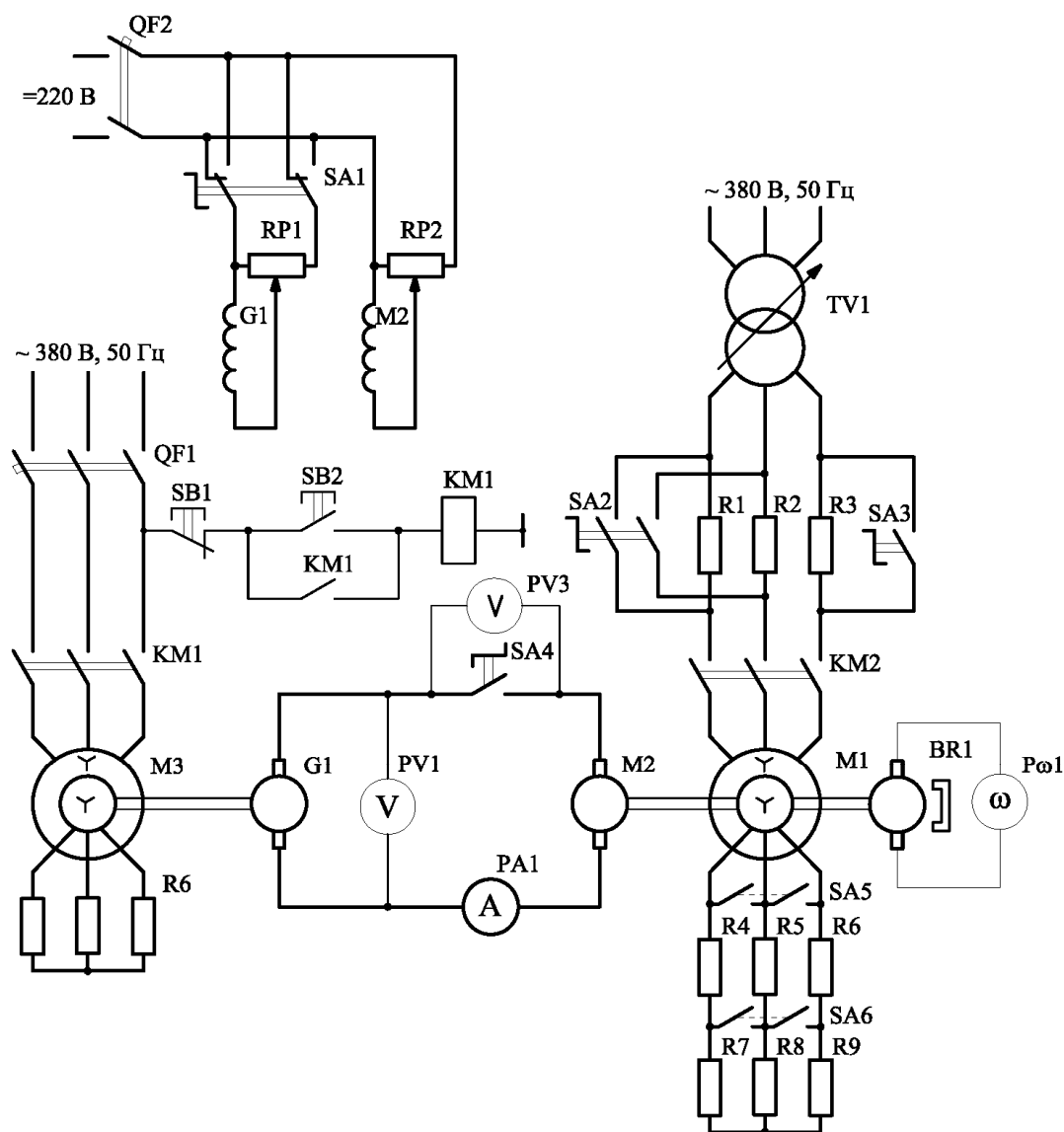


Рисунок 10 – Схема электрическая принципиальная лабораторной установки

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности:

- 1) подать на стенд напряжение питания с помощью автоматических выключателей QF1, QF2;
- 2) с помощью тумблера SA1 замкнуть обмотку возбуждения электродвигателя M3;
- 3) с помощью тумблеров SA2...SA6 зашунтировать сопротивления в цепи статора и ротора исследуемого электродвигателя M1;
- 4) установить с помощью реостата RP2 номинальный ток возбуждения машины M2, с помощью реостата RP1 – минимальный ток в обмотке возбуждения электродвигателя M3;
- 5) включить приводной (гонный) двигатель M4 путём нажатия кнопки SB4. Постепенно увеличивая ток возбуждения электродвигателя M3, разогнать исследуемый двигатель M1;
- 6) включить исследуемый двигатель M1 путём нажатия кнопки SB2. Увели-

чивая ток в обмотке возбуждения электродвигателя М3, разогнать его до скорости $(1,5...1,8) \cdot \omega_0$. При этом исследуемый двигатель М1 работает в режиме генератора и приводится в движение машиной М2, работающей в двигательном режиме. После этого начать снятие естественной характеристики. Плавно уменьшая ток в обмотке возбуждения электродвигателя М3 до нуля, снять ЭМХ исследуемого двигателя в генераторном, а затем в двигательных режимах.

Для дальнейшего увеличения нагрузки на валу исследуемого двигателя М1, а также для снятия МХ в режиме противовключения необходимо переключателем SA1 изменить полярность напряжения в обмотке возбуждения электродвигателя М3, а затем, плавно увеличивая ток возбуждения машины М3, снять несколько точек характеристики. Данные испытаний записать в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты исследований и расчетов

Наименование характеристики	Данные опыта					Данные расчёта				
	U_1	I_1	I_2	U_2	ω	$I_2 \cdot U_2$	$I_2^2 \cdot R_2$	P	ΔM	M
	В	А	А	В	рад/с	Вт	Вт	Вт	Н·м	Н·м
$U = 127$ В; $R_3 = 0$; $R_4 = 0$; $R_5 = 0$										
$U = 80$ В; $R_3 = 0$; $R_4 = 0$; $R_5 = 0$										
$U = 120$ В; $R_3 \neq 0$ симметрично; $R_4 = 0$; $R_5 = 0$										
$U = 120$ В; $R_3 \neq 0$ несимметрично; $R_4 = 0$; $R_5 = 0$										
$U = 127$ В; $R_3 = 0$; $R_4 \neq 0$; $R_5 = 0$										
$U = 127$ В; $R_3 = 0$; $R_4 \neq 0$; $R_5 \neq 0$										



5.2.2 Эксперимент № 3: снятие искусственных ЭМХ $\omega = f(I'_2)$ при симметричном включении в фазы статора активных сопротивлений ($R_1...R_3 \neq 0$; $R_4...R_6 = 0$; $R_7...R_9 = 0$) для значения напряжения $U_1 = 120$ В.

Повторить действия 1–6 п. 5.2.1 При этом ввести в цепь статора добавочное сопротивление симметрично с помощью переключателей SA2 и SA3. Результаты исследований занести в таблицу 4.

5.2.3 Эксперимент № 4: снятие искусственных ЭМХ $\omega = f(I'_2)$ при несимметричном включении в фазы статора активных сопротивлений ($R_1...R_3 \neq 0$; $R_4...R_6 = 0$; $R_7...R_9 = 0$) для значения напряжения $U_1 = 120$ В.

Повторить действия 1–6 п. 5.2.1 При этом ввести в цепь статора добавочное сопротивление несимметрично с помощью одного из переключателей SA2 и SA3. Результаты исследований занести в таблицу 4.

5.2.4 Эксперимент № 5: снятие искусственных ЭМХ $\omega = f(I'_2)$ при симметричном включении в цепь ротора активных сопротивлений ($R_1...R_3 = 0$; $R_4...R_6 \neq 0$; $R_7...R_9 = 0$) для значения напряжения $U_1 = 120$ В.

Повторить действия 1–6 п. 5.2.1. При этом ввести в цепь ротора добавочное сопротивление с помощью переключателя SA5. Результаты исследований занести в таблицу 4.

5.2.5 Эксперимент № 6: снятие искусственных ЭМХ $\omega = f(I'_2)$ при симметричном включении в цепь ротора активных сопротивлений ($R_1...R_3 = 0$; $R_4...R_6 \neq 0$; $R_7...R_9 \neq 0$) для значения напряжения $U_1 = 120$ В.

Повторить действия 1–6 п. 5.2.1. При этом ввести в цепь ротора добавочное сопротивление с помощью переключателя SA6. Данные испытаний записать в таблицу 4.

5.3 Обработка результатов экспериментов

Момент M , Н·м, на валу исследуемого двигателя М1

$$M = M_{\text{э}} \pm \Delta M, \quad (9)$$

где ΔM – момент потерь вращения, Н·м;

$M_{\text{э}}$ – электромагнитный момент нагрузочной машины М2, Н·м.

$$M_{\text{э}} = \frac{P}{\omega} = \frac{U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}}{\omega}, \quad (10)$$

где $U_{\text{я}}$ – напряжение на якоре двигателя М2, В;

$I_{\text{я}}$ – ток якоря М2, А;



$R_{я}$ – сопротивление якоря машины М2, Ом.

Момент потерь ΔM берется из опытной кривой $\Delta M = f(\omega)$ (рисунок 11) для той скорости, для которой подсчитан электромагнитный момент М. Знак «+» соответствует двигательному режиму работы М1, знак «-» – генераторному и режиму противовключения.

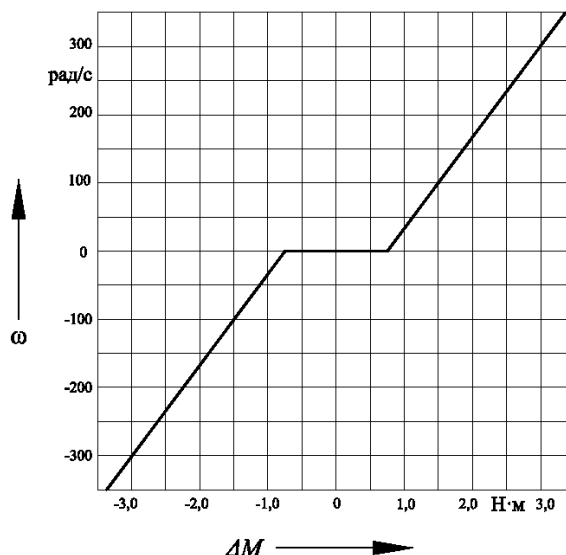


Рисунок 11 – Зависимость $\Delta M = f(\omega)$ для двигателя М1 при номинальном токе возбуждения

С достаточной точностью сопротивление обмотки якоря $R_{я}$, Ом, можно определить по паспортным данным М2:

$$R_{я} \approx 0,5 \cdot \frac{U_n}{I_n} \cdot (1 - \eta). \quad (11)$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 4.

По данным исследований построить ЭМХ и МХ и сравнить их с аналогичными расчётными. Все характеристики следует построить в одной системе координат (ω, I) и (ω, M) . Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Изобразить и проанализировать естественные МХ и ЭМХ АДФ в трёх квадрантах.

2 Изобразить и проанализировать искусственные МХ и ЭМХ АД:

- при симметричном и несимметричном изменении напряжения на статоре;
- при симметричном и несимметричном введении активных сопротивлений в цепь статора и в цепь ротора;
- при симметричном и несимметричном введении индуктивных сопротивлений в цепь статора.



3 Написать формулы Клосса, показать область их использования и пояснить величины, входящие в формулы.

6 Лабораторная работа № 5. Экспериментальное исследование электропривода по системе «Генератор – двигатель»

Цель работы

1 Изучить методику расчета механических характеристик электропривода по системе «Генератор – двигатель («Г – Д»).

2 Ознакомиться с опытным исследованием системы «Г – Д» (способами регулирования скорости, режимами работы машин, диапазоном регулирования скорости).

6.1 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить правила техники безопасности при выполнении данной лабораторной работы.

2 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

3 Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. Записать паспортные данные испытуемого асинхронного электродвигателя М1, нагрузочного электродвигателя М2, генератора G1 и гонного двигателя М3.

4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 12).

5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

6 Рассчитать и построить естественную и ряд искусственных механических характеристик двигателя М2 в системе «Г – Д» при регулировании скорости изменением напряжения генератора G1, а также при регулировании потоком возбуждения двигателя. Определить общий диапазон регулирования скорости в исследуемой системе «Г – Д». Значения напряжения и потока принять такими же, как и при экспериментальном исследовании (таблица 5).

6.2 Методические указания по проведению исследований

6.2.1 Эксперимент № 1: снятие механических характеристик двигателя М2 в системе «Г – Д» при изменении подводимого напряжения.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности:

- 1) подать на стенд напряжение питания;
- 2) реостаты RP1 и RP3 выставить в положение, соответствующее минимальному, а реостат RP2 – номинальному току возбуждения машин. Нагрузочный реостат RP4 отключается выключателем SA2;
- 3) нажать кнопку управления SB2;



4) замкнуть выключатель SA1 и плавным увеличением тока возбуждения генератора G1 разогнать двигатель M2 до номинальной скорости;

5) характеристики снять при независимом и равном номинальному токе возбуждения двигателя M2 и напряжениях, при холостом ходе двигателя, равных $U_1 = U_n$, $U_2 = 0,8U_n$, $U_3 = 0,6U_n$, $U_4 = 0,4U_n$, $U_5 = 0,2U_n$. Напряжения U_1, U_2, U_3, U_4 при нагрузке двигателя M2 не поддерживаются постоянными. Для каждой характеристики снять четыре – пять точек. Данные опыта занести в таблицу 5;

6) по окончании эксперимента нажать кнопку SB1.

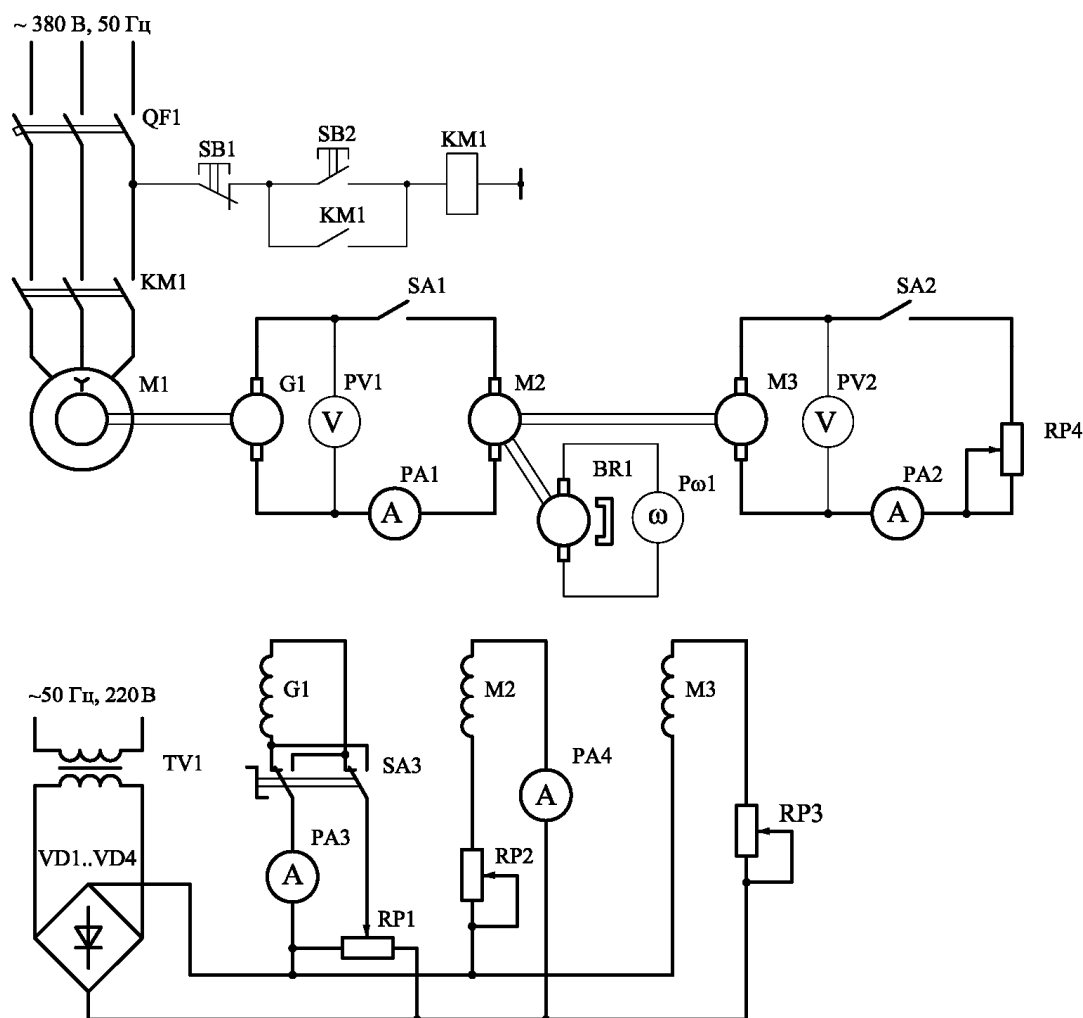


Рисунок 12 – Схема для исследования электропривода по системе «Г – Д»

6.2.2 Эксперимент № 2: снятие механических характеристик двигателя M2 в системе «Г – Д» при изменении потока возбуждения.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности:

- 1) подать на стенд напряжение питания;
- 2) реостаты RP1 и RP3 выставить в положение, соответствующее минимальному, а реостат RP2 – номинальному току возбуждения машин. Нагрузочный реостат RP4 отключить выключателем SA2;
- 3) нажать кнопку управления SB2;

4) замкнуть выключатель SA1 и плавным увеличением тока возбуждения генератора G1 разогнать двигатель M2 до номинальной скорости;

5) при изменении потока возбуждения снять характеристики для $\Phi_{\partial 1} = 0,8\Phi_{\partial n}$, $\Phi_{\partial 1} = 0,6\Phi_{\partial n}$. В этом опыте естественная характеристика при $U_1 = U_n$ и $I_{\partial \partial} = I_{\partial \partial n}$ является исходной. Для определения $\Phi_{\partial n}$ необходимо воспользоваться кривой намагничивания двигателя (рисунок 13) и уже по ней определять значения тока возбуждения при заданных значениях потоков.

Таблица 5 – Экспериментальные и расчетные данные

Способ регулирования скорости	Данные опыта					Данные расчета		
	$I_{\partial \partial}$	$I_{\partial \partial}$	U_{∂}	I_{∂}	ω	$I_{\partial} \cdot U_{\partial}$	$I_{\partial}^2 \cdot R_{\partial}$	M
	А	А	В	А	рад/с	Вт	Вт	Н·м
$U_1 = U_n$								
$U_2 = 0,8U_n$								
$U_3 = 0,6U_n$								
$U_2 = 0,4U_n$								
$U_2 = 0,2U_n$								
$\Phi_{\partial 1} = 0,8\Phi_{\partial n}$								
$\Phi_{\partial 1} = 0,6\Phi_{\partial n}$								

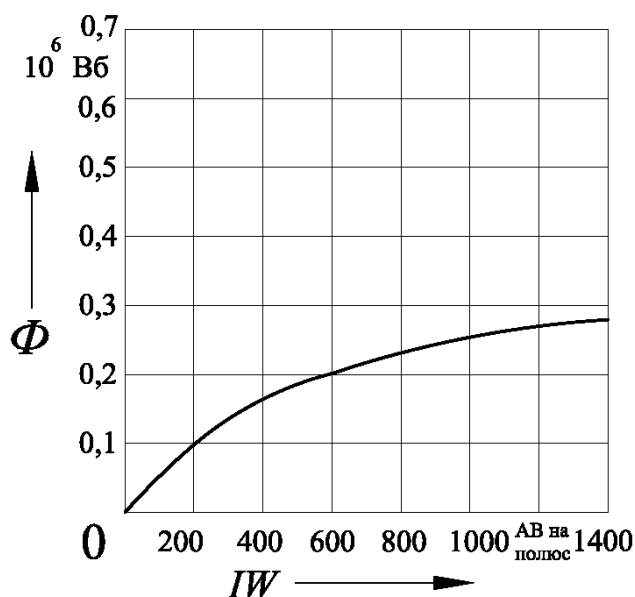


Рисунок 13 – Кривая намагничивания двигателя ПС-42

Во время опыта заданные значения тока возбуждения $I_{\partial \partial}$ поддерживаются неизменными. Подводимое напряжение при холостом ходе устанавливается равным номинальному и при нагрузке двигателя M2 не поддерживается постоянным. Данные опыта занести в таблицу 5;

б) по окончании эксперимента нажать кнопку SB1.

6.3 Обработка экспериментальных данных

1 По экспериментальным данным рассчитать и построить механические и электромеханические характеристики двигателя М2.

Электромагнитный момент $M_{\text{э}}$, Н·м, нагрузочной машины М2

$$M_{\text{э}} = \frac{P}{\omega} = \frac{U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}}{\omega}, \quad (12)$$

где ω – скорость вращения вала двигателя, рад/с;

P – электромагнитная мощность, Вт;

$U_{\text{я}}$ – напряжение на якоре двигателя М2, В;

$I_{\text{я}}$ – ток якоря М2, А;

$R_{\text{я}}$ – сопротивление якоря машины М2, Ом.

С достаточной точностью сопротивление обмотки якоря $R_{\text{я}}$, Ом, можно определить по паспортным данным М2:

$$R_{\text{я}} \approx 0,5 \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \cdot (1 - \eta). \quad (13)$$

2 Сравнить расчетные и опытные механические характеристики и дать их краткий анализ.

3 На основании опытных характеристик $\omega = f(I_{\text{я}})$ и $\omega = f(M)$ построить зависимость момента и мощности в функции скорости для номинального тока двигателя $P, M = f(\omega)$.

Для этого на скоростных характеристиках $\omega = f(I_{\text{я}})$ через точку, соответствующую номинальному току двигателя $I_{\text{ян}}$, провести вертикальную прямую. По величинам скоростей, соответствующих точкам пересечения данной прямой с характеристиками $\omega = f(I_{\text{я}})$, на графике $\omega = f(M)$ определить моменты для каждой характеристики. По моменту M и скорости ω вычисляется мощность P :

$$P = M \cdot \omega. \quad (14)$$

На основании полученного графика $P, M = f(\omega)$ дать краткий анализ по регулированию скорости в системе «Г – Д».

Контрольные вопросы

1 Пояснить принцип действия системы «Г – Д».

2 Написать механическую характеристику системы «Г – Д» и объяснить её отличие от механической характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением при питании от сети бесконечной мощности.

3 Изобразить и проанализировать регулировочные характеристики



системы «Г – Д».

4 Проанализировать способы торможения двигателя в системе «Г – Д».

5 Назвать и пояснить факторы, ограничивающие диапазон регулирования скорости в системе «Г – Д».

6 Перечислить достоинства и недостатки системы «Г – Д» и назвать пример её практического применения.

7 Лабораторная работа № 6. Экспериментальное исследование электропривода по системе «Электромашинный усилитель – двигатель»

Цель работы

1 Изучить действие связей в режиме стабилизации скорости.

2 Ознакомиться с методикой опытного исследования разомкнутой и замкнутой систем регулирования по системе «Электромашинный усилитель – двигатель («ЭМУ – Д»)».

3 Исследовать экскаваторные механические характеристики в системе «ЭМУ – Д».

7.1 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить правила техники безопасности при выполнении данной лабораторной работы.

2 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

3 Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. Записать паспортные данные электродвигателей М1...М4.

4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 14).

5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

7.2 Методические указания по проведению исследований

7.2.1 Эксперимент № 1: снятие механических характеристик разомкнутой системы регулируемого привода.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности:

1) переключатель SA2 установить в нейтральное положение;

2) выключателем SA3 подать напряжение на обмотку возбуждения электродвигателя М3;

3) подать с помощью автоматических выключателей QF1 и QF2 на стенд напряжение питания;

4) с помощью реостата RP1 по амперметру PA1 установить номинальный



ток возбуждения электродвигателя М3, который во всех опытах поддерживать неизменным;

5) движок реостата RP2 выставить в нулевое положение, при котором U_{ov} равняется нулю;

6) с помощью выключателя SA1 подать напряжение на обмотку задания электромашинного усилителя М2;

7) нажать кнопку управления SB2;

8) снятие механических характеристик произвести для $U_0 = U_n$, $U_0 = 0,8U_n$, $U_0 = 0,6U_n$, $U_0 = 0,4U_n$, $U_0 = 0,2U_n$ (где U_0 – напряжение на якоре двигателя М3 при холостом ходе генератора М4 (QS1 разомкнут) устанавливается реостатом RP4).

Нагрузка на двигателе М3 создаётся генератором М4 путём изменения тока возбуждения генератора реостатом RP2. Показания приборов для каждой характеристики занести в таблицу 6;

9) по окончании эксперимента нажать кнопку SB1.

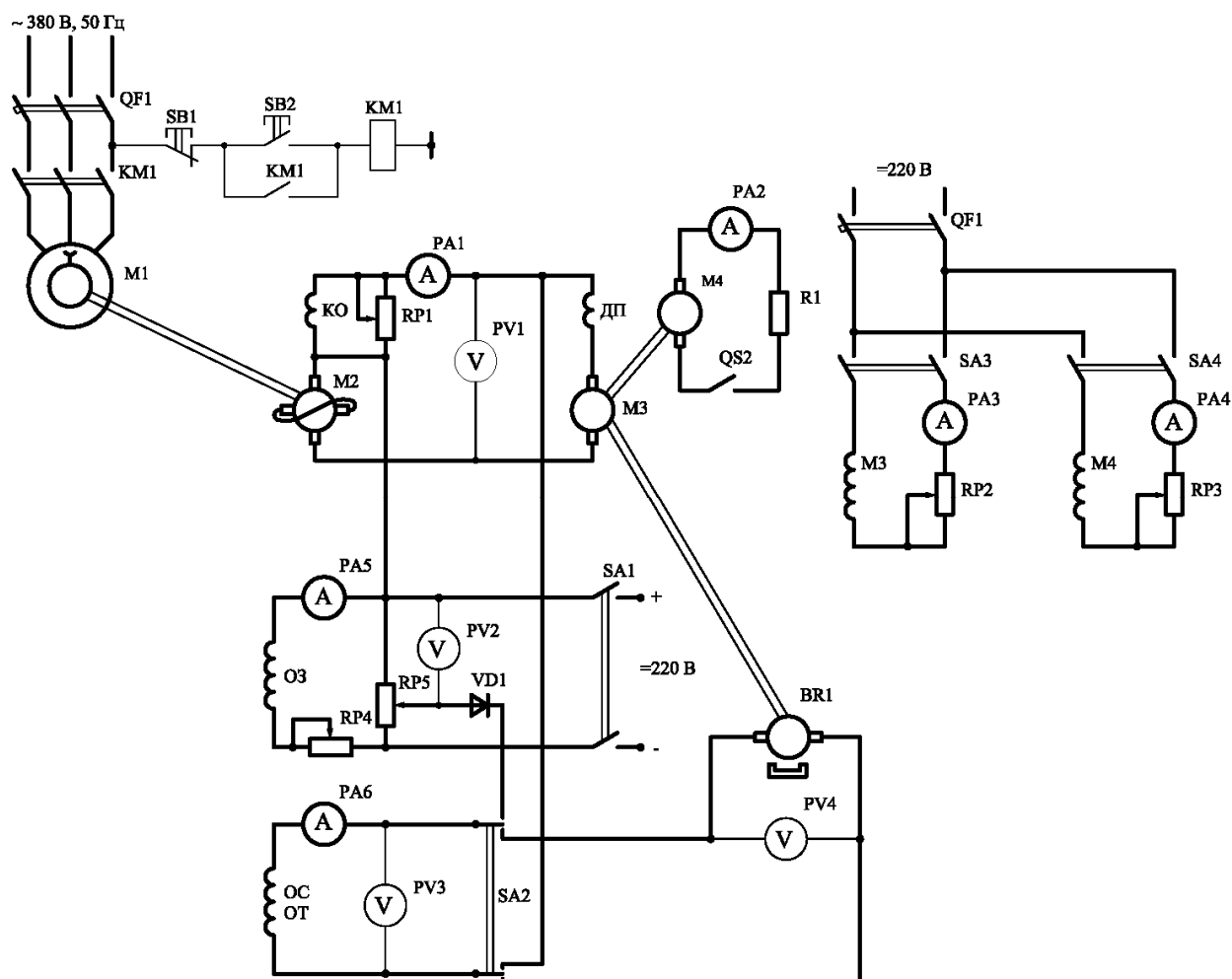


Рисунок 14 – Схема для исследования электропривода по системе «ЭМУ – Д»

Таблица 6 – Экспериментальные и расчетные данные

Система привода	Опыт	Опыт			Расчёт				
		ω	I_1	U	$I_1 \cdot U$	$I_1 \cdot R_{\text{я}}$	$M_{\text{э}}$	$\Delta M_{\text{э}}$	$M_{\text{э}}$
		рад/с	А	В	Вт	Вт	Н·м	Н·м	Н·м
Разомкнутая	$U_0 = U_n$								
	$U_0 = 0,8U_n$								
	$U_0 = 0,6U_n$								
	$U_0 = 0,4U_n$								
	$U_0 = 0,2U_n$								
С отрицательной обратной связью по скорости	$U_0 = U_n$								
	$U_0 = 0,8U_n$								
	$U_0 = 0,6U_n$								
	$U_0 = 0,4U_n$								
	$U_0 = 0,2U_n$								
С отрицательной обратной связью по току с отсечкой	$U_{\text{сп1}}$								
	$U_{\text{сп2}}$								
	$U_{\text{сп3}}$								

7.2.2 Эксперимент № 2: снятие механических характеристик регулируемого электропривода с отрицательной обратной связью по скорости.

Повторить действия 1–9 п. 7.2.1, установив переключатель SA2 в нижнее положение.

7.2.3 Эксперимент № 3: исследование экскаваторных характеристик в системе «ЭМУ – Д».

Повторить действия 1–9 п. 7.2.1, установив переключатель SA2 в верхнее положение. Снятие механических характеристик произвести для напряжений сравнения $U_{\text{сп1}}$, $U_{\text{сп2}}$, $U_{\text{сп3}}$. Напряжение сравнения устанавливается по вольтметру PV2 при помощи потенциометра RP5.

7.3 Обработка экспериментальных данных

7.3.1 По данным пп. 7.2.1–7.2.3 построить механические характеристики и определить диапазон регулирования для номинальной нагрузки в разомкнутой и замкнутой системах.

Момент $M_{\text{э}}$, Н·м, на валу двигателя можно найти следующим образом:

$$M_{\text{э}} = M \pm \Delta M, \quad (15)$$

где ΔM – момент потерь вращения исследуемого двигателя, Н·м;
 M – электромагнитный момент, Н·м,



$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}}{\omega}, \quad (16)$$

где ω – скорость вращения вала двигателя, рад/с;

P – электромагнитная мощность, Вт;

$U_{\text{я}}$ – напряжение на якоре двигателя М2, В;

$I_{\text{я}}$ – ток якоря М2, А;

$R_{\text{я}}$ – сопротивление якоря машины М2, Ом.

С достаточной точностью сопротивление обмотки якоря $R_{\text{я}}$, Ом, можно определить по паспортным данным М2:

$$R_{\text{я}} \approx 0,5 \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \cdot (1 - \eta). \quad (17)$$

Момент потерь ΔM , Н·м, берется из опытной кривой $\Delta M = f(\omega)$ (рисунок 15) для той скорости, для которой подсчитан электромагнитный момент M . Знак «+» соответствует двигательному режиму работы М1, знак «-» – генераторному и режиму противовключения.

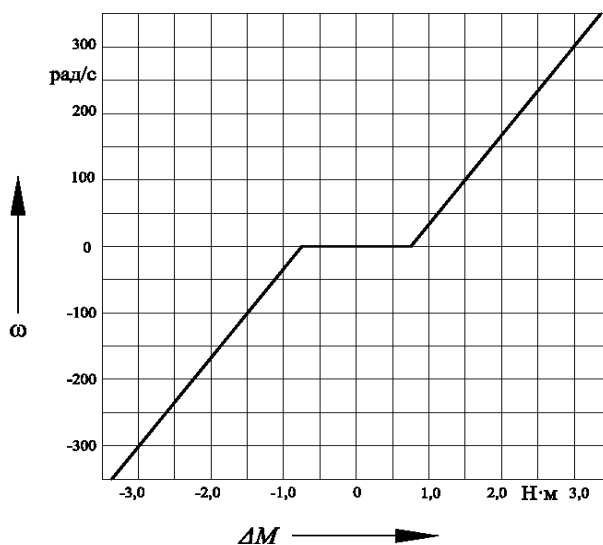


Рисунок 15 – Зависимость $\Delta M = f(\omega)$ для двигателя М1 при номинальном токе возбуждения

Полное внутреннее сопротивление двигателя М3 можно приблизительно определить по паспортным данным, приняв потери в якоре, дополнительных полюсах и щётках равными примерно половине потерь двигателя М3:

$$R_{\text{я}} \approx 0,5 \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \cdot (1 - \eta). \quad (18)$$

Диапазон регулирования скорости М3 определяется как отношение максимальной скорости М3 при номинальной нагрузке к минимальной скорости



при тех же условиях.

При этом статизм для нижней характеристики из диапазона регулирования не должен превышать заданного значения:

$$n = \frac{(\Delta\omega)_{\min}}{(\Delta\omega_0)_{\min}} \leq n_{\text{зад}}, \quad (19)$$

где $(\Delta\omega)_{\min}$ – отклонение скорости для нижней характеристики при номинальной нагрузке

$$(\Delta\omega)_{\min} = (\Delta\omega_0)_{\min} - (\Delta\omega_n)_{\min} \quad (20)$$

7.3.2 По опытным данным пп. 7.2.1–7.2.3 построить статические электромеханические $\omega = f(I_1)$ и механические $\omega = f(M_e)$ характеристики и определить токи уставки и токи упора для различных напряжений сравнения.

Контрольные вопросы

1 Изобразить и пояснить внешние характеристики ЭМУ с поперечным полем. Назначение компенсационной обмотки ЭМУ.

2 Изобразить и пояснить экскаваторные механические характеристики системы «ЭМУ – Д».

3 Объяснить работу схемы (см. рисунок 14) в режиме стабилизации с отрицательной связью по скорости.

4 Объяснить работу схемы в режиме форматирования экскаваторных характеристик.

8 Лабораторная работа № 7. Экспериментальное исследование электропривода по системе «Магнитный усилитель – двигатель»

Цель работы

1 Изучить механические характеристики электропривода по системе «Магнитный усилитель – двигатель» («МУ – Д»).

2 Экспериментально исследовать регулировочные свойства электропривода с магнитным усилителем при использовании обратных связей.

8.1 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить правила техники безопасности при выполнении данной лабораторной работы.

2 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.



3 Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. Записать паспортные данные электродвигателя М1 и нагрузочного электродвигателя М2.

4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 16).

5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

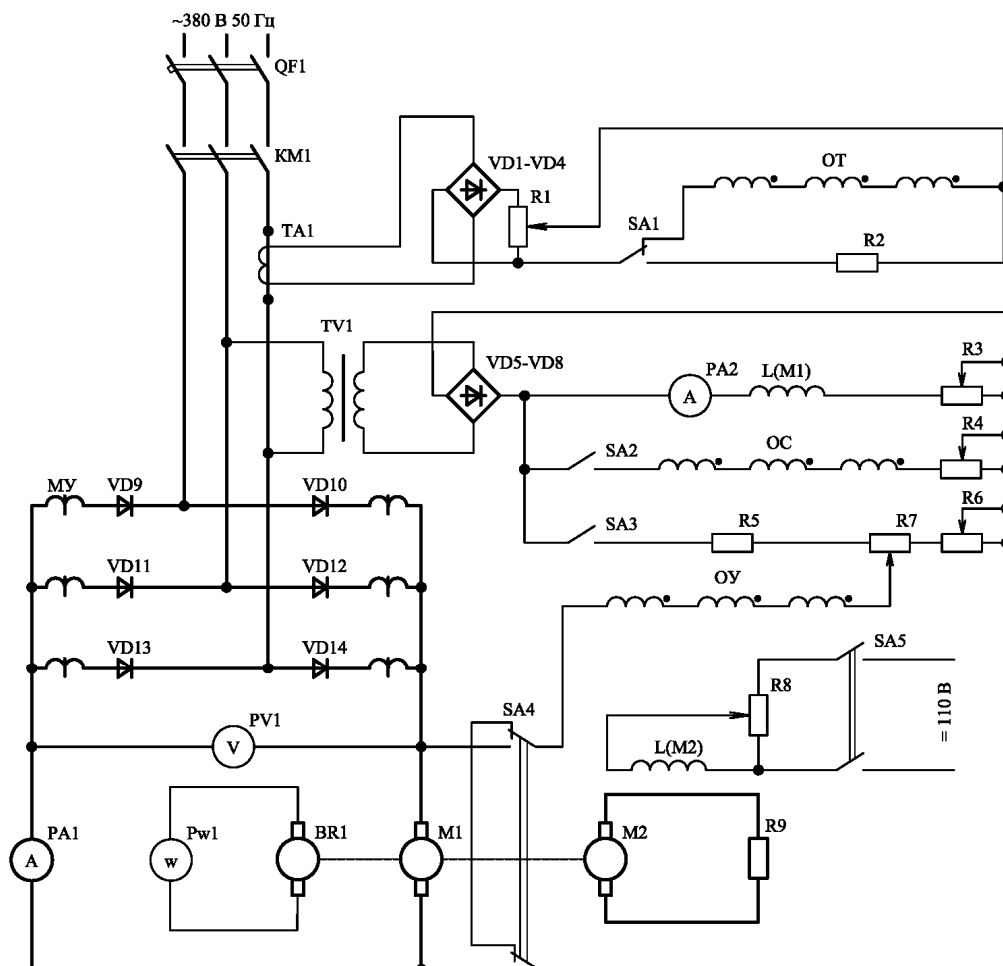


Рисунок 16 – Схема для исследования электропривода по системе «МУ – Д»

8.2 Методические указания по проведению исследований

8.2.1 Эксперимент № 1: снятие механических характеристик разомкнутой системы регулируемого привода.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности:

- 1) подать на стенд напряжение питания с помощью автоматического выключателя QF1;
- 2) с помощью переключателя SA1 отключить обмотку ОТ;
- 3) с помощью переключателя SA4 обмотку управления ОУ подсоединить к выпрямителю VD5...VD8;
- 4) регулятор скорости РС выставить в крайнее левое положение;
- 5) включить переключатели SA2, SA3;
- 6) нажать кнопку управления SB2;

7) с помощью реостата RP4 установить необходимый ток смещения в обмотке ОС, при котором скорость вращения М1 равна нулю. Плавно увеличивая напряжение задания при помощи РС, разгонять двигатель М1. Изменяя ток управления магнитного усилителя регулятором РС (а также, при необходимости, изменяя ток в обмотке смещения реостатом RP4), получить различные начальные значения напряжений на якоре при холостом ходе генератора М2 (SA5 выключен), равные U_n ; $0,75U_n$; $0,5U_n$; $0,25U_n$ двигателя М1. Нагружая двигатель М1, снять для каждой механической характеристики пять – шесть точек. При этом запрещается нагружать испытуемый двигатель М1 до тока более $1,25I_n$. Данные опытов занести в таблицу 7;

8) по окончании эксперимента снять полностью нагрузку электродвигателя М2, вывести в нуль регулятор РС и нажать кнопку SB1.

Таблица 7 – Экспериментальные и расчетные данные

Схема включения	Напряжение на двигателе при $M_c = 0$	Данные опыта				Данные расчета			
		I_ϕ	ω	I	U_ϕ	P_n	M	ΔM	M_ϕ
		А	рад/с	А	В	Вт	Н·м	Н·м	Н·м
Без обратных связей	U_n								
	$0,75U_n$								
	$0,5U_n$								
	$0,25U_n$								
С отрицательной обратной связью по напряжению	U_n								
	$0,75U_n$								
	$0,5U_n$								
	$0,25U_n$								
С отрицательной обратной связью по напряжению и внешней положительной обратной связью по току	U_n								
	$0,75U_n$								
	$0,5U_n$								
	$0,25U_n$								

Внимание! Строго запрещается переключателем SA4 производить коммутацию при включенной схеме.

8.2.2 Эксперимент № 2: снятие механических характеристик электропривода с обратной связью по напряжению для тех же заданных значений начальных напряжений.

Повторить действия п. 8.2.1, отключив с помощью переключателя SA1 обмотку ОТ и с помощью переключателя SA4 включив обмотку управления ОУ на разности напряжений – задающего и напряжения на якоре двигателя М1.

8.2.3 Эксперимент № 3: снятие механических характеристик электропривода с обратными связями по напряжению и току.

Повторить действия п. 8.2.1, с помощью переключателя SA1 включив обмотку обратной связи по току ОТ на напряжение, пропорциональное току нагрузки, который измеряется трансформатором тока ТА1, и включив с помощью переключателя SA4 обмотку управления ОУ на разности напряжений – задающего и напряжения на якоре двигателя М1.

8.3 Обработка экспериментальных данных

1 По полученным данным рассчитать моменты на валу машины М1 и построить механические характеристики $\omega = f(M_g)$.

Момент M_g , Н·м, на валу машины М1 можно найти по формуле

$$M_g = M \pm \Delta M, \quad (21)$$

где ΔM – момент потерь вращения исследуемого двигателя, Н·м;
 M – электромагнитный момент, Н·м.

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{U_y \cdot I_y - I_y^2 \cdot R_y}{\omega}, \quad (22)$$

где ω – скорость вращения вала двигателя, рад/с;

P – электромагнитная мощность, Вт;

U_y – напряжение на якоре двигателя М2, В;

I_y – ток якоря М2, А;

R_y – сопротивление якоря машины М2, Ом.

Момент потерь ΔM , Н·м, берется из опытной кривой $\Delta M = f(\omega)$ (рисунок 17)

для той скорости, для которой подсчитан электромагнитный момент M . Знак «+» соответствует двигательному режиму работы М1, знак «-» – генераторному и режиму противовключения.

Полное внутреннее сопротивление двигателя М1 с достаточной точностью можно определить по паспортным данным, приняв потери в якоре, дополнительных полосах и щетках равными примерно половине полных потерь:

$$R_y \approx 0,5 \cdot \frac{U_y}{I_y} \cdot (1 - \eta). \quad (23)$$

2 По данным результатов опытов и расчётов дать характеристику регулирования скорости двигателя постоянного тока при помощи магнитного усилителя СМУ, определить величины относительного перепада скорости в разомкнутой и замкнутой системах регулирования при изменении момента нагрузки

от минимального заданного до номинального, а также возможный диапазон регулирования М1 при указанных условиях.

Величина относительного падения скорости определяется из соотношения

$$\Delta\omega = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_2} \cdot 100 \%, \quad (24)$$

где ω_1 – скорость при минимальной заданной нагрузке, рад/с;

ω_2 – скорость двигателя при номинальной нагрузке, рад/с.

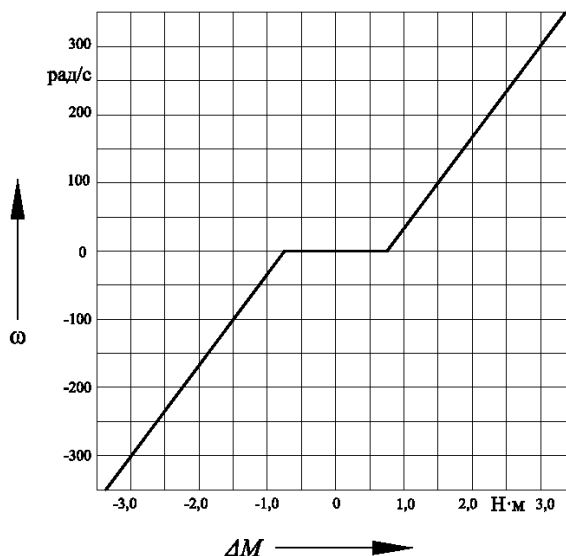


Рисунок 17 – Кривая потерь вращения двигателя МИ-32 при номинальном токе возбуждения

Диапазон регулирования скорости М1 определяется как отношение максимальной скорости М1 при номинальной нагрузке к минимальной скорости при тех же условиях.

3 По полученным данным рассчитать моменты на валу М1 и построить механические характеристики $\omega = f(M_e)$.

4 По данным результатов опытов и расчётов дать характеристику регулирования скорости двигателя постоянного тока при помощи магнитного усилителя, определить величины относительного перепада скорости в разомкнутой и замкнутой системах регулирования при изменении момента нагрузки от минимального заданного до номинального, а также возможный диапазон регулирования М1 при указанных условиях.

Контрольные вопросы

1 Начертить схему электропривода постоянного тока с магнитным усилителем и пояснить его работу.

2 Изобразить и проанализировать механические характеристики «МУ – Д» в разомкнутой и замкнутой системах регулирования.

3 Пояснить принцип действия магнитного усилителя с внутренней обратной связью по току.

4 Перечислить и пояснить преимущества и недостатки электропривода с магнитным усилителем.

5 Начертить и пояснить векторную диаграмму, иллюстрирующую работу электропривода с магнитным усилителем.

9 Лабораторная работа № 8. Экспериментальное исследование электропривода по системе «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока»

Цель работы

Исследовать регулировочные и энергетические характеристики электропривода по системе «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» («ТП–Д»).

9.1 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить правила техники безопасности при выполнении данной лабораторной работы.

2 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

3 Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. Записать паспортные данные электродвигателей М1...М2.

4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 18).

5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

9.2 Методические указания по проведению исследований

9.2.1 Эксперимент № 1: снятие механических характеристик электропривода без обратных связей.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности:

- 1) подготовить установку к проведению исследований;
- 2) переключатель QS3 установить в положение «1»;
- 3) регулятор RP1 перевести в исходное положение;
- 4) подключить лабораторную установку к сети вводным автоматическим выключателем QF3;

5) включением QF1 подать напряжение на преобразователь «ПТОР 115/10 В» и регулятором RP1 плавно разогнать двигатель М1 до необходимой скорости;

б) асинхронный двигатель М3 включить нажатием кнопки «Пуск» магнит-



ного пускателя КМ1 при предварительно включенном автоматическом выключателе QF3. Останов произвести нажатием кнопки «Стоп»;

7) подачу напряжения на обмотки возбуждения машин М3 и М2 произвести включением автоматического выключателя QF2 при предварительном подключении лабораторной установки к сети постоянного тока вводным автоматическим выключателем постоянного тока. Регулировку тока возбуждения осуществить при помощи RP2 и RP3;

8) снять электрические характеристики электропривода без обратных связей (QS3 в положении «1») для $U_0 = U_n$, $U_0 = 0,8U_n$, $U_0 = 0,4U_n$, $U_0 = 0,2U_n$ (где U_0 – напряжение на двигателе М2 при выключенном выключателе QS2; U_n – номинальное напряжение двигателя М2). Для построения семейства электромеханических характеристик электропривода следует снять не менее семь – восемь показаний приборов. Данные опытов занести в таблицу 8.

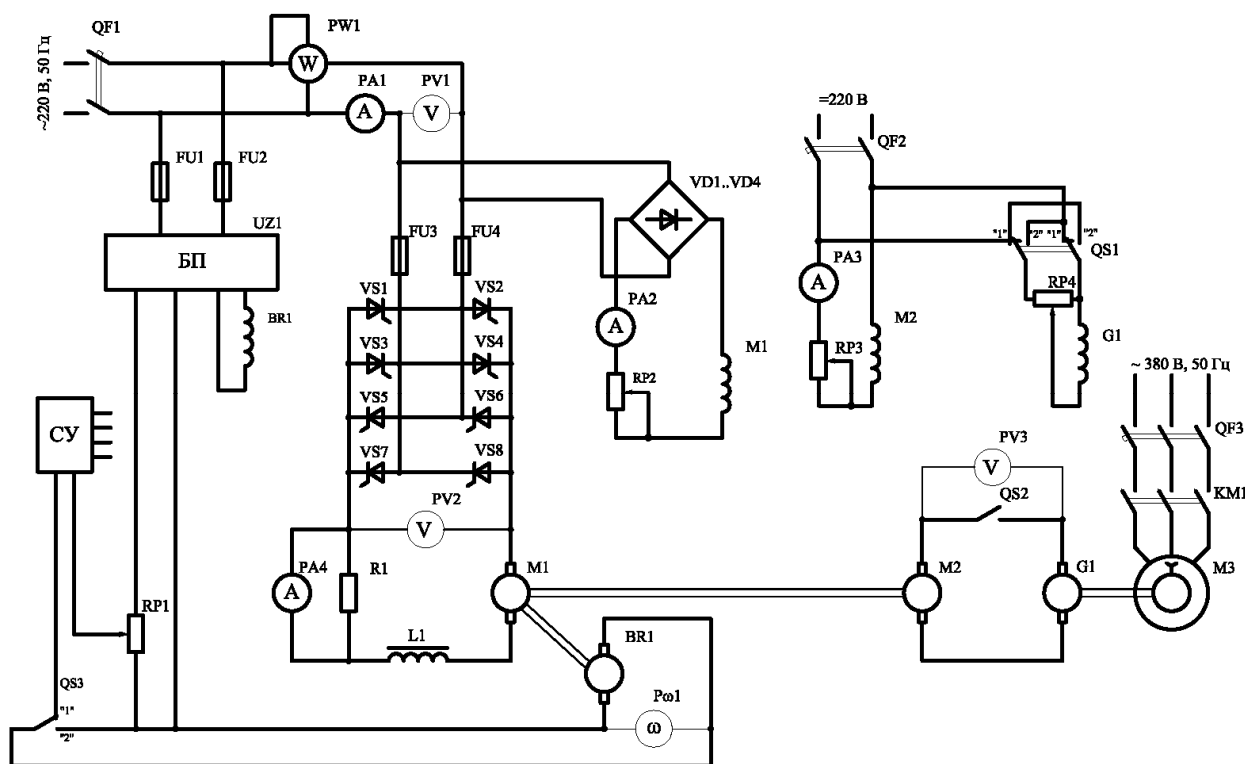


Рисунок 18 – Схема для исследования электропривода по системе «ТП – Д»

Таблица 8 – Экспериментальные и расчетные данные

Схема включения	Данные опыта								Данные расчёта		
	U_0	I_e	U_1	I_1	U	I	P	ω	$\Delta\omega_0$	η_n	$\cos \varphi_n$
	В	А	В	А	В	А	Вт	рад/с	%	%	–
Без обратных связей											
С обратной связью по скорости											

9.2.2 Эксперимент № 2: снятие механических характеристик электропривода с отрицательной обратной связью по скорости (ООС).

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности:

- 1) подготовить установку к проведению исследований;
- 2) переключатель QS3 установить в положение «2»;
- 3) регулятор RP1 перевести в исходное положение;
- 4) подключить лабораторную установку к сети вводным автоматическим выключателем QF3;
- 5) включением QF1 подать напряжение на преобразователь «ПТОР 115/10 В» и регулятором RP1 плавно разогнать двигатель M1 до необходимой скорости;
- 6) асинхронный двигатель M3 включить нажатием кнопки «Пуск» магнитного пускателя KM1 при предварительно включенном автоматическом выключателе QF3. Останов произвести нажатием кнопки «Стоп»;
- 7) подачу напряжения на обмотки возбуждения машин M3 и M2 произвести включением автоматического выключателя QF2 при предварительном подключении лабораторной установки к сети постоянного тока вводным автоматическим выключателем постоянного тока. Регулировку тока возбуждения осуществить при помощи RP2 и RP3;
- 8) снять электромеханические характеристики электропривода с ООС по скорости (QS3 в положении «1») для $U_0 = U_n$, $U_0 = 0,8U_n$, $U_0 = 0,4U_n$, $U_0 = 0,2U_n$. Данные опытов занести в таблицу 8.

9.3 Обработка экспериментальных данных

По данным исследований подразд. 9.2 построить электромеханические характеристики $\omega = f(I_n)$ привода, показать границу зоны прерывистых токов и определить для каждой характеристики теоретическое отклонение скорости по формуле

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} \cdot 100 \% . \quad (25)$$

Определить энергетические показатели преобразователя (КПД, $\cos\varphi$) для каждого из опытов подразд. 9.2. Проанализировать изменение КПД и $\cos\varphi$ преобразователя в зависимости от нагрузки на валу двигателя M4.

Коэффициент полезного действия (КПД) преобразователя

$$\eta_n = \frac{U_1 \cdot I_1}{P_1} \cdot 100 \% , \quad (26)$$

где U_1 , I_1 – выпрямленное напряжение и ток на выходе преобразователя, измеряемые приборами PV2 и PA3;

P_1 – потребляемая активная мощность из сети переменного тока, измеряемая ваттметром PW1.

Коэффициент мощности преобразователя



$$\cos \varphi_n = \frac{P_1}{U \cdot I}, \quad (27)$$

где U , I – переменное напряжение и ток на входе преобразователя, измеряемые приборами PA1 и PV1.

Контрольные вопросы

- 1 Объяснить принцип регулирования скорости в системе «ПТОР-Д».
- 2 Объяснить назначение основных блоков системы «ПТОР-Д».
- 3 Записать и пояснить уравнение электрической характеристики электропривода с управляемым выпрямителем.
- 4 Объяснить по схеме работу привода «ПТОР-Д» в режиме рекуперативного торможения.
- 5 Проанализировать регулировочные и энергетические показатели системы «ПТОР-Д».
- 6 Пояснить режимы работы электрических машин в схеме лабораторной установки, если машина ИМ работает:
 - в генераторном режиме;
 - в двигательном режиме.

Список литературы

- 1 **Ковчин, С. А.** Теория электропривода : учебник для вузов / С. А. Ковчин, Ю. А. Сабинин. – Санкт-Петербург : Энергоатомиздат, 2000. – 496 с. : ил.
- 2 **Ключев, В. И.** Теория электропривода : учебник для вузов / В. И. Ключев. – Москва : Энергоатомиздат, 1998. – 704 с. : ил.
- 3 **Фираго, Б. И.** Теория электропривода : учебное пособие / Б. И. Фираго. – Минск : Техноперспектива, 2004. – 527 с. : ил.
- 4 **Чиликин, М. Г.** Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд., доп. и перераб. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 576 с. : ил.
- 5 **Онищенко, Г. Б.** Электрический привод : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 288 с. : ил.
- 6 **Москаленко, В. В.** Электрический привод : учебник / В. В. Москаленко. – Москва : ИНФРА-М, 2015. – 364 с. : ил.

