

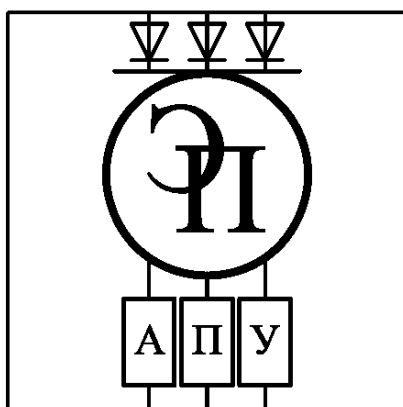
МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»
дневной и заочной форм обучения*

Часть 2



Могилев 2023

УДК 62-83
ББК 31.291
Т33

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» «2» мая 2023 г., протокол № 7

Составители: канд. техн. наук, доц. Б. Б. Скарыно;
ст. преподаватель А. С. Третьяков

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Методические рекомендации предназначены для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной и заочной форм обучения. Даны необходимые сведения для выполнения лабораторных работ.

Учебное издание

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Часть 2

Ответственный за выпуск	А. С. Коваль
Корректор	И. В. Голубцова
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 81 экз. Заказ №

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

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

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 11. Исследование электропривода по системе «генератор – двигатель» («Г – Д»)	5
2 Лабораторная работа № 12. Исследование электропривода постоянного тока по системе «магнитный усилитель – двигатель» («МУ – Д»)	9
3 Лабораторная работа № 13. Исследование регулируемого электропривода по системе «электромашинный усилитель – двигатель» («ЭМУ – Д»)	13
4 Лабораторная работа № 14. Исследование электропривода по системе «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» («ТП – Д»)	17
5 Лабораторная работа № 15. Экспериментальное определение потерь энергии в переходных режимах работы АДКЗ	21
6 Лабораторная работа № 16. Исследование электропривода с маховиком при ударной нагрузке	26
7 Лабораторная работа № 17. Исследование нагрева и охлаждения двигателя	33
8 Лабораторная работа № 18. Исследование вентильно-индукторного электропривода	38
9 Лабораторная работа № 19. Исследование сервоприводов	41
10 Лабораторная работа № 20. Исследование шаговых электроприводов	43
11 Лабораторная работа № 21. Исследование электропривода переменного тока по системе «ПЧ – АД»	46
Список литературы	47

Введение

Дисциплина «Теория электропривода» (ТЭП) 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 данных методических рекомендациях рассмотрены вопросы экспериментального исследования статических и динамических режимов работы электродвигателей и электроприводов.

1 Лабораторная работа № 11. Исследование электропривода по системе «генератор – двигатель» («Г – Д»)

Цель работы: изучение методики расчета механических характеристик электропривода по системе «Г – Д»; ознакомление с опытным исследованием системы «Г – Д» (способами регулирования скорости, режимами работы машин, диапазоном регулирования скорости).

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 $M1$, нагрузочного электродвигателя $M2$, генератора $G1$ и гонного двигателя $M3$.

4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 1).

5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

6 Рассчитать и построить естественную и ряд искусственных механических характеристик двигателя $M2$ 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». Значение напряжения и потока принять такими же, как и при экспериментальном исследовании.

Методические указания по проведению исследований

Эксперимент № 1. Снятие механических характеристик двигателя $M2$ 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 $U_1 = U_n$; $U_2 = 0,6U_n$; $U_3 = 0,4U_n$; $U_4 = 0,2U_n$. Напряжения U_1 , U_2 , U_3 , U_4 при нагрузке двигателя $M2$ не поддерживаются постоянными. Для каждой характеристики снять 4–5 точек. Данные опыта занести в таблицу 1.

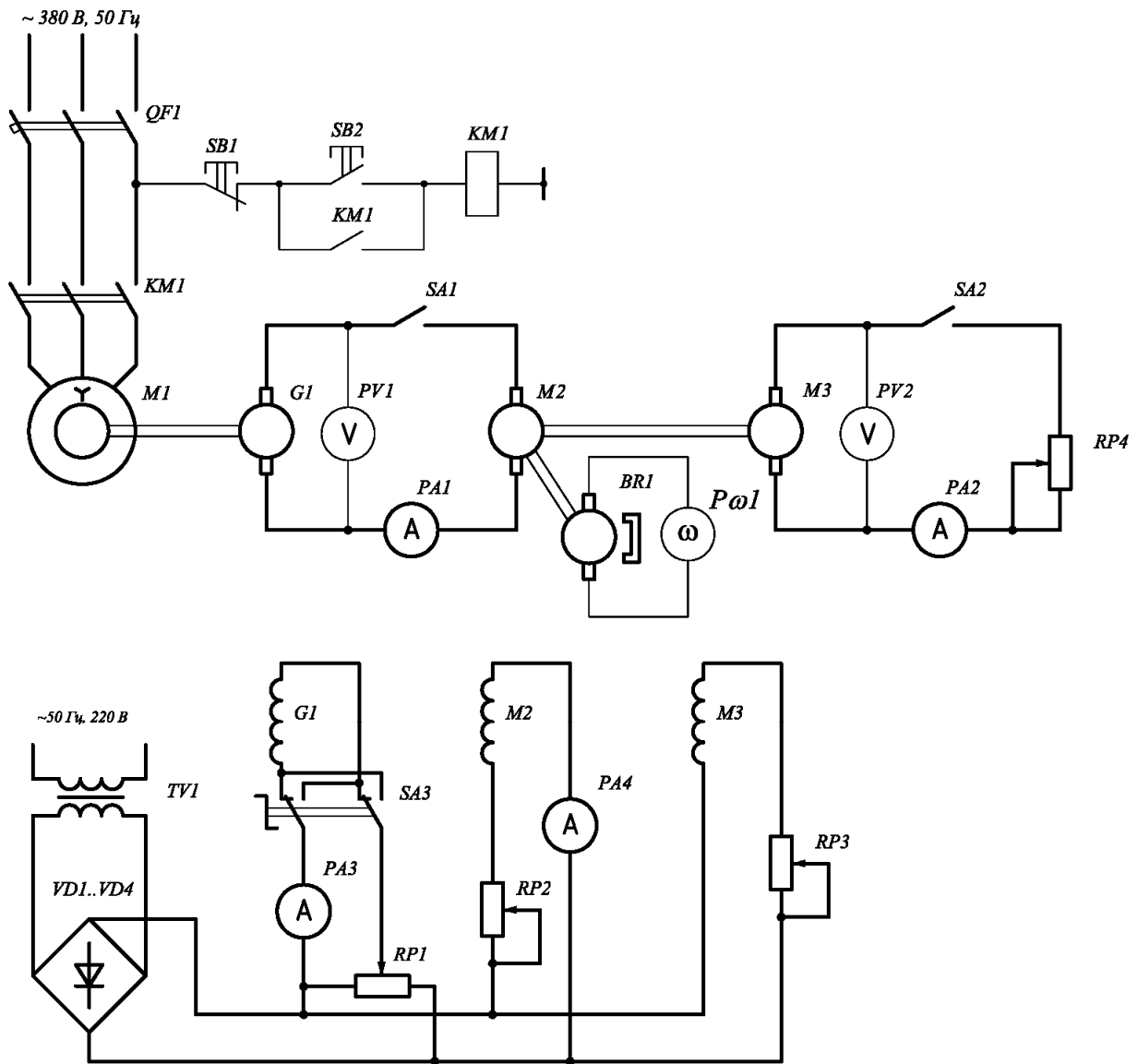


Рисунок 1 – Схема для исследования электропривода по системе «Г – Д»

6 По окончании эксперимента нажать на кнопку *SB1*.

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 *RPн* 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 При изменении потока возбуждения снимают характеристики для $\Phi_{01} = 0,8 \cdot \Phi_{0н}$; $\Phi_{01} = 0,6 \cdot \Phi_{0н}$. В этом опыте естественная характеристика при

$U_1 = U_n$ и $I_{\text{вд}} = I_{\text{вдн}}$ является исходной. Для определения $\Phi_{\text{дн}}$ необходимо воспользоваться кривой намагничивания двигателя (рисунок 2) и уже по ней определять значения тока возбуждения при заданных значениях потоков.

Во время опыта заданные значения тока возбуждения $I_{\text{вд}}$ поддерживаются неизменными. Подводимое напряжение при холостом ходе устанавливается равным номинальному и при нагрузке двигателя $M2$ не поддерживается постоянным. Данные опыта занести в таблицу 1.

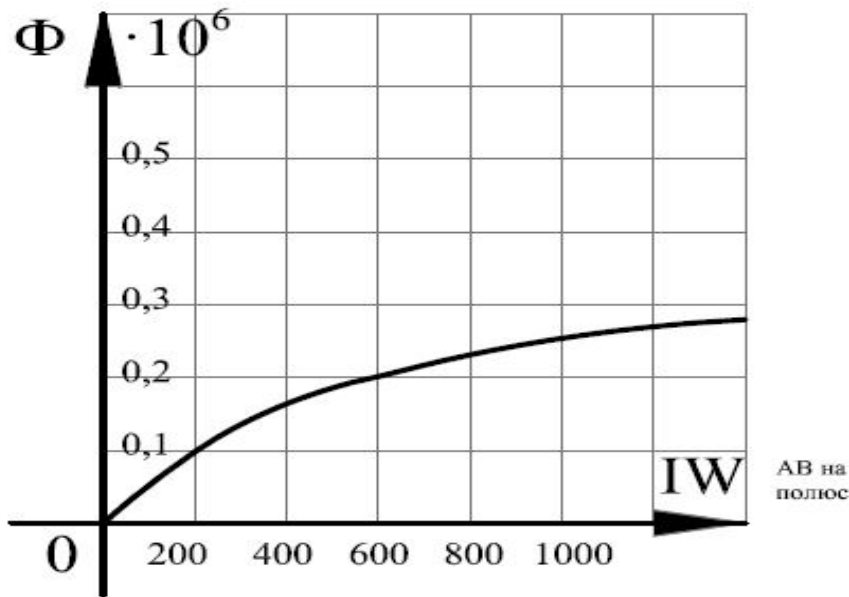


Рисунок 2 – Кривая намагничивания двигателя ПС-42

Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные данные

Способ регулирования скорости	Данные опыта					Данные расчета		
	$I_{\text{вз}}$	$I_{\text{вд}}$	U_2	$I_{\text{я}}$	ω	$U_2 \cdot I_{\text{я}}$	$I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}$	M
	А	А	В	А	рад/с	Вт	Вт	Н·м
$U_1 = U_n$								
$U_2 = 0,8 \cdot U_n$								
$U_3 = 0,6 \cdot U_n$								
$U_4 = 0,4 \cdot U_n$								
$U_5 = 0,2 \cdot U_n$								
$\Phi_{\text{д1}} = 0,8 \cdot \Phi_{\text{дн}}$								
$\Phi_{\text{д1}} = 0,6 \cdot \Phi_{\text{дн}}$								

6 По окончании эксперимента нажать на кнопку SB1.

Обработка экспериментальных данных

По экспериментальным данным рассчитать и построить механические и электромеханические характеристики двигателя $M2$.

Расчет электромагнитного момента двигателя $M2$ производится по формуле

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}}{\omega}, \quad (1)$$

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

P – электромагнитная мощность, Вт;

$U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}$ – мощность в цепи якоря, Вт;

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

$R_{\text{я}}$ – сопротивление якоря двигателя $M2$, Ом.

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

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 этой 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:

$$P = M \cdot \omega. \quad (2)$$

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

Контрольные вопросы

1 Поясните принцип действия системы «Г – Д».

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

3 Изобразите и проанализируйте регулировочные характеристики системы «Г – Д».

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

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

6 Перечислите достоинства и недостатки системы «Г – Д» и назовите пример её практического применения.

2 Лабораторная работа № 12. Исследование электропривода постоянного тока по системе «магнитный усилитель – двигатель» («МУ – Д»)

Цель работы: изучение механических характеристик электропривода по системе «МУ – Д»; экспериментальное исследование регулировочных свойств электропривода с магнитным усилителем при использовании обратных связей.

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 $M1$ и нагрузочного электродвигателя $M2$.
- 4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной (рисунок 3).
- 5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

Методические указания по проведению исследований

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 OT .
- 3 С помощью переключателя $SA4$ обмотку управления OY подсоединить к выпрямителю $VD5-V D8$.
- 4 Регулятор скорости PC 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 OC , при котором скорость вращения $M1$ равна нулю. Плавно увеличивая напряжение задания при помощи PC , разгонять двигатель $M1$. Изменяя ток управления магнитного усилителя регулятором PC (а также, при необходимости, изменяя ток в обмотке смещения реостатом $RP4$), получить различные начальные значения напряжений на якоре при холостом ходе

генератора $M2$ ($SA5$ выключен), равные U_n , $0,75 \cdot U_n$, $0,5 \cdot U_n$, $U_4 = 0,25 \cdot U_n$ двигателя $M1$.

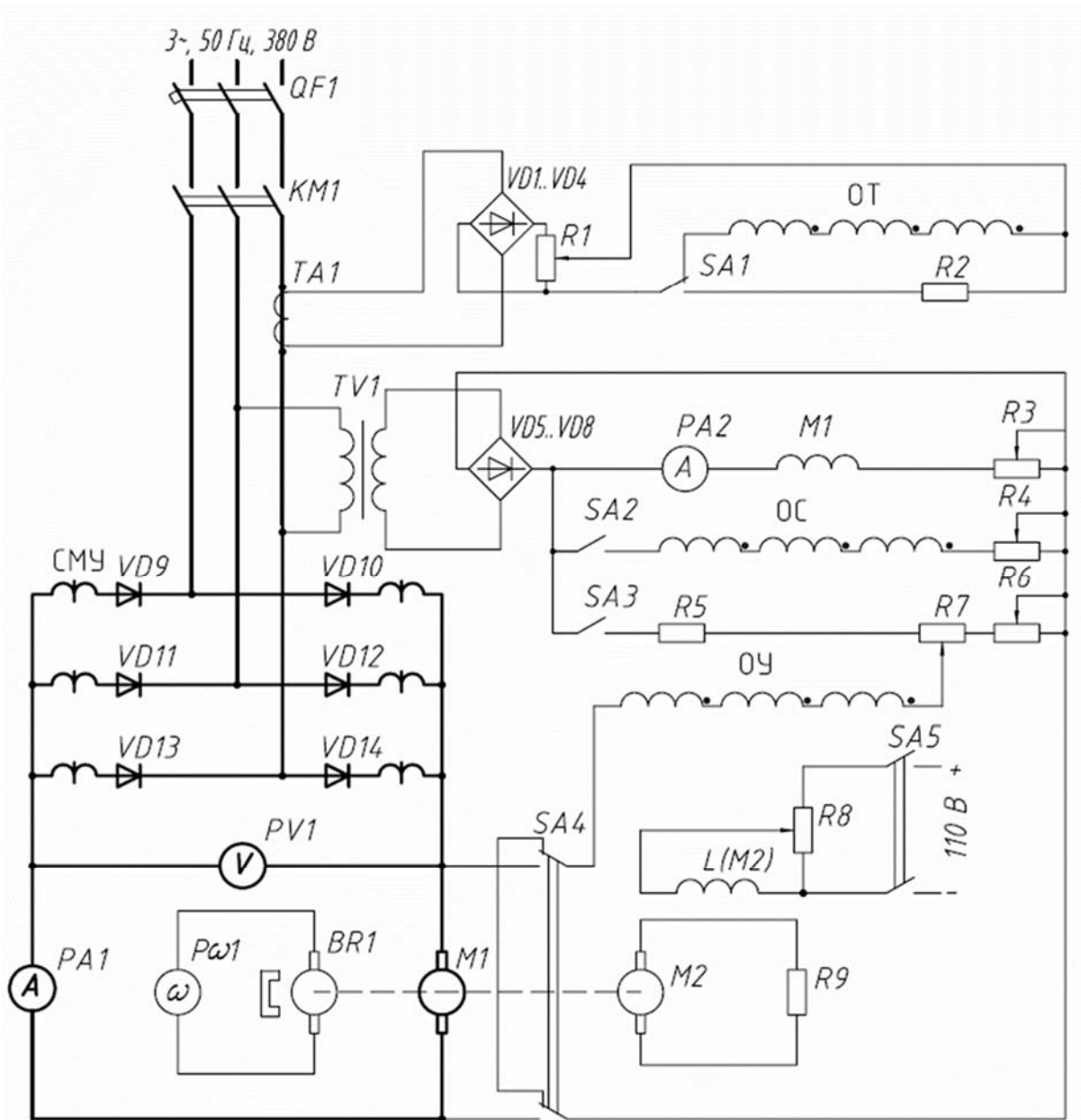


Рисунок 3 – Схема для исследования электропривода по системе «МУ – Д»

Нагружая двигатель $M1$, снять для каждой механической характеристики 5–6 точек. При этом запрещается нагружать испытуемый двигатель $M1$ до тока более $1,25 \cdot I_n$. Данные опытов занести в таблицу 2.

8 По окончании эксперимента снять полностью нагрузку электродвигателя $M2$, вывести в ноль регулятор PC и нажать на кнопку $SB1$.

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

Таблица 2 – Экспериментальные и расчетные данные

Схема включения	Напряжение на двигатель ИД при $M_c = 0$	Данные опыта				Данные расчета			
		I_B	ω	I	U	P	M	ΔM	M_ϵ
		А	рад/с	А	В	Н·м	Н·м	Н·м	Н·м
Без обратных связей	U_n								
	$0,75 \cdot U_n$								
	$0,5 \cdot U_n$								
	$0,25 \cdot U_n$								
С отрицательной обратной связью по напряжению	U_n								
	$0,75 \cdot U_n$								
	$0,5 \cdot U_n$								
	$0,25 \cdot U_n$								
С отрицательной обратной связью по напряжению и внешней положительной обратной связью по току	U_n								
	$0,75 \cdot U_n$								
	$0,5 \cdot U_n$								
	$0,25 \cdot U_n$								

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

Повторить действия эксперимента № 1, отключив с помощью переключателя SA1 обмотку OT и с помощью переключателя SA4 включив обмотку управления OY на разности напряжений – задающего и напряжения на якоре двигателя M1.

Эксперимент № 3. Снятие механических характеристик электропривода с обратными связями по напряжению и току.

Повторить действия эксперимента № 1, с помощью переключателя SA1 включив обмотку обратной связи по току OT на напряжение, пропорциональное току нагрузки, который измеряется трансформатором тока TA1, и включив с помощью переключателя SA4 обмотку управления OY на разности напряжений – задающего и напряжения на якоре двигателя M1.

Обработка экспериментальных данных

По полученным данным рассчитать моменты на валу M1 и построить механические характеристики $\omega = f(M_B)$.

Момент на валу M1 определяется по формуле

$$M_B = M \pm \Delta M, \quad (3)$$

где M – электромагнитный момент, определяемый по полученным данным из выражения

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{U \cdot I - I^2 \cdot R_{я}}{\omega}. \quad (4)$$

Момент потерь вращения исследуемого двигателя берется из опытной кривой $\Delta M = f(\omega)$ (рисунок 4) для той скорости, для которой подсчитан электромагнитный момент.

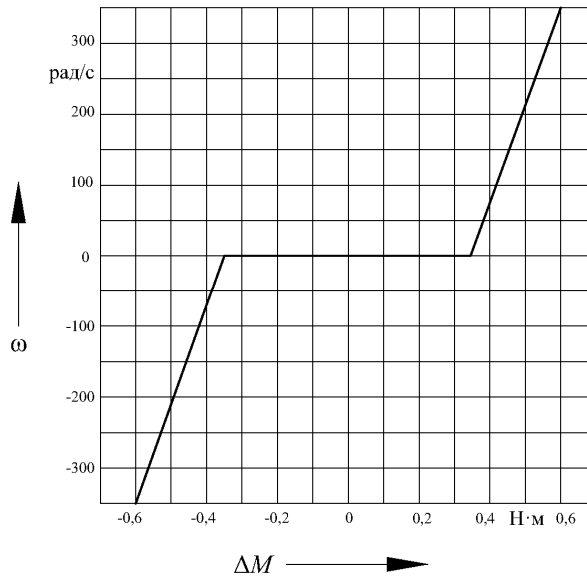


Рисунок 4 – Кривая потерь вращения двигателя МИ-32 при номинальном токе возбуждения

Полное внутреннее сопротивление двигателя $M1$ с достаточной точностью можно определить по паспортным данным, приняв потери в якоре, дополнительных полюсах и щетках равными примерно половине полных потерь:

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

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 и определить возможный диапазон регулирования $M1$ при указанных условиях.

Величина относительного падения скорости определяется из соотношения

$$\Delta\omega = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_2} \cdot 100 \%, \quad (6)$$

где ω_1 – скорость при минимальной заданной нагрузке;
 ω_2 – скорость двигателя при номинальной нагрузке.

Диапазон регулирования скорости $M1$ определяется как отношение максимальной скорости $M1$ при номинальной нагрузке к минимальной скорости при тех же условиях.

По полученным данным рассчитать моменты на валу $M1$ и построить механические характеристики $\omega = f(M_B)$.

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 и определить возможный диапазон регулирования $M1$ при указанных условиях.

Контрольные вопросы

1 Начертите схему электропривода постоянного тока с магнитным усилителем и поясните его работу.

2 Изобразите и проанализировать механические характеристики СМУ-Д в разомкнутой и замкнутой системах регулирования.

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

4 Перечислите и поясните преимущества и недостатки электропривода с магнитным усилителем.

5 Начертите и поясните векторную диаграмму, иллюстрирующую работу электропривода с магнитным усилителем.

3 Лабораторная работа № 13. Исследование регулируемого электропривода по системе «электромашинный усилитель – двигатель» («ЭМУ – Д»)

Цель работы: изучение действий связей в режиме стабилизации скорости; ознакомление с методикой опытного исследования разомкнутой и замкнутой систем регулирования по системе «ЭМУ – Д»; исследование экскаваторных механических характеристик в системе «ЭМУ – Д».

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 $M1 - M4$.

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

5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

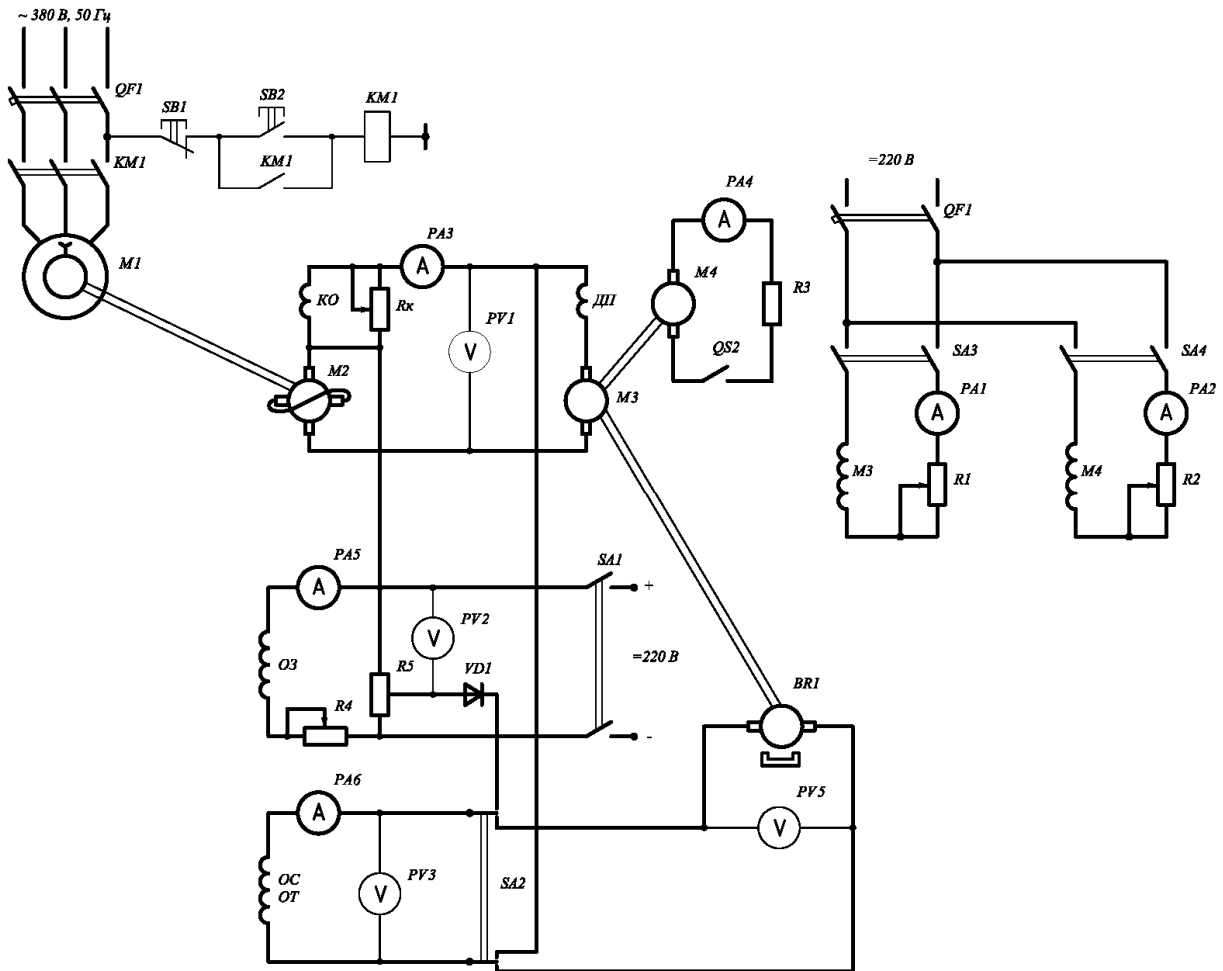


Рисунок 5 – Схема для исследования электропривода по системе «ЭМУ – Д»

Методические указания по проведению исследований

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 $M3$.

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 $M3$, который во всех опытах поддерживать неизменным.

5 Движок реостата $RP2$ выставить в нулевое положение, при котором $U_{ов}$ равняется нулю.

6 С помощью выключателя $SA1$ подать напряжение на обмотку задания электромашинного усилителя $M2$.

7 Нажать кнопку управления $SB2$.

8 Снятие механических характеристик произвести для $U_0 = U_n$; $U_0 = 0,8 \cdot U_n$; $0,8 \cdot U_n$; $0,6 \cdot U_n$; $0,4 \cdot U_n$; $0,2 \cdot U_n$, где U_0 – напряжение на якоре двигателя $M3$ при холостом ходе генератора $M4$ ($QS1$ разомкнут), устанавливаем реостатом $RP4$.

Нагрузка на двигателе $M3$ создаётся генератором $M4$ путём изменения тока возбуждения генератора реостатом $RP2$. Показания приборов для каждой характеристики занести в таблицу 3.

9 По окончании эксперимента нажать на кнопку $SB1$.

Таблица 3 – Экспериментальные и расчетные данные

Система привода	Опыт	Опыт			Расчёт				
		ω	I_1	U	$I_1 \cdot U$	$I_1 \cdot R_{я}$	M_0	ΔM	M
		рад/с	А	В	Вт	Вт	Н·м	Н·м	Н·м
Разомкнутая	$U_0 = U_n$								
	$U_0 = 0,8 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,6 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,4 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,2 \cdot U_n$								
С отрицательной обратной связью по скорости	$U_0 = U_n$								
	$U_0 = 0,8 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,6 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,4 \cdot U_n$								
	$U_0 = 0,2 \cdot U_n$								
С отрицательной обратной связью по току отсечкой	U_{cp1}								
	U_{cp2}								
	U_{cp3}								

Эксперимент № 2. Снятие механические характеристики электропривода «ЭМУ – Д» с отрицательной обратной связью по скорости.

Повторить действия эксперимента № 1, установив переключатель $SA2$ в нижнее положение.

Эксперимент № 3. Исследование экскаваторных характеристик в системе «ЭМУ – Д».

Повторить действия эксперимента № 1, установив переключатель SA2 в верхнее положение. Снятие механических характеристик произвести для напряжений сравнения U_{cp1} , U_{cp2} , U_{cp3} . Напряжение сравнения устанавливается по вольтметру PV2 при помощи потенциометра R5.

Обработка экспериментальных данных

1 По данным экспериментов № 1 и 2 построить механические характеристики и определить диапазон регулирования для номинальной нагрузки в разомкнутой и замкнутой системах.

Момент на валу двигателя ИД определяется по формуле

$$M_B = M \pm \Delta M, \quad (7)$$

где M – электромагнитный момент, определяемый из выражения

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{U \cdot I - I^2 \cdot R_{я}}{\omega}; \quad (8)$$

ΔM – момент потерь вращения исследуемого двигателя, берётся из опытной кривой $\Delta M = f(\omega)$ (рисунок 6).

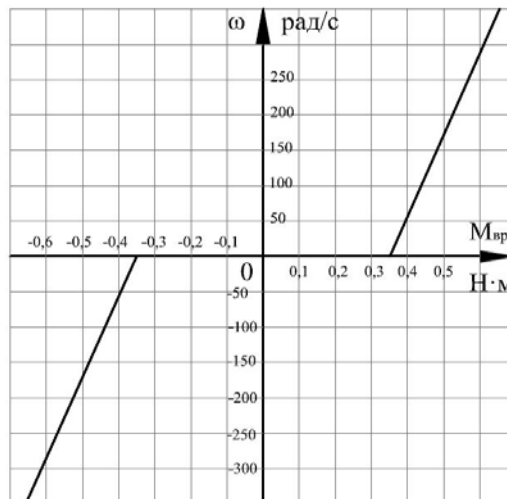


Рисунок 6 – Кривая потерь вращения $\Delta M = f(\omega)$ двигателя ПС-42 при номинальном токе возбуждения

Полное внутреннее сопротивление двигателя M3 можно приблизительно определить по паспортным данным, приняв потери в якоре, дополнительных полюсах и щётках равными примерно половине потерь двигателя M3:

$$R_{я} \approx 0,5 \cdot \frac{U_{ян}}{I_{ян}} \cdot (1 - \eta). \quad (9)$$

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

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

$$n = \frac{(\Delta\omega)_{\min}}{(\omega_0)_{\min}} \leq n_{зад}, \quad (10)$$

где $(\Delta\omega_n)_{\min}$ – отклонение скорости для нижней характеристики при номинальной нагрузке, $(\Delta\omega_n)_{\min} = (\omega_0)_{\min} - (\omega_n)_{\min}$.

2 По опытным данным эксперимента № 3 построить статические $\omega = f(I_n)$ и механические $\omega = f(M)$ характеристики и определить токи уставки и токи упора для различных напряжений сравнения.

Контрольные вопросы

1 Изобразите и поясните внешние характеристики ЭМУ с поперечным полем. Назначение компенсационной обмотки ЭМУ.

2 Изобразите и поясните экскаваторные механические характеристики электропривода «ЭМУ – Д».

3 Объясните работу схемы (см. рисунок 5) в режиме стабилизации с обратной связью по скорости.

4 Объясните работу схемы в режиме форматирования экскаваторных характеристик.

4 Лабораторная работа № 14. Исследование электропривода системе «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» («ТП – Д»)

Цель работы: исследование регулировочных и энергетических характеристик электропривода по системе «ТП – Д».

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 $M1-M2$.

4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 7).

6 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

Методические указания по проведению исследований

Эксперимент № 1. Снятие электрических характеристик электропривода без обратных связей.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подготовить установку к проведению исследований.

2 Переключатель $QS3$ установить в положение «Включено».

3 Регулятор $R5$ перевести в крайнее нижнее положение.

4 Подключить лабораторную установку к сети вводным автоматическим выключателем $QF3$.

5 Включением $QF1$ подать напряжение на преобразователь ПТОР 115/10В и регулятором $R5$ плавно разогнать двигатель $M4$ до необходимой скорости.

6 Асинхронный двигатель $M1$ 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 $R1$ и $R3$.

8 Снять электрические характеристики электропривода без обратных связей ($QS3$ в положении 2) для $U_0 = U_n$; $U_0 = 0,8 \cdot U_n$; $U_0 = 0,4 \cdot U_n$; $U_0 = 0,2 \cdot U_n$, где U_0 – напряжение на двигателе $M4$ при выключенном выключателе $QS2$; U_n – номинальное напряжение двигателя $M4$. Для построения семейства электромеханических характеристик электропривода следует снять не менее 7–8 показаний приборов. Данные опытов занести в таблицу 4.

Эксперимент № 2. Снятие механические характеристики электропривода «ЭМУ – Д» 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 «Включено».

3 Регулятор $R5$ перевести в крайнее нижнее положение.

4 Подключить лабораторную установку к сети вводным автоматическим выключателем $QF3$.

5 Включением $QF1$ подать напряжение на преобразователь ПТОР 115/10В и регулятором $R5$ плавно разогнать двигатель $M4$ до необходимой скорости.

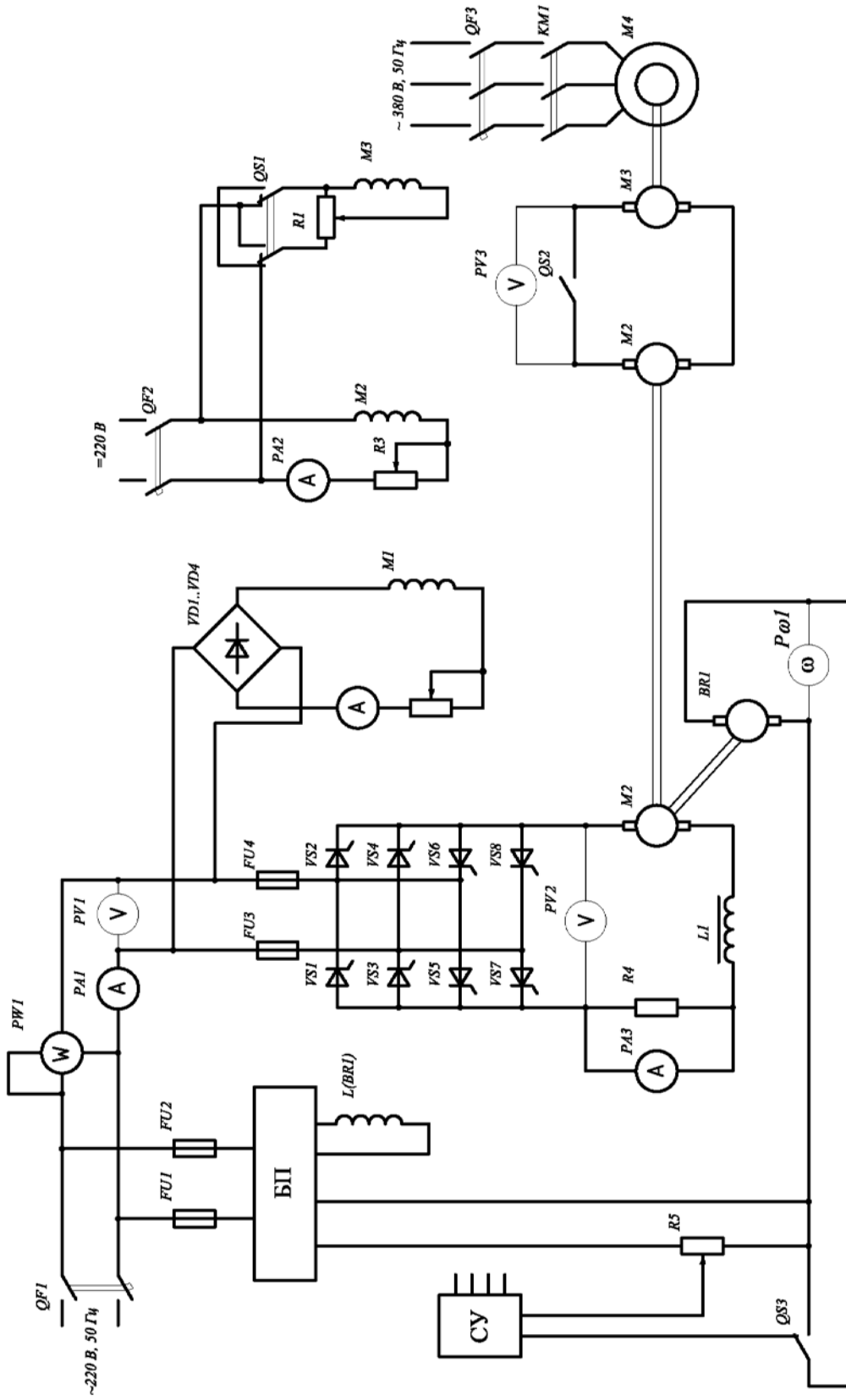


Рисунок 7 – Схема для исследования электропривода по системе «ЭМУ – Д»

6 Асинхронный двигатель $M1$ 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 $R1$ и $R3$.

8 Снять электромеханические характеристики электропривода с обратной связью по скорости ($QS3$ в положении 1) для $U_0 = U_n$; $U_0 = 0,8 \cdot U_n$; $U_0 = 0,4 \cdot U_n$; $U_0 = 0,2 \cdot U_n$. Данные опытов занести в таблицу 4.

Таблица 4 – Экспериментальные и расчетные данные

Схема включения	Данные опыта								Данные расчёта		
	U_0	I_B	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	%	%	град
Без обратных связей											
С обратной связью по скорости											

Обработка экспериментальных данных

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

$$\Delta\omega = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_2} \cdot 100 \% . \quad (11)$$

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

Коэффициент полезного действия (КПД) преобразователя

$$\eta_n = \frac{U_1 \cdot I_1}{P_1} \cdot 100 \% , \quad (12)$$

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 определяется из выражения

$$\cos \varphi_n = \frac{P_1}{U \cdot I}, \quad (13)$$

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

Контрольные вопросы

- 1 Объясните принцип регулирования скорости в системе ПТОР-Д.
- 2 Объясните назначение основных блоков ПТОР115/10В.
- 3 Запишите и поясните уравнение электрической характеристики электропривода с управляемым выпрямителем.
- 4 Объясните по схеме работу привода ПТОР-Д в режиме рекуперативного торможения.
- 5 Проанализируйте регулировочные и энергетические показатели типа ЭТОР.

5 Лабораторная работа № 15. Экспериментальное определение потерь энергии в переходных режимах работы АДКЗ

Цель работы: изучение методики расчета времени разгона систем с приводом от асинхронного электродвигателя с к. з. ротором; исследование опытным путём переходных процессов при пуске и торможении асинхронного двухскоростного электродвигателя с к. з. ротором; изучение методики исследования переходных процессов при пуске и торможении асинхронного электродвигателя с к. з. ротором.

Подготовка к выполнению работы

- 1 Изучить правила техники безопасности при выполнении данной лабораторной работы.
- 2 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.
- 3 Рассчитать и построить естественные механическую и электромеханическую характеристики испытуемого асинхронного электродвигателя.
- 4 С помощью графоаналитического метода построить кривую $\omega = f(t)$ и определить время пуска испытуемого асинхронного электродвигателя.
- 5 Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. Записать паспортные данные электрической машины $M1$.

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

Методические указания по проведению исследований

Эксперимент № 1. Пуск двигателя $M1$ до малой скорости.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подать на стенд напряжение питания.

2 Включить кнопку управления $SB2$ – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя $KM1$.

3 Включить кнопку управления $SB4$ – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя $KM3$.

4 В момент нажатия кнопки $SB2$ начинается затяжной пуск электродвигателя $M1$, о чем свидетельствуют показания тахометра $PV1$. В этот момент переключатель $SA1$ надо поставить в положение 2, чтобы переключить диапазон измерения амперметра $PA1$. Далее, используя программу «Осциллограф», снять осциллограммы тока и скорости.

5 По окончании эксперимента нажать на кнопку $SB1$ – разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей $KM1$ и $KM3$.

Эксперимент № 2. Пуск двигателя $M1$ до малой скорости с переходом на большую.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подать на стенд напряжение питания.

2 Включить кнопку управления $SB2$ – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя $KM1$.

3 Включить кнопку управления $SB4$ – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя $KM3$.

4 В момент нажатия кнопки $SB2$ начинается затяжной пуск электродвигателя $M1$, о чем свидетельствуют показания тахометра $PV1$. В этот момент переключатель $SA1$ надо поставить в положение 2, чтобы переключить диапазон измерения амперметра $PA1$. Далее, используя программу «Осциллограф», снять осциллограммы тока и скорости.

5 При выходе электродвигателя $M1$ на малую скорость сделать следующие переключения:

– нажать на кнопку $SB1$ – разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей $KM1$ и $KM2$;

– нажать на кнопку $SB2$ – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя $KM1$;

– нажать на кнопку $SB5$ – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя $KM4$.

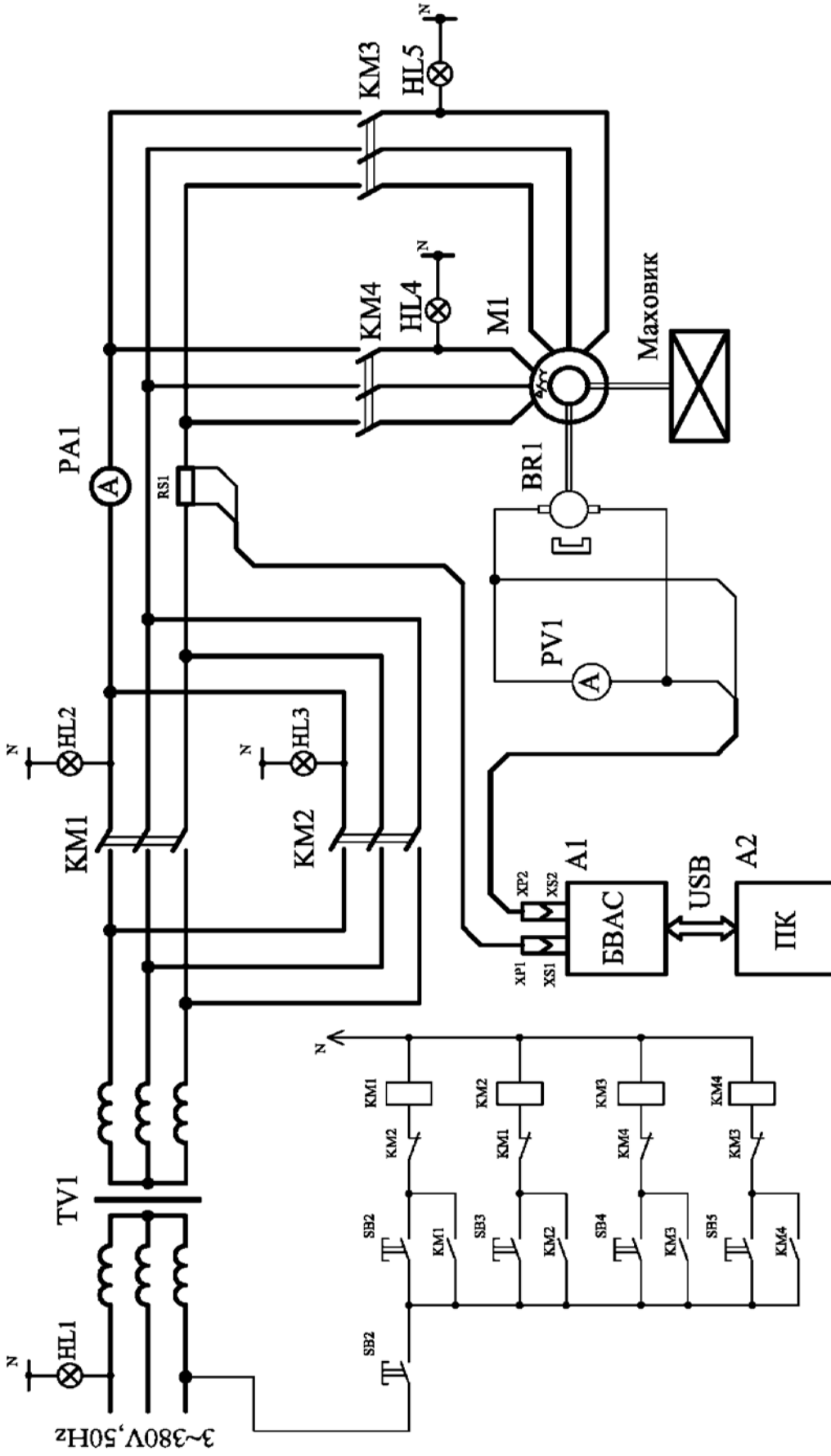


Рисунок 8 – Схема электрическая принципиальная стенда

6 По окончании эксперимента нажать на кнопку *SB1* – разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей *KM1* и *KM2*.

Эксперимент № 3. Пуск двигателя *M1* до большой скорости с последующим реверсированием.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подать на стенд напряжение питания.

2 Включить кнопку управления *SB2* – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя *KM1*.

3 Включить кнопку управления *SB5* – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя *KM4*.

4 В момент нажатия кнопки *SB5* начинается затяжной пуск электродвигателя *M1*, о чем свидетельствуют показания тахометра *PV1*. В этот момент переключатель *SA1* надо поставить в положение 2, чтобы переключить диапазон измерения амперметра *PA1*. Далее, используя программу «Осциллограф», снять осциллограммы тока и скорости.

5 Для реверсирования электродвигателя *M1* необходимо выполнить следующие действия:

- нажать на кнопку *SB1* – разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей *KM1* и *KM5*;

- нажать на кнопку *SB3* – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя *KM2*;

- нажать на кнопку *SB5* – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя *KM4*.

6 По окончании эксперимента нажать на кнопку *SB1* – разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей *KM1* и *KM2*.

Эксперимент № 4. Пуск двигателя *M1* до большой скорости с последующим генераторным (рекуперативным) торможением двигателя (переходом с большой скорости на меньшую).

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подать на стенд напряжение питания.

2 Включить кнопку управления *SB2* – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя *KM1*.

3 Включить кнопку управления *SB5* – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя *KM4*.

4 В момент нажатия кнопки *SB5* начинается затяжной пуск электродвигателя *M1*, о чем свидетельствуют показания тахометра *PV1*. В этот момент переключатель *SA1* надо поставить в положение 2, чтобы переключить диапазон измерения амперметра *PA1*. Далее, используя программу «Осциллограф», снять осциллограммы тока и скорости.

5 Для рекуперативного торможения электродвигателя *M1* необходимо выполнить следующие действия:

- нажать на кнопку *SB1* – разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей *KM1* и *KM5*;

– нажать на кнопку SB3 – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя $KM1$;

– нажать на кнопку SB4 – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя $KM3$.

6 По окончании эксперимента нажать на кнопку SB1 – разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей $KM1$ и $KM2$.

Обработка экспериментальных данных

1 Для сохранения массива точек для последующей их обработки в табличном редакторе в меню «Файл» программы «Осциллограф» выбрать пункт «Сохранить». В открывшемся окне ввести имя файла, выбрать тип файла «ИВАНОВ.txt» (имя файла приведено для примера) и для облегчения построения экспериментальных кривых на любом персональном компьютере выбрать число пропускаемых точек.

2 Открыть полученный «ИВАНОВ.txt» – файл в программе MS Excel или любой аналогичной (указав в качестве открываемого типа файла текстовый). Далее в диалоговом окне указать разделение данных табуляцией.

При правильно выполненной операции откроется рабочий лист с введенными значениями времени и снятого сигнала (тока или скорости). Далее используя, мастер построения диаграмм, построить диаграмму зависимости снятого сигнала от времени.

3 По вышеприведенной методике построить тренды $I = f(t)$ и $\omega = f(t)$.

На основе данных эксперимента № 1 рассчитать общие потери при пуске двигателя $M1$ до малой скорости:

$$\Delta A_{II} = \frac{J \cdot \omega_0^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{r_1}{r_2} \right). \quad (14)$$

4 На основе данных эксперимента № 2 рассчитать общие потери при пуске двигателя $M1$ до малой скорости по формуле (14) и общие потери при пуске двигателя $M1$ до высшей скорости:

$$\Delta A_{II-2} = \frac{J}{2} \cdot \frac{\omega_0^2}{4} \cdot \left(1 + \frac{r_1}{r_2} \right), \quad (15)$$

а также общие потери при переходе двигателя $M1$ с малой скорости на большую:

$$\Delta A_{II,2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{J \cdot \omega_0^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{r_1}{r_2} \right). \quad (16)$$

5 На основе данных эксперимента № 3 рассчитать общие потери при генераторном торможении:

$$\Delta A_{\text{пт}} = \frac{3 \cdot J \cdot \omega_0^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{r_1}{r_2} \right). \quad (17)$$

7 С помощью графоаналитического метода построить кривую $\omega = f(t)$ и определить время пуска испытуемого асинхронного электродвигателя.

Контрольные вопросы

1 Изобразите и поясните механические характеристики двигателя переменного тока для известных пуско-тормозных режимов при активных и реактивных статических моментах на валу;

2 Поясните графоаналитический метод определения времени разгона электродвигателя.

3 Запишите и проанализируйте выражение для определения потерь энергии в обмотках статора и ротора асинхронного двигателя при:

- пуске;
- торможении противовключением;
- реверсировании без нагрузки ($M_c = 0$).

4 Поясните цели и задачи при решении переходных режимов и влиянии последующих на работу рабочих машин.

6 Лабораторная работа № 16. Исследование электропривода с маховиком при ударной нагрузке

Цель работы: изучение работы электропривода при циклическом приложении ударной нагрузки; исследование влияния маховика на вид нагрузочной диаграммы привода при ударной нагрузке; исследование влияния жесткости механической характеристики двигателя на коэффициент использования маховика.

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 электрических машин $M1$ и $M2$.

4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 9).

5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

Методические указания по проведению исследований

Эксперимент № 1. Построение механических характеристик нагрузочной машины $M2$, работающей в режиме противовключения.

Построение каждой механической характеристики производится по двум точкам с координатами $[\omega_0; M = 0]$ и $[\omega; M]$.

Определение координат точки $[\omega_0; M = 0]$. По паспортным данным электродвигателя $M2$ (см. таблицу 1) определяется значение ω_0 по формуле

$$\omega_0 = \frac{U}{c_e \cdot c_m}, \quad (18)$$

где

$$c_e = \frac{U_n - I_{ян} \cdot r_{я}}{\omega_n}; \quad (19)$$

$$c_m = \frac{P_n}{\omega_n \cdot I_{ян}}; \quad (20)$$

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}. \quad (21)$$

Определение координат точки $[\omega; M]$. Измерения следует выполнить для всех резисторов $R3-R6$. Выбор сопротивления введенного в цепь якоря электродвигателя $M2$ производится при помощи поворотного переключателя $SA5$.

Для определения координат точки $[\omega; M]$ необходимо измерить значение тока I_2 и скорости ω машины $M2$, работающей в режиме противовключения.

Для этого необходимо выполнить действия в следующей последовательности.

1 Переключатель $SA2$ и переключатель $SA3$ установить в положение «Выключено» – дополнительные резисторы включены в цепь якоря электродвигателя $M1$.

2 Включить переключатель $SA1$ – подается напряжение переменного тока в цепь питания катушек управления контакторами $KM1, KM2$, микроконтроллера $A1$, ПЭВМ $A2$ и БВАС $A3$.

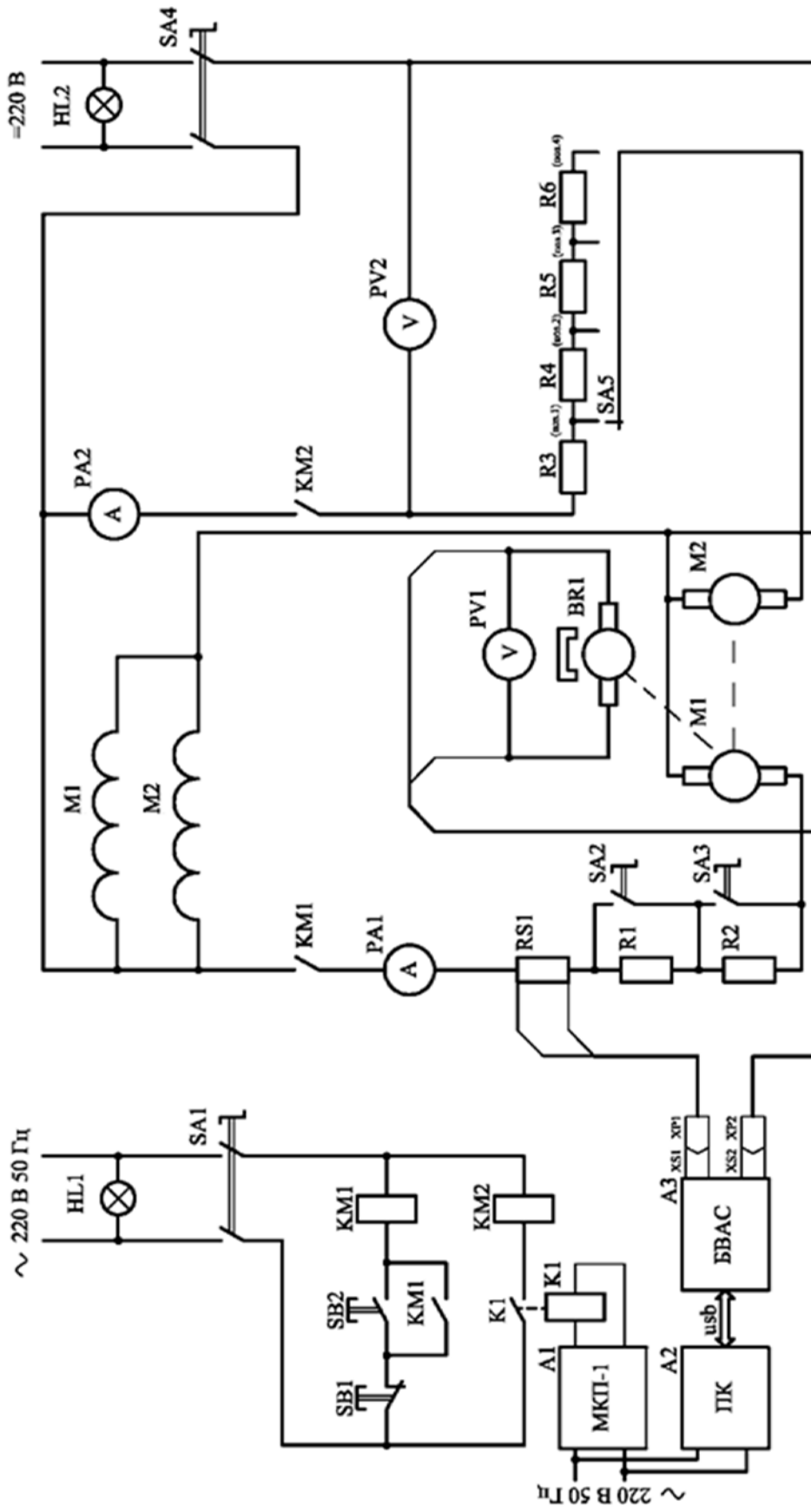


Рисунок 9 – Схема электрическая принципиальная стенда

3 Включить переключатель *SA4*.

4 Переключатель *SA5* установить в положение «Поз. 4» – дополнительные резисторы *R3*, *R4*, *R5*, *R6* включены в цепь якоря электродвигателя *M2*.

5 На панели управления микроконтроллера выполняют следующие операции:

– одновременно нажать клавиши Р и 1 – выбирается режим работы микроконтроллера «ввод программы», что подтверждается свечением светодиода ВП;

– набрать команду 0501 и нажать любую клавишу с цифрой – включается дискретный выход 01, что подтверждается свечением светодиода «1». Символы, которые набираются, отображаются на однострочном дисплее микроконтроллера *A1*. Происходит включение электродвигателя *M2*.

Включение катушки управления контактора *KM2* выполняется контактом промежуточного реле *K1*, катушка управления которого включена на выход микроконтроллера *A1*. Контакт контактора *KM2* замыкает цепь питания обмотки якоря электродвигателя *M2*.

6 Показания приборов *PA1*, *PA2*, *PV1*, *PV2* и положение переключателей *SA2*, *SA3*, *SA5* записать в таблицу 5 после завершения переходных процессов.

Таблица 5 – Результаты экспериментальных исследований

Номер опыта	<i>PA1</i> , А	<i>PA2</i> , А	<i>PV1</i> , об/мин	<i>PV2</i> , В	<i>SA2</i>	<i>SA3</i>	<i>SA5</i>	<i>M</i> , Н·м
1					–	–	Поз. 4	
2					+	–	Поз. 4	
3					+	+	Поз. 4	
4					–	–	Поз. 3	
5					+	–	Поз. 3	
6					+	+	Поз. 3	
7					–	–	Поз. 2	
8					+	–	Поз. 2	
9					+	+	Поз. 2	
10					–	–	Поз. 1	
11					+	–	Поз. 1	
12					+	+	Поз. 1	

7 Перевести переключатель *SA2* в положение «Включено» и записать данные в таблицу 3 после завершения переходных процессов. Далее – до заполнения всех ячеек таблицы 3.

8 На панели управления микроконтроллера следует набрать команду 0601 и нажать любую клавишу с цифрой – выключается дискретный выход 01, что подтверждается прекращением свечения светодиода 1. Происходит отключение электродвигателя *M2*.

9 Нажать на кнопочный выключатель *SB1* «Стоп» – разрывается цепь питания катушки управления контактора *KM1*, контактор *KM1* отключается. Вто-

рой контакт контактора $KM1$ размыкает цепь питания обмотки якоря электродвигателя $M1$, происходит останов (свободный выбег) электродвигателя $M1$.

10 Перевести переключатель $SA1$ в положение «Выключено» – отключается напряжение переменного тока в цепи питания катушек управления контакторами $KM1$, $KM2$, микроконтроллера $A1$, ПЭВМ $A2$ и БВАС $A3$.

11 Перевести переключатель $SA4$ в положение «Выключено» – отключается напряжение постоянного тока.

12 Рассчитать значение момента электродвигателя $M1$ по формуле

$$M = c_M \cdot I_2, \quad (22)$$

Занести его в таблицу 5.

Эксперимент № 2. Определение момента холостого хода привода.

Определение момента холостого хода привода выполняют при отключенном электродвигателе $M2$.

Для этого необходимо выполнить действия в следующей последовательности.

1 Переключатель $SA2$ и переключатель $SA3$ установить в положение «Выключено» – дополнительные резисторы включены в цепь якоря электродвигателя $M1$.

2 Включить переключатель $SA1$ – подается напряжение переменного тока в цепь питания катушек управления контакторами $KM1$, $KM2$, микроконтроллера $A1$, ПЭВМ $A2$ и БВАС $A3$.

3 Включить переключатель $SA4$ – подается напряжение постоянного тока в следующие цепи питания:

- обмотки возбуждения электродвигателя $M1$;
- обмотки возбуждения электродвигателя $M2$;
- обмотки якоря электродвигателя $M1$;
- обмотки якоря электродвигателя $M2$.

4 Нажать на кнопочный выключатель $SB2$ «Пуск» – подается напряжение в цепь питания катушки управления контактора $KM1$, катушка управления контактора $KM1$ ставится на «самопитание», контактом $KM1$. Второй контакт контактора $KM1$ замыкает цепь питания обмотки якоря электродвигатель $M1$, происходит разгон электродвигателя $M1$, что визуально можно контролировать, считывая показания вольтметра $PV1$.

5 Показания приборов $PA1$, $PV1$, $PV2$ и положение переключателей $SA2$, $SA3$ записать в таблицу 6 после завершения переходных процессов.

6 Перевести переключатель $SA2$ в положение «Включено» и записать данные в таблицу 4 после завершения переходных процессов. Далее – до заполнения всех ячеек таблицы 4.

7 Нажать на кнопочный выключатель $SB1$ «Стоп» – разрывается цепь питания катушки управления контактора $KM1$, контактор $KM1$ отключается. Вторым контактом контактора $KM1$ размыкает цепь питания обмотки якоря электродвигателя $M1$, происходит останов (свободный выбег) электродвигателя $M1$.

Таблица 6 – Результаты экспериментальных исследований

Номер опыта	$PA1, A$	$PV1, \text{об/мин}$	$PV2, B$	$SA2$	$SA3$	$M, H \cdot m$
1				–	–	
2				+	–	
3				+	+	

8 Перевести переключатель $SA1$ в положение «Выключено» – отключается напряжение переменного тока в цепи питания катушек управления контакторами $KM1, KM2$, микроконтроллера $A1$, ПЭВМ $A2$ и БВАС $A3$.

9 Перевести переключатель $SA4$ в положение «Выключено» – отключается напряжение постоянного тока.

10 Рассчитать значение момента электродвигателя $M1$ по формуле (19), занести в таблицу 6.

Эксперимент № 3. Составление программы для контроллера $A1$ для управления созданием ударной нагрузки в автоматическом режиме.

Для создания циклической ударной нагрузки используется программируемый логический контроллер $A1$. Типовая программа представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Типовая программа для автоматического режима

Адрес команды	Команда	Описание команды
	«Р» «3»	Одновременное нажатие клавиш Р и 3
000	0501	Последовательное нажатие цифровых клавиш, включение дискретного выхода 01, включение электродвигателя $M2$ (наброс нагрузки)
001	07XX	Последовательное нажатие цифровых клавиш, программирование выдержки времени, время работы электродвигателя $M2$
002	0601	Последовательное нажатие цифровых клавиш, выключение дискретного выхода 01, выключение электродвигателя $M2$ (сброс нагрузки)
003	07YY	Последовательное нажатие цифровых клавиш, программирование выдержки времени, <i>время паузы для работы электродвигателя $M2$</i>
004	0900	Последовательное нажатие цифровых клавиш, безусловный переход на нулевой адрес 000
	«Сбр»	Нажатие клавиши «Сбр», запись программы в ОЗУ

В данной типовой программе знаками XX, YY обозначается выдержка времени, записываемая в шестнадцатеричном коде. Величине «1», записанной в шестнадцатеричной форме, соответствует время 0,1 с, величине «5», записанной в шестнадцатеричной форме – время 0,5 с и т. д.

Данные для составления программы студент выбирает из таблицы 8 в соответствии со своим вариантом.

Таблица 8 – Данные для составления программы автоматического режима

Время работы	Время паузы	Время работы	Время паузы	Время работы	Время паузы
XX	YY	XX	YY	XX	YY
3	5	31	15	13	15
4	6	41	16	14	16
5	7	51	17	15	17
6	8	61	18	16	18
7	9	71	19	17	19
8	10	81	110	18	10
8	9	81	19	18	19
8	8	81	18	18	18
9	7	91	17	19	17
6	6	61	16	16	16

Эксперимент № 4. Выполнение ввода и запись программы в контроллер А1.

Одновременно следует нажимать клавиши Р и 0 – выбирается режим работы контроллера «автоматический режим», что подтверждается свечением светодиода А.

Набрать команду 0501 и нажать любую клавишу с цифрой – включается дискретный выход 01, что подтверждается свечением светодиода 1 и т. д. Символы, которые набираются, отображаются на однострочном дисплее контроллера А1.

Нажать клавишу «Сбр» – происходит запись программы в ОЗУ контроллера.

Обработка экспериментальных данных

1 Для сохранения массива точек для последующей их обработки в табличном редакторе в меню «Файл» программы «Осциллограф» выбрать пункт «Сохранить». В открывшемся окне ввести имя файла, выбрать тип файла «.txt» и для облегчения построения экспериментальных кривых на любом персональном компьютере выбрать число пропускаемых точек.

2 Открыть полученный «.txt» – файл в программе MS Excel или любой аналогичной (указав в качестве открываемого типа файла текстовый). Далее в диалоговом окне указать разделение данных табуляцией.

При правильно выполненной операции откроется рабочий лист с введенными значениями времени и снятого сигнала (тока или скорости). Далее используя, мастер построения диаграмм, построить диаграмму зависимости снятого сигнала от времени.

3 По вышеприведенной методике построить тренды $M_c = f(t)$, $M_1 = f(t)$, и $\omega = f(t)$.

Контрольные вопросы

- 1 Поясните особенность выбора двигателя при ударной нагрузке на валу.
- 2 Запишите и поясните выражение момента, развиваемого двигателем, в функции времени для участка наброса нагрузки.
- 3 Запишите и поясните выражение момента, развиваемого двигателем, в функции времени для участка холостого хода.
- 4 Поясните назначение маховика в приводе с ударной нагрузкой.
- 5 Поясните методику расчёта момента инерции маховика в приводе с ударной нагрузкой.
- 6 Какие размеры маховика в большей степени влияют на момент инерции электропривода?
- 7 Как изменится момент инерции электропривода при изменении диаметра маховика в 2 раза?

7 Лабораторная работа № 17. Исследование нагрева и охлаждения двигателя

Цель работы: изучение законов нагрева и охлаждения асинхронного электродвигателя; изучение особенностей режимов работы S1–S8; снятие осциллограммы нагрева и охлаждения при заданном режиме работы; определение постоянных времени нагрева и охлаждения асинхронного электродвигателя; определение номинальной мощности асинхронного электродвигателя по его нагреву.

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 электрических машин M1 и M2.
- 4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной лабораторной установки (рисунок 10).
- 5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

Методические указания по проведению исследований

Эксперимент № 1. Снятие осциллограммы тока статора $I_1 = f(t)$ и температуры $T = f(t)$ испытуемого электродвигателя M1 при режиме работы S1 и ПВ = 100 %.

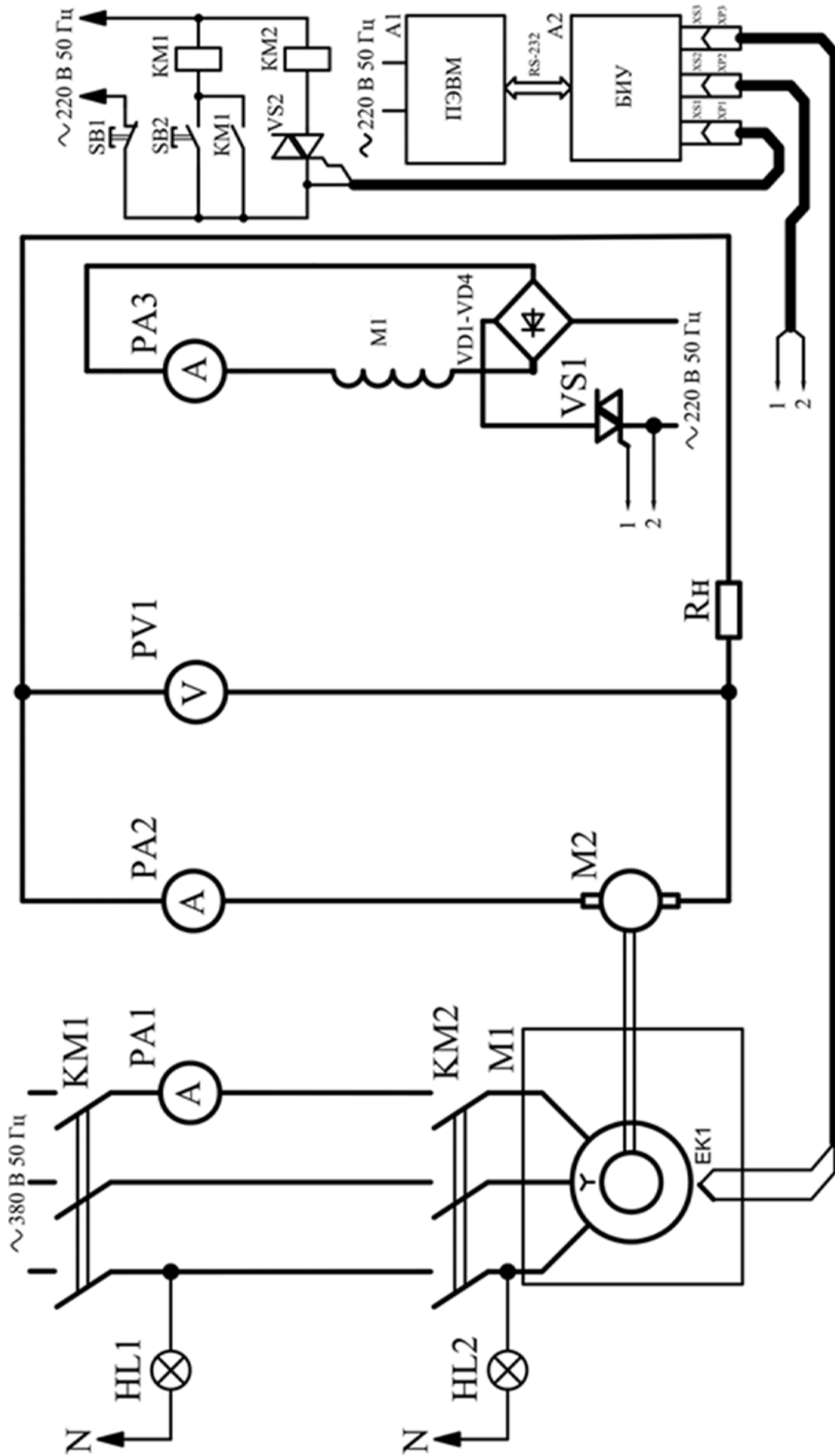


Рисунок 10 – Схема электрическая принципиальная шкафа

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подать на стенд напряжение питания.

2 Включить кнопку управления $SB2$ – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя $KM1$, катушка управления пускателя $KM1$ ставится на «самопитание» блок-контактом $KM1$. Силовые контакты пускателя $KM1$ замыкают цепь питания обмоток статора электродвигателя $M1$. Срабатывание пускателя $KM1$ контролируется сигнальной лампой $HL2$.

3 На панели «Режим работы» в программе «Измеритель» выбрать режим работы $S1$, на панели «Нагрузка» задать указанное преподавателем значение момента нагрузки.

4 В программе «Измеритель» (рисунки 11 и 12) нажать кнопку «Начать эксперимент». При этом подаются управляющие сигналы на симисторы $VS1$ и $VS2$. В момент включения симистора $VS2$ начинается работа электродвигателя $M1$ в режиме $S1$. В этот момент электродвигатель $M2$ создает нагрузку на валу испытуемого электродвигателя $M1$, о чем говорит амперметр $PA2$. Регулируя с помощью симистора $VS1$ ток возбуждения электродвигателя $M2$, формируем требуемый момент на валу. В программе «Измеритель» происходит построение трендов температуры статора, скорости вращения, момента на валу и тока фазы статора электродвигателя.

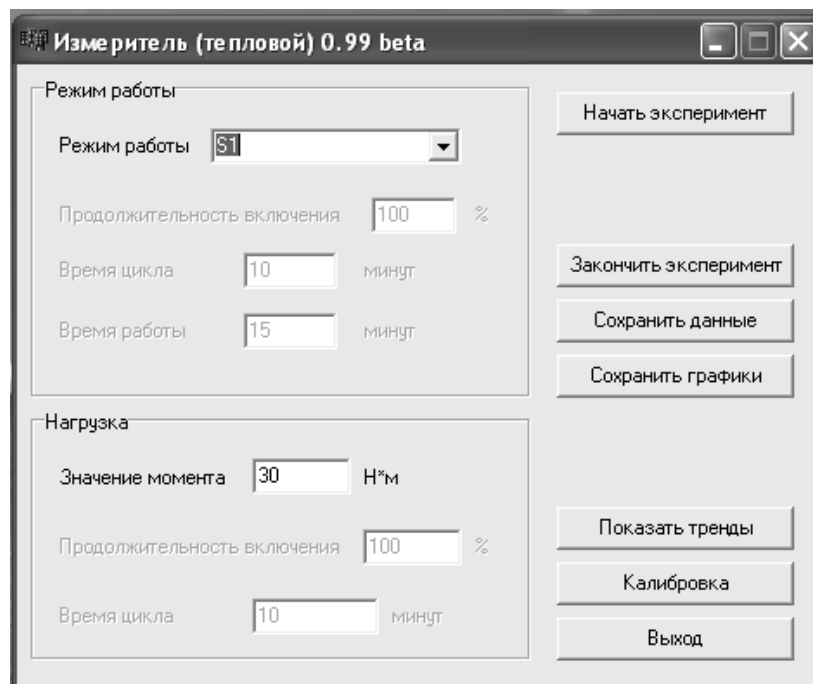


Рисунок 11 – Главное окно программы «Измеритель»

5 По окончании эксперимента нажать на кнопку «Окончить эксперимент» в программе «Измеритель», а затем кнопку $SB1$. При этом разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей $KM1$ и $KM2$, пускатели $KM1$ и $KM2$ отключаются. Силовые контакты пускателей $KM1$ и $KM2$ размыкают цепь питания обмотки статора электродвигателя $M1$, происходит останов (свободный выбег) электродвигателя $M1$.

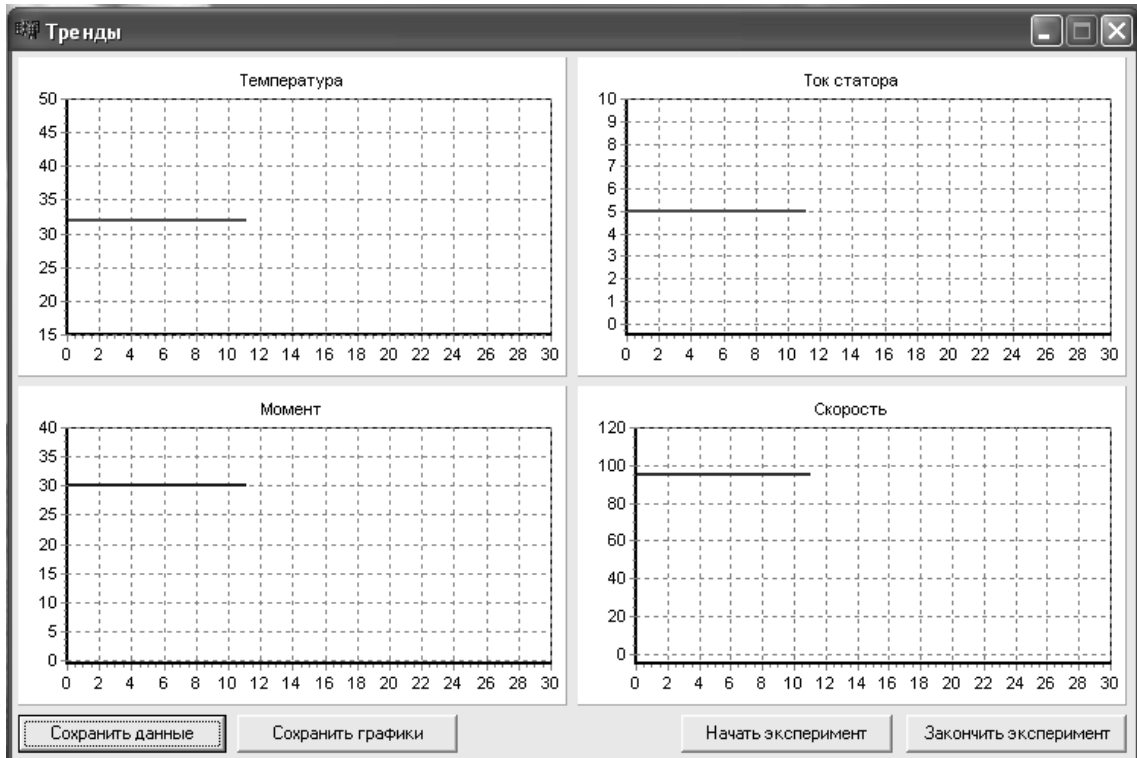


Рисунок 12 – Окно трендов программы «Измеритель»

6 Сохранить полученные в программе «Измеритель» тренды в файлы на жестком диске ПК.

Эксперимент № 2. Снятие осциллограммы тока статора $I_1 = f(t)$ и температуры $T = f(t)$ испытуемого электродвигателя $M1$ при заданных режимах работы S_i и $ПВ$.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

1 Подать на стенд напряжение питания.

2 Включить кнопку управления $SB2$ – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя $KM1$, катушка управления пускателя $KM1$ ставится на «самопитание» блок-контактом $KM1$. Силовые контакты пускателя $KM1$ замыкают цепь питания обмоток статора электродвигателя $M1$. Срабатывание пускателя $KM1$ контролируется загоранием сигнальной лампы $HL2$.

2 В программе «Измеритель» на панели «Режим работы» выбрать заданный преподавателем режим работы электродвигателя $M1$, задать значение продолжительности включения и времени цикла. На панели «Нагрузка» задать значение момента нагрузки, время цикла и продолжительность действия заданной нагрузки.

3 В программе «Измеритель» нажать кнопку «Начать эксперимент». При этом включается симистор $VS2$, подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя $KM2$. Силовые контакты пускателя $KM2$ замыкают цепь питания обмотки статора электродвигателя $M1$. Срабатывание пускателя $KM3$ контролируется сигнальной лампой $HL2$.

4 Включение и выключение симистора $VS2$ формирует заданный режим работы. В это время электродвигатель $M2$ создает нагрузку на валу испытуемого электродвигателя $M1$, которая контролируется амперметром $PA2$. Симистор $VS1$ регулирует ток возбуждения электродвигателя $M2$, формируя требуемый момент на валу. В программе «Измеритель» происходит построение трендов температуры статора, скорости вращения, момента на валу и тока фазы статора электродвигателя.

5 По окончании эксперимента нажать на кнопку «Закончить эксперимент» в программе «Измеритель», затем на кнопку $SB1$. При этом разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей $KM1$ и $KM2$, пускатели $KM1$ и $KM2$ отключаются. Силовые контакты пускателей $KM1$ и $KM2$ размыкают цепь питания обмотки статора электродвигателя $M1$, происходит останов (свободный выбег) электродвигателя $M1$.

6 Сохранить полученные в программе «Измеритель» тренды в файлы на жестком диске ПК.

Обработка экспериментальных данных

По данным опытов необходимо построить следующее.

1 Осциллограммы тока статора $I_1 = f(t)$, момента на валу $M = f(t)$, скорости вращения $\omega = f(t)$ и температуры статора $T = f(t)$ испытуемого электродвигателя $M1$ при режиме работы $S1$ и ПВ = 100 %.

2 Осциллограммы тока статора $I_1 = f(t)$, момента на валу $M = f(t)$, скорости вращения $\omega = f(t)$ и температуры статора $T = f(t)$ испытуемого электродвигателя $M1$ при заданных режиме работы S_i и ПВ.

Для каждого случая рассчитать постоянную времени и максимально допустимую по нагреву для заданного режима мощность испытуемого электродвигателя $M1$.

Контрольные вопросы

1 Опишите процесс нагрева двигателя дифференциальным уравнением, поясните решение этого уравнения.

2 Перечислите характерные для промышленных электроприводов режимы и дайте характеристику каждого режима.

3 Поясните методы определения постоянных времени нагрева и охлаждения электродвигателя.

4 Поясните метод определения номинальной мощности асинхронного электродвигателя по его нагреву.

5 Перечислите известные классы изоляции материалов и дайте им краткую характеристику.

8 Лабораторная работа № 18. Исследование вентильно-индукторного электропривода

Цель работы: получение практических навыков работы с вентильно-индукторным электроприводом «ВИП-2.5/5000»; изучение работы вентильно-индукторного электропривода «ВИП-2.5/5000» при постоянстве скорости; изучение работы вентильно-индукторного электропривода «ВИП-2.5/5000» при постоянстве ШИМ.

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 установки.
- 4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной установки.
- 5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

Описание лабораторной установки

Схема установки приведена на рисунке 13.

Программа работы

- 1 Исследование режима работы ВИП при постоянстве скорости.
- 2 Исследование режимов работы ВИП при постоянстве ШИМ.

Методические указания по проведению исследований

Эксперимент № 1. Исследование режима работы ВИП при постоянстве скорости.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

- 1 Подать на стенд напряжение питания с помощью автоматического выключателя QF1.
- 2 Запустить ПК.
- 3 Запустить программу VisSRM_DAT (рисунок 14).
- 4 Выбрать Com-порт под номером 3.
- 5 Нажать кнопку «Подключить».
- 6 Установить с помощью ЛАТРа UZ1 номинальный ток возбуждения машины M2.
- 7 Выбрать $n = \text{const}$.
- 8 Произвести необходимые настройки программы.

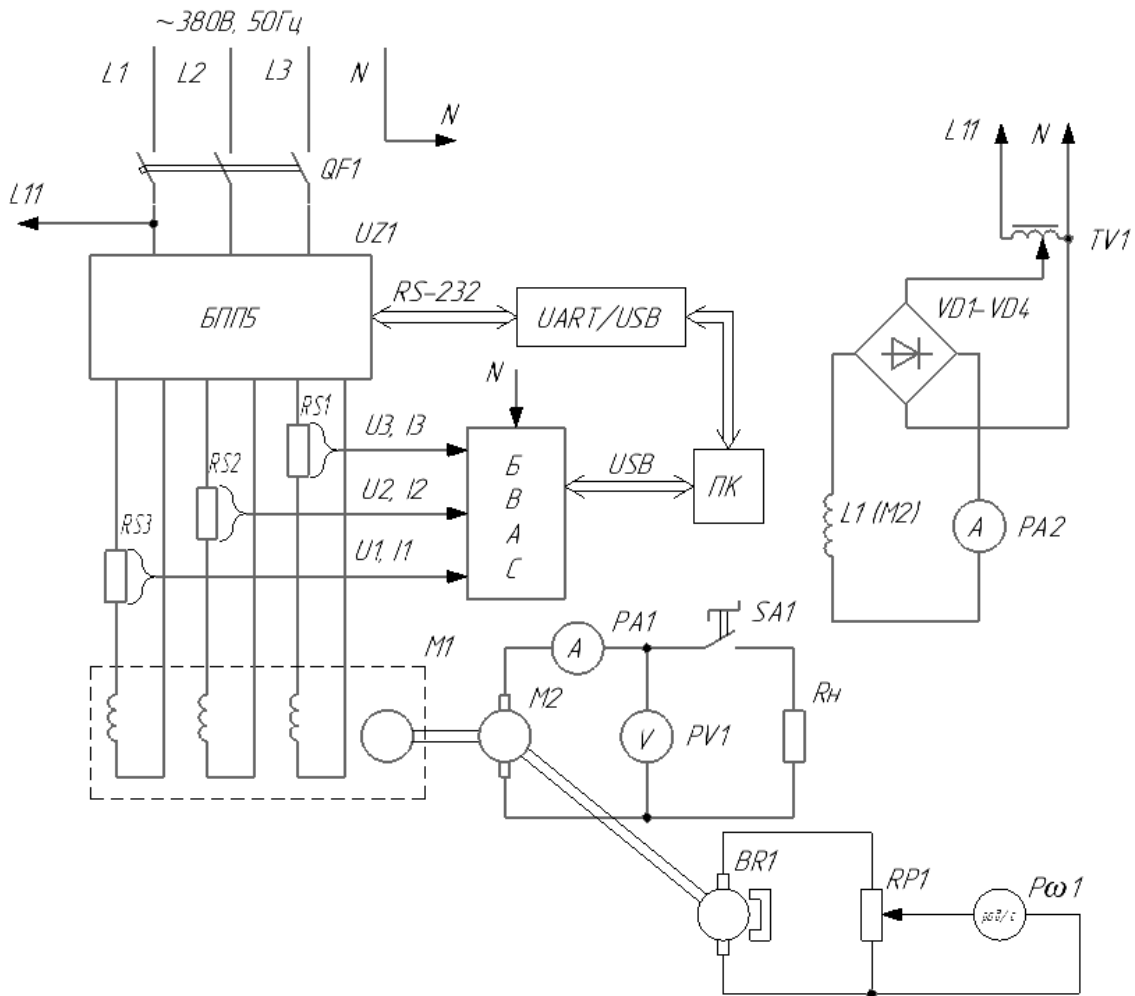


Рисунок 13 – Схема лабораторной установки

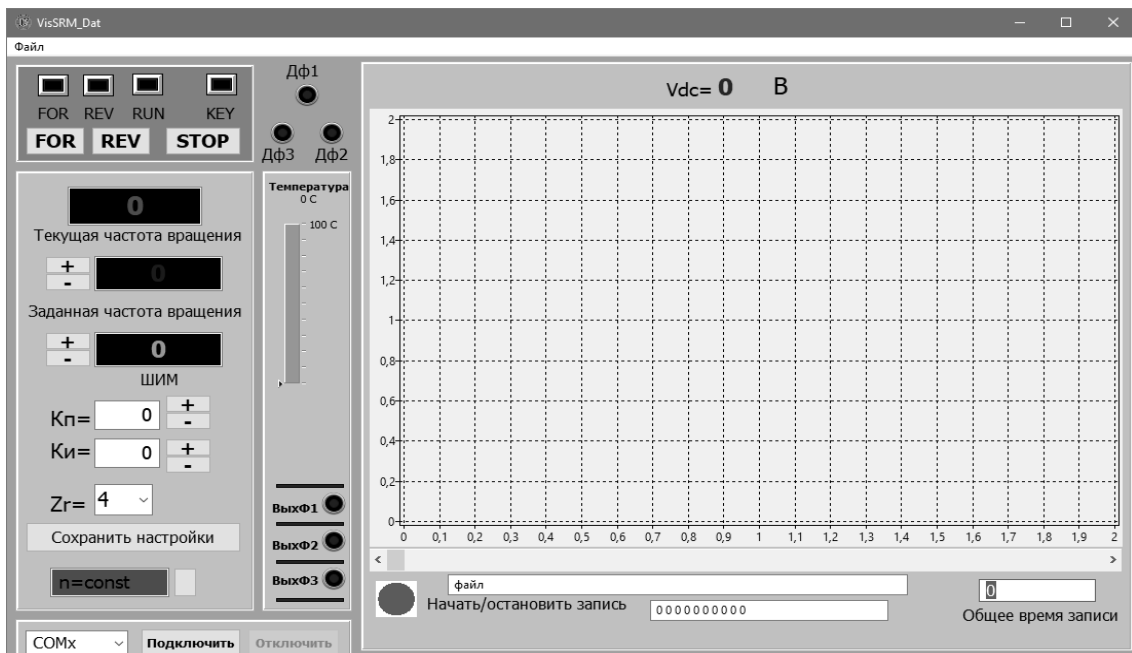


Рисунок 14 – Программное обеспечение VissSRM_Dat

- 9 Нажать кнопку «Начать запись».
- 10 Нажать кнопку FOR.
- 11 Через 5...10 с нажать на кнопку REV.
- 12 Через 5...10 с нажать на кнопку STOP.
- 13 Повторно нажать кнопку «Начать запись».
- 14 Из пункта меню «Файл» сохранить картинку в рабочий каталог.
- 15 После проведения эксперимента необходимо отключить питание от всех устройств стенда, отключив QF1.

Эксперимент № 2. Исследование режимов работы ВИП при постоянстве ШИМ.

Данный эксперимент проводится в следующей последовательности.

- 1 Подать на стенд напряжение питания с помощью автоматического выключателя QF1.
- 2 Запустить ПК.
- 3 Запустить программу VisSRM DAT (см. рисунок 6).
- 4 Выбрать Com-порт под номером 3.
- 5 Нажать кнопку «Подключить».
- 6 Установить с помощью ЛАТРа UZ1 номинальный ток возбуждения машины M2.
- 7 Выбрать ШИМ = const.
- 8 Произвести необходимые настройки программы.
- 9 Нажать кнопку «Начать запись».
- 10 Нажать кнопку FOR.
- 11 Через 5...10 с нажать на кнопку REV.
- 12 Через 5...10 с нажать на кнопку STOP.
- 13 Повторно нажать кнопку «Начать запись».
- 14 Из пункта меню «Файл» сохранить картинку в рабочий каталог.
- 15 После проведения эксперимента необходимо отключить питание от всех устройств стенда отключив QF1.

Обработка результатов экспериментов

- 1 Проанализировать режимы работы и сделать выводы о качестве работы привода.
- 2 Проанализировать осциллограммы для двух режимов, оценить всплески сигналов в переходных режимах, сделать выводы о поведении скорости и момента в каждом режиме.

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующее:

- цель работы;
- схема установки и ее описание;
- паспортные данные электрических машин;
- скриншот программы при постоянстве скорости;

- скриншот программы при постоянстве ШИМ;
- выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите структурную схему ВИД и назначение ее отдельных элементов.
- 2 Опишите особенности конструкции ИМ и возможные конструктивные исполнения ВИД.
- 3 Опишите принцип действия ВИД. Поясните, почему этот тип электромеханического преобразователя энергии принципиально не может работать без системы управления и преобразователя частоты.
- 4 Назовите достоинства и недостатки вентильно-индукторных двигателей.
- 5 Назовите области применения ВИД.

9 Лабораторная работа № 19. Исследование сервоприводов

Цель работы: изучение конструкции сервоприводов; экспериментальное исследование динамических характеристик сервопривода в разных режимах работы.

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 СЛЭУ.
- 4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной (СЭП) СЛЭУ.
- 5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

Описание схемы электрической принципиальной

Структурная схема установки приведена на рисунке 15.

Программа работы

- 1 Проверка перед первым включением.
- 2 Пробный пуск без нагрузки в режиме «JOG».
- 3 Пробный пуск без нагрузки в режиме управления скоростью.
- 4 Пробный пуск без нагрузки в режиме позиционирования.

Методические указания по проведению исследований

Используя manual на преобразователь, выполнить программу работы.

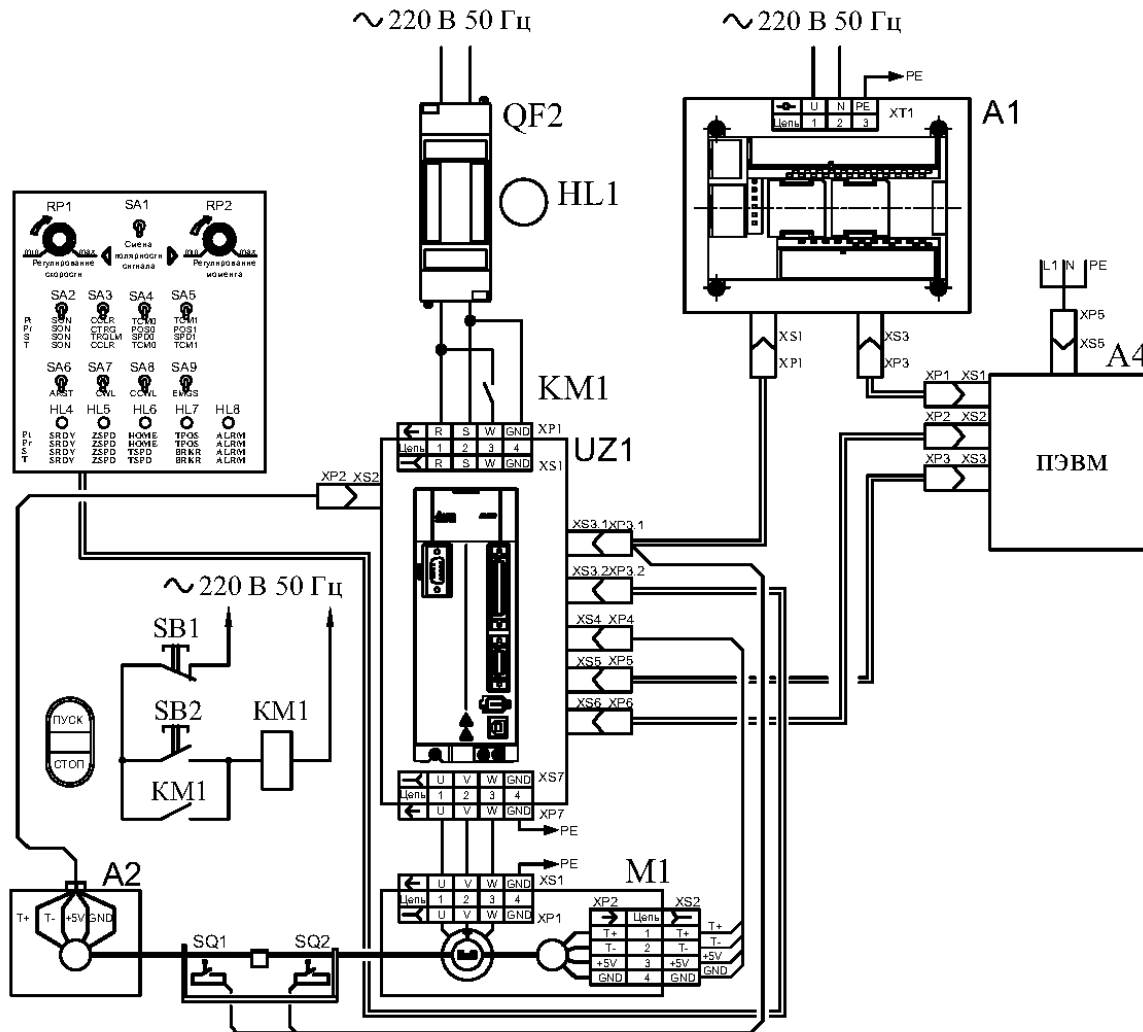


Рисунок 15 – Схема лабораторной установки

Обработка результатов работы

1 Для каждого режима работы составьте листинг действий и данных, вводимых в память сервопреобразователя.

2 Для каждого режима с помощью цифрового осциллографа снимите управляющие сигналы сервопреобразователем, сигналы скорости и перемещения.

Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать следующее:

- титульный лист;
- цель работы;
- схема и описание лабораторной установки;
- технические данные используемых электрических машин и приборов, приведенные в табличном виде;
- листинг действий и данных, вводимых в память сервопреобразователя;
- осциллограммы контрольных сигналов.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое сервопривод?
- 2 Поясните конструкцию сервоприводов.
- 3 Поясните разновидности сервоприводов.
- 4 Поясните достоинства и недостатки сервоприводов.
- 5 Поясните принцип подчиненного регулирования.
- 6 Поясните режим позиционирования.
- 7 Поясните режим слежения.

10 Лабораторная работа № 20. Исследование шаговых электроприводов

Цель работы: ознакомление с понятием конструкцией и принципом работы шагового электропривода; изучение работы шагового электропривода; получение практических навыков работы с шаговым электроприводом.

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 установки.
- 4 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной установки.
- 5 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

Описание лабораторной установки

Схема установки приведена на рисунке 16.

Программа работы

- 1 Тестовый режим управления шаговым двигателем.
- 2 Основной режим управления шаговым двигателем.
- 3 Дистанционный режим управления шаговым двигателем.

Методические указания по проведению исследований

Эксперимент № 1. Тестовый режим управления шаговым двигателем.

- 1 Подать на стенд напряжение питания с помощью автоматического выключателя *QF2*. При этом загорится лампочка *HL1*.

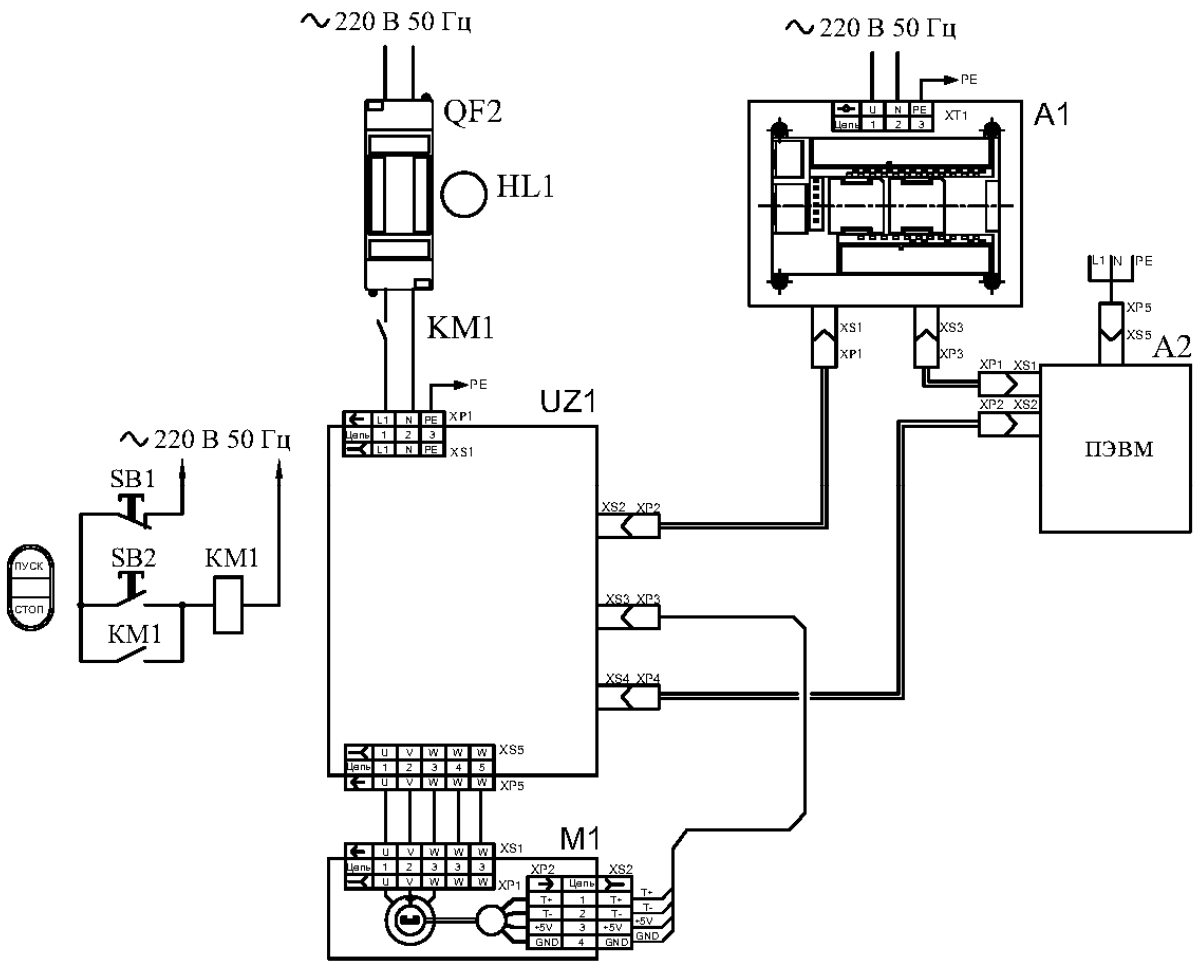


Рисунок 16 – Схема лабораторной установки

2 Подать на преобразователь напряжения $UZ1$ питание с помощью кнопочного выключателя $SB2$. При этом загорится лампочка $HL2$.

3 Переключить dip-коннектор 1/2 clk в состояние «On».

4 Переключить dip-коннектор «TSET» в состояние «On». Двигатель начнет вращаться со скоростью 30 об/мин на полном шаге. Скорость вращения зависит от настроек разрешения. Скорость вращения равна 30 об/мин/разрешение.

В одноимпульсном методе ввода он вращается против часовой стрелки, а в 2-импульсном методе ввода он вращается по часовой стрелке.

5 Снять осциллограммы токов и напряжений.

6 Для останова двигателя переключить dip-коннектор «TSET» в состояние «Off».

Эксперимент № 2. Основной режим управления шаговым двигателем.

1 Подать на стенд напряжение питания с помощью автоматического выключателя $QF2$. При этом загорится лампочка $HL1$.

2 Подать на преобразователь напряжения $UZ1$ питание с помощью кнопочного выключателя $SB2$. При этом загорится лампочка $HL2$.

3 Переключить dip-коннектор 1/2 clk в состояние «On» или «Off» по заданию преподавателя.

4 Переключить dip-коннектор «TSET» в состояние «Off».

5 Переключить dip-коннектор с/d в состояние «On», выставить по заданию преподавателя необходимые уровни токов «Run» и «Stop».

6 Настроить разрешение (микрошаг) с помощью переключателя *MS1*.

7 Подать сигнал «Run». При этом двигатель запустится.

8 Снять осциллограммы токов и напряжений для нескольких значений микрошагов.

9 Для останова двигателя переключить dip-коннектор «TSET» в состояние «Off».

Эксперимент № 3. Дистанционный режим управления шаговым двигателем.

1 Подать на стенд напряжение питания с помощью автоматического выключателя *QF2*. При этом загорится лампочка *HL1*.

2 Подать на преобразователь напряжения *UZ1* питание с помощью кнопочного выключателя *SB2*. При этом загорится лампочка *HL2*.

3 Используя программируемый логический контроллер, сформировать сигнал «CW» (однопульсный метод управления) или «CCW» (двухпульсный метод управления). При этом полярность сигнала определяет направление вращения вала двигателя.

4 Сформировать сигнал «HOLD OFF» положительной полярности.

5 Настроить разрешение (микрошаг) с помощью переключателя *MS1*.

6 Подать сигнал «Run». При этом двигатель запустится.

7 Снять осциллограммы токов и напряжений для нескольких значений микрошагов.

8 Для останова двигателя переключить dip-коннектор «TSET» в состояние «Off».

Обработка результатов экспериментов

1 Для каждого эксперимента составить листинг программы управления приводом.

2 Для каждого эксперимента составить экспериментальные осциллограммы токов и напряжений.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- СЭП СЛЭУ и ее описание;
- паспортные данные привода;
- листинги программ управления приводом;
- диаграммы работы шагового двигателя;
- выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Дайте понятие шагового двигателя.
- 2 В чем разница между шаговым двигателем и серводвигателем, когда лучше их применять?
- 3 Опишите принцип работы и устройство шагового электропривода.
- 4 Назовите и опишите варианты конструкции шагового двигателя.
- 5 Опишите конструкцию и свойства реактивного шагового двигателя.
- 6 Опишите конструкцию и свойства шагового двигателя с постоянными магнитами.
- 7 Опишите конструкцию и свойства гибридного шагового двигателя.
- 8 Назовите способы управления шаговыми двигателями.
- 9 Опишите достоинства и недостатки шаговых двигателей.
- 10 Опишите область применения шаговых двигателей.

11 Лабораторная работа № 21. Исследование электропривода переменного тока по системе «ПЧ – АД»

Цель работы: разработка имитационную модель системы «ПЧ – АД»; расчет переходных процессов пуска АД как при прямом подключении двигателя к сети, так и при управляемом; сравнение потерь энергии за время пуска АД при прямом пуске (непосредственное подключение двигателя к сети переменного тока) и при управляемом пуске (экспоненциальное изменение угла управления тиристорами в системе «ПЧ – АД»).

Методические указания по проведению исследований

Необходимо сделать следующее.

- 1 Составить схему модели по системе «ПЧ – АД».
- 2 Рассчитать переходные процессы согласно целям работы.
- 3 Сделать выводы по работе.

Все математическое описание и варианты исходных заданий представлены в электронном варианте и хранятся в классе ПЭВМ а. 207/к. 2 кафедры «Электропривод и АПУ».

Обработка экспериментальных данных

Результаты моделирования должны быть представлены в виде графиков функций $\omega = f(t)$, $M = f(t)$, $P = f(t)$ за время пуска АД по системе «ПЧ – АД».

Контрольные вопросы

1 Изобразите и проанализируйте естественные МХ и ЭМХ АД в трех квадрантах.

2 Изобразите и проанализируйте 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 Напишите формулы Клосса, покажите область их использования и поясните величины, входящие в формулы.

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

Список литературы

1 **Онищенко, Г. Б.** Электрический привод: учебник / Г. Б. Онищенко. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Академия, 2013. – 288 с.

2 **Шичков, Л. П.** Электрический привод: учебник и практикум для академического бакалавриата / Л. П. Шичков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Юрайт, 2018. – 330 с.

3 **Фираго, Б. И.** Теория электропривода: учебное пособие / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – 2-е изд. – Минск: Техноперспектива, 2007. – 585 с.

4 **Ключев, В. И.** Теория электропривода: учебник для вузов / В. И. Ключев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.

5 **Ильинский, Н. Ф.** Общий курс электропривода / Н. Ф. Ильинский, В. Ф. Козаченко. – Москва: Энергоатомиздат, 1992. – 543 с.

6 **Москаленко, В. В.** Электрический привод : учебник / В. В. Москаленко. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 364 с.

7 **Москаленко, В. В.** Электрический привод: учебное пособие / В. В. Москаленко. – Москва: Мастерство; Высшая школа, 2000. – 368 с.

8 **Фираго, Б. И.** Векторные системы управления электроприводами: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Автоматизированные электроприводы» / Б. И. Фираго, Д. С. Васильев. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 158 с.: ил.