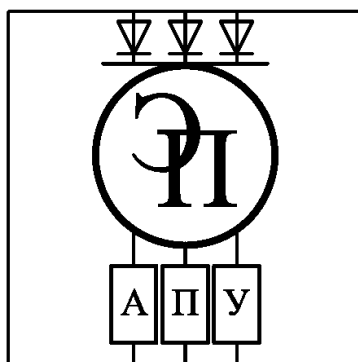


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
6-05-0714-02 «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»
очной формы обучения*



Могилев 2026

УДК 620.9
ББК 31.19
А30

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» «22» декабря 2025 г., протокол № 5

Составитель канд. техн. наук, доц. А. С. Коваль

Рецензент канд. техн. наук, доц. Н. В. Герасименко

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металло-режущие станки и инструменты» очной формы обучения. Даны необходимые сведения для выполнения лабораторных работ.

Учебное издание

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ответственный за выпуск	А. С. Коваль
Корректор	А. А. Подошевко
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 26 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, 2026

Содержание

Введение.....	5
1 Техника безопасности.....	6
2 Лабораторная работа № 1. Изучение устройства и принципа работы универсального лабораторного стенда	6
2.1 Организация лабораторных работ.....	6
2.2 Порядок выполнения работ.....	7
2.3 Общие методические указания к лабораторным работам	7
3 Лабораторная работа № 2. Экспериментальное исследование неперверсивной схемы управления асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	11
3.1 Основные теоретические положения.....	11
3.2 Подготовка к выполнению работы	12
3.3 Методические указания по проведению исследований.....	14
3.4 Обработка результатов экспериментальных данных	15
4 Лабораторная работа № 3. Экспериментальное исследование автоматического управления асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором	17
4.1 Основные теоретические положения.....	17
4.2 Подготовка к выполнению работы.....	21
4.3 Методические указания по проведению исследований.....	21
4.4 Обработка результатов экспериментальных данных	24
5 Лабораторная работа № 4. Экспериментальное исследование автоматического управления торможением по принципу противовключения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	25
5.1 Основные теоретические положения.....	25
5.2 Подготовка к выполнению работы.....	26
5.3 Методические указания по проведению исследований.....	26
5.4 Обработка результатов экспериментальных данных	27
6 Лабораторная работа № 5. Экспериментальное исследование схемы автоматического пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в функции времени	28
6.1 Основные теоретические положения.....	28
6.2 Подготовка к выполнению работы.....	30
6.3 Методические указания по проведению исследований.....	30
6.4 Обработка результатов экспериментальных данных	33
7 Лабораторная работа № 6. Экспериментальное исследование схемы автоматического пуска двигателя постоянного тока в функции тока	34

7.1 Основные теоретические положения	34
7.2 Подготовка к выполнению работы.....	35
7.3 Программа работы	35
7.4 Обработка результатов экспериментальных данных	36
8 Лабораторная работа № 7. Экспериментальное исследование схемы динамического торможения двигателя постоянного тока	36
8.1 Основные теоретические положения	36
8.2 Подготовка к выполнению работы.....	38
8.3 Методические указания по проведению исследований	38
8.4 Обработка результатов экспериментальных данных	39
9 Лабораторная работа № 8. Экспериментальное исследование тиристорного электропривода с электродвигателем постоянного тока.....	40
9.1 Основные теоретические положения	40
9.2 Подготовка к выполнению работы.....	43
9.3 Методические указания по проведению исследований	44
9.4 Обработка результатов экспериментальных данных	45
Список литературы	46

Введение

Курс «Автоматизированный электропривод технологического оборудования» 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 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 определенные работы:

- напряжение переменного тока 220 В частотой 50 Гц (агрегат электромашинный, станция управления, ПЭВМ);
- напряжение постоянного тока 220 В (агрегат электромашинный);
- вращающиеся части (агрегат электромашинный);
- 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.

2 Лабораторная работа № 1. Изучение устройства и принципа работы универсального лабораторного стенда

Цель работы: изучить устройство, назначение, принципы работы лабораторного оборудования.

2.1 Организация лабораторных работ

Лабораторные работы по данной дисциплине отличаются прежде всего сложностью схем, большим количеством разнообразия оборудования, многообразием режимов работы электрических машин. Это требует от студентов проявления максимума самостоятельности и вдумчивости при подготовке к работе и её проведении.

Выполнение лабораторной работы должно производиться в строгом соответствии с методическими рекомендациями. Включение схемы под напряжение производится только с разрешения преподавателя или лаборанта.

Во время занятий особое внимание должно уделяться строгому соблюдению правил техники безопасности и недопущению аварийных режимов в работе. В случае ненормальных режимов работы лабораторной установки нужно немедленно отключить схему от источников питания и поставить в известность лаборанта или преподавателя.

2.2 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:

- изучение цели и содержания лабораторной работы;
- изучение теоретического материала, необходимого для проведения исследований;
- изучение описания работы и схемы лабораторной установки;
- составление программы проведения исследований;
- проведение необходимых предварительных расчётов;
- составление отчёта (заготовки) по лабораторной работе.

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

2.3 Общие методические указания к лабораторным работам

Лабораторные работы, выполняемые студентами, разбиты на циклы в соответствии с основными разделами курса.

В подразделе содержатся методические указания к лабораторным работам по исследованию статических характеристик и режимов работы электродвигателей, их электромеханических свойств.

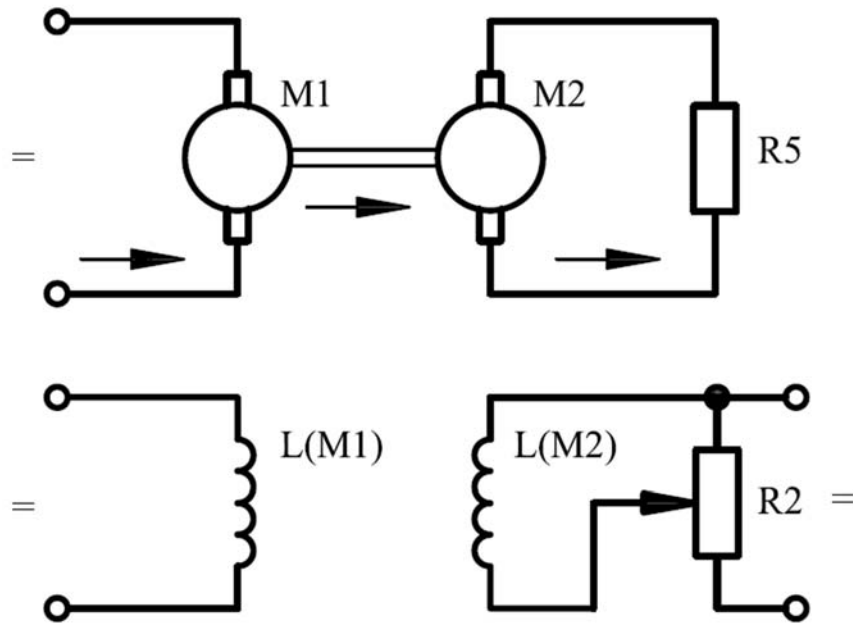
Статические характеристики (механические и электромеханические) любого двигателя экспериментальным методом могут быть получены с помощью различных нагрузочных устройств, которые создают тормозной момент на валу исследуемого двигателя, а его угловая скорость измеряется посредством тахогенератора.

В лабораторных установках используется два вида нагрузочных устройств:

1) нагрузочная машина (двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ с НВ)), работающая в режиме динамического торможения (рисунок 2.1);

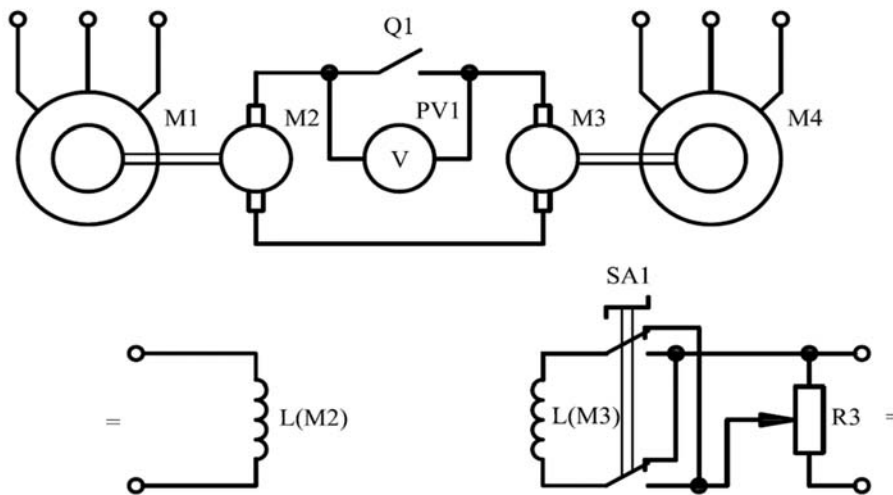
2) нагрузочная машина (ДПТ с НВ), соединенная с агрегатом, состоящим из ДПТ с НВ и асинхронного двигателя (АД) (рисунок 2.2).

Рассмотрим более подробно эти нагрузочные агрегаты.



M1 – исследуемая машина; M2 – нагрузочная машина (ДПТ с НВ), включённая по схеме динамического торможения; R2 – потенциометр для регулирования потока возбуждения машины M2; R5 – сопротивление динамического торможения

Рисунок 2.1 – Схема нагрузочного устройства А



M1 – исследуемая машина (АДКЗ); M2 – нагрузочная машина; M3 – вспомогательная машина; M4 – гонный двигатель; R3 – потенциометр для регулирования потока возбуждения машины M3; Q1 – ключ для замыкания якорей машин M2 и M3; SA1 – ключ для изменения полярности напряжения на обмотке возбуждения машины M3; PV1 – вольтметр

Рисунок 2.2 – Схема нагрузочного устройства Б

Нагрузочное устройство А. Величина тормозного момента задаётся с помощью потенциометра R2, включенного в цепь обмотки возбуждения нагрузочной машины M2, по схеме делителя напряжения. Зависимость момента нагрузочной машины M2 от скорости показана на рисунке 2.3.

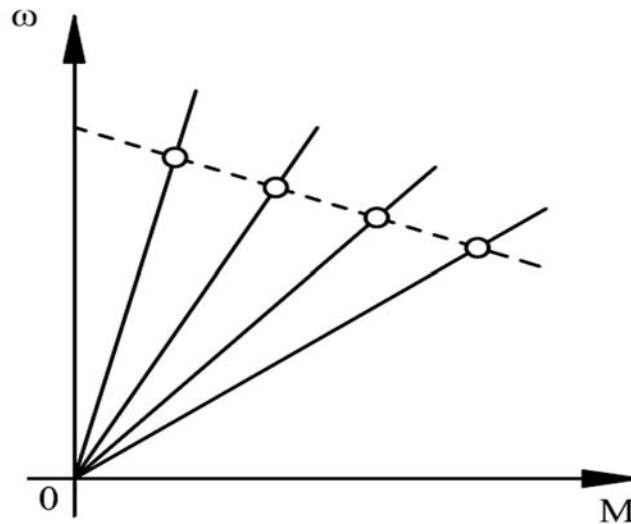


Рисунок 2.3 – Механические характеристики нагрузочного устройства А

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 М3. Зависимость момента нагрузочной машины М2 от скорости показана на рисунке 2.4. Данное нагрузочное устройство позволяет снимать статические характеристики исследуемого двигателя во всех рабочих режимах (во всех квадратах плоскости (M, ω)).

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 (потенциометром R3 и переключателем SA1), которая вращается с постоянной скоростью асинхронным двигателем М4.

При использовании нагрузочного устройства Б (см. рисунок 2.2) необходимо перед каждым опытом производить согласование полярности включения машин М2 и М3. Для этого при разомкнутом выключателе Q1 и номинальном потоке возбуждения машины М2 включают машины М1 и М4. При согласованной полярности включения машин М2 и М3, т. е. полюс одной машины соединён с одноимённым полюсом другой, вольтметр PV1 будет показывать разность ЭДС машин М2 и М3, т. е. практически нулевое значение. В случае несогласованной полярности (вольтметр PV1 показывает значение, близкое к двойному номинальному напряжению якоря машины М3) необходимо реостатом R3 уменьшить ток в обмотке возбуждения М3 и переключателем SA3 изменить полярность напряжения на обмотке возбуждения М3, затем с помощью реостата R3 добиться нулевого показания вольтметра и замкнуть выключатель Q1. После выполнения согласования приступают к снятию характеристик.

При построении характеристик экспериментальным методом следует иметь в виду, что механическая характеристика исследуемого двигателя, полученная на основании измерения величины тока и напряжения якоря машины М2 будет

отличаться от реальной. Отличие определяется тем, что исследуемый двигатель в двигательном режиме развивает момент, не только преодолевающий момент нагрузочной машины M_2 , но и идущий на преодоление момента, обусловленного потерями в агрегате M_1 – M_2 (момент ΔM). В тормозных режимах момент, развиваемый машиной M_1 , будет меньше электромагнитного момента нагрузочной машины M_2 . Поэтому для получения истинной механической характеристики исследуемой машины необходимо учитывать зависимость $\Delta M = f(\omega)$, которая может быть снята и построена экспериментально при номинальном токе возбуждения M_2 и при отключенной от сети машине M_1 .

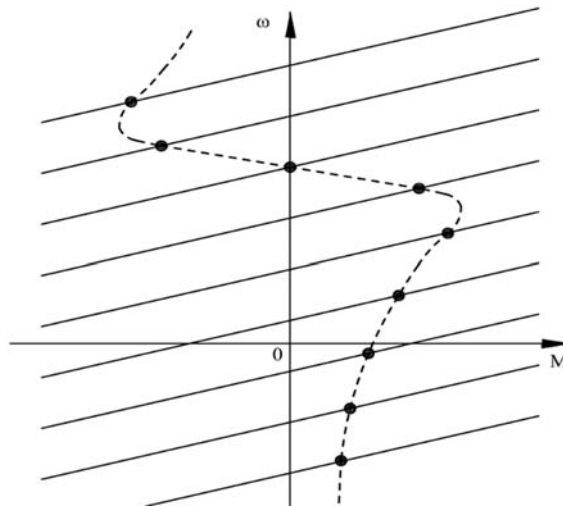


Рисунок 2.4 – Механические характеристики нагруженного устройства Б

Таким образом, механическая характеристика $\omega = f(M)$ исследуемого двигателя M_1 может быть построена на основании зависимости $M_э = f(\omega)$ ($M_э$ – электромагнитный момент нагрузочной машины M_2 , снятой экспериментально) и зависимости $\Delta M = f(\omega)$.

По итогам выполнения лабораторной работы студенты оформляют отчет. Вне зависимости от лабораторной работы отчет должен содержать:

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

Отчет выполняется на листах формата А4 машинописным способом. При необходимости допускается вводить изменения в отчет, используя белый корректор.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Поясните устройство и принцип работы нагрузочного устройства А.
- 2 Поясните устройство и принцип работы нагрузочного устройства В.
- 3 Назовите основные принципы правил безопасности при работе с лабораторными стендами.

3 Лабораторная работа № 2. Экспериментальное исследование нереверсивной схемы управления асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы: освоить методику расчёта естественных и искусственных механических характеристик (МХ) и электромеханических характеристик (ЭМХ), используя паспортные данные; 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.

3.1 Основные теоретические положения

МХ АД представляет собой зависимость скорости вращения ротора от вращающего момента $\omega = f(M)$. Учитывая, что $\omega = \omega_0(1 - s)$, где ω_0 – угловая скорость вращения поля, $\omega_0 = \frac{2\pi f}{p_n}$, МХ АД можно представить в виде зависимости электромагнитного момента от скольжения $M = f(s)$.

Уравнение МХ имеет вид:

$$M = \frac{3U_{\phi}^2 R'_2}{s\omega_0 \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (x_1 + x'_2)^2 \right]} \quad (3.1)$$

Анализ выражения (3.1) показывает, что зависимость $M = f(s)$ имеет экстремальные точки. Максимальное значение момента, развиваемого двигателем, называется критическим (максимальным):

$$M_k = \frac{\pm U_{\phi}^2}{s\omega_{01} \left[\sqrt{R_1^2 + x_k^2} \pm R_1 \right]}, \quad (3.2)$$

где x_k – индуктивное сопротивление короткого замыкания, $x_k = x_1 + x'_2$.

Скольжение, соответствующее критическому моменту M_k , также называется критическим:

$$s_{\kappa} = \pm \frac{R'}{\sqrt{R_1^2 + x_{\kappa}^2}}. \quad (3.3)$$

В выражениях (3.2) и (3.3) знак «+» соответствует двигательному режиму, а знак «-» – генераторному.

С учётом (3.2) и (3.3) выражение МХ АД (3.1) может быть представлено после преобразований в следующем виде:

$$M = \frac{M_{\kappa}(2+q)}{\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s} + q}, \quad (3.4)$$

где $q = 2 \frac{R_1}{R_2} s_{\kappa}$.

Выражение (3.4) носит название «уточнённая формула Клосса».

Если пренебречь активным сопротивлением обмоток статора $R_1 = 0$ (что справедливо для машин большой мощности), то получится упрощённая формула Клосса:

$$M = \frac{2M_{\kappa}}{\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s}}. \quad (3.5)$$

При малых значениях скольжений $s < s_{\kappa}$ с достаточной степенью точности можно пренебречь первым слагаемым знаменателя в (3.5). В этом случае МХ может быть представлена прямой:

$$M \approx 2M_{\kappa} \frac{s}{s_{\kappa}}. \quad (3.6)$$

При $s > s_{\kappa}$ можно пренебречь вторым слагаемым знаменателя в (3.5). Тогда участок МХ представляет собой гиперболу:

$$M \approx 2M_{\kappa} \frac{s_{\kappa}}{s}. \quad (3.7)$$

3.2 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

2 Ознакомиться с электрооборудованием стенда (рисунок 3.1). Записать паспортные данные испытуемого асинхронного электродвигателя М1, нагрузочного электродвигателя М2, генератора G1 и гонного двигателя М3 в таблицу 3.1.

3.3 Методические указания по проведению исследований

3.3.1 Эксперимент № 1. Снятие естественной ЭМХ.

Данный эксперимент проводится в следующем порядке:

- 1) подать на стенд напряжение питания с помощью автоматических выключателей QF1, QF2;
- 2) с помощью тумблеров SA1, SA2 замкнуть обмотки возбуждения электродвигателя M2 и генератора G1;
- 3) переключатель SA3 поставить в положение «Y»;
- 4) установить с помощью реостата RP4 номинальный ток возбуждения машины M2, с помощью реостата RP5 – минимальный ток в обмотках возбуждения генератора G1;
- 5) включить приводной (гонный) двигатель M3 путём нажатия кнопки SB4. Постепенно увеличивая ток возбуждения генератора G1, разогнать исследуемый двигатель M1;
- 6) включить исследуемый двигатель M1 путём нажатия кнопки SB4. Увеличивая ток в обмотке возбуждения генератора G1, разогнать его до скорости $(1,5 \dots 1,8) \cdot \omega_0$. При этом исследуемый двигатель M1 работает в режиме генератора и приводится в движение машиной M2, 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 режиме.

Для дальнейшего увеличения нагрузки на валу исследуемого двигателя M1, 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 M3, снять несколько точек характеристики.

Для построения МХ необходимо снять не менее 10–12 показаний приборов (например, задавая шаг изменения скорости M1 20 рад/с по прибору $P\omega 1$).

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 3.2.

3.3.2 Эксперимент № 2. Снятие искусственной ЭМХ при симметричном включении в фазы статора активных сопротивлений.

Повторить действия 1–6 п. 3.3.1. При этом ввести в цепь статора симметрично нагрузку с помощью реостатов RP1–RP3. Результаты исследований занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты исследований и расчетов

Наименование характеристики	Данные опыта							Данные расчёта				
	U_1	I_1	P_1	$I_{я}$	$U_{я}$	ω	R_1	$I_{я}U_{я}$	$I_{я}^2R_{я}$	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»												

3.3.3 Эксперимент № 3. Снятие искусственной ЭМХ при несимметричном включении в фазы статора активных сопротивлений.

Повторить действия 1–6 п. 3.3.1. При этом ввести в цепь статора несимметрично нагрузку с помощью реостатов RP1–RP3. Результаты исследований занести в таблицу 3.2.

3.3.4 Эксперимент № 4. Снятие искусственной ЭМХ при изменении числа пар полюсов двигателя M1.

Повторить действия 1–6 п. 3.3.1. При этом переключить соединение обмотки статора со звезды на треугольник с помощью переключателя SA3. Результаты исследований занести в таблицу 3.2.

3.4 Обработка результатов экспериментальных данных

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

$$M = M_{\text{э}} \pm \Delta M, \quad (3.8)$$

где ΔM – момент потерь вращения, Н·м;

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

$$M_{\text{э}} = \frac{P}{\omega} = \frac{U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}}{\omega}, \quad (3.9)$$

$U_{\text{я}}$ – 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 3.2) для той скорости, для которой подсчитан электромагнитный момент M . Знак «+» соответствует двигательному режиму работы М1, знак «-» – генераторному и режиму противовключения.

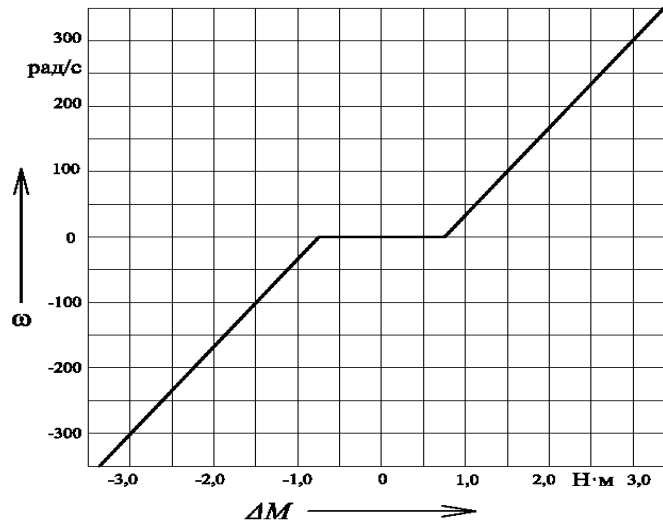


Рисунок 3.2 – Зависимость $\Delta M = f(\omega)$ для двигателя М1 при номинальном токе возбуждения

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

$$R_{\text{я}} \approx 0,5 \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \cdot (1 - \eta). \quad (3.10)$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 3.2.

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 и задания

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.

4 Лабораторная работа № 3. Экспериментальное исследование автоматического управления асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы: изучить методику расчета времени разгона систем с приводом от асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором; исследовать опытным путём переходных процессов при пуске двухскоростного электродвигателя с короткозамкнутым ротором; изучить методику исследования переходных процессов при пуске асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

4.1 Основные теоретические положения

Особенностью современных асинхронных электродвигателей являются переменные параметры статора и ротора (особенно реактивные сопротивления). Это усложняет анализ переходных режимов при пуске и торможении двигателей, и провести его можно только после опытного определения параметров двигателя на основании сложных и громоздких вычислений. Параметры в относительных единицах использовать неудобно, т. к. они имеют разные значения для электродвигателей различных модификаций (нормальных двигателей с короткозамкнутым ротором, с фазным ротором, двигателей с повышенным пусковым моментом, с повышенным скольжением).

Зависимость вращающего момента асинхронного двигателя от скольжения выражается формулой Клосса. Однако параметры двигателя, входящие в эту формулу, зависят также от скольжения, что сильно затрудняет вычисления. Поэтому наиболее надежные результаты получаются при графоаналитических

расчётах переходных режимов на основании каталожных данных двигателя.

Первой задачей, которую обычно решают при расчётах и исследовании переходных режимов электроприводов с асинхронными электродвигателями, является определение времени разгона и торможения системы в заданных пределах изменения скорости вращения (или скольжения).

Время переходных режимов электроприводов определяется по основной формуле движения электропривода

$$M_{\delta\delta} - M_{cm} = M_{дин} = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.1)$$

Из этой формулы находят время разгона:

$$t_{разг} = J \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{d\omega}{M_{\delta\delta} - M_{cm}}. \quad (4.2)$$

Для решения этой задачи нужно знать момент инерции системы J и зависимость моментов $M_{\delta\delta}$ и статического M_{cm} от угловой скорости. Однако аналитически определить время разгона электропривода с асинхронным двигателем трудно из-за сложности функции $M_{\delta\delta} = f_1(\omega)$ и $M_{cm} = f_2(\omega)$. При решении этой задачи функция $M_{cm} = f_2(\omega)$ должна быть задана аналитически или графически. Для упрощения вычислений механическая характеристика двигателя также должна быть задана графически. К сожалению, механическая характеристика задаётся графически только для крановых двигателей; характеристики нормальных двигателей приходится вычислять на основании каталожных данных.

Для расчёта механической характеристики асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором из каталожных данных должны быть известны следующие данные:

- номинальная мощность P_n , кВт;
- номинальная угловая скорость вращения ω_n , рад/с;
- кратность максимального момента $\mu_k = \frac{M_{max}}{M_n}$;
- кратность пускового момента $\mu_k = \frac{M_{пуск}}{M_n}$;

На основании этих данных находят:

- номинальный момент двигателя $M_n = \frac{P_n}{\omega_n}$, Н·м;
- номинальное скольжение $s_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0}$.

Расчёт механической характеристики асинхронного двигателя ведут по уточненной формуле Клосса

$$M = \frac{M_{\kappa}(2+q)}{\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s} + q}. \quad (4.3)$$

Величины s_{κ} и q не даются в каталогах. Если принять, что x_{κ} и r_2' в процессе пуска остаются постоянными, то можно вывести формулы для s_{κ} и q :

$$s_{\kappa} = \frac{\sqrt{s_H} + \sqrt{\frac{\mu_{\kappa}-1}{\mu_n}}}{\frac{1}{\sqrt{s_H}} + \sqrt{\frac{\mu_{\kappa}-1}{\mu_n}}}; \quad (4.4)$$

$$q = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{s_{\kappa}}} - \sqrt{s_{\kappa}}\right)^2}{\frac{\mu_{\kappa}-1}{\mu_n}} - 2. \quad (4.5)$$

Подставляя найденные величины s_{κ} и q в формулу (4.3) и задаваясь значениями S от 0 до 1, находят значения моментов двигателей при различных скольжениях.

Для определения времени разгона электропривода по полученным точкам строят на графике механическую характеристику двигателя во втором квадранте. Здесь же, как показано на рисунке 4.1, строят кривую статических моментов M_{cm}

и кривую избыточного момента $M_{\delta\omega} - M_{cm} = M_{\text{дин}} = J \frac{d\omega}{dt}$.

Так как при пуске избыточный момент имеет переменную величину, для вычисления времени разгона берут небольшие приращения скорости (например, $\Delta\omega = \frac{\omega_0}{5}$), в течение которых избыточный момент изменяется мало и равен средней величине за время, необходимое для приращения скорости на $\Delta\omega$.

Из уравнения $M_{\delta\omega} - M_{cm} = J \frac{d\omega}{dt}$, перейдя к конечным приращениям Δt и $\Delta\omega$, получают $M_{\delta\omega} - M_{cm} = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$, откуда

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{M_{дин}}{J}. \quad (4.6)$$

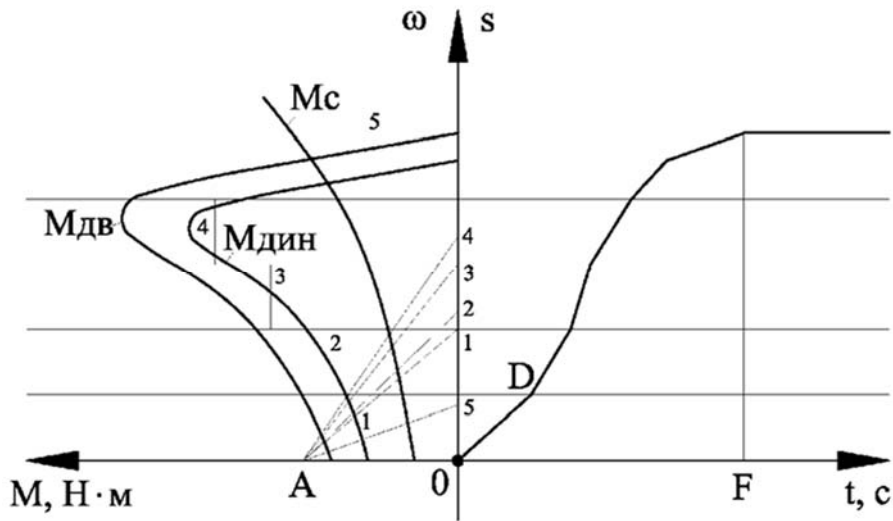


Рисунок 4.1 – Построение кривой $\omega = f(t)$ для пуска

Но $\frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{M_{дин}}{J} = \text{tg}\alpha$, поэтому наклон кривой разбега $\omega = f(t)$ находят по отношению $\frac{M_{дин}}{J}$. Для этого от точки 0 влево откладывают $OA = J$ в определённом масштабе.

Если обозначить масштабы момента m_M , Н·м/мм, скорости вращения m_ω , (рад/с)/мм, и времени m_t , с/мм, то масштаб для момента инерции определяется из соотношения $m_J = \frac{m_M m_t}{m_\omega}$, (Н·м·с²)/мм.

Тогда длина отрезка AO , мм, определится как

$$AO = \frac{J}{m_J}. \quad (4.7)$$

Далее от точки O вверх откладывают $M_{дин}$ на первом участке разгона $M_{дин} = OB_1$, проводят линию AB_1 . Из точки O проводят прямую OD , параллельную AB , которая покажет время Δt , необходимое для увеличения скорости привода на $\Delta\omega$. Аналогично определяют время разгона на остальных участках до конца разгона, когда $M_{дв} = M_{сн}$. В итоге получают общее время разгона t_p электропривода, равное отрезку OF .

Зная зависимость $\omega = f(t)$, можно найти зависимость скольжения $s = f(t)$ по той же кривой $\omega = f(t)$, но отсчёт скольжения нужно вести от точки ω_0 вниз так, чтобы точка ω_0 соответствовала $s = 0$, а точка $\omega = 0$ – точке $s = 1$.

Приведённый ток ротора можно найти по формуле

$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}}. \quad (4.8)$$

4.2 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

2 Ознакомиться с электрооборудованием стенда (рисунок 4.2). Записать паспортные данные электрической машины М1 в таблицу 4.1.

3 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной стенда.

4 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

5 Изучить инструкции на оборудование БВАС, ПЭВМ (программа «Осциллограф»).

6 Включить персональный компьютер А2.

7 Запустить программу «Осциллограф» (ярлык на рабочем столе ПЭВМ).

Таблица 4.1 – Паспортные данные электрических машин

Обозначение	Наименование	$P_{ном}$, Вт	$U_{ном}$, В	$I_{ном}$, А	$\omega_{ном}$, рад/с
М1					

4.3 Методические указания по проведению исследований

4.3.1 Эксперимент № 1. Пуск двигателя М1 до малой скорости.

Данный эксперимент проводится в следующем порядке.

1 Подать на стенд напряжение питания.

2 Включить кнопку управления SB2 – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя КМ1, катушка управления пускателя КМ1 статора электродвигателя М3. Срабатывание пускателя КМ3 контролируется загоранием сигнальной лампы НЛ4.

3 В момент нажатия кнопки SB2 начинается затяжной пуск электродвигателя М1, о чем свидетельствуют показания тахометра PV1. В этот момент катушка управления магнитного пускателя КМ1 ставится на «самопитание» блок-контактом КМ1. Силовые контакты пускателя КМ1 замыкают цепь питания обмоток статора электродвигателя М1. Срабатывание пускателя КМ1 контролируется загоранием сигнальной лампы НЛ23. Включить кнопку управления SB4 – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя КМ3, катушка управления пускателя КМ3 ставится на «самопитание» блок-контактом КМ3.

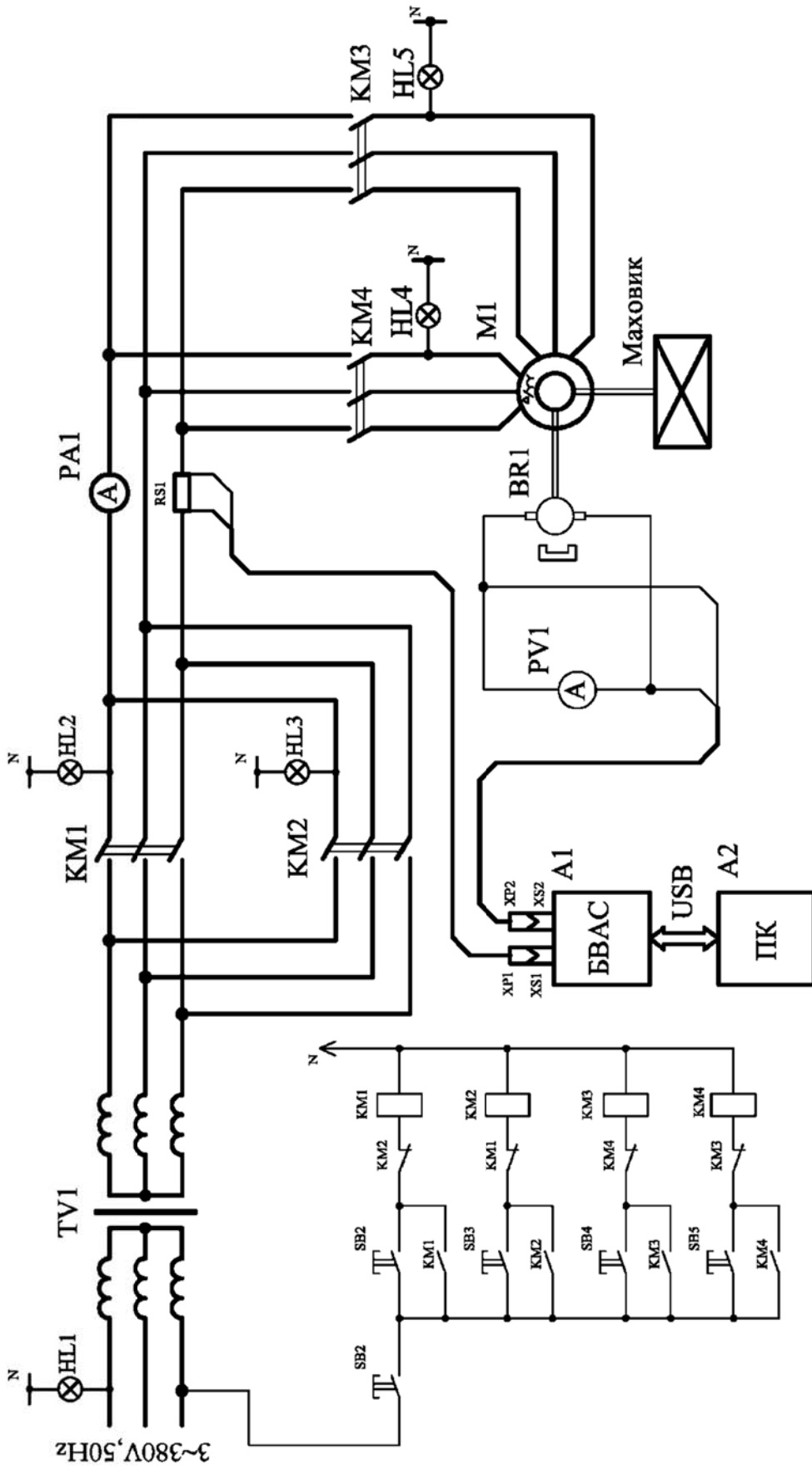


Рисунок 4.2 – Схема электрическая принципиальная лабораторной установки

Силовые контакты пускателя КМ3 замыкают цепь питания обмотки низшей скорости момент переключатель SA1 надо поставить в положение 2, чтобы переключить диапазон измерения амперметра PA1. Далее, используя программу «Осциллограф», снять осциллограммы тока и скорости.

4 По окончании эксперимента нажать на кнопку SB1 – разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей КМ1 и КМ2, пускатели КМ1 и КМ2 отключаются. Силовые контакты пускателей КМ1 и КМ2 размыкают цепь питания обмотки статора электродвигателя М1, происходит останов (свободный выбег) электродвигателя М1.

4.3.2 Эксперимент № 2. Пуск двигателя М1 до малой скорости с переходом на большую.

Данный эксперимент проводится в следующем порядке.

1 Подать на стенд напряжение питания.

2 Включить кнопку управления SB2 – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя КМ1, катушка управления пускателя КМ1 ставится на «самопитание» блок-контактом КМ1. Силовые контакты пускателя КМ1 замыкают цепь питания обмоток статора электродвигателя М1. Срабатывание пускателя КМ1 контролируется загоранием сигнальной лампы HL2.

3 Включить кнопку управления SB4 – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя КМ3, катушка управления пускателя КМ3 ставится на «самопитание» блок-контактом КМ3. Силовые контакты пускателя КМ3 замыкают цепь питания обмотки малой скорости статора электродвигателя М3. Срабатывание пускателя КМ3 контролируется загоранием сигнальной лампы HL4.

4 В момент нажатия кнопки SB2 начинается затяжной пуск электродвигателя М1, 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 М1 на малую скорость сделать следующие переключения:

– нажать на кнопку SB1 – разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей КМ1 и КМ2, пускатели КМ1 и КМ2 отключаются. Силовые контакты пускателей КМ1 и КМ2 размыкают цепь питания обмотки статора электродвигателя М1;

– нажать на кнопку SB2 – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя КМ1, катушка управления пускателя КМ1 ставится на «самопитание» блок-контактом КМ1. Силовые контакты пускателя КМ1 замыкают цепь питания обмоток статора электродвигателя М1. Срабатывание пускателя КМ1 контролируется загоранием сигнальной лампы HL2;

– нажать на кнопку SB5 – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя КМ4, катушка управления пускателя КМ4 ставится на «самопитание» блок-контактом КМ4. Силовые контакты пускате-

ля КМ4 замыкают цепь питания обмотки большой скорости статора электродвигателя М1, Срабатывание пускателя КМ4 контролируется загоранием сигнальной лампы HL5;

– по окончании эксперимента нажать на кнопку SB1 – разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей КМ1 и КМ2, пускатели КМ1 и КМ2 отключаются. Силовые контакты пускателей КМ1 и КМ2 размыкают цепь питания обмотки статора электродвигателя М1, происходит останов (свободный выбег) электродвигателя М1.

4.4 Обработка результатов 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 $\omega = f(t)$.

Контрольные вопросы и задания

1 Изобразить и пояснить механические характеристики двигателя переменного тока для известных пускотормозных режимов при активных и реактивных статических моментах на валу.

2 Пояснить графоаналитический метод определения времени разгона электродвигателя.

3 Записать и проанализировать выражение для определения потерь энергии в обмотках статора и ротора асинхронного двигателя при:

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

5 Лабораторная работа № 4. Экспериментальное исследование автоматического управления торможением по принципу противовключения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы: изучить способы торможения асинхронного электродвигателя; освоить методику экспериментального снятия МХ асинхронного двигателя в тормозных режимах; изучить методику расчёта тормозных режимов асинхронного двигателя.

5.1 Основные теоретические положения

Торможение противовключением имеет место при реверсировании двигателя (с реактивной нагрузкой на валу) или в случае потенциальной нагрузки, когда под действием последней ротор разворачивается в сторону, обратную вращению поля статора (рисунок 5.1).

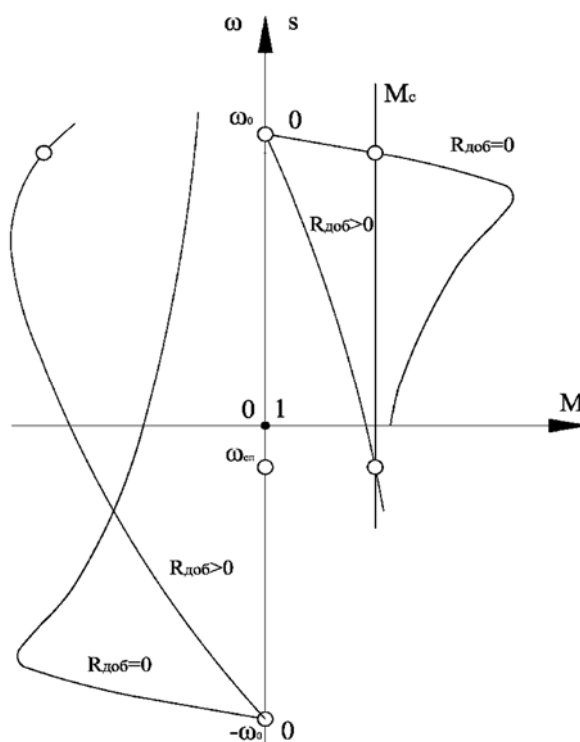


Рисунок 5.1 – МХ АД в режиме противовключения

Так как в данном режиме скольжении $s > 1$, то ток ротора будет превосходить даже пусковой ток, а момент, развиваемый двигателем вследствие большой частоты тока ротора (большое x'_2), будет меньше пускового. МХ торможением противовключением описывается тем же уравнением, что и для длительного режима, с учётом величины скольжения $1 < s < +\infty$.

В этом режиме двигатель работает, во-первых, как генератор, преобразуя механическую энергию в электрическую, рассеиваемую в роторной цепи; во-

вторых, как трансформатор, забирая энергию из сети и рассеивая её в виде тепла на сопротивлениях той же цепи.

Этот способ торможения характеризуется очень большим нагревом двигателя, необходимостью контроля скорости $\omega = 0$ при остановке, значительным моментом. Для уменьшения тока и увеличения тормозного момента в цепь ротора следует включать добавочное сопротивление.

5.2 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

2 Ознакомиться с электрооборудованием СЛЭУ. Записать паспортные данные испытуемого асинхронного электродвигателя М1 в таблицу 5.1.

3 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной стенда.

4 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

5 Изучить инструкции на оборудование БВАС, ПЭВМ (программа «Осциллограф»).

6 Включить персональный компьютер А2.

7 Запустить программу «Осциллограф» (ярлык на рабочем столе ПЭВМ).

Таблица 5.1 – Паспортные данные электрических машин

Обозначение	Наименование	$P_{ном}$, Вт	$U_{ном}$, В	$I_{ном}$, А	$\omega_{ном}$, рад/с
М1					

5.3 Методические указания по проведению исследований

Эксперимент проводится в следующем порядке.

1 Собрать силовую часть согласно рисунку 5.2.

2 Подать на стенд напряжение питания.

3 Нажать кнопку управления SB3 – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя КМ2, катушка управления пускателя КМ2 ставится на «самопитание» блок-контактом КМ2. Силовые контакты пускателя КМ2 замыкают цепь питания обмотки большой скорости статора электродвигателя М1.

4 Испытуемый двигатель начнет разгоняться до большой скорости, о чем свидетельствует тахометр Рw1. Для торможения противовключением испытуемого электродвигателя М1 необходимо нажать кнопку управления SB2 – подается напряжение в цепь питания катушки управления магнитного пускателя КМ1, катушка управления пускателя КМ1 ставится на «самопитание» блок-контактом КМ1. Силовые контакты пускателя КМ1 замыкают цепь питания обмотки малой скорости статора электродвигателя М1. При этом силовые контакты пускателя КМ1 размыкаются и обмотка большой скорости статора электродвигателя М1 отключается.

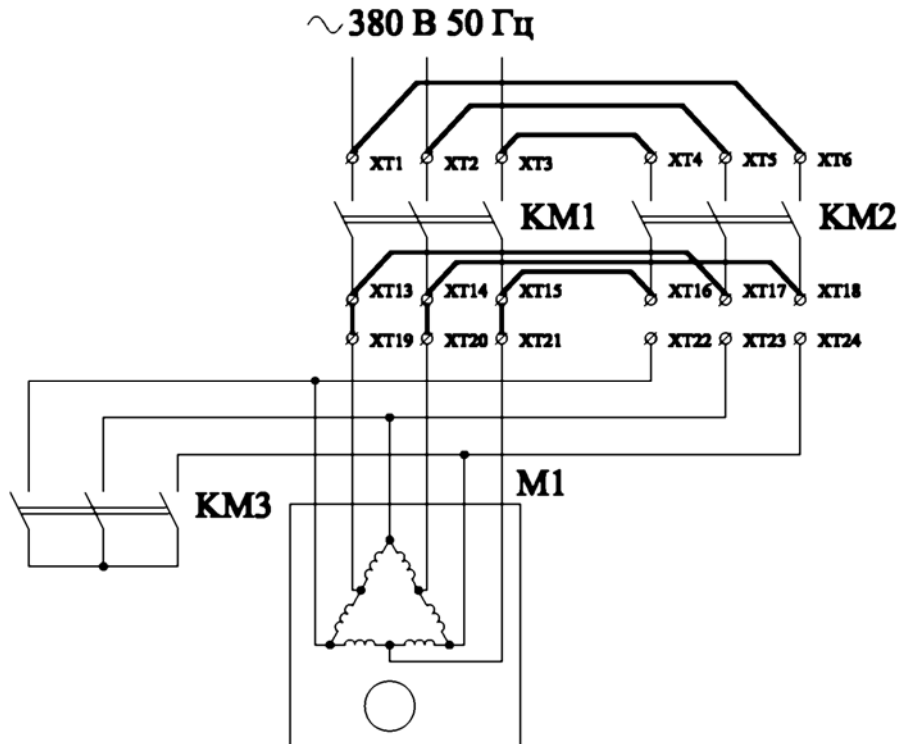


Рисунок 5.2 – Схема для исследования торможения противовключением

5 Далее, используя программу «Осциллограф», снять осциллограммы тока и скорости.

6 По окончании эксперимента нажать на кнопку SB1 – разрывается цепь питания катушек управления магнитных пускателей KM1 и KM2, пускатели KM1 и KM2 отключаются. Силовые контакты пускателей KM1 и KM2 размыкают цепи питания обмоток малой и большой скоростей статора электродвигателя M1.

5.4 Обработка результатов экспериментальных данных

По данным опытов необходимо построить:

- механическую характеристику испытуемого асинхронного электродвигателя для двух скоростей;
- механическую характеристику испытуемого асинхронного электродвигателя в исследуемых тормозных режимах.

Сделать краткий анализ исследуемых способов торможения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

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.

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.

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

Контрольные вопросы и задания

1 Изобразить МХ и проанализировать работу двигателя в режиме торможения:

- генераторного (рекуперативного);
- динамического с внешним возбуждением;
- конденсаторного;
- противовключением;
- однофазного;
- комбинированного.

2 Записать уравнение МХ асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором для режима динамического торможения с внешним возбуждением и пояснить входящие в него величины.

3 Пояснить методику экспериментального определения МХ асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в тормозных режимах, используемую в работе.

6 Лабораторная работа № 5. Экспериментальное исследование схемы автоматического пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в функции времени

Цель работы: изучить механические (МХ) и электромеханические (ЭМХ) характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ с НВ); освоить методику расчета МХ и ЭМХ для двигательного и тормозных режимов работы ДПТ с НВ; изучить способы получения искусственных МХ и ЭМХ; освоить методику экспериментального исследования МХ и ЭМХ ДПТ с НВ; изучить схему автоматического пуска ДПТ с НВ в функции времени.

6.1 Основные теоретические положения

Управляемый пуск ДПТ в функции времени может осуществляться по схеме (рисунок 6.1).

Запуск электродвигателя осуществляется нажатием на кнопку SB2. При этом якорь электродвигателя подключается к питающей сети через добавочные сопротивления R1 и R2. Также подается питание на катушку реле времени КТ1.

После окончания выдержки времени реле КТ1 замыкается контакт, подающий напряжение на катушку контактора КМ2. При этом контактом КМ2 шунтируется сопротивление R1, электродвигатель переходит на следующую искусственную характеристику. При замыкании контакта КМ2 обесточивается катушка реле времени КТ2. После окончания выдержки времени реле КТ2 подается напряжение на катушку контактора КМ3, которое своим контактором шунтирует добавочное сопротивление R2. Электродвигатель переходит на естественную механическую характеристику.

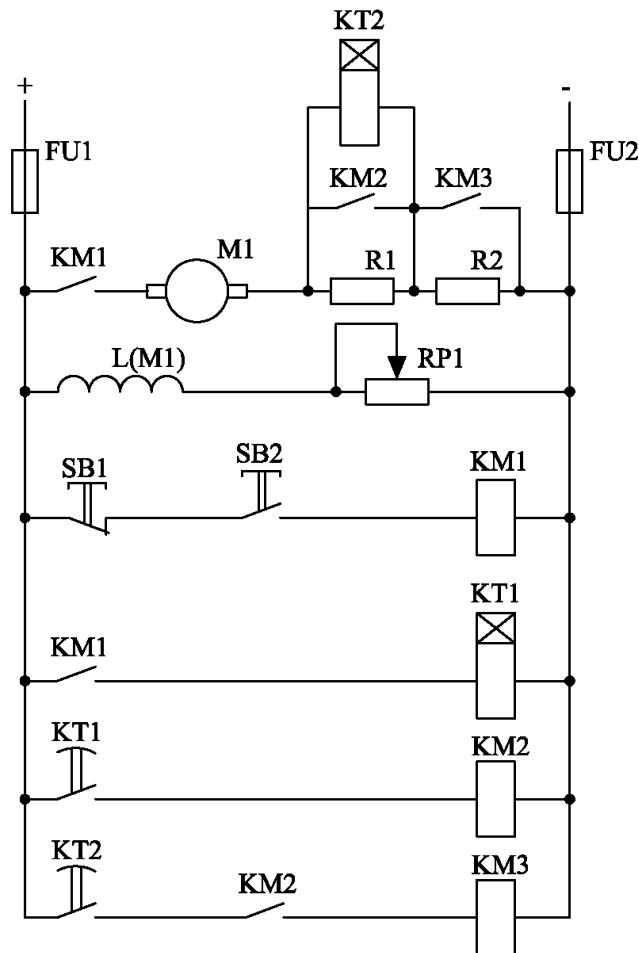


Рисунок 6.1 – Схема пуска ДПТ с НВ в функции времени

Время задержки реле КТ1 и КТ2 можно рассчитать следующим способом:

$$t_{k1} = J \frac{\Delta\omega_1}{M_{дин}}; \quad (6.1)$$

$$t_{k2} = J \frac{\Delta\omega_2}{M_{дин}}. \quad (6.2)$$

6.2 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

2 Ознакомиться с электрооборудованием стенда. Записать паспортные данные испытуемого асинхронного электродвигателя М1, нагрузочного электродвигателя М2, генератора G1 и гонного двигателя М3 в таблицу 6.1.

3 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной стенда (рисунок 6.2).

4 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

Таблица 6.1 – Паспортные данные электрических машин

Обозначение	Наименование	$P_{ном}$, Вт	$U_{ном}$, В	$I_{ном}$, А	$\omega_{ном}$, рад/с
M1					
M2					
G1					
M3					

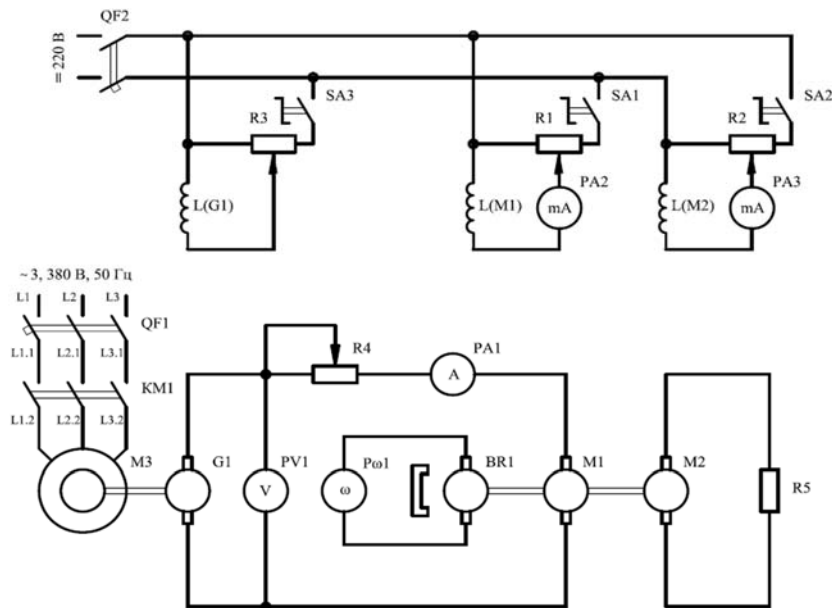


Рисунок 6.2 – Схема для исследования механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения

6.3 Методические указания по проведению исследований

6.3.1 Эксперимент № 1. Снятие естественных МХ и ЭМХ.

Данный эксперимент проводится в следующем порядке.

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 M2.

4 Включить приводной (гонный двигатель) М3 путём нажатия кнопки SB2. Постепенно увеличивая ток возбуждения генератора G1, разогнать двигатель М1.

5 Нагрузка на валу М1 регулируется путём изменения тока возбуждения машины М2 потенциометром R2. Необходимо снять 5–6 точек характеристики. В процессе снятия характеристики ток якоря не должен превышать значения $1,5I_n$ (следить по прибору PA1). Результаты исследований занести в таблицу 6.2.

6.3.2 Эксперимент № 2. Снятие искусственных ЭМХ для заданных значений напряжения на якоре М1.

Данный эксперимент проводится в следующем порядке.

1 Включить автоматические выключатели QF1, QF2 и переключить переключатели SA1, SA2, SA3 в нужную позицию.

2 Установить номинальный ток возбуждения машины М1 и минимальные токи в обмотках возбуждения машин G1 и M2.

3 Включить приводной (гонный двигатель) М3 путём нажатия кнопки SB2.

4 Постепенно увеличивая ток возбуждения генератора G1, разогнать исследуемый двигатель М1.

5 Нагрузка на валу М1 регулируется путём изменения тока возбуждения машины М2 потенциометром R2. Необходимо снять 5–6 точек характеристики. В процессе снятия характеристики ток якоря не должен превышать значения $1,5I_n$ (следить по прибору PA1). Поток (ток возбуждения) исследуемого двигателя и напряжение на якоре в процессе опыта следует поддерживать неизменными. Результаты исследований занести в таблицу 6.2.

6.3.3 Эксперимент № 3. Снятие искусственных ЭМХ (реостатные) для заданных значений добавочного сопротивления.

Данный эксперимент проводится в следующем порядке.

1 Включить автоматические выключатели QF1, QF2 и переключить переключатели SA1, SA2, SA3 в нужную позицию.

2 Установить номинальный ток возбуждения машины М1 и минимальные токи в обмотках возбуждения машин G1 и M2.

3 Включить приводной (гонный двигатель) М3 путём нажатия кнопки SB2.

4 Постепенно увеличивая ток возбуждения генератора G1, разогнать исследуемый двигатель М1.

5 Нагрузка на валу М1 регулируется путём изменения тока возбуждения машины М2 потенциометром R2. Необходимо снять 5–6 точек характеристики. В процессе снятия характеристики ток якоря не должен превышать значения $1,5I_n$ (следить по прибору PA1). Поток (ток возбуждения) исследуемого двигателя и напряжение на якоре в процессе опыта следует поддерживать неизменными. Результаты исследований занести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты исследований и расчетов

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

6.3.4 Эксперимент № 4. Снятие искусственных ЭМХ при изменении потока возбуждения М1.

Данный эксперимент проводится в следующем порядке.

1 Включить автоматические выключатели QF1, QF2 и переключить переключатели SA1, SA2, SA3 в нужную позицию.

2 Установить номинальный ток возбуждения машины М1 и минимальные токи в обмотках возбуждения машин G1 и M2.

3 Включить приводной (гонный двигатель) М3 путём нажатия кнопки SB2.

4 Постепенно увеличивая ток возбуждения генератора G1, разогнать исследуемый двигатель М1.

5 Нагрузка на валу М1 регулируется путём изменения тока возбуждения машины М2 потенциометром R2. Необходимо снять 5–6 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 6.2.

6.4 Обработка результатов экспериментальных данных

Электромагнитный момент M , Н·м, испытуемого двигателя М1 в общем случае определяется по формуле

$$M = \frac{P_{\text{э}}}{\omega}, \quad (6.3)$$

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

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

$$P_{\text{э}} = U_{\text{я}} I_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 R_4 - I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}}, \quad (6.4)$$

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

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

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

Данные расчета занести в таблицу 6.2.

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.

Расчитать и построить графики зависимости скорости вращения от времени $\omega = f(t)$ и тока якоря от времени $I_{\text{я}} = f(t)$.

По полученным графикам необходимо определить время пуска и максимальное значение тока якоря при пуске.

Контрольные вопросы и задания

1 Напишите уравнение электромеханической и механической характеристик двигателя и проанализируйте 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 Объясните методику снятия механических характеристик на лабораторной установке.

7 Лабораторная работа № 6. Экспериментальное исследование схемы автоматического пуска двигателя постоянного тока в функции тока

Цель работы: изучить схему автоматического пуска двигателя постоянного тока (ДПТ) с параллельным возбуждением в функции тока.

7.1 Основные теоретические положения

Схема пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в функции тока изображена на рисунке 7.1.

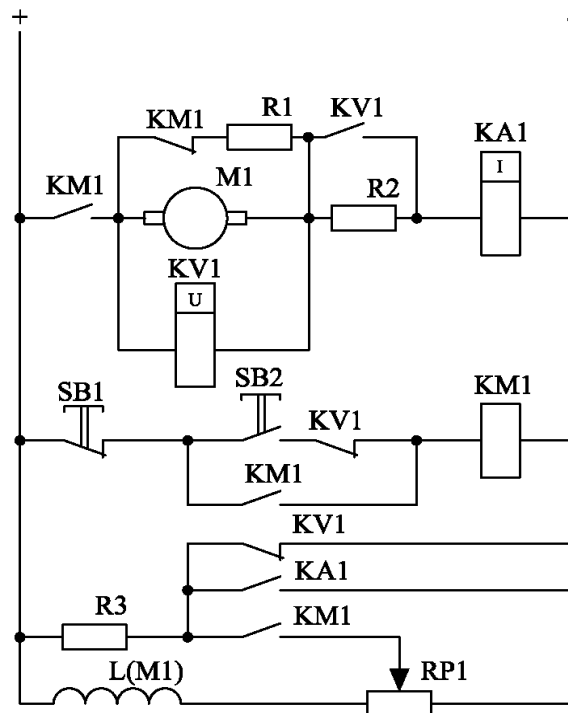


Рисунок 7.1 – Схема управления ДПТ в функции тока

Для нереверсивного управления двигателем постоянного тока параллельного возбуждения мощностью несколько киловатт можно использовать одну ступень пускового реостата. На схеме показаны регулировочное сопротивление $RP1$ в цепи возбуждения, разрядное сопротивление $R3$, включаемое параллельно обмотке возбуждения $L(M1)$, тормозное сопротивление $R1$, включаемое параллельно якорю $M1$ при его отключении от сети, пусковое сопротивление $R2$, включаемое последовательно в цепь якоря в период пуска.

Для создания максимального потока при пуске обмотка возбуждения $L(M1)$ в исходном положении включена на полное напряжение.

При нажатии на кнопку $SB2$ якорь двигателя линейным контактором $KM1$ включается в сеть последовательно с сопротивлением $R2$. Реле управления пуском $KA1$ работает в функции тока якоря. При увеличении тока замыкающий

контакт КА1 шунтирует сопротивление RP1, увеличивая магнитный поток возбуждения, а при уменьшении тока контакт КА1 размыкается и обмотка L(M1) включается последовательно с сопротивлением реостата RP1, благодаря чему магнитный ток уменьшается.

При пуске двигателя повышенный пусковой ток якоря включает реле КА1, и обмотка L(M1) создает максимальный поток. При достижении определенной частоты вращения включается контактор ускорения KV1, закорачивается пусковое сопротивление R2, после чего двигатель работает по своей естественной характеристике. Когда ток якоря снизится (в результате разгона двигателя), до включения реле КА1 разомкнется контакт КА1 в цепи возбуждения L(M1).

Обмотка L(M1) включится последовательно с сопротивлением RP1, что вызовет ослабление потока возбуждения и соответствующее увеличение тока якоря. Реле КА1 снова сработает, увеличивая поток и одновременно повышая частоту вращения двигателя. За время пуска реле КА1 срабатывает несколько раз, пока двигатель не достигнет частоты вращения, заданной регулировочным реостатом RP1. Такое вибрационное устройство, работающее в функции тока, упрощает схему по сравнению со схемами управления в функции времени.

При включении двигателя нажатием кнопки SB1 якорь включается размыкающим контактом KM1 на тормозное сопротивление R1 и автоматически происходит динамическое торможение. В начале торможения магнитное поле несколько ослабляется из-за размыкания контакта KM1 на ползунке регулировочного реостата, и ток возбуждения проходит через все сопротивление RP1. При дальнейшем снижении частоты вращения двигателя выключается контактор ускорения KV1, и поток усиливается, т. к. обмотка возбуждения включается на полное напряжение сети через размыкающий контакт KV1, что приводит к усилению тормозного момента.

7.2 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

2 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной стенда.

3 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

4 Рассчитать и построить естественные механическую и электромеханическую характеристики генератора G1.

7.3 Программа работы

1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места.

2 Рассчитать и построить естественную и искусственные МХ и ЭМХ исследуемого двигателя для заданных значений добавочных сопротивлений в цепи якоря, напряжения питания и потока возбуждения.

3 Произвести исследование работы схемы по рисунку 7.1 методом компьютерного моделирования.

7.4 Обработка результатов экспериментальных данных

Получить графики зависимости скорости вращения от времени $\omega = f(t)$ и тока якоря от времени $I_{\text{я}} = f(t)$.

По полученным графикам необходимо определить время пуска и максимальное значение тока якоря при пуске.

Контрольные вопросы и задания

1 Напишите уравнение электромеханической и механической характеристик двигателя и проанализируйте 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 Напишите и проанализируйте уравнения механической характеристики и поясните энергетику работы электродвигателя:

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

5 Поясните механические характеристики электродвигателя с независимым возбуждением при шунтировании якоря.

6 Объясните методику снятия механических характеристик на лабораторной установке.

8 Лабораторная работа № 7. Экспериментальное исследование схемы динамического торможения двигателя постоянного тока

Цель работы: изучить механические (МХ) и электромеханические (ЭМХ) характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ с НВ); освоить методику расчета МХ и ЭМХ для тормозных режимов работы ДПТ с НВ; изучить схему динамического торможения ДПТ с независимым возбуждением.

8.1 Основные теоретические положения

Режим динамического торможения происходит при отключении якоря двигателя от сети и замыкании его на внешнее сопротивление (обмотка возбуждения остается подключенной к сети). При этом кинетическая энергия, запасенная в двигателе в движущих частях приводного им механизма, преобразуется в электрическую и выделяется в виде тепла в сопротивлениях цепи якоря, т. е. машина будет работать в режиме генератора, создавая тормозной момент (рисунок 8.1).

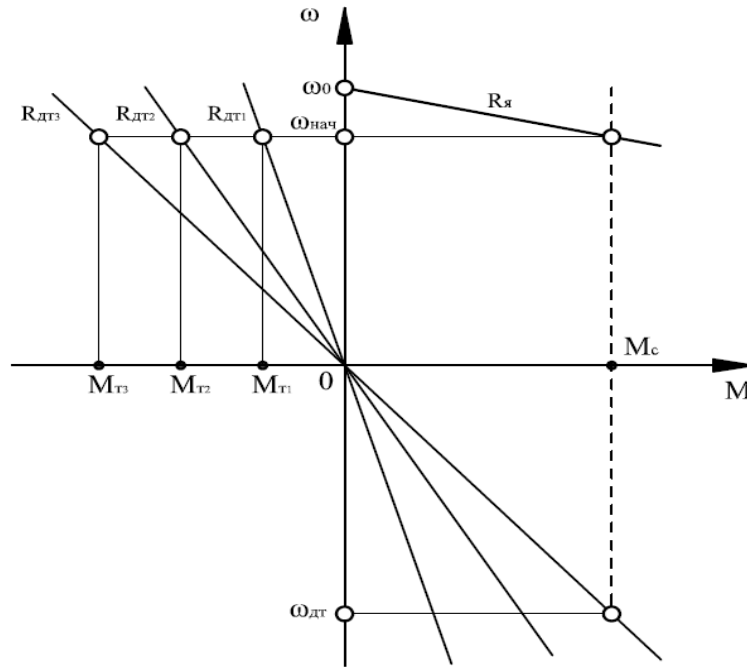


Рисунок 8.1 – МХ ДПТ с НВ в режиме динамического торможения $R_{\text{дт}1} > R_{\text{дт}2} > R_{\text{дт}3}$

Вследствие того, что ЭДС двигателя сохраняет при торможении такой же знак, как и в двигательном режиме, а напряжение извне к якорю не прикладывается, ток якоря определяется по формуле

$$I_{\text{я}} = \frac{-E}{R_{\text{я}} + R_{\text{дт}}}. \quad (8.1)$$

Величина тормозного сопротивления $R_{\text{дт}}$ рассчитывается из условия, чтобы при номинальной скорости вращения якоря его ток не превышал бы допустимого значения $I_{\text{доп}}$ по условиям коммутации:

$$R_{\text{дт}} = \frac{E_{\text{max}}}{I_{\text{доп}}} - R_{\text{я}}. \quad (8.2)$$

Уравнение механической характеристики двигателя при динамическом торможении может быть получено из общего выражения механической характеристики при $U_{\text{я}} = 0$:

$$\omega = -\frac{R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2} M. \quad (8.3)$$

Анализ выражения (8.3):

– механические характеристики двигателя при динамическом торможении представляют собой прямые, проходящие через начало координат;

- крутизна характеристики определяется величиной сопротивления цепи якоря;
- тормозной момент возрастает с уменьшением тормозного сопротивления (рисунок 8.1);
- с уменьшением скорости двигателя тормозной момент уменьшается и при $\omega = 0$, $M_m = 0$.

8.2 Подготовка к выполнению работы

- 1 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной стенда (рисунок 8.2).
- 2 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.
- 3 Рассчитать и построить естественные механическую и электромеханическую характеристики электродвигателя M2.

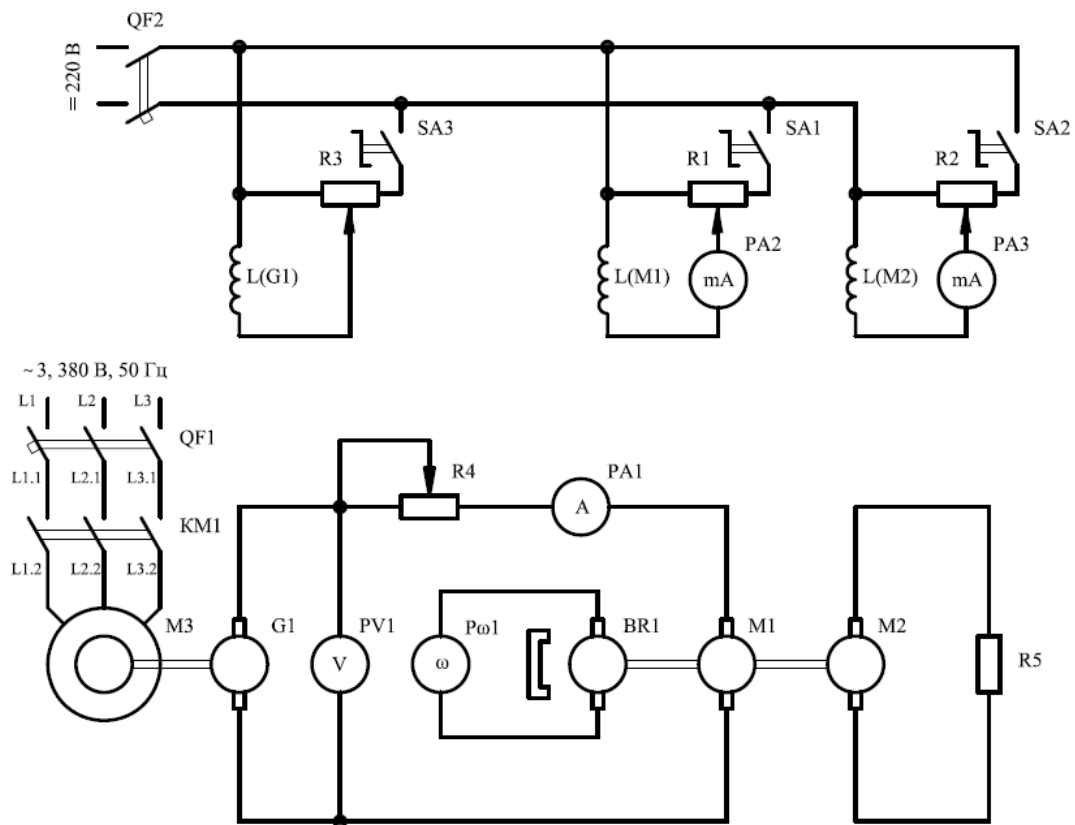


Рисунок 8.2 – Схема для исследования механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения

8.3 Методические указания по проведению исследований

- 1 Подать на стенд напряжение питания с помощью автоматических выключателей QF1, QF2.
- 2 С помощью тумблеров SA1–SA3 замкнуть обмотки возбуждения электродвигателей M1, M2 и генератора G1.

3 Установить номинальный ток возбуждения машины М1, минимальный ток в обмотке возбуждения машины G1, номинальный ток возбуждения в обмотке машины М2.

4 Включить приводной (гонный двигатель) М3 путём нажатия кнопки SB2. Постепенно увеличивая ток возбуждения генератора G1, разогнать двигатель М1 до номинальной скорости. Необходимо снять 5–6 точек характеристики. В процессе снятия характеристики ток якоря не должен превышать значения (следить по прибору РА1). Поток (ток возбуждения) исследуемого двигателя и напряжение на якоре в процессе опыта следует поддерживать неизменными. Результаты исследований заносят в таблицу 8.1.

5 Повторить п. 4 для двух других значений тока возбуждения электродвигателя М2.

Таблица 8.1 – Результаты экспериментальных исследований

Данные опыта				Данные расчета			
$I_{я}$	$I_{в}$	$U_{я}$	ω	$I_{я}R_{я}$	$I_{я}^2R_{я}$	$I_{я}^2R_4$	P
А	А	В	рад/с	Вт	Вт	Вт	Вт

8.4 Обработка результатов экспериментальных данных

Электромагнитный момент испытуемого двигателя М1 в общем случае определяется по формуле

$$M = \frac{P_{э}}{\omega}, \quad (8.4)$$

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

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

$$P_{э} = U_{я}I_{я} - I_{я}^2R_4 - I_{я}^2R_{я}, \quad (8.5)$$

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

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

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

Данные расчета заносятся в таблицу 8.1.

По результатам, занесенным в таблицу 8.1, построить механические характеристики электродвигателя М2 в режиме динамического торможения.

Контрольные вопросы и задания

1 Напишите уравнение электромеханической и механической характеристик двигателя и проанализируйте их.

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

3 Напишите и проанализируйте уравнения механической характеристики и поясните энергетику работы электродвигателя в режиме динамического торможения.

4 Объясните методику снятия механических характеристик на лабораторной установке.

9 Лабораторная работа № 8. Экспериментальное исследование тиристорного электропривода с электродвигателем постоянного тока

Цель работы: исследовать регулировочные и энергетические характеристики электропривода по системе «Управляемый выпрямитель – электродвигатель постоянного тока».

9.1 Основные теоретические положения

Свойства регулируемых электроприводов постоянного тока со статическими преобразователями – управляемыми выпрямителями, необходимые теоретические сведения по разомкнутым и замкнутым системами приводов достаточно освещены в учебной литературе.

В работе исследуется электропривод ЭТОР с серийным преобразователем типа ПТОР115/10В. Поэтому ограничимся рассмотрением устройства и работы преобразователя.

9.1.1 Назначение преобразователя типа ПТОР.

Преобразователи преобразуют переменное однофазное напряжение промышленной частоты и постоянное регулируемое реверсивное и предназначены для питания якорных цепей машин постоянного тока.

Преобразователи являются комплектными устройствами, состоящими из силовых управляемых вентилей-тиристоров, устройств управления и защиты и элементов, необходимых для создания систем автоматического регулирования. Преобразователи выпускаются двух исполнений: А и Б. При этом исполнение А обеспечивает в системе автоматического регулирования скорости диапазон регулирования 1:200, исполнение Б – 1:2000 (минимальная скорость не менее 1 об/мин при коэффициенте передачи тахогенератора не менее 0,033 В/об/мин). Преобразователи допускают 1,5-кратную перегрузку по току в течение 1 ч и 4–5-кратную в течение 10 с.

9.1.2 Состав и работа преобразователя и привода.

Преобразователь состоит из следующих функциональных узлов (рисунок 9.1):

- силовая часть (БС);
- блок фазового управления (БФУ; СИФУ);
- блок полупроводниковых усилителей (БУ);
- блок логики (БЛ);
- блок питания (БП);
- блок возбуждения тахогенератора (БВТ).

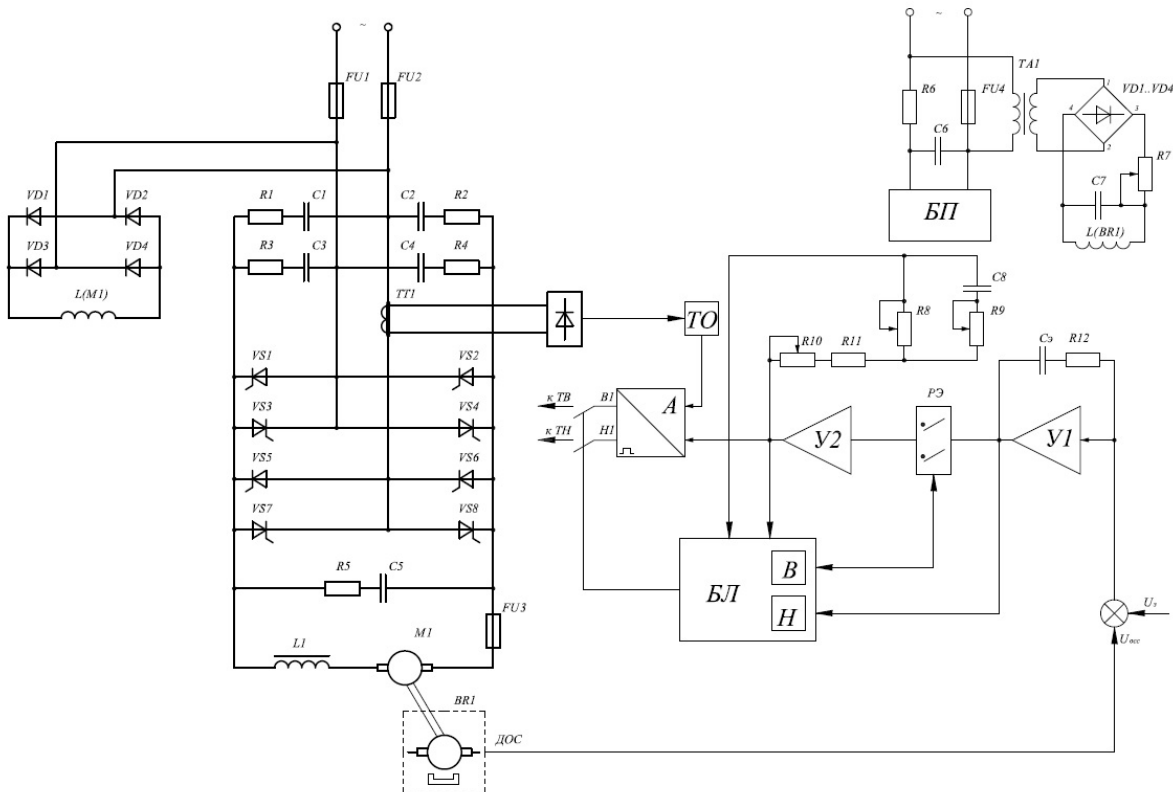


Рисунок 9.1 – Упрощенная схема автоматизированного электропривода на базе преобразователя ПТОР

Кроме указанных элементов, в схему преобразователя входит ряд дополнительных устройств, обеспечивающих устойчивую работу привода, а также необходимых для формирования заданных пускотормозных режимов.

9.1.2.1 Силовая часть. Основу силовой части преобразователя составляют два комплекта тиристоров типа Т-50, соединённых по противоположной мостовой схеме. Сглаживающий дроссель $L1$ в цепи нагрузки обеспечивает указанный ранее коэффициент использования двигателя не ниже 0,95.

Быстродействующие предохранители $FU1$, $FU2$ обеспечивают защиту преобразователя от токов короткого замыкания.

При работе преобразователя возможны следующие перенапряжения:

- идущие со стороны сети;
- обусловленные коммутацией тиристоров;
- обусловленные перегоранием предохранителей в силовых цепях.

Для защиты от указанных перенапряжений служат R–C-цепочки:

– включённые параллельно тиристорам – для ограничения $\frac{dU}{dt} < 20 \text{ В/мкс}$

(для тиристоров типа Т50) происходит самопроизвольное отпирание вентиляей;

– включённые параллельно нагрузке – для защиты от перенапряжений со стороны нагрузки.

9.1.2.2 Блок фазового управления. БФУ предназначен для формирования прямоугольных отпирающих импульсов и выдачи их в определённый момент времени, что необходимо для работы преобразователя и представляет собой одноканальную однокомплектную безынерционную систему, работающую по вертикальному типу.

9.1.2.3 Блок полупроводниковых усилителей. В преобразователе ПТОР115/10В используется два усилителя. Усилитель У2 (см. рисунок 9.1) представляет собой нереверсивный трёхкаскадный усилитель, собранный на транзисторах; работает в качестве регулятора тока. Усилитель У1 является регулятором скорости и представляет собой реверсивный усилитель на базе интегрального усилителя типа К1УТ401Б.

Основной регулирующий сигнал с регулятором скорости подаётся на вход У1. Выходное напряжение У2 является управляющим для БФУ. Связь между У1 и У2 осуществляется через блок логики.

9.1.2.4 Блок логики (БЛ). БЛ обеспечивает работу двухкомплектного реверсивного преобразователя по способу отдельного управления.

9.1.3 Работа преобразователя на якорь двигателя постоянного тока.

На рисунке 9.1 приведена упрощённая структурная схема автоматического электропривода на базе преобразователя ПТОР115/10В, обеспечивающая диапазон регулирования скорости 1:2000.

Как упоминалось выше, схема управления преобразователя построена по принципу отдельного управления комплектами вентиляей ТВ (вперёд) и ТН (назад) с использованием однокомплектного БФУ. Для осуществления переключений канала регулирования предусмотрены логические ключи В1, В2 и Н1, Н2. Ключи В1 и Н1 предназначены для подключения управляющих импульсов с выхода БФУ к тому или иному комплекту вентиляей. Ключи В2 и Н2 составляют реверсирующий элемент (РЭ) и преобразуют реверсивный управляющий сигнал $\pm U$ в однополярный сигнал для управления нереверсивным усилителем У2. Управление ключами производится блоком логики, который осуществляет их переключение в зависимости от полярности сигнала ΔU с блокированием по току силовой цепи и напряжению на выходе преобразователя У2. При появлении задающего напряжения определённой полярности на выходе регулятора скорости РС возникает сигнал $\pm \Delta U = \pm U_s \pm U_{oc}$, который после усиления У1 поступает на РЭ. Реверсивный сигнал с выхода У1 поступает также на вход БЛ. В результате сбрасывает определённый канал БЛ, например, «В», который подаёт команду на включение ключей В1 и В2. Включение В2 приводит к прохождению сигнала управления с выхода У1 на вход У2, который, действуя

на вход СИФУ, сдвигает управляющие импульсы на входе СИФУ на соответствующий угол относительно напряжения сети, а через ключ В1 управляющие импульсы проходят с выхода СИФУ на ТВ. На выходе преобразователя появляется соответствующее выпрямленное напряжение U_{δ} , происходит разгон двигателя.

БЛ удерживается в соответствующем состоянии «вперед» за счет блокировок по выходному напряжению усилителя к U_y и по току главной цепи I_{δ} , поступающего в БЛ с датчика тока. Реверсирование привода происходит следующим образом: при изменении полярности U_3 изменяется знак U_y , давая БЛ команду на переключение ключей, однако ключи В1 и В2 остаются в прежнем положении из-за наличия блокировок по U_y и I_{δ} ; U_y на вход У2 поступает обратного знака, начинается спад напряжения на выходе У2 и тока в силовой цепи. После того как U_y и I_{δ} спадут до нуля, происходит переключение ключом: В1 и В2 отключаются, Н1 и Н2 включаются с выдержкой времени, которая обеспечивает надежное закрывание ТВ. При включении Н2 на вход У2 поступает напряжение прежней положительной полярности и на его выходе появляется U_y , которое осуществляет регулирование угла открывания тиристоров и удержание БЛ во включенном состоянии. Через Н1 управляющие импульсы с выхода БФУ подаются на ТН. В результате переключения комплектов вентилях двигатель переходит в тормозной режим с рекуперацией энергии в сеть через инверторный комплект ТН. После окончания торможения двигатель разгоняется в обратную сторону тем же комплектом вентилях ТН.

Формирование прямоугольных токовых диаграмм в переходных режимах осуществляется узлом токовой отсечки (ТО). Усилитель У1 охвачен корректирующей обратной связью (С20-Р74) и является ПИ-регулятором скорости, У2 является П-регулятором тока и охвачен жесткой (R90) и гибкой (R89 С23) отрицательной обратной связью по току.

9.2 Подготовка к выполнению работы

1 Изучить теоретические материалы по направлению исследований лабораторной работы.

2 Ознакомиться с электрооборудованием СЛЭУ. Записать паспортные данные электродвигателей М1–М2 в таблицу 9.1.

3 Изучить назначение элементов и режимы работы схемы электрической принципиальной установки.

4 Изучить методики проведения экспериментальных исследований.

Таблица 9.1 – Паспортные данные электрических машин

Обозначение	Наименование	$P_{ном}$, Вт	$U_{ном}$, В	$I_{ном}$, А	$\omega_{ном}$, рад/с
М1					
М2					

Схема для исследования электропривода по системе «УВ – ДПТ» приведена на рисунке 9.2.

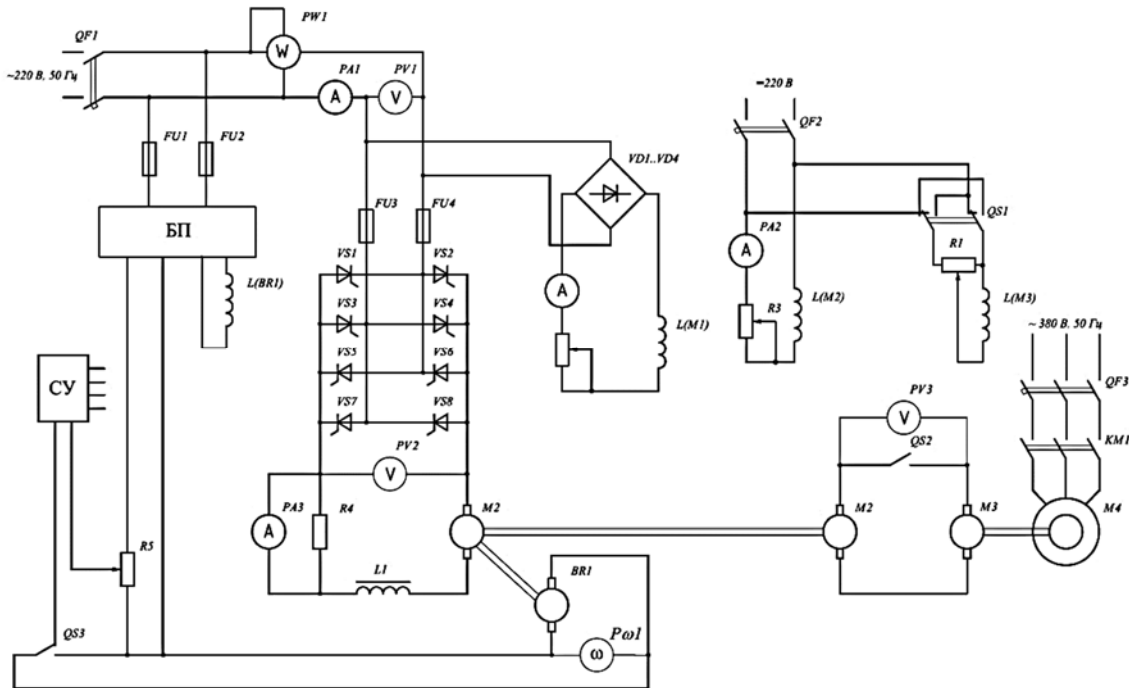


Рисунок 9.2 – Схема для исследования электропривода по системе «УВ – ДПТ»

9.3 Методические указания по проведению исследований

Данный эксперимент проводится в следующем порядке.

1 Подготовить установку к проведению исследований.

Подготовка лабораторной установки заключается в согласовании полярности включения машин М3 и М2. Для этого при разомкнутом выключателе QS2 и номинальном возбуждении машин М3 и М2 включаются машины М1 и М3. При несогласованной полярности включения вольтметр PV3 показывает суммарное напряжение якорей машин М3 и М2. В этом случае следует при помощи переключателя QS1 изменить направление тока в обмотке возбуждения М3. Напряжение, показываемое вольтметром PV3, должно при этом уменьшиться до нуля. Затем отключают машину и приступают к проведению исследований. Согласованность полярности включения машин М3 и М2 следует проверять перед каждым опытом.

2 Переключатель QS3 перевести в крайнее правое положение.

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 М4 до необходимой скорости.

6 Асинхронный двигатель М1 включается нажатием кнопки «Пуск» магнитного пускателя КМ1 при предварительно включенном автоматическом выключателе QF3. Останов производится 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 осуществлять при помощи R1 и R3.

8 Снять электромеханические характеристики электропривода с обратной связью по скорости (QS3 в положении 1) для $U_0 = U_n$, $U_0 = 0,8U_n$, $U_0 = 0,4U_n$, $U_0 = 0,2U_n$. Полученные данные записать в таблицу 9.2.

Таблица 9.2 – Экспериментальные и расчетные данные

Данные опыта								Данные расчёта		
U_0	I_g	U_1	I_1	U	I	P	ω	$\Delta\omega_0$	η	$\cos\varphi$
В	А	В	А	В	А	Вт	рад/с	%	%	–

Для построения семейства электромеханических характеристик электропривода следует снять не менее 7–8 показаний приборов.

Для этого установить номинальное возбуждение машин М3 и максимальное М2, включить двигатель М4 и установить при помощи регулятора QS3 необходимое напряжение по показанию вольтметра PV2. Далее включить двигатель М1 и замкнуть QS2 (полярность включения машин М3 и М2 предварительно согласована). Плавно уменьшая ток возбуждения М2 до нуля (ток возбуждения машин М2 поддерживается неизменным и равным номинальному), снять электромеханическую характеристику последовательного для генераторного, двигательного и режима противовключения двигателя М4. При необходимости дальнейшего увеличения нагрузки на валу М4 необходимо переключателем QS1 изменить полярность напряжения на обмотке возбуждения М2, а затем плавно увеличивать ток возбуждения.

9.4 Обработка результатов экспериментальных данных

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

$$\Delta\omega_0 = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} 100. \quad (9.1)$$

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 М4.

Коэффициент полезного действия (КПД) преобразователя

$$\eta = \frac{U_1 I_1}{P_1} 100, \quad (9.2)$$

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

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{UI}, \quad (9.3)$$

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

Контрольные вопросы и задания

- 1 Объяснить принцип регулирования скорости в системе ПТОР-Д.
- 2 Объяснить назначение основных блоков ПТОР115/10В.
- 3 Объяснить по схеме работу привода ПТОР-Д в режиме рекуперативного торможения.

Список литературы

- 1 **Ковчин, С. А.** Теория электропривода : учебник / С. А. Ковчин, Ю. А. Сабинин. – СПб. : Энергоатомиздат, 2000. – 496 с. : ил.
- 2 **Онищенко, Г. Б.** Теория электропривода : учебник / Г. Б. Онищенко. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 384 с. : ил.
- 3 **Фираго, Б. И.** Теория электропривода : учеб. пособие / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – 2-е изд. – Мн. : Техноперспектива, 2007. – 585 с.
- 4 **Фираго, Б. И.** Расчёты по электроприводу производственных машин и механизмов : учеб. пособие / Б. И. Фираго. – Мн. : Техноперспектива, 2012. – 639 с. : ил.