

Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области  
Областное государственное автономное профессиональное  
образовательное учреждение  
**«Белгородский индустриальный колледж»**

Рассмотрено  
предметно-цикловой комиссией  
Протокол заседания № 1  
от «30» августа 2019 г.  
Председатель цикловой комиссии  
Егорова И. Н.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

по выполнению лабораторных работ

ПМ 01 Организация технического обслуживания и ремонта  
электрического и электромеханического оборудования

МДК 01.01 Электрические машины и аппараты  
для специальности среднего профессионального образования  
по специальности

13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и  
электромеханического оборудования (по отраслям)

Квалификация техник

Разработчики:  
Преподаватели  
Белгородский индустриальный колледж

Духанина У. Н.  
Погребняков А.Г.

Белгород 2019 г.

## Содержание

	Стр.
1. Пояснительная записка .....	3
1.1. Краткая характеристика МДК, его цели и задачи .....	3
1.2. Организация и порядок проведения лабораторных работ.....	3
1.3. Общие указания по выполнению лабораторных работ .....	3
1.4. Критерии оценки результатов выполнения лабораторных работ.....	5
2. Тематическое планирование лабораторных работ .....	7
3. Содержание лабораторных работ .....	9
<i>Тема 1.1 Электрические машины</i>	
Лабораторная работа №1 Исследование двигателя постоянного тока смешанного возбуждения.....	9
Лабораторная работа №2 Исследование двигателя постоянного тока независимого возбуждения.....	12
Лабораторная работа №3 Исследование двухобмоточного однофазного трансформатора методом холостого хода и короткого замыкания.....	15
Лабораторная работа №4 Исследование однофазного автотрансформатора.....	17
Лабораторная работа №5 Исследование однофазного асинхронного электрического двигателя .....	19
Лабораторная работа №6 Исследование однофазного генератора.....	21
Лабораторная работа №7 Исследование холостого хода асинхронного двигателя.....	24
Лабораторная работа №8 Исследование короткого замыкания асинхронного двигателя.....	26
Лабораторная работа №9 Исследование динамического торможения асинхронного двигателя .....	29
Лабораторная работа №10 Исследование трехфазного асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки.....	31
Лабораторная работа №11 Исследование характеристик шагового двигателя.....	33
<i>Тема 1.2 Электрические аппараты</i>	
Лабораторная работа №1 Исследование работы реле напряжения .....	39
Лабораторная работа №2 Исследование работы реле тока .....	42
Лабораторная работа №3 Исследование работы теплового реле .....	46
Лабораторная работа №4 Исследование работы реле времени .....	50
Лабораторная работа №5 Исследование работы автоматического выключателя.....	54
Лабораторная работа №6 Исследование плавких предохранителей.....	59
<i>Тема 1.3 Электрический привод</i>	
Лабораторная работа №1 Определение момента инерции методом свободного выбега.....	62
Лабораторная работа №2 Изучение механических характеристик двигателя постоянного тока в различных режимах .....	66
Лабораторная работа №3 Изучение регулировочных свойств электропривода с двигателем постоянного тока .....	70
Лабораторная работа №4 Исследование механической характеристики асинхронного электродвигателя в различных режимах .....	74
Лабораторная работа №5 Исследование механической характеристики синхронного электродвигателя .....	79
Лабораторная работа №6 Исследование нагрузочных диаграмм электродвигателя.....	82
Лабораторная работа №7 Исследование разомкнутой схемы управления двигателем постоянного тока .....	88
Лабораторная работа №8 Исследование разомкнутой релейной схемы управления асинхронным двигателем с фазным ротором .....	92
Лабораторная работа №9 Исследование реверсивной схемы управления асинхронным двигателем с фазным ротором с торможением противовключением .....	95
4. Информационное обеспечение обучения.....	98

## **1. Пояснительная записка**

### **1.1. Краткая характеристика МДК, его цели и задачи**

Междисциплинарный курс МДК 01.01 «Электрические машины и аппараты» является частью рабочей основной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования.

Дисциплина изучается в III-IV семестрах. В целом рабочей программой предусмотрено 126 часов на выполнение лабораторных работ, что составляет 35 % от обязательной аудиторной нагрузки, которая составляет 356 часа, при этом максимальная нагрузка составляет 388 часа, из них 16 часа приходится на самостоятельную работу обучающихся.

Цель настоящих методических рекомендаций: оказание помощи обучающимся в выполнении лабораторных работ по междисциплинарному курсу МДК 01.01 «Электрические машины и аппараты», качественное выполнение которых поможет обучающимся освоить обязательный минимум содержания дисциплины и подготовиться к промежуточной аттестации в форме экзамена

### **1.2. Организация и порядок проведения лабораторных работ**

Лабораторные работы проводятся после изучения теоретического материала. Введение лабораторных работ в учебный процесс служит связующим звеном между теорией и практикой. Они необходимы для закрепления теоретических знаний, а также для получения практических навыков и умений. При проведении лабораторных работ задания, выполняются студентом самостоятельно, с применением знаний и умений, усвоенных на предыдущих занятиях, а также с использованием необходимых пояснений, полученных от преподавателя. Обучающиеся должны иметь методические рекомендации по выполнению лабораторных работ, конспекты лекций, измерительные и чертежные инструменты, средство для вычислений.

### **1.3. Общие указания по выполнению лабораторных работ**

Курс лабораторных работ по междисциплинарному курсу МДК 01.01 «Электрические машины и аппараты» предусматривает проведение 26 работ, посвященных изучению:

- режима работы двухобмоточного однофазного трансформатора;
- режимов работы однофазного автотрансформатора;
- режимов работы двигателей переменного и постоянного тока;
- режимов работы однофазного генератора;
- принцип работы различных видов реле.

При подготовке к проведению лабораторной работы необходимо:

- ознакомиться с лабораторным оборудованием;
- ознакомиться с порядком выполнения работы, установить диапазон изменения всех измеряемых величин, а также значение уставок (по заданию).

После выполнения лабораторной работы обучающийся к следующему занятию оформляет отчет, который должен содержать:

- название лабораторной работы, ее цель;
- краткие, общие сведения об изучаемом лабораторном оборудовании;
- необходимый графический материал, указанный преподавателем при выполнении лабораторной работы (принципиальная схема лабораторной установки, графики);
- данные, полученные непосредственно из проводимых опытов;
- результаты обработки данных опытов с необходимыми пояснениями;
- графический материал, отображающий полученные в ходе опытов значения измеряемых величин;

- оценку результатов испытаний.

При работе в лаборатории необходимо руководствоваться инструкциями по технике безопасности, учитывающими все специфические особенности лаборатории, такие как наличие высокого напряжения, легкодоступных для прикосновения токоведущих частей электрооборудования.

В лаборатории нельзя находиться в отсутствие преподавателя или лица, ответственного за технику безопасности.

При нахождении в лаборатории следует находиться в рабочей зоне, указанной преподавателем. С самого начала необходимо убедиться в том, что испытательный стенд находится в полностью обесточенном (отключенном) состоянии.

Перед выполнением лабораторной работы необходимо получить вводные инструкции преподавателя и внимательно ознакомиться с описанием лабораторного стенда и оборудованием.

**Внимание! Включать лабораторные установки и выполнять какие-либо действия с приборами допускается ТОЛЬКО с разрешения преподавателя!**

При обнаружении признаков неисправности, таких как: появление искрения, дыма, специфического запаха, аномальных показаний измерительных приборов, следует немедленно отключить все источники электроэнергии и сообщить о случившемся преподавателю.

При возникновении реальной опасности травматизма для одного или нескольких присутствующих, участники испытания должны произвести срочное отключение лаборатории от всех источников электроэнергии выключением вводного автомата. Лаборатории должны иметь средства пожаротушения и оказания первой медицинской помощи. На первом занятии изучаются правила техники безопасности и проводится вводный инструктаж с последующей проверкой его усвоения, о чем свидетельствует запись в журнале по технике безопасности кабинета/лаборатории, подписываемый преподавателем, проводившем инструктаж, и всеми обучающимися.

#### **1.4. Критерии оценки результатов выполнения лабораторных работ**

Критериями оценки результатов работы обучающихся являются:

- уровень усвоения обучающимся учебного материала;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общеучебных и профессиональных компетенций:

ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам.

ОК 02 Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 03 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие.

ОК 04 Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.

ОК 05 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста.

ОК 06 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей.

ОК 07 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.

ОК 08 Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности.

ОК 09 Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности

ОК 10 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.

ОК 11 Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере.

ПК 1.1 Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.2 Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.3 Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования.

ПК 1.4 Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования

- обоснованность и четкость изложения материала;
- уровень оформления работы.
- анализ результатов.

### Критерии оценивания лабораторной работы

Оценка	Критерии оценивания
5	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.
4	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
3	Работа выполнена в полном объеме, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, допуская ошибки на дополнительные вопросы.
2	Работа выполнена не полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.

## 2. Тематическое планирование лабораторных работ

Тема	Наименование тем	Вид и название работы	Количество часов на выполнение работы
<b>1.1.</b>	<b>Электрические машины</b>		<b>48</b>
		<b>Лабораторная работа №1</b> Исследование двигателя постоянного тока смешанного возбуждения	4
		<b>Лабораторная работа №2</b> Исследование двигателя постоянного тока независимого возбуждения	4
		<b>Лабораторная работа №3</b> Исследование двухобмоточного однофазного трансформатора методом холостого хода и короткого замыкания	4
		<b>Лабораторная работа №4</b> Исследование однофазного автотрансформатора	4
		<b>Лабораторная работа №5</b> Исследование однофазного асинхронного электрического двигателя	6
		<b>Лабораторная работа №6</b> Исследование однофазного генератора	6
		<b>Лабораторная работа №7</b> Исследование холостого хода асинхронного двигателя	4
		<b>Лабораторная работа №8</b> Исследование короткого замыкания асинхронного двигателя	4
		<b>Лабораторная работа №9</b> Исследование динамического торможения асинхронного двигателя	4
		<b>Лабораторная работа №10</b> Исследование трехфазного асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки	4
		<b>Лабораторная работа №11</b> Исследование характеристик шагового двигателя	4
<b>Тема 1.2</b>	<b>Электрические аппараты</b>		<b>12</b>
		<b>Лабораторная работа №1</b> Исследование работы реле напряжения	2
		<b>Лабораторная работа №2</b> Исследование работы реле тока	2
		<b>Лабораторная работа №3</b> Исследование работы теплового реле	2
		<b>Лабораторная работа №4</b> Исследование работы реле времени	2
		<b>Лабораторная работа №5</b> Исследование работы автоматического выключателя	2
		<b>Лабораторная работа №6</b> Исследование плавких предохранителей	2

Тема	Наименование тем	Вид и название работы	Количество часов на выполнение работы
Тема 1.3	Электрический привод		<b>66</b>
		Лабораторная работа №1 Определение момента инерции методом свободного выбега	6
		Лабораторная работа №2 Изучение механических характеристик двигателя постоянного тока в различных режимах	8
		Лабораторная работа №3 Изучение регулировочных свойств электропривода с двигателем постоянного тока	6
		Лабораторная работа №4 Исследование механической характеристики асинхронного электродвигателя в различных режимах	8
		Лабораторная работа №5 Исследование механической характеристики синхронного электродвигателя	8
		Лабораторная работа №6 Исследование нагрузочных диаграмм электродвигателя	6
		Лабораторная работа №7 Исследование разомкнутой схемы управления двигателем постоянного тока	8
		Лабораторная работа №8 Исследование разомкнутой релейной схемы управления асинхронным двигателем с фазным ротором	8
		Лабораторная работа №9 Исследование реверсивной схемы управления асинхронным двигателем с фазным ротором с торможением противовключением	8
		<b>Итого:</b>	<b>126</b>



### 3. Содержание лабораторных работ

#### Тема 1.1 Электрические машины

#### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

**Тема:** Исследование двигателя постоянного тока смешанного возбуждения

**Цель работы:** Изучить устройство двигателя постоянного тока смешанного возбуждения и приобрести практические навыки в сборке схемы при опытном исследовании двигателя для получения данных его основных характеристик; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах двигателей постоянного тока смешанного возбуждения

#### Краткие теоретические сведения

Рабочие свойства машины постоянного тока зависят в значительной мере от способа соединения обмотки возбуждения с якорем машины. По способу питания обмотки возбуждения машины постоянного тока подразделяются: на машины с параллельным возбуждением (шунтовые), машины с последовательным возбуждением (серийные) и машины со смешанным возбуждением (компаундные). Машины с параллельным и смешанным возбуждением применяют в качестве, как генераторов, так и двигателей, с последовательным возбуждением – только в качестве двигателей.

В машинах со смешанным возбуждением обмотка возбуждения имеет две части: одну, соединенную параллельно, а другую – последовательно с обмоткой якоря. Обмотки возбуждения, присоединяемые параллельно, выполняются из проводов небольшого сечения; обмотки же, присоединяемые последовательно, рассчитываемые на прохождение через них, полного тока генератора, выполняются из проводов большого сечения.

Выходы обмотки якоря маркируются буквами Я1 и Я2. Обмотки возбуждения бывают двух типов: параллельного (Ш1 – Ш2) и последовательного (С1 – С2) возбуждения. ДПТ могут иметь дополнительные полюса с обмоткой Д1 – Д2, которая включается последовательно с обмоткой якоря и служит для компенсации действия реакции якоря.

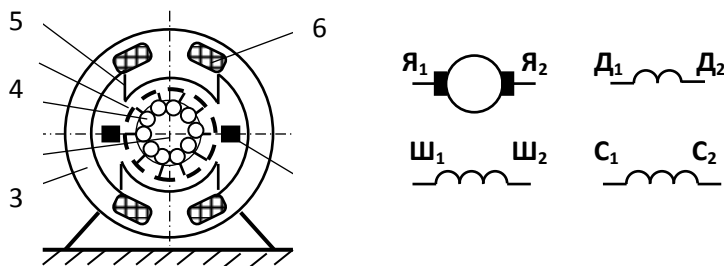


Рисунок 1. Электромагнитная схема и условные обозначения основных элементов машины постоянного тока

#### Порядок выполнения работы:

1. Убедиться в отключенном состоянии вводного автоматического выключателя QF стенда №2.
2. Ознакомиться с электрической принципиальной схемой и схемой соединения стенда № 2 (рисунок 2).

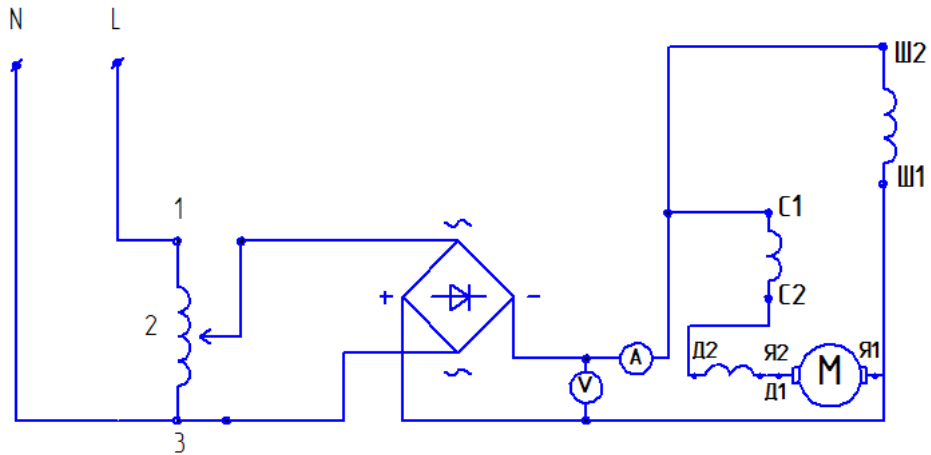


Рисунок 2. Схема подключения ДПТ смешанного возбуждения

3. Записать технические характеристики (данные) электродвигателя и измерительных приборов в таблицу 1.

Таблица 1

Технические характеристики электрооборудования	
Наименование	Технические характеристики
Электродвигатель	
Тип	
Мощность $P_2$ , кВт	
Напряжение $U_H$ , В	
Номинальный ток якоря $I_a$ , А	17
Режим работы	
КПД $\eta$ , %	
Частота вращения $n_H$ , об/мин	
Сопротивление обмотки якоря при 20°C, Ом	0,127
Сопротивление обмотки возбуждения при 20°C, Ом	12,4
Измерительные приборы	
Амперметр	
Вольтметр	

4. Соединение с фазы В идет на клемму 1 автотрансформатора, далее соединение с клеммы N идет на клемму 3 автотрансформатора, с клеммы 2 регулятора автотрансформатора и с клеммы 3 ставятся перемычки на вход выпрямителя.

5. Обмотку Ш1-Ш2 подключить параллельно якорной цепи двигателя, а обмотку С1-С2 подключить последовательно.

6. Измерительные приборы подключить согласно схеме подключения.

7. После проверки схемы преподавателем, подать питание на стенд и снять показания приборов. Полученные данные занести в таблицу 2.

## Полученные данные

Номер измерения	Измерения		Вычисления	
	U, В	I <sub>a</sub> , А	n, об/мин	M, Н м
1				
2				
3				
4				
5				

Электромагнитный момент испытуемого двигателя M определяется по формуле:

$$M = C_M * I_a * \Phi$$

где  $C_M = 39,8$  (задано по условию),

$\Phi = 4,8$  Вб (задано по условию).

$$n = (U - I_a * \Sigma r) / (C_e * \Phi)$$

где  $C_e = 0,08$  (задано по условию),

$\Sigma r = 0,07$  Ом (задано по условию).

7. Построить механические характеристики  $n=f(M)$  в одних осях координат.

n,  
об/мин

**Контрольные вопросы:**

1. В каком случае МДС обмоток возбуждения суммируется?
2. В каком случае при увеличении нагрузки частота вращения стабилизируется и остается неизменной?
3. Какие характеристики двигателя смешанного возбуждения называют рабочими?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

**Тема:** Исследование двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

**Цель работы:** Изучить устройство двигателя постоянного тока независимого возбуждения и приобрести практические навыки в сборке схемы при опытном исследовании двигателя для получения данных его основных характеристик; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах двигателей постоянного тока независимого возбуждения.

### Краткие теоретические сведения

У ДПТ с независимым возбуждением, как показано на рисунок 1, электрические цепи обмоток якоря 1 и возбуждения 2 электрически не связаны и подключаются к различным источникам питания с напряжениями  $U$  и  $U_E$ . Как правило,  $U > U_E$ . В общем случае последовательно с якорной обмоткой и обмоткой возбуждения могут быть включены дополнительные резисторы  $r_d$  и  $r_p$ . Если мощность источника питания значительно превышает мощность двигателя, то процессы в якорной обмотке и в обмотке возбуждения протекают независимо. Поэтому такие двигатели являются частным случаем ДПТ независимого возбуждения и их свойства одинаковы.

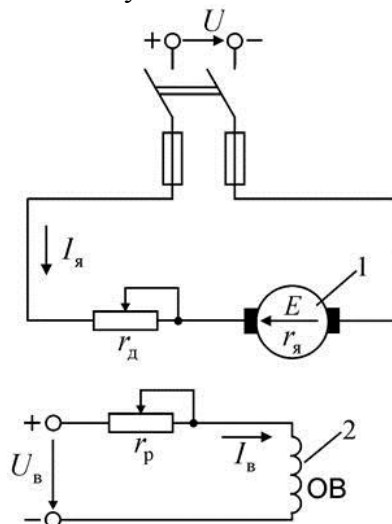


Рисунок 1. Электрическая схема подключения ДПТ НВ:  
1 – цепь обмотки якоря; 2 – цепь обмотки возбуждения.

### Порядок выполнения работы:

1. Убедиться в отключенном состоянии вводного автоматического выключателя QF стенда №6.

2. Для исследования статических механических и электромеханических характеристик ДПТ с НВ используется схема, представленная на рисунке 2. Схема позволяет исследовать механические и электромеханические характеристики двигательного режима. В качестве источника регулируемого напряжения служит ЛАТР. Лабораторная установка позволяет снимать следующие характеристики: искусственные при изменении напряжения на якоре. Ознакомиться с электрической принципиальной схемой и схемой соединения стенда № 6 (рисунок 2).

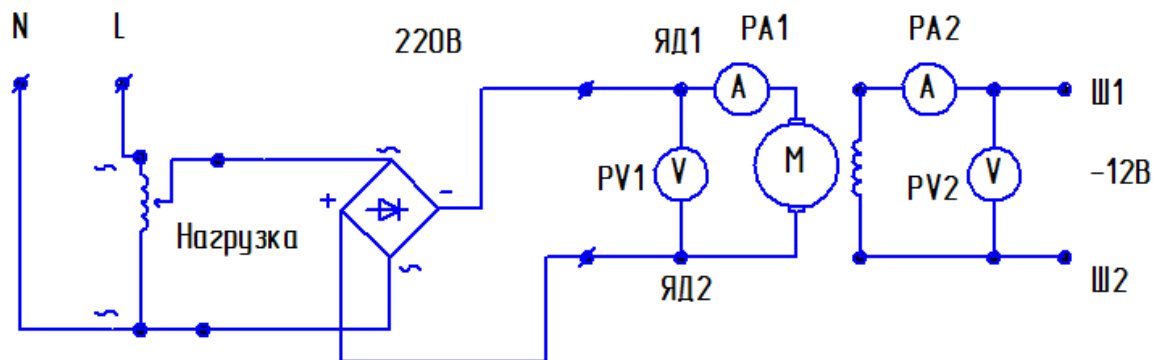


Рисунок 1. Схема подключения ДПТ независимого возбуждения

3. Записать технические характеристики (данные) электродвигателя и измерительных приборов в таблицу 2.

Таблица 1

Технические характеристики электрооборудования	
Наименование	Технические характеристики
Электродвигатель	
Тип	
Мощность $P_2$ , кВт	
Напряжение $U_H$ , В	
Номинальный ток якоря $I_a$ , А	
Режим работы	
КПД $\eta$ , %	
Частота вращения $n_H$ , об/мин	
Измерительные приборы	
Амперметр	
Вольтметр	

4. Источник переменного тока соединить с ЛАТРОм согласно клеммным выводам на стенде, далее поставить перемычки между клеммами нагрузки и выпрямителя.

5. Обмотки якоря ЯД1 и ЯД2 ДПТ соединить с полюсами выпрямителя, измерительные приборы подключить согласно схеме, представленной на рисунке 2. Обмотку возбуждения Ш1-Ш2 подключить к источнику питания постоянного напряжения 12 В.

6. После проверки схемы преподавателем, подать питание на стенд и снять показания приборов в пяти точках с учетом регулирования напряжения на обмотке якоря. Полученные данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

Полученные данные				
Номер измерения	Измерения		Вычисления	
	U, В	$I_a$ , А	$n$ , об/мин	M, Н м
1				

2				
3				
4				
5				

Электромагнитный момент испытуемого двигателя  $M$  определяется по формуле:

$$M = C_m * I_a * \Phi$$

где  $C_m = 39,8$  (задано по условию),

$\Phi = 4,8$  Вб (задано по условию).

$$N = (U - I_a * \Sigma r) / (C_e * \Phi)$$

где  $C_e = 0,08$  (задано по условию),

$\Sigma r = 0,07$  Ом (задано по условию).

7. Построить механические характеристики  $n=f(M)$  в одних осях координат.



#### Контрольные вопросы:

1. Почему естественные и искусственные характеристики электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения пересекаются в одной точке?
2. Какие причины влияют на жёсткость механических характеристик электродвигателя независимого возбуждения?
3. В каких квадрантах осей координат располагаются характеристики электродвигателя независимого возбуждения?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

**Тема:** Исследование двухобмоточного однофазного трансформатора методом холостого хода и короткого замыкания.

**Цель работы.** Ознакомиться с устройством трансформатора; усвоить практические приемы лабораторного исследования трансформатора методом холостого хода и короткого замыкания.

#### Порядок выполнения работы.

Однофазный трансформатор. Опыт холостого хода.

В схеме включения однофазного трансформатора при опыте х. х. применен регулятор напряжения РНО, позволяющий плавно регулировать подводимое к первичной обмотке напряжение. В качестве первичной обычно используют обмотку низшего напряжения НН. Всего делают не менее пяти замеров через приблизительно одинаковые интервалы тока х. х., изменяя подводимое к трансформатору напряжение от  $0,5 U_{1ном}$  до  $1,15 U_{1ном}$ . Показания измерительных приборов заносят в таблицу 1.

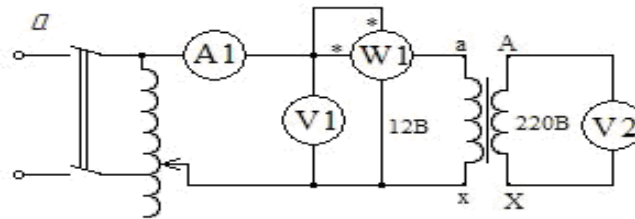


Рисунок 1. Схема включения однофазного трансформатора при опыте х.х.

Затем выполняют расчеты: ток х. х. в процентах от номинального первичного тока,  $i_0 = (I_0 / I_{1ном}) 100$ ; коэффициент мощности в режиме х. х.  $\cos \phi_0 = P_0 / (U_1 I_0)$ ; коэффициент трансформации  $k = U_{20} / U_1$

Полученные значения вычисленных величин занести в табл.1 Величины, соответствующие номинальному первичному напряжению  $U_{1ном}$ , следует выделить, например, подчеркнув их жирной линией. По данным таблицы строят характеристики х. х. трансформатора (на общей координатной сетке):  $I_0$ ;  $P_0$ ;  $\cos \phi_0 = f(U_1)$ . На характеристиках отмечают точки  $I_{0ном}$ ;  $P_{0ном}$  и  $\cos \phi_{0ном}$ , соответствующие номинальному напряжению  $U_{ном}$ .

Таблица 1

Полученные данные

Номер измерения и вычисления	Измерения				Вычисления	
	$U_1, В$	$I_0, А$	$I_2, А$	$P_0, Вт$	$i_0, \%$	$\cos \phi_0$

#### Опыт короткого замыкания.

При опыте к. з. трансформатора (рис. 2) напряжение обычно подводят к обмотке ВН, номинальное значение тока в которой меньше, чем в обмотке НН. В некоторых случаях это позволяет включать ваттметр в первичную цепь без трансформатора тока.

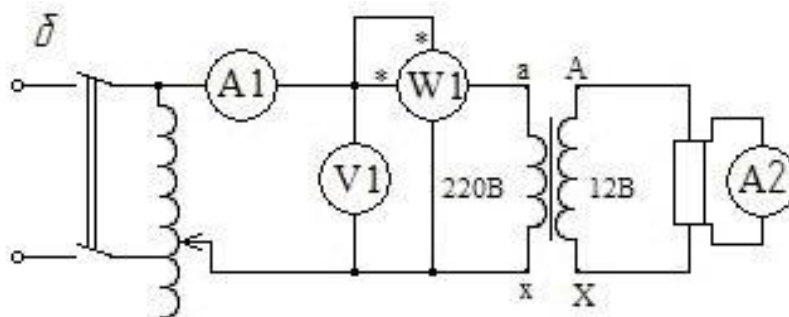


Рисунок 2. Схемы включения однофазного трансформатора при опыте к.з.

Вторичную обмотку трансформатора замыкают накоротко медным проводом достаточного поперечного сечения, чтобы не создавать во вторичной цепи трансформатора значительного электрического сопротивления.

Опыт к. з. проводят в такой последовательности: устанавливают рукоятку РНО на нулевую отметку, а затем, включив рубильник, медленно повышают напряжение посредством РНО, изменяя величину тока к. з. от нуля до значения  $1,2/I_{ном}$ . Показания измерительных приборов, снятые через приблизительно одинаковые интервалы тока к.з., а также результаты вычислений заносят в таблицу 2.

Таблица 2

Полученные данные

Номер измерения и вычисления	Измерения				Вычисления	
	$U_k, В$	$I_{1k}, А$	$I_{2k}, А$	$P_k, Вт$	$u_k, \%$	$\cos\phi_k$

Затем выполняют расчеты: напряжение к. з. в процентах от номинального первичного напряжения

$$U_k = (U_k/U_{ном})100;$$

коэффициент мощности при опыте к. з.

$$\cos\phi_k = P_k / (U_k I_k )$$

По данным таблицы строят характеристики к. з. (на общей координатной сетке):

$I_k; P_k; \cos\phi_k = f(U_k)$ . На характеристиках отмечают точки  $U_{кном} P_{кном}$  соответствующие току к. з.  $I_{1k} = I_{ном}$

**Контрольные вопросы:**

1. Объясните устройство и принцип действия трансформатора.
2. Что такое коэффициент трансформации и как его определить опытным путем?
3. Почему токи х. х. в обмотках трехфазного трансформатора не одинаковы?
4. Почему с увеличением первичного напряжения при опыте х. х. уменьшается коэффициент мощности трансформатора?
5. Почему мощность х. х. принимают за магнитные потери, а мощность к. з. — за электрические потери?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

**Тема:** Исследование однофазного автотрансформатора.

**Цель работы:** экспериментально подтвердить особые свойства автотрансформатора сравнением его параметров с параметрами трансформатора, полученными при исследовании совмещенной модели.

### Порядок выполнения работы:

Исследование понижающего трансформатора. После сборки схемы по рис. 1, а и проверки ее преподавателем провести опыт х. х. трансформатора. Для этого при разомкнутом рубильнике 2 включить рубильник 1 и регулятором РНО установить номинальное первичное напряжение. Снять показания приборов и занести их в таблицу 1.

Затем провести опыт номинальной нагрузки трансформатора. Для этого замкнуть рубильник 2 и при номинальном первичном напряжении нагрузочным реостатом  $R_n$  установить номинальный ток нагрузки по вторичной обмотке трансформатора  $I_{2ном}$ . При этом снять показания приборов и занести их в таблицу 1.

Исследование понижающего автотрансформатора. Понижающий автотрансформатор по схеме, показанной на рисунок 1, б, имеет такой же коэффициент трансформации, что и понижающий трансформатор (рисунок 1, а). После сборки схемы понижающего автотрансформатора и проверки ее преподавателем провести опыт х. х. (при разомкнутом рубильнике 2) и опыт номинальной нагрузки (при замкнутом рубильнике 2). Порядок проведения опытов такой же, как и для понижающего трансформатора.

Исследование повышающего автотрансформатора. Собрав схему по (рисунок 1, в,) и проверки ее преподавателем проводят сначала опыт х. х., а затем опыт номинальной нагрузки, где за номинальный ток нагрузки  $I_{2ном}$  принимают такое его значение, при котором ток в первичной обмотке равен допускаемому значению  $I_{1доп}$ .

Таблица 1

Полученные данные

Режим работы совмещенной модели	Измерения										Вычисления			
	$U_1, В$	$U_{20}, В$	$I_0, А$	$P_0, Вт$	$I_1, А$	$P_1, Вт$	$I_{2ном}, А$	$U_2, В$	$P_2, Вт$	$I_{12}, А$	$\Delta U_{ном}, \%$	$\Sigma P, Вт$	$P_3, Вт$	$\eta, \%$
Трансформатор понижающий														
Автотрансформатор понижающий														
Автотрансформатор повышающий														

После заполнения таблицу 1 результатами измерений выполняют расчеты: номинальное изменение вторичного напряжения при нагрузке (%):

$$\Delta U_{ном} = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100;$$

сумма потерь в трансформаторе:  $\Sigma P = P_1 - P_2$ ; (Вт)

электрические потери:  $P_3 = \Sigma P - P_0$ ; (Вт)

КПД:  $\eta = (P_2 / P_1) 100$ . (%)

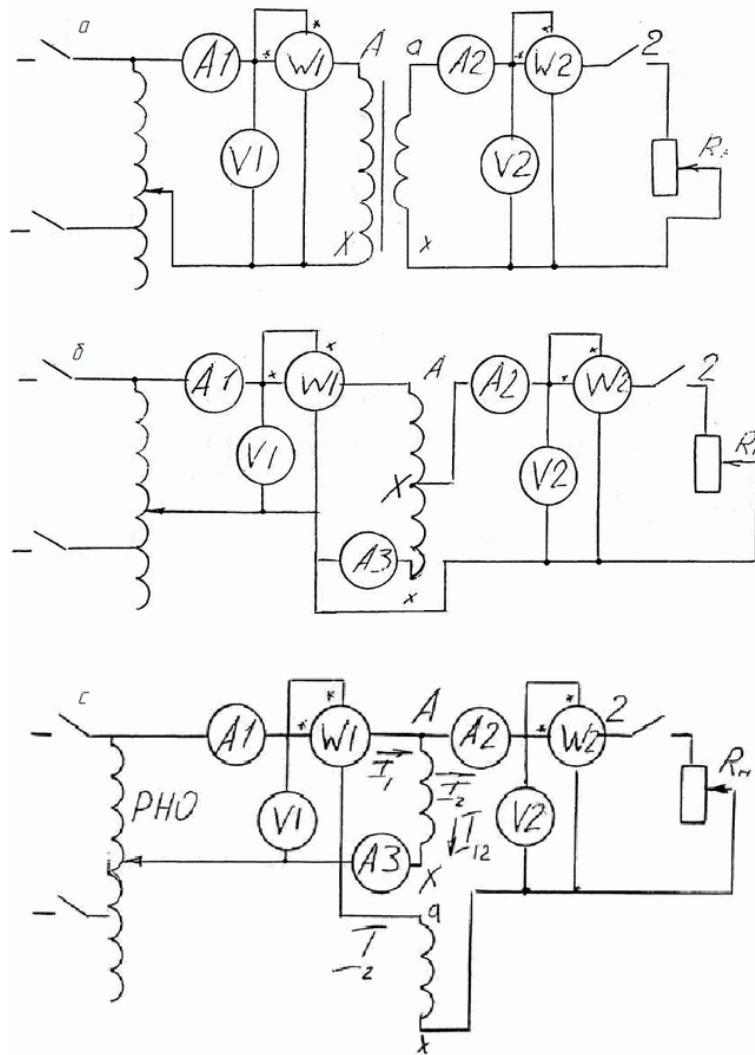


Рисунок 1. Схемы соединений для исследования автотрансформатора:  
 а - понижающий трансформатор; б - понижающий автотрансформатор; с -  
 повышающий автотрансформатор.

#### Контрольные вопросы:

1. В чем состоит конструктивное различие между трансформатором и автотрансформатором?
2. Объясните принцип передачи мощности из первичной цепи во вторичную у трансформатора и у автотрансформатора.
3. Каковы достоинства автотрансформатора перед трансформатором?
4. При каких значениях коэффициента трансформации применение автотрансформатора наиболее выгодно?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

**Тема:** Исследование однофазного асинхронного электрического двигателя.

**Цель работы:** Изучение работы однофазного двигателя в двигательном режиме; построение вольт-амперных характеристик двигателя.

### Порядок выполнения работы:

1. Изучить основные теоретические сведения.
2. Записать технические (паспортные) данные машин, аппаратов и измерительных приборов.

Паспортные данные приборов и оборудования:

Наименование	Обозначение	Тип	Технические данные
Вольтметр	PV1	AD16-22DSN	0-450В
Вольтметр	PV2	AD16-22DSN	0-450В
Вольтметр	PV3	AD16-22DSN	0-450В
Мультиметр	PV4	Atlantic DT-182	0-500В
Мультиметр	РА1	Excel DT-9205D	0-20А
Контактор	КМ1	КМИ-11810	18А
Двигатель	М	АИР65В4	380В, 0,18кВт
Кнопочный пост	SB1,SB2	ПКЕ 222-2	2-х кнопочный

3. Собрать электрическую схему установки.
4. Снять вольт-амперные характеристики в двигательном режиме. Показания приборов записать в таблицу 1.
5. Построить вольт-амперные характеристики двигателя.

Таблица 1

### Полученные данные

№ п/п Режим работы	Показания приборов		Расчетные данные
	U, В	I, А	P, Вт
1. режим х.х.			
2. $R_d=20$ Ом			
3. механическая нагрузка, $R_d=0$ Ом			
4. механическая нагрузка, $R_d=20$ Ом			

### Методические указания к проведению опытов:

#### 1. Двигательный режим, холостой ход.

Для снятия вольт-амперной характеристики в двигательном режиме на холостом ходу необходимо включить автоматический выключатель QF1.

Вал двигателя свободен от механической нагрузки. Мультиметр РА1 необходимо поставить в положение  $\sim 20$ А. Подать питание на рабочую обмотку двигателя нажатием кнопки SB1, привести двигатель во вращение кратковременным нажатием кнопки SB3.

Необходимо снять показания приборов, данные записать в табл. 1 (строка 1).

#### 2. Двигательный режим с введенным сопротивлением.

Для снятия вольт-амперной характеристики в двигательном режиме с введенным сопротивлением необходимо включить автоматический выключатель QF1.

Вал двигателя свободен от механической нагрузки, введено сопротивление  $R_d=20$  Ом. Мультиметр РА1 необходимо поставить в положение  $\sim 20$ А. Подать питание на рабочую обмотку двигателя нажатием кнопки SB1, привести двигатель во вращение

кратковременным нажатием кнопки SB3.

Необходимо снять показания приборов, данные записать в табл. 1 (строка 2).

### 3. Двигательный режим, механическая нагрузка.

Для снятия вольт-амперной характеристики в двигательном режиме с механической нагрузкой необходимо включить автоматический выключатель QF1.

На валу двигателя приводной ремень, роль механической нагрузки выполняет второй двигатель. Мультиметр PA1 необходимо поставить в положение ~ 20А. Подать питание на рабочую обмотку двигателя нажатием кнопки SB1, привести двигатель во вращение кратковременным нажатием кнопки SB3.

Необходимо снять показания приборов, данные записать в табл. 1 (строка 3).

### 4. Двигательный режим, механическая нагрузка, введенное сопротивление.

Для снятия вольт-амперной характеристики в двигательном режиме с введенным сопротивлением и механической нагрузкой необходимо включить автоматический выключатель QF1.

На валу двигателя приводной ремень, роль механической нагрузки выполняет второй двигатель. Введено сопротивление  $R_d=20$  Ом Мультиметр PA1 необходимо поставить в положение ~ 20А. Подать питание на рабочую обмотку двигателя нажатием кнопки SB1, привести двигатель во вращение кратковременным нажатием кнопки SB3.

Необходимо снять показания приборов, данные записать в табл. 1 (строка 4).

Расчетные формулы:

$$P = UI;$$

Данные расчетов записать в таблицу 1.

По снятым показаниями построить вольт-амперные характеристики.

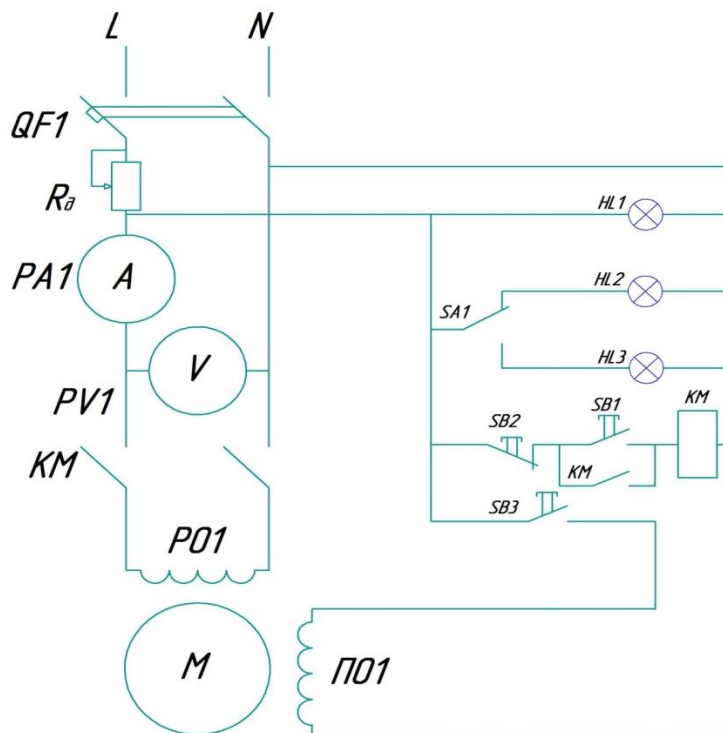


Рисунок 1. Электрическая принципиальная схема опыта

### Контрольные вопросы:

1. Опишите особенности пускового режима однофазных асинхронных двигателей.
2. Почему однофазный двигатель не создает пускового момента?
3. Опишите устройство и принцип действия однофазного асинхронного двигателя.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

**Тема:** Исследование однофазного генератора.

**Цель работы:** Изучение работы однофазного двигателя в генераторном режиме; построение вольт-амперной характеристики генератора.

### Порядок выполнения работы:

1. Изучить основные теоретические сведения.
2. Записать технические (паспортные) данные машин, аппаратов и измерительных приборов.

### Паспортные данные приборов и оборудования

Наименование	Обозначение	Тип	Технические данные
Вольтметр	PV1	AD16-22DSN	0-450В
Вольтметр	PV2	AD16-22DSN	0-450В
Вольтметр	PV3	AD16-22DSN	0-450В
Мультиметр	PV4	Atlantic DT-182	0-500В
Мультиметр	РА1	Excel DT-9205D	0-20А
Контактор	КМ1	КМИ-11810	18А
Двигатель	М	АИР65В4	380В, 0,18кВт
Кнопочный пост	SB1,SB2	ПКЕ 222-2	2-х кнопочный

3. Собрать электрическую схему установки.
4. Снять вольт-амперные характеристики в генераторном режиме. Показания приборов записать в таблицу 1.
5. Построить вольт-амперные характеристики двигателя.

Таблица 1

### Полученные данные

№ п/п Режим Работы	Показания приборов		Расчетные данные
	U, В	I, А	P, Вт
1. Генераторный режим без нагрузки.			
2. Генераторный режим под нагрузкой.			

### Методические указания к проведению опытов:

#### Генераторный режим (без нагрузки).

Для снятия вольт-амперной характеристики в генераторном режиме на холостом ходу необходимо включить автоматический выключатель QF1.

Вал генератора соединен посредством ременной передачи с приводным двигателем.

Мультиметр РА1 устанавливаем в положение 200ma, мультиметр PV2 устанавливаем в положение – 20 V, тумблеры SA2 – SA5 включены (положение ON). Включить автоматический выключатель QF2 и затем кратковременно нажать SB3. Нажать SB1 для включения КМ1.

Необходимо снять показания приборов, данные записать в табл. 1 (строка 1).

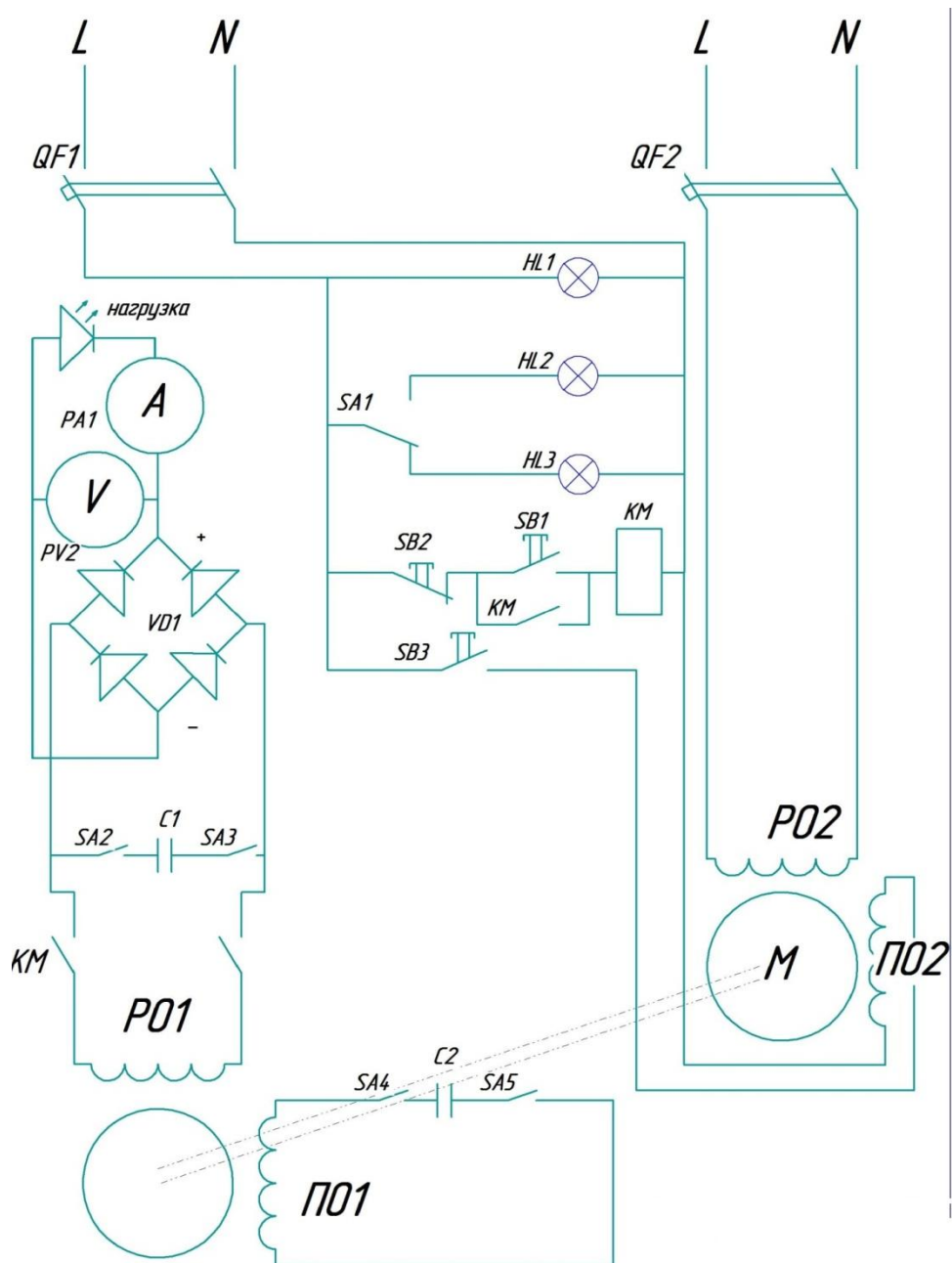


Рисунок 1. Электрическая принципиальная схема опыта

### Генераторный режим (под нагрузкой).

Для снятия вольт-амперной характеристики в генераторном режиме под нагрузкой необходимо включить автоматический выключатель QF1.

Вал генератора соединен посредством ременной передачи с приводным двигателем.

Мультиметр PA1 устанавливаем в положение 200ма, мультиметр PV2 устанавливаем в положение – 20 V, тумблеры SA2 – SA5 включены (положение ON). Цепь замкнута на нагрузку (светодиод). Включить автоматический выключатель QF2 и затем кратковременно нажать SB3. Нажать SB1 для включения KM1.

Необходимо снять показания приборов, данные записать в табл. 1 (строка 2).

Расчетные формулы:

$$P = UI;$$

Данные расчетов записать в таблицу.

### Контрольные вопросы:

1. Как измениться напряжение генератора при увеличении нагрузки?

2. Почему не желательна работа генератора на холостом ходу?
3. Опишите зависимость напряжения на выходе генератора от скорости вращения приводного двигателя.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

**Тема:** Исследование холостого хода асинхронного двигателя.

**Цель работы:** Изучение работы асинхронного двигателя в режиме холостого хода; построение характеристик холостого хода асинхронного двигателя.

### Порядок выполнения работы:

1. Изучить основные теоретические сведения.
2. Записать технические (паспортные) данные машин, аппаратов и измерительных приборов.

### Паспортные данные приборов и оборудования

Наименование	Обозначение	Тип	Технические данные
Вольтметр	PV1	AD16-22DSN	0-450В
Вольтметр	PV2	AD16-22DSN	0-450В
Вольтметр	PV3	AD16-22DSN	0-450В
Мультиметр	PV4	Atlantic DT-182	0-500В
Мультиметр	PA1	Excel DT-9205D	0-20А
Контактор	KM1	КМИ-11810	18А
Двигатель	M	АИР65В4	380В, 0,18кВт
Кнопочный пост	SB1,SB2	ПКЕ 222-2	2-х кнопочный

3. Зарисовать принципиальную электрическую схему опыта.
4. Собрать электрическую схему установки.
5. Снять характеристики холостого хода асинхронного двигателя. Показания приборов записать в таблицу 1.
6. Построить характеристики холостого хода двигателя:

$$I_{x.x.} = f(U_{x.x.}) \text{ и } P_{x.x.} = f(U_{x.x.})$$

Таблица 1

### Полученные данные

Режим работы	№ п/п	Показания приборов		Расчетные данные
		$U_{x.x.}$ , В	$I_{x.x.}$ , А	$P_{x.x.}$ , кВт
Холостой ход	1			
	2			
	3			
	4			
	5			

### Методические указания к проведению опытов:

Для снятия характеристик холостого хода необходимо включить автоматический выключатель QF, затем необходимо при помощи блока ЛАТРов выставить фазные напряжения, ориентируясь на показания вольтметров PV1, PV2, PV3. Регулировку напряжения необходимо проводить строго при отключенном от сети двигателе! В итоге на выходе ЛАТРов мы получаем регулируемое трехфазное напряжение, линейное значение этого напряжения смотрим на мультиметре PV4 и записываем в таблицу №1.

Далее нужно запустить двигатель нажатием кнопки SB1. Смотрим значение потребляемого тока на мультиметре PA1, полученные данные записываем в таблицу. Остановка двигателя осуществляется нажатием кнопки SB2.

Для построения характеристики холостого хода асинхронного двигателя снимаем показания с приборов в 5 точках:

1. PV1=PV2=PV3= 250 В;
2. PV1=PV2=PV3= 230 В;
3. PV1=PV2=PV3= 210 В;
4. PV1=PV2=PV3= 190 В;



5.  $P_{V1}=P_{V2}=P_{V3}= 170 \text{ B}$ ;

Расчетные формулы:

$$P_{x.x.} = \sqrt{3} * U_{x.x.} * I_{x.x.} * \cos \varphi, \text{ где}$$

$P_{x.x.}$  – мощность двигателя в режиме х.х., кВт

$U_{x.x.}$  – линейное напряжение, кВ

$I_{x.x.}$  – ток холостого хода, А

$\cos \varphi$  - коэффициент мощности,  $\cos \varphi = 0,61$

~ 380 В

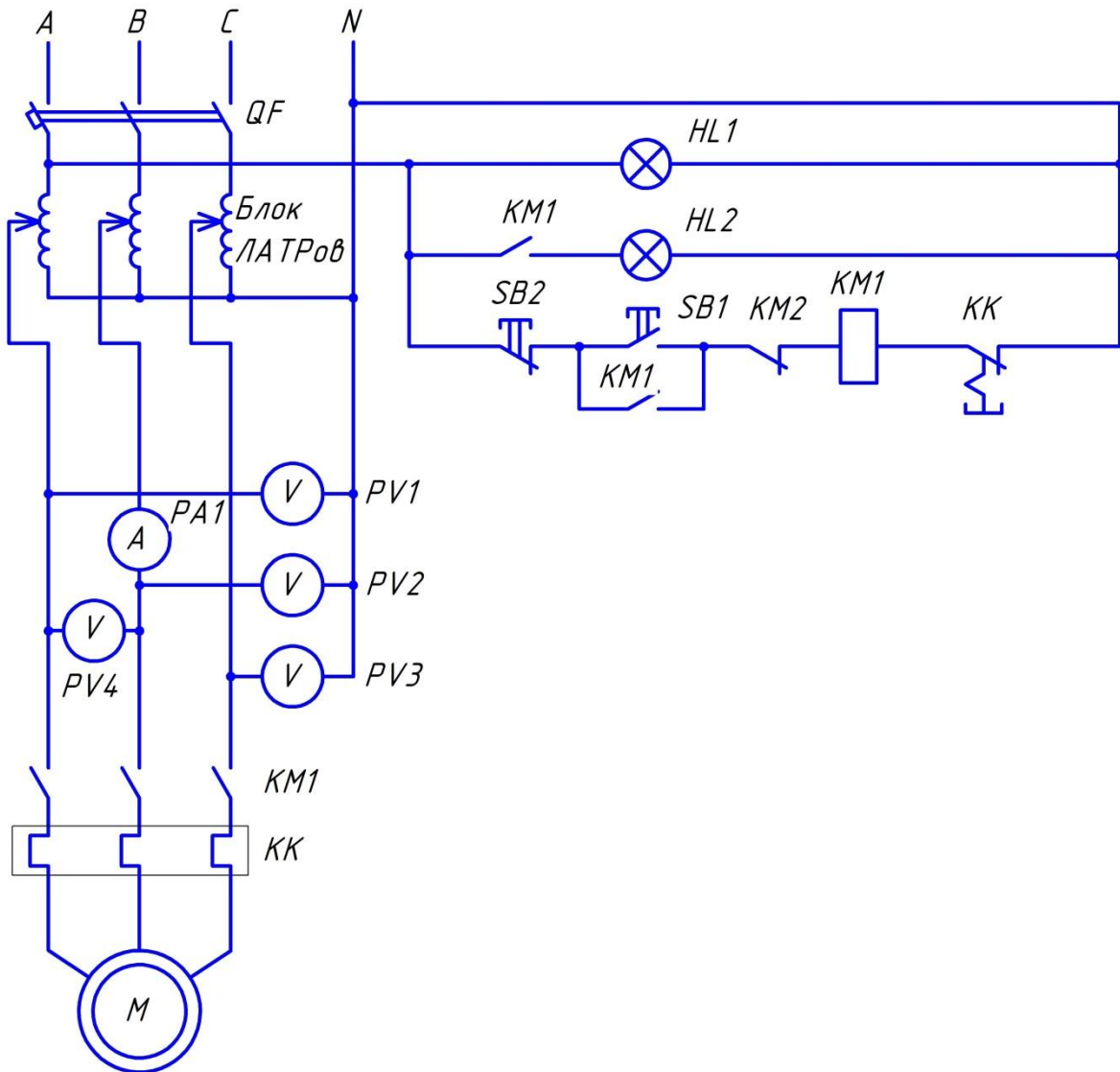


Рисунок 1. Принципиальная электрическая схема опыта холостого хода асинхронного двигателя

**Контрольные вопросы:**

1. Опишите процесс проведения опыта холостого хода асинхронного двигателя.
2. Как изменяется ток двигателя при увеличении питающего напряжения в опыте холостого хода АД?
3. С помощью чего можно регулировать напряжение при опыте холостого хода?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

**Тема:** Исследование короткого замыкания асинхронного двигателя.

**Цель работы:** Изучение работы асинхронного двигателя в режиме короткого замыкания; построение характеристик короткого замыкания асинхронного двигателя.

### Порядок выполнения работы:

1. Изучить основные теоретические сведения.
2. Записать технические (паспортные) данные машин, аппаратов и измерительных приборов.

Паспортные данные приборов и оборудования:

Наименование	Обозначение	Тип	Технические данные
Вольтметр	PV1	AD16-22DSN	0-450В
Вольтметр	PV2	AD16-22DSN	0-450В
Вольтметр	PV3	AD16-22DSN	0-450В
Мультиметр	PV4	Atlantic DT-182	0-500В
Мультиметр	PA1	Excel DT-9205D	0-20А
Контактор	KM1	КМИ-11810	18А
Двигатель	М	АИР65В4	380В, 0,18кВт
Кнопочный пост	SB1,SB2	ПКЕ 222-2	2-х кнопочный

3. Зарисовать принципиальную электрическую схему опыта.
4. Собрать электрическую схему установки.
5. Снять характеристики короткого замыкания асинхронного двигателя. Показания приборов записать в таблицу 1.
6. Построить характеристики короткого замыкания двигателя:

$$I_{1к.} = f(U_{1к.}) \text{ и } P_{1к.} = f(U_{1к.})$$

Таблица 1

Полученные данные

Режим работы	№ п/п	Показания приборов		Расчетные данные
		$U_{1к.}, В$	$I_{1к.}, А$	$P_{1к.}, кВт$
Короткое замыкание	1			
	2			
	3			
	4			
	5			

### Методические указания к проведению опытов:

Для снятия характеристик короткого замыкания необходимо привести ротор двигателя в неподвижное состояние при помощи механического тормозного устройства, включить автоматический выключатель QF, затем необходимо при помощи блока ЛАТРов выставить фазные напряжения, ориентируясь на показания вольтметров PV1, PV2, PV3. Регулировку напряжения необходимо проводить строго при отключенном от сети двигателе! В итоге на выходе ЛАТРов мы получаем регулируемое трехфазное напряжение, линейное значение этого напряжения смотрим на мультиметре PV4 и записываем в таблицу 1.

Далее нужно запустить двигатель нажатием кнопки SB1. Смотрим значение потребляемого тока на мультиметре PA1, полученные данные записываем в таблицу. Остановка двигателя осуществляется нажатием кнопки SB2.

Для построения характеристики короткого замыкания асинхронного двигателя снимаем показания с приборов в 5 точках:

6. PV1=PV2=PV3= 160 В;
7. PV1=PV2=PV3= 140 В;

8.  $PV1=PV2=PV3= 120 \text{ В};$
9.  $PV1=PV2=PV3= 100 \text{ В};$
10.  $PV1=PV2=PV3= 80 \text{ В};$

Расчетные формулы:

$$P_{1к.} = \sqrt{3} * U_{1к.} * I_{1к.} * \cos \varphi, \text{ где}$$

$P_{1к.}$  – мощность двигателя в режиме к.з., кВт

$U_{1к.}$  – линейное напряжение, кВ

$I_{1к.}$  – ток короткого замыкания, А

$\cos \varphi$  - коэффициент мощности,  $\cos \varphi = 0,61$

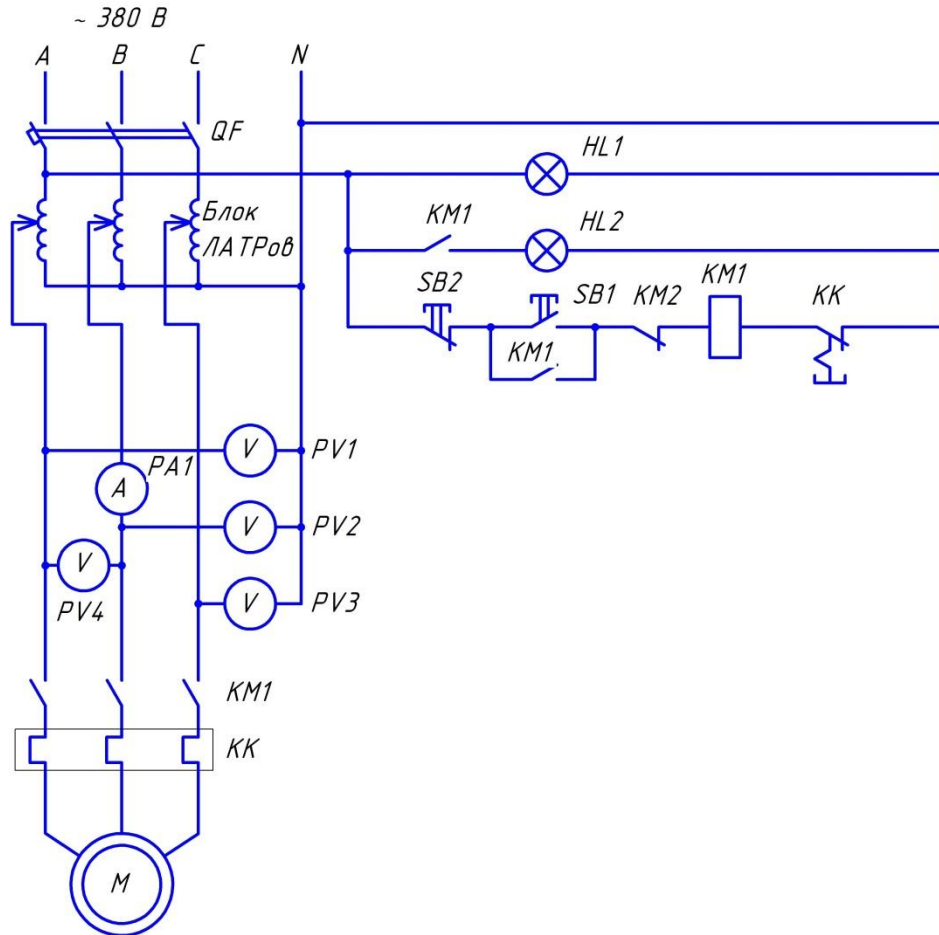


Рисунок 1. Принципиальная электрическая схема опыта короткого замыкания асинхронного двигателя

**Контрольные вопросы:**

1. Опишите процесс проведения опыта короткого замыкания асинхронного двигателя.
2. Как изменяется ток двигателя при уменьшении питающего напряжения в опыте короткого замыкания АД?
3. С помощью чего можно регулировать напряжение при опыте короткого замыкания?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

**Тема:** Исследование динамического торможения асинхронного двигателя

**Цель работы:** Изучение работы асинхронного двигателя в режиме динамического торможения; построение характеристик динамического торможения асинхронного двигателя.

### Порядок выполнения работы:

1. Изучить основные теоретические сведения.
2. Записать технические (паспортные) данные машин, аппаратов и измерительных приборов.

### Паспортные данные приборов и оборудования

Наименование	Обозначение	Тип	Технические данные
Вольтметр	PV1	AD16-22DSN	0-450В
Вольтметр	PV2	AD16-22DSN	0-450В
Вольтметр	PV3	AD16-22DSN	0-450В
Мультиметр	PV4	Atlantic DT-182	0-500В
Мультиметр	PA1	Excel DT-9205D	0-20А
Реле времени	КТ	АНЗ-НА	220В; 0-10с (мин)
Контакты	KM1, KM2	КМИ-11810	18А
Двигатель	М	АИР65В4	380В, 0,18кВт
Кнопочный пост	SB1,SB2	ПКЕ 222-2	2-х кнопочный

3. Зарисовать принципиальную электрическую схему опыта.
4. Собрать электрическую схему установки.
5. Снять характеристики динамического торможения асинхронного двигателя. Показания приборов записать в таблицу 1.
6. Построить характеристики динамического торможения асинхронного двигателя:

$$t_{\text{ост.}} = f(I_{\text{д.т.}})$$

Таблица 1

### Полученные данные

Режим работы	№ п/п	Исходные данные	Расчетные данные	
		Rд, Ом	t <sub>ост.</sub> , с.	I <sub>д.т.</sub> , А
Динамическое торможение	1	-		
	2	200		
	3	100		
	4	50		

### Методические указания к проведению опытов:

Для снятия характеристик динамического торможения необходимо включить автоматический выключатель QF, затем необходимо при помощи блока ЛАТРов выставить фазные напряжения, ориентируясь на показания вольтметров PV1, PV2, PV3. Регулировку напряжения необходимо проводить строго при отключенном от сети двигателе! В итоге на выходе ЛАТРов мы получаем регулируемое трехфазное напряжение, выставляем показания PV1=PV2=PV3=220 В, получаем стандартное трехфазное напряжение, PV4=380В. Выставляем на реле времени выдержку времени бс., ставим тумблер SA в положение «ON», а переключатель Rд изначально ставим в положение 0 – постоянный ток не будет протекать через обмотку статора после нажатия кнопки SB2. Далее нужно запустить двигатель нажатием кнопки SB1, после того как двигатель разгонится, нажимаем кнопку SB2, произойдет отключение двигателя от сети

контактором КМ1 и сработает контактор КМ2, подав постоянное напряжение на обмотку статора двигателя.

В этот момент начнется процесс динамического торможения, и сразу после нажатия кнопки SB2 необходимо начать отсчет времени остановки двигателя при помощи секундомера. После того как ротор двигателя остановится, фиксируем показания секундомера и заносим их в таблицу 1.

Для построения характеристики динамического торможения асинхронного двигателя снимаем показания с приборов в 4 точках:

1. Rд – «0» - остановка без подачи постоянного тока на двигатель;
2. Rд – «1» - 200 Ом;
3. Rд – «2» - 100 Ом;
4. Rд – «3» - 50 Ом.

Расчетные формулы:

$$I_{д.т.} = \frac{U_{д.т.}}{R_d + r},$$

Где U<sub>д.т.</sub> – постоянное напряжение, В

R<sub>д</sub> – сопротивление добавочных секций, Ом

r – внутреннее сопротивление обмотки двигателя, r = 90 Ом

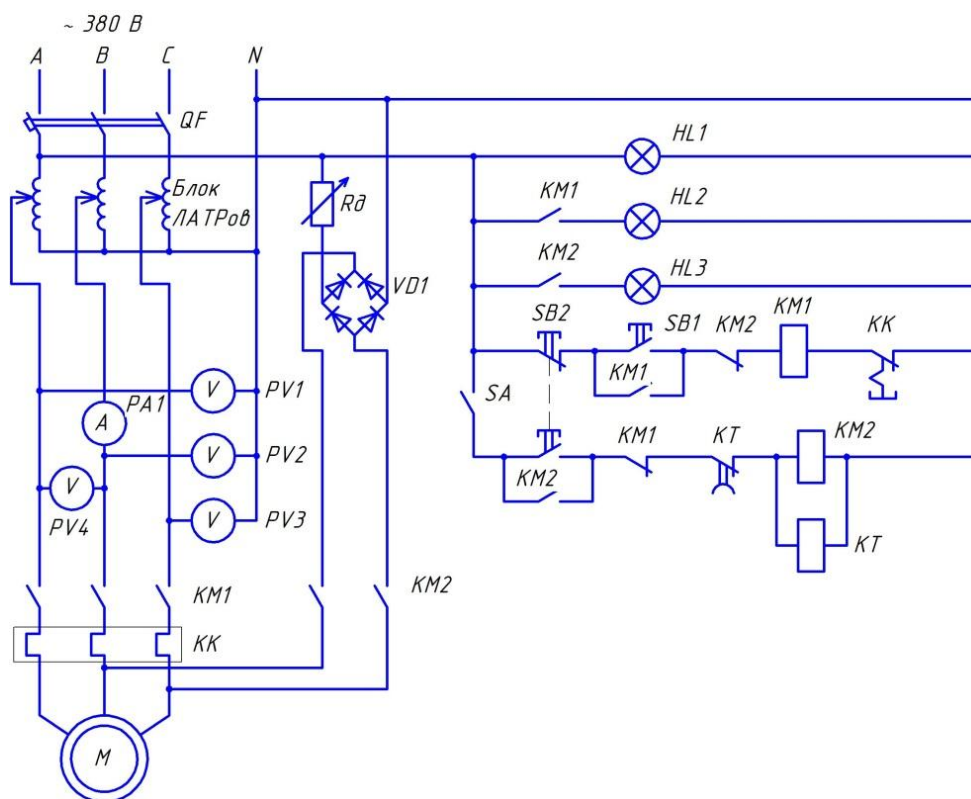


Рисунок 1. Принципиальная электрическая схема опыта динамического торможения асинхронного двигателя

#### Контрольные вопросы:

1. Опишите процесс проведения опыта динамического торможения асинхронного двигателя.
2. Как изменяется время остановки двигателя при изменении тока динамического торможения?
3. С помощью чего можно преобразовать переменное напряжение в постоянное?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

**Тема:** Исследование трехфазного асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки.

**Цель работы:** Изучить конструкцию трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором; Освоить приемы опытной проверки обозначений выводов обмотки статора и экспериментального исследования асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки.

### Порядок выполнения работы:

Схема включения двигателя содержит двухэлементный ваттметр, предназначенный для измерения активной мощности, потребляемой двигателем из сети. Токовые катушки этого ваттметра включены в сеть через измерительные трансформаторы тока.

После проверки схемы преподавателем осуществляют пробный пуск двигателя замыканием рубильника 1. предварительно следует замкнуть ключ 2, шунтирующий амперметр А, с целью предохранения его от чрезмерно большого пускового тока двигателя. Затем двигатель отключают от сети и меняют местами любую пару проводов, соединяющих обмотку статора с сетью. В этом случае вращающееся поле статора при включении обмотки статора в сеть будет вращаться в направлении, противоположном тому, какое было до переключения проводов. Другими словами, произойдет реверс двигателя, т.е. его ротор будет вращаться в другую сторону.

Снятие данных и построение рабочих характеристик. Замкнув рубильник 1 (при замкнутом ключе 2), включают двигатель в сеть. Затем, разомкнув ключ 2, с помощью электромагнитного тормоза (ЭМТ) либо другого нагрузочного устройства создают на валу двигателя нагрузочный момент  $M$  и увеличивают его до тех пор, пока ток в цепи статора не достигнет значения  $I_1 = 1,2I_{1ном}$ . при этом через приблизительно одинаковые интервалы тока  $I_1$  снимают показания приборов и заносят их в таблицу 1.

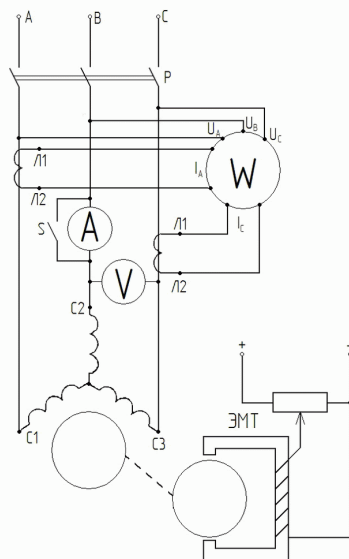


Рисунок 1. Исследование трехфазного асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки

Первый отсчет по приборам делают в режиме х.х. ( $M_2=0$ ). Всего необходимо снять не менее пяти показаний, из них одно должно соответствовать номинальному режиму ( $I_1 = I_{1ном}$ ).

Таблица 1

Полученные данные

Номер измерения	Измерения						Вычисления			
	$F_1$	$U_1, В$	$I_1, А$	$n_2,$ об/мин	$M_2,$ Н*М	$P_1, Вт$	$P_2,$ Вт	$\eta, \%$	$\cos \varphi_1$	s

Затем выполняют расчеты: подводимая к двигателю мощность ,Вт

$$P_1 = P_1' k_T C_w ;$$

полезная мощность двигателя – мощность на валу, Вт

$$P_2 = 0.105 M_2 n_2$$

если  $M_2$  измеряется в кг\* М,

КПД двигателя

$$\eta = (P_2 / P_1) 100$$

коэффициент мощности

$$\cos \varphi_1 = P_1 (\sqrt{3} U_1 I_1)$$

$$s = (n_1 - n_2) / n_1$$

скольжение

где  $k_T$  - коэффициент трансформатора тока;

$M_2$  - нагрузочный момент, Н \* м;

$n_2$  частота вращения ротора, об/мин;

$C_w$  - цена деления ваттметра, Вт/дел.

По данным таблицы строят рабочие характеристики двигателя (на одной координатной сетке);  $I_1$ ;  $n_2$ ;  $M_2$ ;  $\eta$ ; s и  $\cos \varphi_1 = f(P_2)$

### Контрольные вопросы:

1. На чем основан принцип действия асинхронного двигателя.
2. Объясните устройство трехфазного асинхронного двигателя.
3. Что такое скольжение и каким оно обычно бывает у асинхронных двигателей общего применения?
4. С какой целью у асинхронного двигателя обычно делают все шесть выводов обмотки статора?
5. В чем сущность метода непосредственной нагрузки при исследовании асинхронного двигателя?
6. Какие характеристики асинхронного двигателя называют рабочими?
7. Что такое перегрузочная способность асинхронного двигателя и какова его зависимость от напряжения питания двигателя?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

**Тема:** Исследование характеристик шагового двигателя.

**Цель работы:** Изучить конструкцию шагового двигателя, изучение свойств и режимов работы шагового двигателя.

### Краткие теоретические сведения

Шаговый двигатель представляет собой электрическую машину, предназначенную для преобразования электрической энергии сети в механическую энергию. Конструктивно состоит из обмоток статора и магнитомягкого или магнитотвердого ротора. Отличительной особенностью шагового двигателя является дискретное вращение, при котором заданному числу импульсов соответствует определенное число совершаемых шагов. Наибольшее применение такие устройства получили в станках с ЧПУ, робототехнике, устройствах хранения и считывания информации.

В отличие от других типов машин шаговый двигатель совершает вращение не непрерывно, а шагами, от чего и происходит название устройства. Каждый такой шаг составляет лишь часть от его полного оборота. Количество необходимых шагов для полного вращения вала будет отличаться, в зависимости от схемы соединения, марки двигателя и способа управления.

*К преимуществам эксплуатации шагового двигателя можно отнести:*

- В шаговых электродвигателях угол поворота соответствует числу поданных электрических сигналов, при этом, после остановки вращения сохраняется полный момент и фиксация;
- Точное позиционирование – обеспечивает 3 – 5% от установленного шага, которая не накапливается от шага к шагу;
- Обеспечивает высокую скорость старта, реверса, остановки;
- Отличается высокой надежностью за счет отсутствия трущихся компонентов для токосъема, в отличие от коллекторных двигателей;
- Сравнительно меньшая стоимость относительно сервоприводов;
- Обеспечивается широкий диапазон управления скоростью оборотов вала за счет изменения частоты электрических импульсов.

*К недостаткам применения шагового двигателя относятся:*

- Может возникать резонансный эффект и проскальзывание шагового агрегата;
- Существует вероятность утраты контроля из-за отсутствия обратной связи;
- Количество расходуемой электроэнергии не зависит от наличия или отсутствия нагрузки;
- Сложности управления из-за особенности схемы

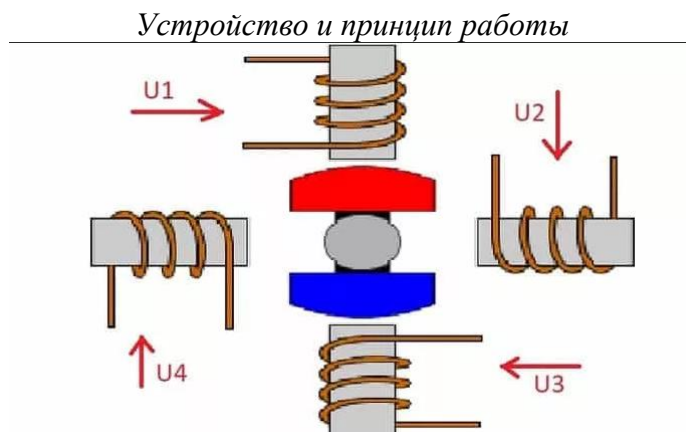


Рисунок 1. Принцип действия шагового двигателя

На рисунке 1 изображены 4 обмотки, которые относятся к статору двигателя, а их расположение устроено так, что они находятся под углом  $90^\circ$  относительно друг друга. Из чего следует, что такая машина характеризуется размером шага в  $90^\circ$ . В момент подачи напряжения  $U_1$  в первую обмотку происходит перемещение ротора на те же  $90^\circ$ . В случае

поочередной подачи напряжения  $U_2, U_3, U_4$  в соответствующие обмотки, вал продолжит вращение до завершения полного круга. После чего цикл повторяется снова. Для изменения направления вращения достаточно изменить очередность подачи импульсов в соответствующие обмотки.

#### Типы шаговых двигателей

##### 1. По конструкции ротора

- реактивный: не оснащается магнитом на роторе, а выполняется из магнитомягких сплавов, как правило, его набирают из пластин для уменьшения потерь на индукцию. Конструкция в поперечном разрезе напоминает шестерню с зубцами. Полюса статорных обмоток запитываются противоположными парами и создают магнитную силу для перемещения ротора, который двигается от попеременного протекания электрического тока в обмоточных парах.

- с переменным магнитным сопротивлением: шаг для реактивного двигателя колеблется от  $5$  до  $15^\circ$ .

- с постоянными магнитами: подвижный элемент шагового двигателя собирается из постоянного магнита, в котором может быть два и большее количество полюсов. Вращение ротора обеспечивается притяжением или отталкиванием магнитных полюсов электрическим полем при подаче напряжения в соответствующие обмотки. Для этой конструкции угловой шаг составляет  $45-90^\circ$ .

- гибридные: ротор выполнен в виде цилиндрического постоянного магнита, который намагничен по продольной оси. Конструктивно это выглядит как два круглых полюса, на поверхности которых расположены зубцы ротора из магнитомягкого материала. Такое решение позволило обеспечить удерживающий и крутящий момент.

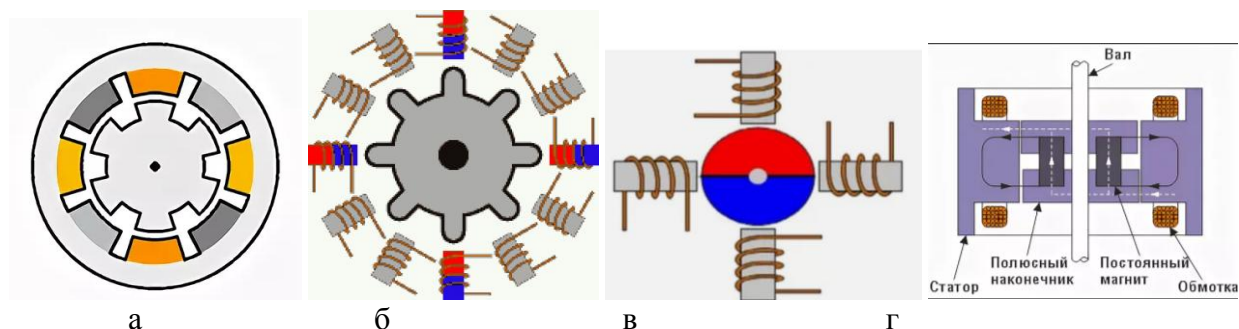


Рисунок 2. Типы шаговых двигателей по конструкции ротора: а - реактивный, б - с переменным магнитным сопротивлением, в - с постоянными магнитами, г - гибридные

##### 2. По виду обмоток:

- униполярный: в схеме подключения обмотки имеет ответвление от средней точки благодаря чему легко меняются магнитные полюса. Недостатком такой конструкции является использование только одной половины доступных витков, из-за чего достигается меньший вращающий момент, поэтому они отличаются большими габаритами.

- биполярный: подключается к контроллеру через 4 вывода. При этом обмотки могут соединяться внутри как последовательно, так и параллельно. В конструктивной схеме такого двигателя вы видите с одной обмоткой возбуждения в каждой фазе. Из-за этого смена направления тока требует использовать в электронной схеме специальные драйверы (электронные чипы, предназначенные для управления). Добиться подобного эффекта можно при помощи включения Н-моста. В сравнении с предыдущим, биполярное устройство обеспечивает тот же момент при гораздо меньших габаритах.



Рисунок 3. Типы шаговых двигателей по виду обмоток

### Подключение шагового двигателя

В зависимости того, какое количество выводов представлено на конкретном шаговом двигателе: 4, 6 или 8 выводов, будет отличаться и возможность использования той или иной схемы их подключения

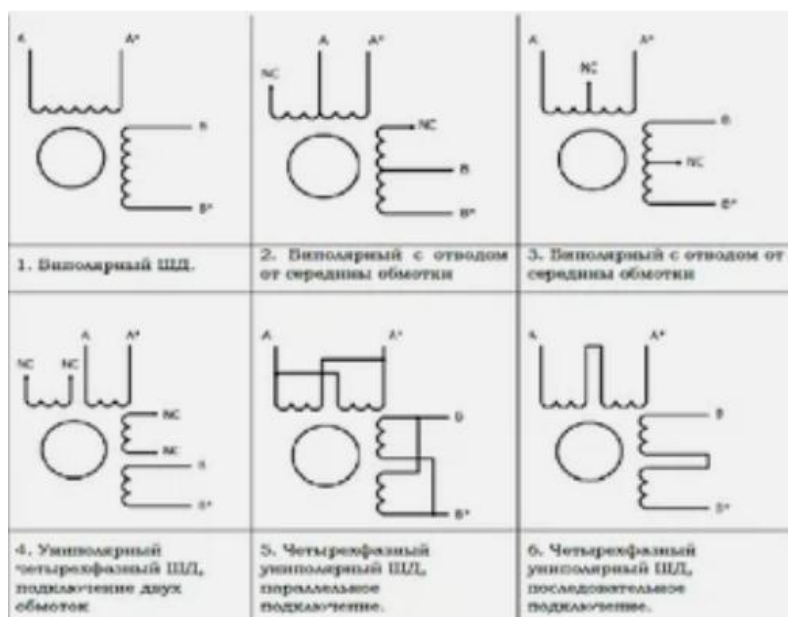


Рисунок 4. Схемы подключения различных типов шаговых двигателей

1. Без контроллера для управления бесколлекторными двигателями применяется система H-моста, который позволяет переключать полярность для реверса шагового двигателя. Может выполняться на транзисторах или микросхемах, которые создают логическую цепочку для перемещения ключей.

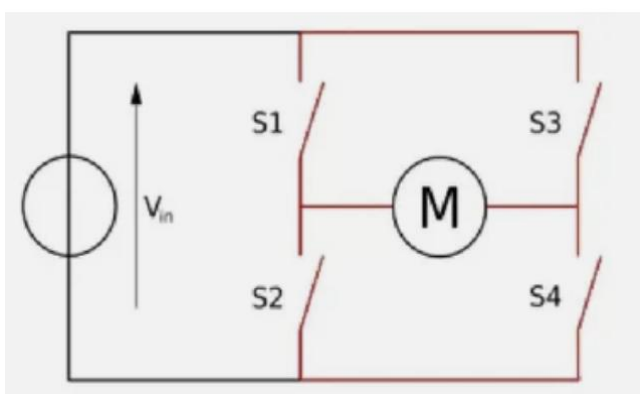


Рисунок 5. Схема H-моста

2. С контроллером устройство контроллера позволяет осуществлять управление шаговым двигателем в различных режимах. В основе контроллера лежит электронный блок, формирующий группы сигналов и их последовательность, посылаемых на катушки

статора. Для предотвращения возможности его повреждения в случае короткого замыкания или другой аварийной ситуации на самом двигателе каждый вывод защищается диодом, который не пропусти импульс в обратную сторону.

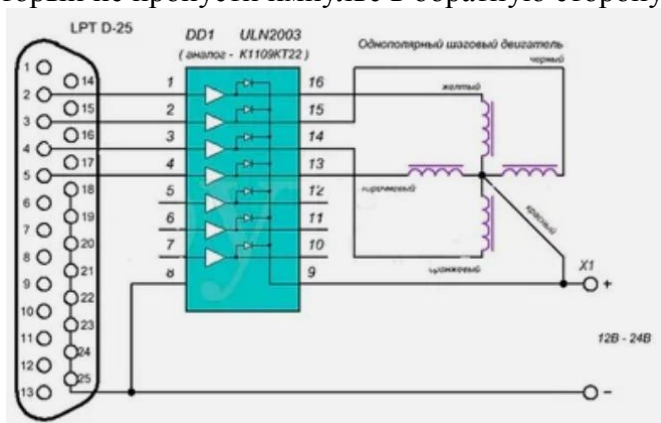


Рисунок 6. Подключение через контроллер однополярного шагового двигателя

Максимальная рабочая скорость двигателя находится в прямой зависимости от следующих характеристик:

- Напряжение
- Индуктивность обмотки
- Ток
- Количество шагов
- Тип подключения обмоток (4, 6 выводной и т.д.)
- Сопротивление

#### Управление шаговым двигателем

Выполнение операций шаговым агрегатом может осуществляться несколькими методами, каждый из которых отличается способом подачи сигналов на пары полюсов. Всего выделяют метода активации обмоток.

**Волновой** – в таком режиме происходит возбуждение только одной обмотке, к которой и притягиваются роторные полюса. При этом шаговый двигатель не способен вытягивать большую нагрузки, так как выдает лишь половину момента.

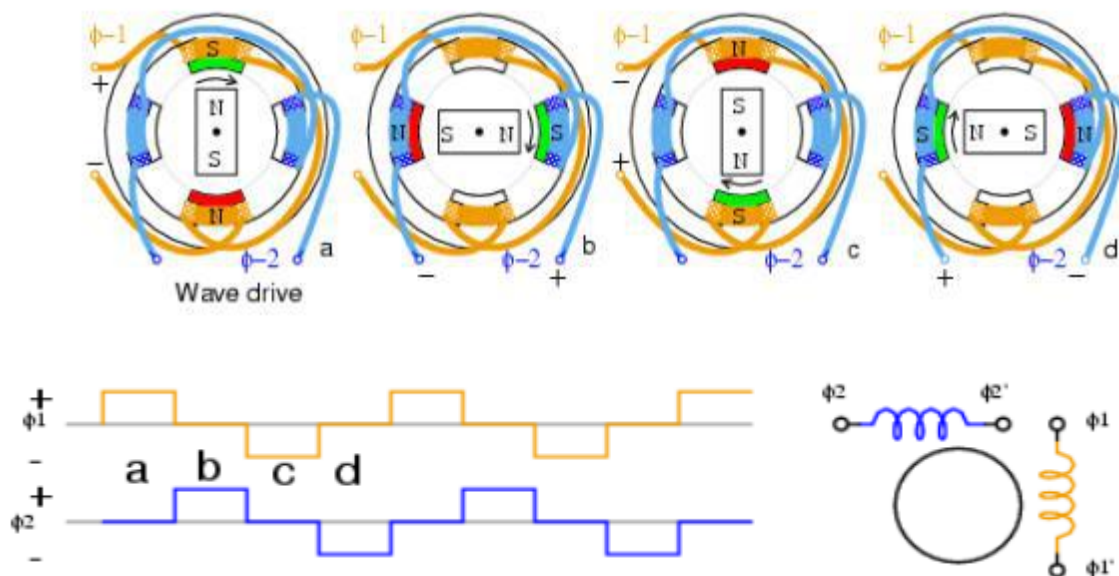


Рисунок 7. Волновой способ управления шаговым двигателем

Слева на справа находится последовательность вращения положительные  $\phi-1$  точки ротора северный полюс вверх, (+)  $\phi-2$  точки ротор северный правый, отрицательный  $\phi-1$  привлекает ротор на север вниз, (-)  $\phi-2$  точки ротора влево. Волновой режим ниже как



показано, что только одна катушка под напряжением за один раз. Хотя это простой способ управления, но это не производят столько крутящего момента, как другие методы.

Сигналы, показанные на рисунке 7, являются биполярными, поскольку обе полярности, (+) и (-) управляют шаговым двигателем. Катушка меняет магнитное поле, поскольку полярность тока привода меняется. Полный привод обеспечивает больше чем волновой привод, поскольку обе катушки в то же время. Это привлекает ротор полюсов на полпути между двумя полями.

**Полношаговый** - в таком режиме происходит одновременная коммутация фаз, то есть, возбуждаются сразу обе. Из-за чего обеспечивается максимальный момент, в случае параллельного соединения или последовательного включения обмоток будет создаваться максимальное напряжение или ток.

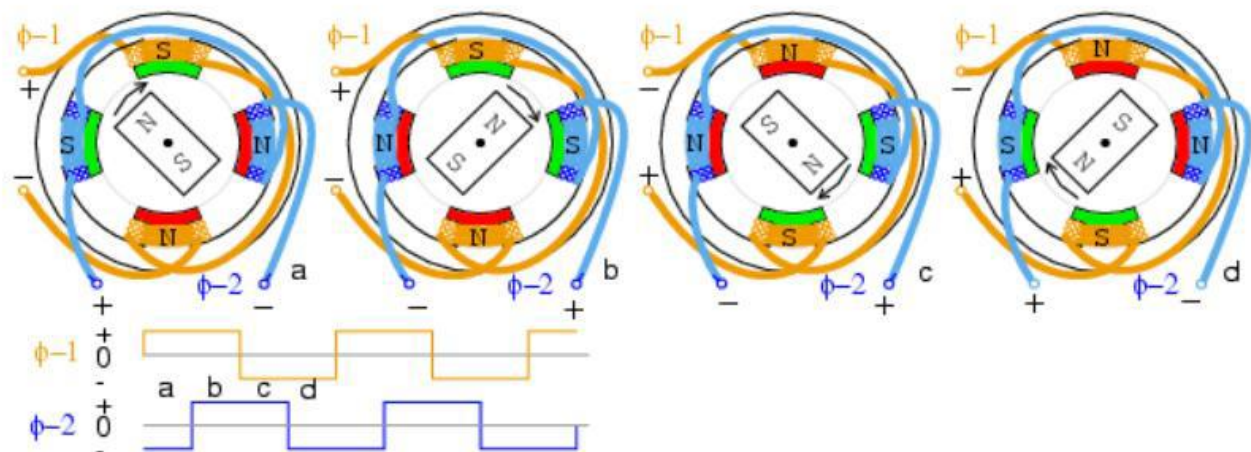


Рисунок 8. Шаговый режим шагового двигателя

Режим полного шага биполярного двигателя, как показано на рисунке 9, имеет тот же шаг, что и волновой режим. Дополнительная подключенная обмотка биполярного привода оправдана, когда требуется больше крутящего момента. Угол шага для данной геометрии шагового двигателя разделяется пополам с помощью полушагового режима. Это соответствует удвоенному количеству импульсов на оборот.

**Полушаговый** – представляет собой комбинацию двух предыдущих методов коммутации обмоток. Во время реализации которого в шаговом двигателе происходит поочередная подача напряжения сначала в одну катушку, а затем сразу в две. Благодаря чему обеспечивается лучшая фиксация на максимальных скоростях и большее количество шагов.

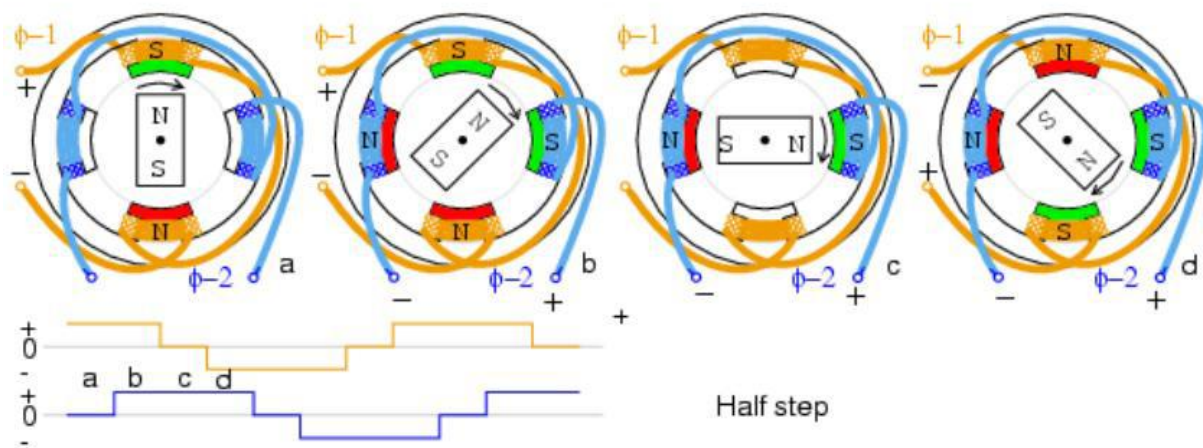


Рисунок 9. Полушаговый режим шагового двигателя

Полушаговый режим представляет собой комбинацию волнового режима и шагового

режима с одной подключенной обмоткой, за которой следуют две обмотки, подключенные вместе. Ротор выравнивается с полюсами поля, как для волнового режима, так и между полюсами, как для полного шагового режима.

**Порядок выполнения работы:**

1. Изучение конструкции, принципа действия, режимов работы шагового двигателя.
2. Зарисовать типы шаговых двигателей по конструкции ротора и виду обмоток.
3. Зарисовать характеристики режимов работы шагового двигателя.
4. Ответить на контрольные вопросы и сделать вывод.

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое шаговый двигатель?
2. Преимущества и недостатки шагового электродвигателя
3. Устройство и принцип работы
4. Типы шаговых двигателей по конструкции ротора
5. Типы шаговых двигателей по виду обмоток
6. Подключение шагового двигателя
7. Режимы работы шагового двигателя

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

**Тема:** исследование работы реле напряжения.

**Цель работы:** изучить принцип действия и конструкцию электромагнитных реле РН-50, определить основные технические параметры реле РН-50.

### Краткие теоретические сведения

Реле - это электрический аппарат, в котором при изменении входной (управляющей) величины  $X$  происходит автоматически скачкообразное изменение выходной (управляемой) величины  $U$ . Из двух величин хотя бы одна должна быть электрической.

Реле - это наиболее распространенный электрический аппарат, применяемый практически в большинстве систем автоматического управления. Функции, выполняемые реле, и их конструкции чрезвычайно разнообразны. Характерные признаки реле позволяют классифицировать их по следующим факторам:

- по принципу действия (электромагнитные, магнитоэлектрические, электронные);
- по способу коммутации (контактные, бесконтактные);
- по назначению (управления, защиты, автоматизации);
- по характеру входной величины (электрические, оптические, тепловые, акустические, механические).

Основные характеристики реле определяются зависимостями между параметрами выходной и входной величины. Различают следующие основные характеристики реле.

1) Величина срабатывания  $I_{ср}$  - значение параметра входной величины, при которой реле включается. При  $I < I_{ср}$  параметр выходной величины  $U = 0$ . При  $I (U) > I_{ср}(U_{ср})$  величина  $U$  скачком изменяется от  $U_{мин}$  до  $U_{макс}$  и реле включается.

Номинальный ток (напряжение), при котором реле срабатывает, называется током (напряжением) срабатывания реле  $I_{сраб.р}$  ( $U_{сраб.р}$ ).

2) Величина возврата  $I_{воз}$  - значение параметра входной величины, при котором произошло скачкообразное уменьшение выходного параметра с  $U_{макс}$  до  $U_{мин}$  и реле отключилось. Наибольший ток (напряжение), при котором реле возвращается в исходное положение, - ток (напряжением) возврата реле  $I_{в.р}$  ( $U_{в.р}$ ).

Величина параметра, на которую отрегулировано реле, называется уставной.

3) Коэффициент возврата  $K_v$  - отношение величины отпущения к величине срабатывания

$$K_v = I_{воз} (U_{воз}) / I_{ср}(U_{ср}).$$

Коэффициентом возврата называется отношение тока (напряжения) возврата к току (напряжению) срабатывания реле:

$$K_v = I_{в.р} / I_{сраб.р} \text{ или } K_v = U_{в.р} / U_{сраб.р}.$$

Реле максимального тока имеют  $K_v \geq 0,8$ ; у реле минимального напряжения  $K_v \leq 1,2$ .

Для максимальных реле, чем выше коэффициент возврата, тем легче обеспечивается более чувствительная РЗ. Ток возврата, ниже тока срабатывания реле потому, что имеются силы трения между подвижной и неподвижной частями реле, препятствующие возврату подвижных частей в исходное положение. Также уменьшается ток, необходимый для удержания якоря реле в положение срабатывания из-за уменьшения воздушного зазора магнитной системы. Для надежной работы РЗ ток возврата реле должен быть всегда больше максимального рабочего тока защищаемого элемента сети.

Реле напряжения РН-50 применяются в устройствах релейной защиты и противоаварийной автоматики, и реагирует на повышение напряжения в контролируемой цепи.

В реле РН-50 использована одна из разновидностей электромагнитных систем, называемая системой с поперечным движением якоря (рисунок 1). Магнитная система реле состоит из П-образного шихтованного магнитопровода 1 и Г-образного якоря 2,

вращающегося на двух полуосях. Якорь реле удерживается в начальном положении с помощью противодействующей спиральной пружины 8, один конец которой связан с якорем, а другой с указателем уставки. При повороте указателя уставки изменяется противодействующий момент пружины и соответственно напряжения срабатывания реле.

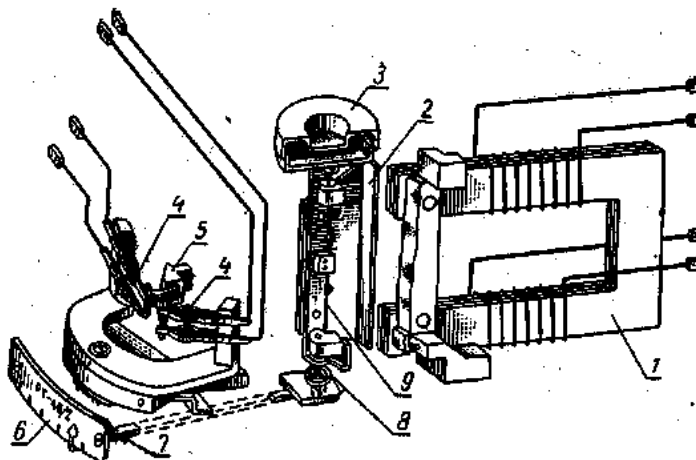


Рисунок 1. Конструкция реле РН-50

Необходимое положение указателя определяется по делениям, нанесённым на шкале 6. На якоре закреплена пластмассовая колодка с подвижным контактным мостиком.

Для снижения вибрации обмотка реле подключается к контролируемой цепи через выпрямительный мост и добавочные резисторы R1 и R2. Цифры, нанесенные на шкале, соответствуют последовательному соединению катушек. Все элементы реле смонтированы на рамке из алюминиевого сплава, укрепленной на пластмассовом цоколе и закрыты прозрачным кожухом. На магнитопроводе расположены катушки 4, концы которых выведены на зажимы цоколя реле. Все элементы реле смонтированы на рамке из алюминиевого сплава, укрепленной на пластмассовом цоколе и закрыты прозрачным кожухом.

Последовательность выполнения работы:

1. Ознакомиться со схемой внутренних соединений и техническими данными, указанными на табличке исследуемого реле.
2. Собрать схему (рис. 2) и выяснить назначение каждого элемента.
3. Определить  $U$  срабатывания, относительную погрешность срабатывания и коэффициент возврата реле на нескольких уставках по  $U$ .
3. Установить передвижением указателя (минимальное) напряжения уставки

$$U_{уст} = U_{мин} * K = 40 * 2 = 80 \text{ В}$$

где: K- коэффициент кратности реле, учитывающий способ соединения обмоток реле (последовательно или параллельно) K=2.

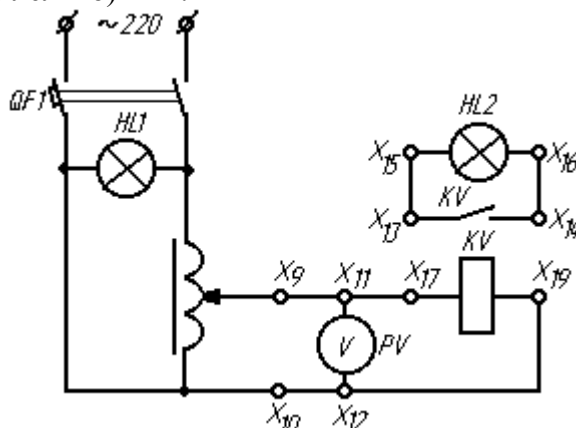


Рисунок 2. Схема для исследования реле РН-50



3. Включить автомат QF1 и увеличивая с помощью ЛАТРа напряжение в катушке, найти минимальное значение напряжения, при котором замкнутся контакты (загорится лампа HL1). Полученное значение  $U_{\text{ср.р}}$  записать в таблицу 1.

3. Уменьшить напряжение в цепи с помощью ЛАТРа при котором разомкнутся контакты (погаснет лампа HL2). Значение  $U_{\text{в.р}}$  возврата реле записать в таблицу № 1

3. Вывести ЛАТР на "0" и изменить указателем  $U_{\text{у.р}}$  реле. Для нового значения  $U$  найти напряжение  $U_{\text{ср.р}}$  и  $U_{\text{в.р}}$  т.д. для следующих напряжений: 50; 60; 70; 80 В.

Под относительной основной погрешностью срабатывания реле понимается, отношение разности между средним арифметическим значением напряжения срабатывания и напряжением уставки к напряжению уставки по шкале, выраженное в процентах:

$$Y = [(U_{\text{ср}} - U_{\text{уст}})/U_{\text{уст}}] 100$$

где  $U_{\text{ср}}$  — среднее арифметическое  $U$  из трех измерений;  
 $U_{\text{уст}}$  -напряжением уставки

Определить потребляемую мощность при срабатывании реле на нескольких уставках по  $U$ .

Найти значение коэффициента возврата реле по формуле

$$K_{\text{в}} = U_{\text{в.р}}/ U_{\text{ср.р}}$$

Результаты замеров и вычислений записать в таблицу 1.

Таблица 1

Полученные данные

$U_{\text{уст.}}, \text{ В}$	80	100	120	140	160
$U_{\text{в.р.}}, \text{ В}$					
$U_{\text{ср.р.}}, \text{ В}$					
$K_{\text{в.р.}}, \text{ В}$					
$I_{\text{ср.}}, \text{ А}$					
$S_{\text{ср.}}, \text{ Вт}$					

#### Контрольные вопросы:

1. Каким образом изменяется установка по напряжению срабатывания?
2. Какую функцию выполняют резисторы R1 и R2 и выпрямительный мост ?
3. Каким образом осуществляется регулировка напряжения срабатывания?
4. Как влияет на напряжение срабатывания "встречное соединение обмоток?"
5. Что называется коэффициентом возврата и как он определяется?
6. Почему напряжение на обмотке реле РН-50 меньше, чем на входных зажимах?
7. На какой уставке по напряжению добавочные резисторы реле РН-50 нагреваются сильнее и почему?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

**Тема:** Исследование работы реле тока.

**Цель работы:** изучить принцип действия и конструкцию электромагнитных реле РТ-40, определить основные технические параметры реле РТ-40.

### Краткие теоретические сведения

С помощью реле максимального тока осуществляется максимальная токовая защита, реагирующая на увеличение токов в защищаемой электрической установке. Для успешной работы в установках защиты реле максимального тока должны обеспечивать высокий коэффициент возврата, характеризующий чувствительность реле.

В работе исследуется электромагнитное реле максимального тока РТ-40, общий вид которого показан на рисунке 1. Магнитная система состоит из П-образного шихтованного сердечника 1 и Г-образного якоря 2. В сердечнике электромагнита под катушками имеются вырезы, предназначенные для снижения вибрации подвижной системы при больших и несинусоидальных токах. При пиках синусоидального тока участки сердечника с уменьшенным сечением насыщаются и ограничивают величину магнитного потока.

Положение якоря в начальном и конечном положениях фиксируются упорными винтами, закрепленными контргайками или пружинными пластинками для предохранения от самоотвинчивания. Якорь реле удерживается в начальном положении с помощью противодействующей спиральной пружины 4, один конец которой связан с якорем, а другой с указателем уставки 5. При повороте указателя уставки изменяется противодействующий момент пружины и соответственно ток срабатывания реле. Необходимое положение указателя уставки определяется по делениям, нанесенным на шкале 6. Жесткость противодействующей пружины  $1,0 \text{ Н}\cdot\text{мм}/90^\circ$ , при повороте указателя от минимальной уставки до максимальной (угол поворота около  $90^\circ$ ) момент противодействующей пружины увеличивается в 4 раза (пропорционально квадрату тока). К якорю прикреплены опорная скоба и пластмассовая колодка с двумя подвижными мостиковыми контактами из серебра. К верхней части скобы приклепан полый барабанчик 7 с радиальными перегородками внутри, полость барабанчика заполнена хорошо просушенным кварцевым песком. Барабанчик является гасителем колебаний (вибраций) подвижной системы. Между барабанчиком и опорной скобой помещена шайба с узким центральным отверстием (соответствующее отверстие имеется и в скобе) и бронзовая пластина 8, служащая опорной плоскостью для подвески подвижной системы реле.

Подвижная система в верхней части опирается бронзовой пластинкой на штифт из нержавеющей стали со сферическим концом, укрепленный на вкладыше 9 на рамке-основании 10 и проходящий через отверстия в опорной скобе и шайбе. В нижней части перемещение оси подвижной системы в горизонтальной плоскости ограничивается таким же штифтом, проходящим через отверстие в нижней изогнутой части опорной скобы. Сама скоба ограничивает смещение подвижной системы вверх.

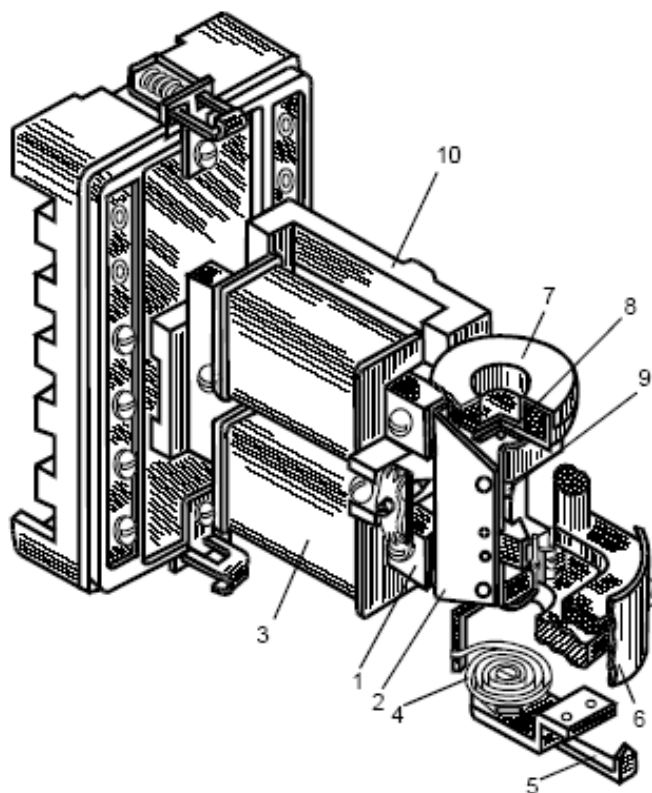


Рисунок 1. Общий вид электромагнитного реле РТ-40

На сердечнике расположены две катушки, концы которых выведены на зажимы цоколя реле. Перестановкой перемычек на этих зажимах можно осуществлять параллельное и последовательное соединение катушек реле и соответственно изменять величину уставок в два раза. Цифры, нанесенные на шкале, соответствуют последовательному соединению обмоток. Схема внутренних соединений реле приведена на рисунке 2.

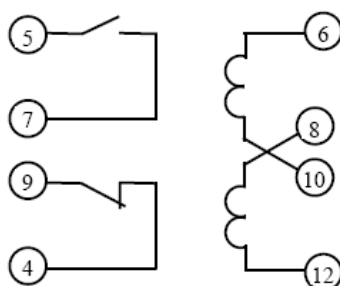


Рисунок 2. Схема внутренних соединений реле РТ-40

Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакт. Для более четкой работы контактов подвижные контакты выполнены свободно поворачивающимися. Неподвижные контакты приварены к плоским бронзовым пружинам, перемещение которых ограничивается гибкими наружными и жесткими внутренними пружинами.

Все узлы реле смонтированы на рамке-основании 2 из алюминиевого сплава (рисунок 1), укрепленной на пластмассовом цоколе реле, и закрыты прозрачным полистирольным кожухом. Крепление кожуха к цоколю производится пружинными замками.

Погрешность тока срабатывания реле по отношению к уставке не превышает  $\pm 5\%$ , разброс тока срабатывания не более 4% на любой уставке.

Коэффициент возврата реле  $k_{возв} = \frac{I_{возв}}{I_{сп}}$  не ниже 0,85 на первой уставке

и не ниже 0,8 на остальных, за исключением реле РТ-40/50 и РТ-40/100, у которых коэффициент возврата не ниже 0,7 на всех уставках.

Время срабатывания реле не более 0,1 с при токе, равном  $1,2 \cdot I_{сраб}$ , и не более 0,03 с при токе  $3,0 I_{сп}$

Время возврата реле при скачкообразном уменьшении тока в обмотках реле 1,2 – 20-кратного значения тока срабатывания до  $0,7 I_{сп}$  (у реле РТ-40/50 и РТ-40/100 – до  $0,6 \cdot I_{сп}$ ) не более 0,035 с контакты реле средней мощности.

### Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой внутренних соединений и техническими данными, указанными на табличке исследуемого реле.

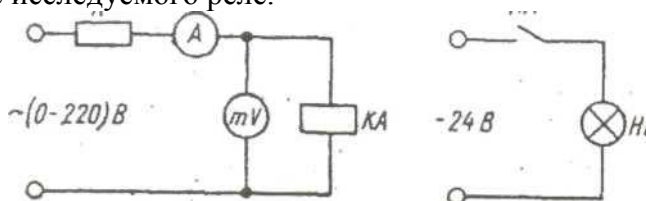


Рисунок 3 . Электрическая схема опыта

2. Собрать схему (рисунок 3) и выяснить назначение каждого элемента.

3. Определить ток срабатывания, относительную погрешность тока срабатывания и коэффициент возврата реле на нескольких уставках потоку при последовательном и параллельном соединении обмоток. При параллельном соединении обмоток нужно соединить между собой зажимы 6, 8 и 10, 12 на цоколе реле, а при последовательном — соединить зажимы 8 и 10.

Определение параметров производить при плавном изменении тока, срабатывание и возврат реле контролировать по состоянию сигнальной лампочки. Оценку результатов производить по среднему арифметическому из трех измерений.

Под относительной основной погрешностью срабатывания реле понимается, отношение разности между средним арифметическим значением тока срабатывания и током уставки к току уставки по шкале, выраженное в процентах:

$$\gamma = \frac{I_{сп} - I_{уст}}{I} \cdot 100$$

где:  $I_{сп}$ — среднее арифметическое тока срабатывания из трех измерений. А;

$I_{уст}$  -ток уставки, А.

Результаты замеров и вычислений записать в таблицу 1.

4. Определить потребляемую мощность при срабатывании реле на нескольких уставках по току при последовательном соединении обмоток. Результаты записать в таблицу 2.

5. Собрать схему для определения времени срабатывания реле (рисунок 4).

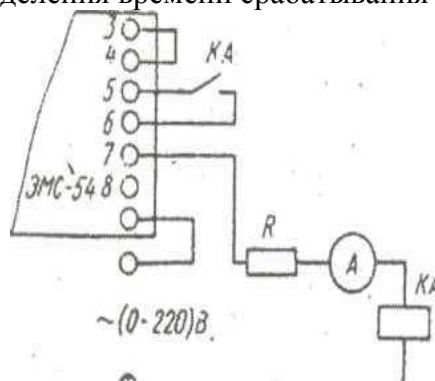


Рисунок 4. Схема для определения времени срабатывания реле

Таблица 1

## Полученные данные

Соединение обмоток	Последовательное			Параллельное		
	$I_{уст A}$					
$I_{cp, A}$						
$y, \%$						
$I_s, A$						
$K_\epsilon$						

Таблица 2

## Полученные данные

$I_{уст A}$				
$I_{cp, A}$				
$u_{cp, B}$				
$S_{cpB-A}$				

**Контрольные вопросы:**

1. Для чего предназначены реле максимального тока?
2. Устройство реле максимального тока РТ-40.
3. Принцип работы реле максимального тока РТ-40.
4. Что характеризует коэффициент возврата реле и почему он меньше единицы?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

**Тема:** исследование работы теплового реле.

**Цель работы:** Изучить принцип действия и конструкцию теплового реле серии ТРТ-100, снять времятоковую характеристику реле.

#### Краткие теоретические сведения

Биметаллические тепловые реле получили очень широкое применение в качестве реле защиты электродвигателей (главным образом переменного тока) от недопустимого перегрева при длительных перегрузках. Надежность и эффективность этой защиты достигаются при совпадении временных характеристик по нагреву у реле и у двигателя. Основным элементом теплового реле является биметаллическая пластина, которая состоит из двух, прочно сваренных между собой по всей поверхности металлов, имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения.

Слой металла, имеющий меньший коэффициент линейного расширения, пассивный, а слой с большим, коэффициентом активный. При нагревании биметалла активный слой удлиняется, на большую величину, чем пассивный, т. е. пластина изгибается в сторону пассивного слоя. Величина прогиба и усилие, развиваемое биметаллической пластиной, прямо пропорциональны разности коэффициентов линейного расширения. Поэтому для активного слоя, применяют материалы с возможно большим коэффициентом линейного расширения, а для пассивного — с меньшим. Для пассивного слоя биметаллического, элемента наибольшее применение нашли железоникелевые сплавы с большим содержанием никеля, называемые инваром. Для активного слоя биметаллического элемента используют различные стали, латунь, константан и другие материалы.

Биметаллические пластины могут нагреваться током, проходящим непосредственно по пластинам (непосредственный нагрев), а также от отдельных нагревательных элементов', (косвенный нагрев) или применяется сочетание непосредственного и косвенного нагрева (комбинированный нагрев). При непосредственном нагреве широкое регулирование тока срабатывания осуществляется подбором соответствующих сопротивлений (шунтов), включаемых параллельно биметаллической пластине.

При косвенном нагреве ток срабатывания реле можно регулировать в широких пределах заменой нагревательных элементов. Регулирование тока срабатывания в небольших пределах достигается изменением величины прогиба биметаллической пластины, и усилия, развиваемого биметаллической пластиной. Основные требования, предъявляемые к конструкциям тепловых реле, - малая зависимость уставки тока срабатывания от температуры окружающей среды и скачкообразное переключение контактов. Первое требование обычно удовлетворяется путем повышения рабочей температуры биметаллического устройства, при котором оно срабатывает. Второе требование обычно удовлетворяется с помощью пружин — цилиндрических, винтовых или пластинчатых. Биметаллическая пластина должна при токе перегрузки двигателя достигнуть температуры срабатывания за такое время, в течение которого двигатель может выдерживать данную перегрузку. Поэтому одной из основных характеристик теплового реле является времятоковая характеристика, показывающая, как изменяется время срабатывания реле при изменении тока. В общем случае времятоковая характеристика имеет гиперболический характер. Чем больше ток в цепи, тем быстрее нагревается биметаллическая пластина до температуры срабатывания и быстрее срабатывает реле.

В этой лабораторной работе исследуется тепловое реле серии ТРТ-100, предназначенное для защиты от перегрузок электродвигателей переменного тока напряжением до 500 В. Серия реле ТРТ-100 имеет пять исполнений, которые отличаются номинальным током нагревательного элемента. Общий вид реле показан на рис.1. Основным элементом реле является укрепленный на оси биметаллический элемент, имеющий U-образную форму.

На правый конец биметаллической пластины опирается цилиндрическая стальная пружина, другой конец пружины опирается на изоляционную контактную колодку с

подвижным контактным мостиком. Левый конец биметаллической пластины соединен с механизмом уставки, позволяющим регулировать ток срабатывания теплового реле. Ток срабатывания регулируется изменением натяжения биметаллической пластины. При токах срабатывания биметаллическая пластина перекидывает изоляционную колодку 12 вокруг оси 14 и скачкообразно отключает размыкающий контакт реле. Возврат реле в исходное положение (замыкание контакта) происходит автоматически после остывания биметаллической пластины, через время не более 3 мин, а при нажатии на кнопку 13 — через время не более 1 мин при температуре окружающей среды 40°С.

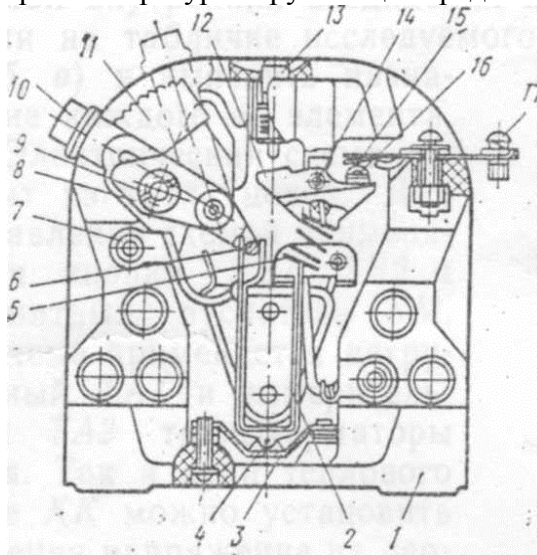


Рис. 1. Общий вид теплового реле ТРТ-100:

1 - корпус; 2 - биметалл; 3 - скоба; 4 - ось; 5 - пружина; 6 - ролик; 7 - наконечник; 8 - поводок; 9 - эксцентрик; 10 - ручка механизма уставки; 11 - сектор уставки; 12 - колодка; 13 - кнопка; 14 - ось; 15 - неподвижный контакт; 16 - мостик; 17 - зажим неподвижного контакта

#### Технические данные реле ТРТ-100

Номинальные токи 1,75; 2,5; 3,5; 5; 7 А указаны при температуре окружающего воздуха 40°С и в нулевом положении регулятора уставки. Реле допускают регулировку номинального тока уставки в пределах  $\pm 15\%$  от номинального тока нагревательного элемента. Цена одного деления шкалы уставки составляет 5% от номинального тока. Ток срабатывания реле равен 1,35 от номинального. Время срабатывания реле при шестикратном токе уставки находится в пределах от 3 до 15 с при включении холодного реле.

Реле имеет один размыкающий контакт, допускающий включение переменного тока до 30 А при напряжении 500 В и длительное прохождение и отключение переменного тока 10 А (500 В) и постоянного тока 1 А при напряжении 110 В и 0,5 А при напряжении 220 В.

#### **Последовательность выполнения работы:**

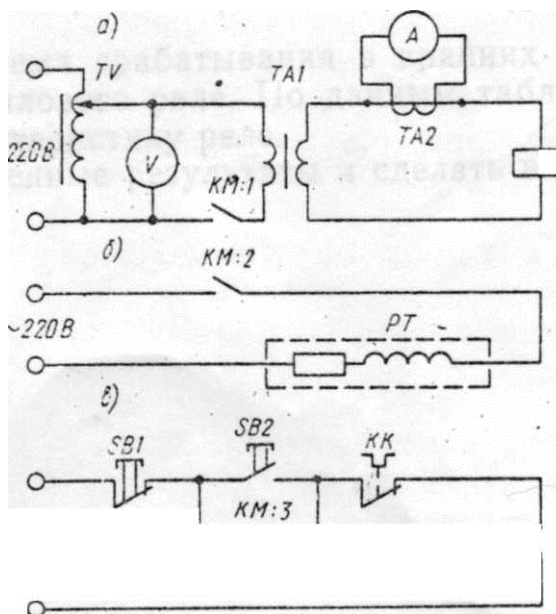


Рисунок 2. Схема для исследования реле ТРТ-10

1. Ознакомиться со схемой внутренних соединений и техническими данными, указанными на табличке исследуемого реле.

Собрать схему (рис. 2., а, б, в), и выяснить назначение каждого ее элемента. Электрическая схема состоит из трех цепей. Для управления схемой применяются кнопки SB1, SB2 и магнитный пускатель КМ. В схеме применяется нагрузочный ТА1 и измерительный ТА2 трансформаторы тока. Ток и цепи теплового реле КК можно установить, изменяя напряжение на первичной обмотке ТА1 автотрансформатором TV. При подключении всех цепей к источникам питания ток в каждой цепи отсутствует. При нажатии на кнопку SB2 на обмотку магнитного пускателя подается напряжение, он срабатывает и замыкает свои контакты. При этом появляется ток в цепи теплового реле КК и напряжение на секундомере, который начинает вращаться. Через некоторое время срабатывает тепловое реле и размыкает свои контакты КК. При этом обесточивается цепь обмотки магнитного пускателя КМ, он размыкает свои контакты, ток в цепи теплового реле пропадает, а секундомер останавливается. Ток, идущий по тепловому реле КК, можно отключить принудительно, нажав на кнопку SB1.

2. Снять времятоковую характеристику реле при крайних положениях указателя уставки (см. рис. 1)

$$t_{cp} = f(K).$$

Для этого нужно установить заданное напряжение на первичной обмотке ТА1 нажать на кнопку SB2, замерить ток и время срабатывания теплового реле. Через 3 мин после срабатывания теплового реле установить следующее напряжение на первичной обмотке ТА1 и вновь измерить ток и время срабатывания теплового реле.

$t1_{cp}$ , с  $t2_{cp}$ , с — время срабатывания в крайних положениях указателя уставки теплового реле. По данным, таблицы 1 построить времятоковую характеристику реле.

3. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы по выполненной работе.

Полученные результаты записать в таблицу 1

Таблица 1

Полученные данные

U, В					
$I_p$ , А					
К					
$t1_{cp}$ , с					
$t2_{cp}$ , с					



**Контрольные вопросы:**

1. Для чего предназначены реле максимального тока?
2. Устройство реле максимального тока РТ-40.
3. Принцип работы реле максимального тока РТ-40.
4. Что характеризует коэффициент возврата реле и почему он меньше единицы?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

**Тема:** исследование работы реле времени.

**Цель работы:** Изучить принцип действия и конструкцию электромагнитного реле времени постоянного тока серии РЭВ-800, определить влияние на выдержку времени напряжения на катушке реле, определить влияние на выдержку времени толщины немагнитной прокладки между якорем и сердечником и натяжения отключающей пружины.

### Краткие теоретические сведения

*Временем срабатывания реле* считают промежуток времени от момента включения катушки до момента замыкания контактов. Различают: время срабатывания на включение, протекающее с момента включения катушки до момента замыкания замыкающих контактов; время срабатывания на отключение (время отключения или возврата), протекающее с момента отключения катушки до момента замыкания размыкающих контактов.

Время срабатывания электромагнитного реле складывается из двух частей:

$$t_{cp} = t_{tr} + t_d$$

где  $t_{tr}$  - время трогания, т. е. время с момента подачи импульса на катушку электромагнита (на включение ее или отключение) до момента начала движения якоря;

$t_d$  - время движения якоря до полной его остановки.

Увеличение времени срабатывания осуществляется путем увеличения времени трогания (достигается с помощью магнитного демпфирования) и времени движения (достигается с помощью механического демпфирования).

В электромагнитных реле времени серии РЭВ-800 замедление достигается с помощью магнитного демпфирования, т. е. воздействия на скорость изменения магнитного потока. При этом используются магнитные потоки, создаваемые вихревыми токами, которые появляются в массивных деталях магнитной системы при изменении основного магнитного потока. Для этого на магнитопровод 1 реле надевают металлические гильзы или шайбы (рис. 1).

При изменении основного магнитного потока  $\Phi_0$ , созданного током катушки 3, в гильзе 2 наводятся вихревые токи. Магнитный поток, созданный вихревыми токами, имеет направление, препятствующее изменению основного потока. Когда основной поток уменьшается, направление потока от вихревых токов  $\Phi_v$  совпадает с ним (рис. 1)

Эффективность этого метода тем больше, чем больше абсолютная величина основного потока. Поэтому наибольшее замедление можно получить при отключении электромагнита, когда воздушные зазоры в магнитной системе малы, а магнитный поток максимален. При отключении катушки электромагнита начинает уменьшаться магнитный поток. Когда он достигнет значения потока отпадания  $\Phi_{0T}$ , начинается движение якоря.

Скорость уменьшения магнитного потока определяется постоянной времени реле,

$$\tau = \Lambda / R_s,$$

которую с допущениями можно определить по формуле:

где  $\Lambda$  - результирующая магнитная проводимость системы, Гн;

$R_s$  — электрическое сопротивление короткозамкнутой гильзы, Ом.

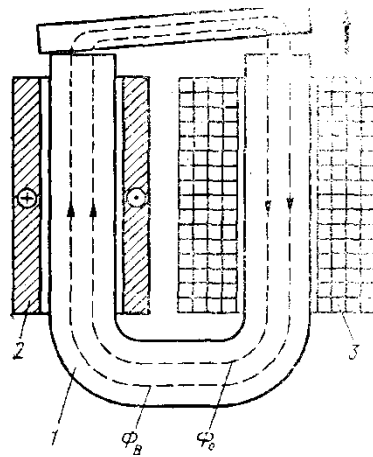


Рисунок 1. Электромагнитное реле времени

На рисунке 2 представлен характер изменения потока при отключении реле. Кривая 1 относится к условиям, когда на магнитопроводе нет короткозамкнутой гильзы.

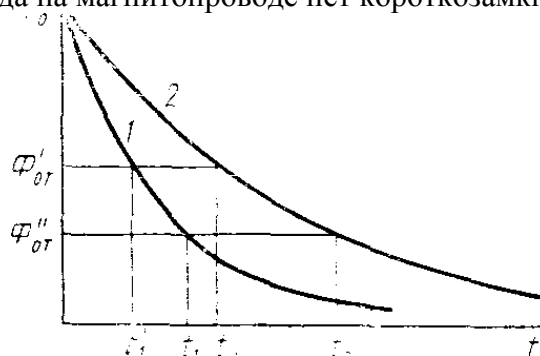


Рисунок 2. Кривые изменения магнитного потока

Когда гильза надета на магнитопровод, поток спадает медленнее (кривая 2) и время отключения реле увеличивается при неизменном потоке отпадения ( $t_2 > t_1$ ) и регулировать выдержку времени при отпуске реле можно разными способами.

При изменении толщины немагнитной прокладки изменяется результирующая магнитная проводимость системы и постоянная времени. Чем тоньше немагнитная прокладка, тем больше магнитная проводимость и постоянная времени. Выдержка времени при этом увеличивается. При изменении сопротивления короткозамкнутых гильз или шайб также изменяется постоянная времени: чем меньше сопротивление гильз, тем больше выдержка времени.

При изменении натяжения противодействующей пружины изменяется электромагнитная сила (соответственно и магнитный поток), при которой якорь отпадает. Если пружина ослаблена, то поток отпадения  $\Phi_{от}$  меньше, чем при затянутой пружине  $\Phi_{от}$ , а время отключения больше.

Для того чтобы выдержка времени реле не зависела от значения питающего напряжения, магнитная цепь делается сильно насыщенной. Поэтому снижение напряжения до 60% от номинального не вызывает заметного изменения выдержки времени.

Общий вид исследуемого реле серии РЭВ-800 представлен на рисунке 3. Магнитопровод - реле выполнен из низкоуглеродистой стали и состоит из сердечника 7 и скобы 9. Основание магнитной системы 1 залито алюминиевым сплавом и создает дополнительный контур для вихревых токов, что приводит к увеличению выдержек времени. На скобе 9 крепится пластинка 11 и угольник 12, образуя призматическую опору якоря 6, что повышает его механическую износостойкость. Катушка реле 3 устанавливается на сердечник и закрепляется кольцом 4.

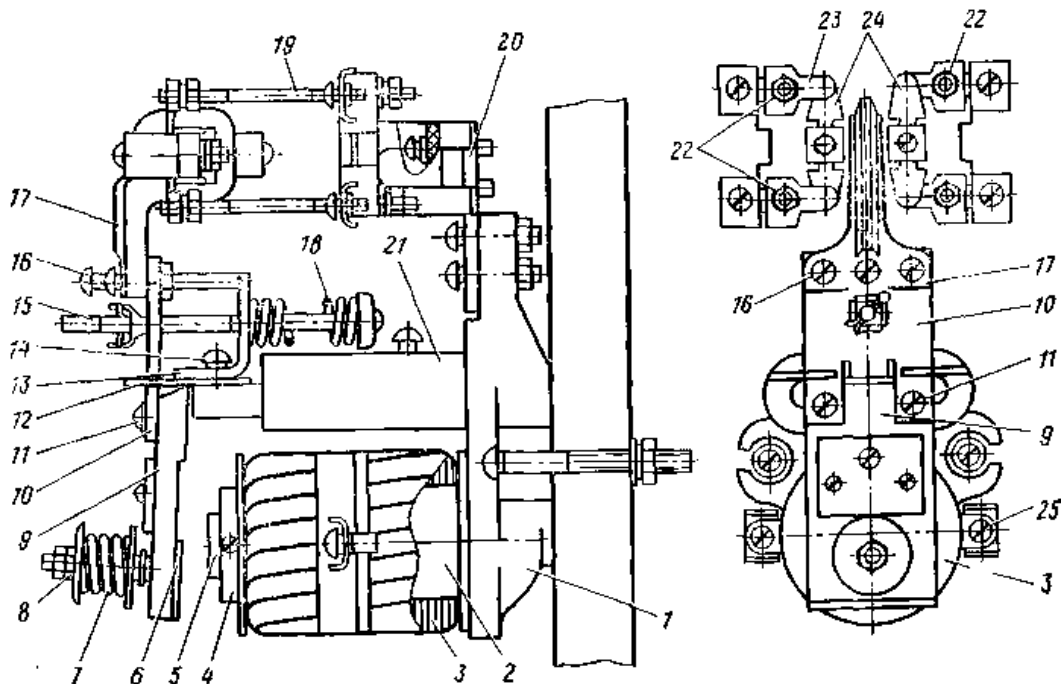


Рисунок 3. Реле серии РЭВ-800

На сердечнике и скобе магнитной системы устанавливаются съемные демпферы 2 и 17 из алюминия или меди.

Противодействующее усилие создается пружиной 16, регулировка натяжения этой пружины производится гайкой 13. Для осуществления плавной регулировки выдержки времени на якоре установлен регулировочный узел 8. Между якорем и сердечником установлена немагнитная прокладка 5.

На якоре укреплен скоба 10, несущая колодку с подвижными контактами 14. Узел неподвижных контактов 15 крепится на магнитной системе. Контакты имеют конструкцию, позволяющую производить их пересборку.

#### Технические данные реле

Реле изготавливаются с втягивающими катушками на номинальные напряжения 24, 48, 110, 220 В.

Реле должно притягивать якорь без остановок подвижной системы, в промежуточном положении при напряжении  $0,85U_{ном}$ .

Пределы регулировки выдержки времени при отключении катушки 0,8-2,5 с.

Потребляемая мощность катушки не более 25 Вт.

Точность по времени срабатывания  $\pm 10\%$  при окружающей температуре  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  и напряжении на катушке не менее 60% от номинальной.

Номинальный ток контактов 10 А.

#### Последовательность выполнения работы

Собрать схему (рис. 4) и выяснить назначение каждого элемента.

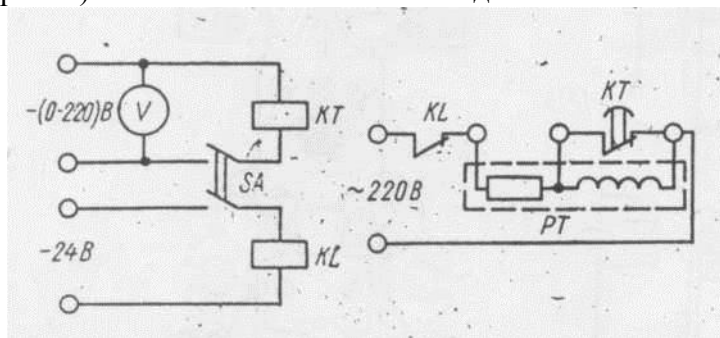


Рисунок 1. Электрическая схема опыта

Схема состоит из трех цепей и в ней применяется вспомогательное промежуточное реле  $KL$ . При подключении напряжения ко всем цепям и разомкнутом тумблере  $SA$  реле времени  $KT$  и промежуточное реле

$KL$  не срабатывают, секундомер  $PT$  не работает, так как его обмотка зашунтирована размыкающим контактом реле времени  $KT$ . При включении тумблера срабатывает реле  $KL$  и размыкает свой контакт; цепь питания секундомера разрывается. Реле времени  $KT$  тоже срабатывает и размыкает свой контакт, при этом секундомер не работает.

При отключении тумблера  $SA$  промежуточное реле  $KL$  возвращается в исходное положение практически мгновенно и замыкает свой контакт. При этом замыкается цепь секундомера, и он начинает отсчитывать время. Реле времени  $KT$  возвращается в исходное состояние через некоторое время и замыкает свой контакт. При этом секундомер останавливается, так как его обмотка шунтируется контактом реле времени  $KT$ .

2. Определить влияние напряжения на катушке на выдержку времени при отключении реле. Для этого нужно установить заданное напряжение на обмотке реле  $KT$ , отключить тумблер  $SA$  и определить по секундомеру время. Оценку результатов производить по среднему арифметическому из трех измерений. Результаты записать в таблицу 1

Таблица 1

Полученные данные

$U_k$ , от $U_{ном}$	60%	80%	100%	100%
$U_k$ , В				
$t_{отк}$ , С				

3. Определить зависимость выдержки времени при отключении реле от толщины немагнитной прокладки между якорем и сердечником. Измерения производить при номинальном напряжении на катушке реле и ослабленном и затянутом состояниях отключающей пружины. Ослабление или затяжку противодействующей пружины 16 производить путем вращения гайки 13 по часовой стрелке или против нее (см. рис. 3). Для немагнитной прокладки можно использовать четыре бронзовые пластины толщиной по 0,1 мм и построить графики зависимости выдержки времени от толщины немагнитной прокладки.

4. Результаты измерений записать в таблицу 2.

Таблица 2

Полученные данные

Толщина немагнитной прокладки, мм	Нет	0,1	0,2	0,3	0,4
$t_{отк}$ , С (пружина затянута)					
$t_{отк}$ , С (пружина ослаблена)					

#### Контрольные вопросы:

1. Что называется временем срабатывания реле?
2. В чем заключается принцип магнитного демпфирования?
3. От чего зависит скорость изменения магнитного потока?
4. От чего зависит постоянная времени реле?
5. Как влияет на выдержку времени замена медного демпфера алюминиевым?
6. Как влияет на выдержку времени увеличение температуры окружающей среды?
7. Каково назначение массивного основания реле?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

**Тема:** Исследование работы автоматического выключателя.

**Цель работы:** изучить конструкцию, характеристики и методику выбора низковольтных автоматических выключателей.

### Краткие теоретические сведения

Автоматические выключатели (АВ) постоянного и переменного тока выпускаются в одно-, двух- и трехполюсном исполнении. Они предназначены для нормальной коммутации и защиты электрических цепей от различных аварийных режимов: токов короткого замыкания и перегрузки, снижения или исчезновения напряжения, изменения направления тока и других. Устройства, реализующие функции защиты в автоматических выключателях, называются расцепителями.

Расцепители АВ, типовые схемы которых приведены на рисунке 1 могут реагировать на различные виды повреждений.

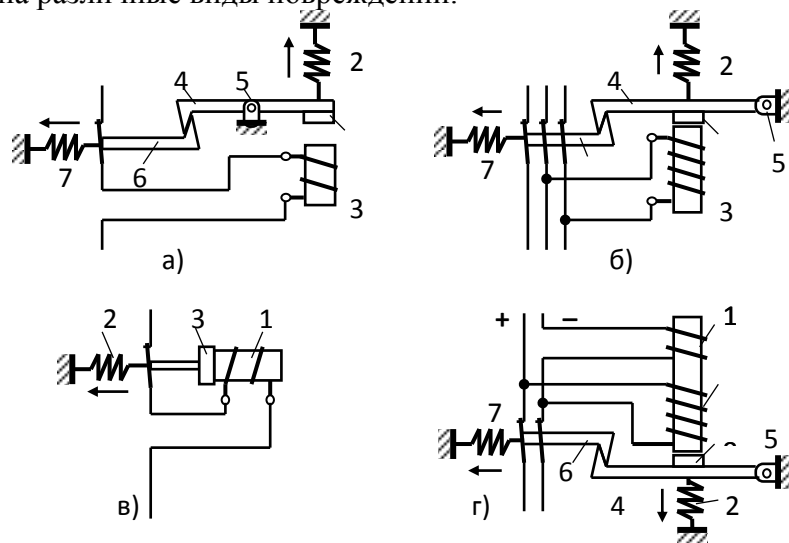


Рисунок 1. Схемы расцепителей автоматических выключателей:

а – максимального тока; б – минимального напряжения; в – минимального тока; г – обратной мощности

Расцепители автоматов максимального тока (рис. 1-а) реагируют на повышение тока в цепи сверх установленного допустимого значения. В нормальном рабочем положении контакты выключателя замкнуты. Пружина 2 создает усилие, достаточное для удержания рычага 6, механически связанного с контактами, защелкой 4. Как только ток превысит установленное значение, усилие, развиваемое электромагнитом 1, превысит противодействие пружины 2, и притянет якорь 3. Механически связанная с якорем защелка 4 повернется относительно оси 5 по часовой стрелке и освободит рычаг 6. Под действием пружины 7 контакты автоматического выключателя разомкнутся. Путем регулирования натяжения пружины 2 можно регулировать и уставку расцепителя. Включение автоматического выключателя после срабатывания осуществляется вручную.

Расцепители автоматов минимального напряжения (рис. 1-б) реагируют на понижение ниже допустимого уровня напряжения в защищаемых цепях, поэтому катушка электромагнита 1 у них включается в сеть параллельно. В нормальном рабочем положении усилие, развиваемое электромагнитом 1 больше силы противодействия пружины 2, поэтому якорь 3 притянут к электромагниту, а защелка 4 удерживает рычаг 6. Если напряжение станет меньше допустимого, усилия электромагнита 1 окажется недостаточно для удержания якоря 3, и защелка 4 повернется вокруг оси 5 по часовой стрелке, освобождая рычаг 6. Под действием пружины 7 контакты разомкнутся. Уставка напряжения регулируется с помощью пружины 2.

Расцепители автоматов минимального тока (рис.1-в) ограничивают нижний предел

тока, и применяются в цепях возбуждения синхронных машин и машин постоянного тока. Они удерживают контакты в замкнутом положении до тех пор, пока ток в катушке электромагнита 1 имеет значение, достаточное для того, чтобы притягивать якорь 3, преодолевая противодействие пружины 2. Как только ток уменьшится до нормируемого минимального значения, натяжение пружины 2 станет больше силы притяжения якоря 2 к электромагниту, контакты выключателя разомкнутся.

Расцепители обратной мощности и обратного тока (рис. 1–г) применяются в цепях постоянного тока для контроля их полярности. Полный магнитный поток, от которого зависит тяговое усилие электромагнита, создается в результате взаимодействия потоков последовательной катушки 1 и параллельной катушки 8. При нормальном направлении мощности потоки эти направлены согласно, и результирующий магнитный поток создает усилие, достаточное для того, чтобы якорь 3 преодолел противодействие пружины 2, а защелка 4 удерживала рычаг 6. Если полярность тока в цепи изменится на противоположную, результирующий магнитный поток резко уменьшится, поскольку потоки катушек 1 и 8 в этом случае будут направлены встречно. В результате защелка 4 освободит рычаг 6, и под действием пружины 7 контакты разомкнутся и разорвут защищаемую цепь.

Большинство АВ имеют комбинированную защиту, реагирующую на несколько видов аварийных режимов. Устройство универсального выключателя показано на рис. 2. Механизм свободного расцепления, состоящий из шарнирно связанных рычагов 12, 13, 14 и опоры, обеспечивает отключение, при котором скорость расхождения контактов не зависит от действий оператора. Механизм включается вручную путем поворота рукоятки 15 по часовой стрелке. Вначале замыкаются дугогасительные контакты 5, находящиеся в камере 3 (их удар смягчается пружиной 4), затем – система главных контактов 6. При этом пружина 2 растягивается. Автоматическое отключение происходит под действием одного из расцепителей.

Для защиты от длительных, но относительно небольших по величине перегрузок используется тепловой расцепитель 7, содержащий биметаллическую пластину и нагревательный элемент, подключенный параллельно резистору 8. Время срабатывания теплового расцепителя зависит от величины тока перегрузки.

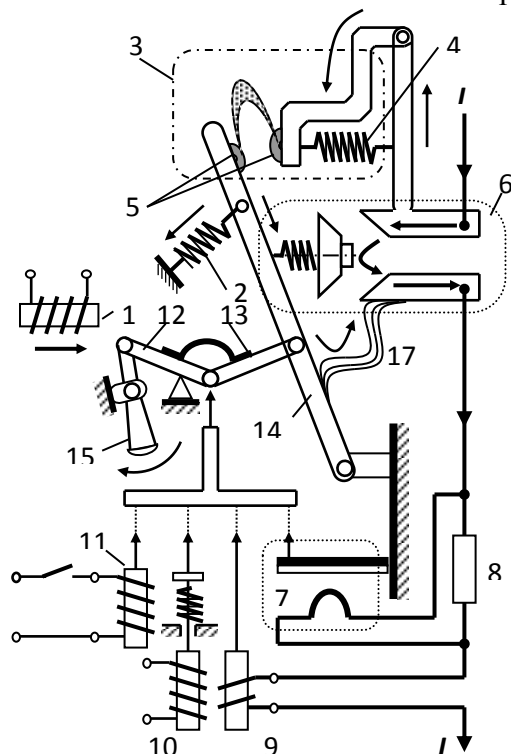


Рисунок 2. Устройство универсального автоматического выключателя

Расцепитель максимального тока состоит из катушки с сердечником 9 и якорька. Если ток в катушке многократно превысит номинальное значение, якорек притянется к сердечнику, и переместит механизм расцепления вверх, выводя рычаги из «мертвого» положения. Предварительно взведенная пружина 2 оттягивает рычаг 14 влево и размыкает контакты выключателя. В расцепителе минимального напряжения 10 также имеются сердечник с катушкой и якорек. Если напряжение на катушке находится в допустимых пределах, якорек преодолевает сопротивление пружины и притягивается к сердечнику. При уменьшении напряжения пружина преодолевает сопротивление якорька и, воздействуя на рычаги механизма расцепления, отключает автомат. Срабатывание любого из расцепителей приводит к «излому» рычагов, после которого автомат необходимо включать в следующей последовательности. Вначале рукоятку 15 поворачивают до упора против часовой стрелки, чем взводят механизм свободного расцепления. Рычаги 12 и 13 выпрямляются и создают жесткую связь. Затем рукоятку 15 поворачивают в противоположном направлении, замыкая контакты выключателя. Рычаги при этом занимают «мертвое» положение. Ручное отключение производится поворотом рукоятки 15, дистанционное – путем замыкания контакта в цепи катушки электромагнита 11. Дистанционное включение можно осуществлять автоматически, с помощью электромагнита 1.

Основными характеристиками автоматических выключателей являются номинальное напряжение ( $U_{a,ном}$ ) и номинальный ток ( $I_{a,ном}$ ).

Номинальным напряжением АВ называется напряжение, при котором нормируются его технические характеристики.

Номинальным током называется установленное изготовителем значение тока, протекающего через автоматический выключатель при указанной контрольной температуре окружающей среды, при котором он может работать в течение неограниченно длительного времени.

Расцепители автоматических выключателей также характеризуются номинальным током  $I_{рц,ном}$ , под которым понимается наибольший ток, протекание которого не вызывает срабатывания, током срабатывания  $I_{рц,ср}$  и временем срабатывания  $t_{ср}$ . Зависимость этого времени от величины тока срабатывания называется защитной характеристикой. Тепловые расцепители осуществляют максимальную токовую защиту. Сочетание теплового и электромагнитного расцепителей позволяет осуществлять двухступенчатую защиту. При относительно небольших перегрузках она действует с зависимой выдержкой времени, а при коротких замыканиях – без выдержки времени.

Существует большое количество автоматических выключателей, которые различаются между собой по типу расцепителей и осуществляемых защит, конструкции, и другим критериям.

Выбор автоматических выключателей в общем случае является сложной задачей, поскольку он зависит от конфигурации и параметров защищаемых цепей. При этом необходимы предварительные расчеты токов короткого замыкания на различных участках сетей и согласование действия защит. Общими при выборе всех АВ являются следующие требования:

– номинальное напряжение автомата  $U_{a,ном}$  не должно быть ниже напряжения сети, в которой он установлен, а его отключающая способность должна быть не ниже максимального тока короткого замыкания на участке, который он защищает;

– номинальный ток расцепителя  $I_{рц,ном}$  не должен быть меньше максимального рабочего тока  $I_{раб,мах}$ , который может длительно протекать по защищаемой линии с учетом возможной перегрузки.

Расцепители автоматических выключателей должны действовать селективно, т.е. отключать только поврежденный участок.

Селективность действия автоматических выключателей обеспечивается путем согласования защитных характеристик их расцепителей. Чем ближе к источнику питания



расположен АВ, тем больше должна быть уставка тока расцепителя, и тем выше должна располагаться его защитная характеристика. В сетях напряжением до 1 кВ необходимо согласование селективности действия автоматических выключателей и предохранителей. Многообразие условий, в которых работают защитные аппараты, приводит к тому, что в некоторых случаях полной селективности их действия достигнуть невозможно.

Автоматические выключатели широко применяются для защиты асинхронных электродвигателей, которые составляют до 50% всех потребителей электроэнергии. Пусковой ток асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в 5 – 7 раз превышает номинальный. Кроме того, необходимо учитывать и возможность возникновения ударных токов, которые могут вызвать срабатывание электромагнитных расцепителей автоматических выключателей. С учетом этого уставка по току электромагнитных расцепителей  $I_{рц.ЭМ}$  для одного электродвигателя выбирается исходя из условия:

$$I_{рц.ЭМ} \geq (1,5 - 1,8) I_{пуск.},$$

а для группы электродвигателей:

$$I_{рц.ЭМ} \geq (1,5 - 1,8) \left( \sum_{i=1}^n I_{ном.i} + (I_{пуск.маx} - I_{ном.маx}) \right),$$

где  $\sum_{i=1}^n I_{ном.i}$  – сумма номинальных токов одновременно работающих электродвигателей;  
 $(I_{пуск.маx} - I_{ном.маx})$  – максимальная разность между пусковым и номинальным токами.

Уставки тепловых расцепителей выбираются по номинальному току двигателя (или группы двигателей) с учетом условий пуска:

$$I_{рц.Тепл.} \geq (1,0 - 1,5) \sum_{i=1}^n I_{ном.i}.$$

Наименьшие значения коэффициента запаса выбираются при легких условиях пуска, наибольшие – при тяжелом пуске мощных двигателей. Номинальный и пусковой токи (при отсутствии иных данных) определяются по формулам:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{3 U_n \cos\varphi \eta},$$

$$I_{пуск} = k_I I_{ном}$$

где  $\cos\varphi$  – коэффициент мощности двигателя;  $U_n$  – номинальное напряжение обмотки двигателя, при соединении обмоток АД по схеме «звезда»  $U_{н.Y} = 220В$ , при схеме обмоток «треугольник»  $U_{н.Δ} = 380В$ ,  $\eta$  – КПД двигателя;  $k_I$  - кратность пускового тока.

#### Порядок выполнения работы:

1. Изучить конструкцию, характеристики, и методы выбора автоматических выключателей.
2. Снять защитную характеристику АВ на учебно-лабораторном стенде.
3. Рассчитать уставки тепловых и электромагнитных расцепителей и выбрать АВ для индивидуальной и групповой защиты АД.
4. Сделать выводы. Составить отчет работе. Ответить на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы:

1. Перечислить типы расцепителей АВ и пояснить принцип их действия.
2. Как устроен универсальный АВ?
3. Что такое защитная характеристика АВ? Как она снималась в лабораторной работе?

4. Что такое селективность действия АВ? Зачем в некоторых АВ применяют три ступени защиты?
5. По каким параметрам выбираются АВ?
6. Как обеспечивается защиты ЭД с помощью АВ?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

**Тема:** Исследование плавких предохранителей

**Цель работы:** изучение конструкции низковольтных предохранителей, определение защитной характеристики плавкой вставки опытным путем.

### Краткие теоретические сведения

Плавкими предохранителями называют электрический аппарат, который при токе, большем заданной величины, размыкает электрическую цепь путем расплавления плавкой вставки, непосредственно нагретой током до расплавления.

Предохранители можно классифицировать по степени закрытия плавкой вставки на:

- а) предохранители с открытой плавкой вставкой (применяются редко);
- б) предохранители с полузакрытым патроном;
- в) предохранители с закрытым патроном, в которых отсутствует выброс пламени дуги при перегорании плавкой вставки.

Предохранители с закрытым патроном могут быть с наполнителем и без него. В предохранителях с наполнителем дуга гасится в порошкообразном наполнителе, а в предохранителях без наполнителя вследствие высокого давления газов в патроне.

Материалы для плавких вставок должны иметь малое удельное сопротивление, небольшую температуру плавления и, кроме того, должны быть стойкими к окислению.

В современных предохранителях для плавких вставок обычно применяются медь, цинк, серебро.

Основными параметрами предохранителей являются:

- а)  $I_{\text{ном. патр.}}$  - номинальный ток патрона – максимальный ток, при котором токоведущие и контактные части нагреваются не выше допустимой температуры;
- б)  $I_{\text{ном. вст.}}$  - номинальный ток вставки - длительный рабочий ток, при котором плавкая вставка не должна перегорать;
- в)  $I_{\text{ном.}}$  - предельный ток отключения предохранителя.

Полное время отключения цепи предохранителем складывается из времени нагрева вставки до плавления, времени перехода из твердого состояния в жидкое (плавление) и времени горения (гашения дуги):

$$t_{\text{откл.}} = t_{\text{нагр.}} + t_{\text{пл.}} + t_{\text{дуги}}$$

Зависимость полного времени отключения цепи плавким предохранителем от тока называют времятоковой характеристикой, или защитной характеристикой. Предохранитель будет защищать объект лишь в том случае, если его защитная характеристика располагается несколько ниже защитной характеристики, защищаемого объекта при любом значении тока в цепи (рис. 1).

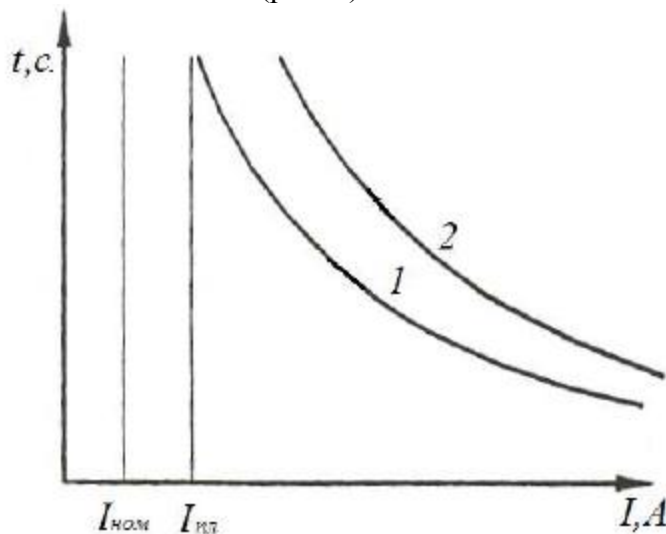


Рисунок 1. Защитная характеристика: 1 - характеристика предохранителя;

## 2 - характеристика объекта

Выбор предохранителя производится:

а) по номинальному напряжению сети:

$$U_{\text{ном.}} \geq U_{\text{сет.}},$$

где  $U_{\text{ном.}}$  - номинальное напряжение предохранителя.

Рекомендуется номинальное напряжение предохранителей выбирать по возможности равным номинальному напряжению сети.

б) по длительному расчетному току линии:

$$I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{длит.}}$$

где  $I_{\text{ном.вст.}}$  - номинальный ток вставки;

в) по условиям пуска асинхронных двигателей (с к.з. ротором)

$$I_{\text{ном.вст.}} = I_{\text{пуск.}} / \alpha,$$

где  $\alpha$  - коэффициент, зависящий от условий пуска, = 1,5...2,5;

г) если предохранитель стоит в линии, питающей сразу несколько двигателей с к.з. ротором:

$$I_{\text{ном.вст.}} = 0.4 [ I_{\text{расч.}} + I_{\text{пуск.}} - I_{\text{ном.дв.}} ],$$

где  $I_{\text{расч.}}$  - расчетный номинальный ток линии, равный  $I_{\text{ном.дв}}$

Разность  $I_{\text{пуск.}} - I_{\text{ном.дв.}}$  берется для двигателя, у которого она наибольшая.

Для двигателей с фазным ротором, если  $I_{\text{пуск.}} < 2 I_{\text{ном.дв.}}$ ,

то  $I_{\text{ном.вст.}} \geq (1 \dots 1,25) I_{\text{ном.дв.}}$

д) проверка по условиям к.з.:

$$I_{\text{к.з.}} / I_{\text{ном.вст.}} 3 \dots 4,$$

где  $I_{\text{к.з.}}$  - ток к.з. двигателя.

В цепях управления и сигнализации плавкие вставки выбираются по соотношению:

$$I_{\text{ном.вст.}} \geq \sum I_{\text{раб.макс}} + 0,1 \sum I_{\text{вкл.макс.}},$$

где  $I_{\text{раб.макс}}$  - наибольший суммарный ток, потребляемый катушками аппаратов, сигнальными лампами и т.д. при одновременной работе;

$I_{\text{вкл.макс}}$  - наибольший суммарный ток, потребляемый при включении катушек, одновременно включаемых аппаратов.

Для защиты низковольтных цепей выпускаются предохранители в основном двух типов:

ПР-2 – предохранитель трубчатый, изолирующий корпус круглого сечения из фибры на большие токи и из фарфора на малые токи, гашение дуги в закрытом объеме и за счёт газов, выделяемых фиброй.

ПН-2 – предохранитель с мелкозернистым наполнителем (кварцевый песок), корпус квадратного сечения из фарфора, плавкая вставка может быть одно-, двух-, или трёхленточная (тонкая лента).

### Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические сведения и конструкции низковольтных предохранителей.
2. Снять времятоковую характеристику плавких предохранителей.
3. Результаты опыта занести в таблицу 1.

Таблица 1

Полученные данные

Ток нагрузки, $I_n$ , А				
Показание секундомера $t$ , сек				
Расчетная температура плавления $t_{пл}$ , °С				

4. По данным опыта построить времятоковые характеристики, сделать вывод.

**Контрольные вопросы:**

1. Назначение предохранителей.
2. Требования к материалу для плавких вставок.
3. Назначение металлургического эффекта в предохранителях.
4. Особенности работы предохранителя при "пограничном" токе.
5. Основные параметры предохранителей.
6. Схема включения предохранителей в защищаемую цепь.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

(рабочее место № 5)

**Тема:** Определение момента инерции методом свободного выбега

**Цель работы:** Определить опытным путем момент инерции электропривода.

### Краткие теоретические сведения

При решении целого ряда практических задач по электроприводу (определение времени разгона и торможения электропривода, выбор мощности электропривода при пульсирующей и ударной нагрузке) необходимо знать момент инерции электропривода.

Момент инерции есть мера инертности тела при вращательном движении. Момент инерции тела равен:

$$J = m \cdot \rho^2, \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (1)$$

где  $m$  - масса ( кг ),

$\rho$  - радиус инерции ( м ).

В справочниках по электрооборудованию приводятся только величины момента инерции электродвигателей. При расчетах электропривода нужно знать моменты инерции всех элементов системы, приведенные к скорости вращения электродвигателя (к валу двигателя). Для простейших тел имеются формулы определения момента инерции. Однако на практике редко имеют дело с такими простыми телами. Обычно вращающиеся тела сложны по конфигурации, а отдельные их части изготовлены из разных материалов (например, ротор электродвигателя). Это затрудняет определение моментов инерции путем вычислений.

Если учесть, что в природе зачастую имеются поступательно движущиеся тела, то наиболее надежные результаты можно получить только при опытном определении действительной величины момента инерции.

Одним из методов опытного определения момента инерции является метод свободного выбега. В данной установке применен редуктор с передаточным числом  $i=20$  для демонстрации передачи мощности от двигателя к исполнительному механизму.

Общий момент инерции системы состоит из суммы моментов инерции двигателя, маховика на валу двигателя, соединительной муфты, момента инерции редуктора и маховика на валу редуктора. Испытуемый агрегат, в этом случае, разгоняется до определенной скорости, после чего электродвигатель отключается от сети и наступает процесс самоторможения, обусловленный трением, на определение которого расходуется запасенная во вращающихся массах кинетическая энергия:

$$A = J \frac{\omega^2}{2}, \text{ Дж} \quad (2)$$

где  $J$  - момент инерции привода ( кг м<sup>2</sup> ),

$\omega$  - угловая скорость ( рад/с ).

Угловую скорость можно выразить следующим образом:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} \approx \frac{n}{9,55} \quad (3)$$

Основное уравнение движения электропривода имеет следующий вид:

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt}, \quad (4)$$

где  $M$  - момент двигателя ( Н м ),

$M_c$  - момент сопротивления ( Н м ),

$\omega$  - угловая скорость вращения двигателя ( рад/с ),

$t$  - время ( с ).

В случае самоторможения  $M=0$ , а  $M_c$  является общим моментом сопротивления механизма и потерь вращения привода, тогда выражение (4) для  $J$  примет вид

$$J = -M_c \frac{dt}{dn}, \text{ кг м}^2 \quad (5)$$

Если процесс самоторможения снят и представлен в виде кривой выбега (рисунок 1), то, проводя касательную к этой кривой в начальной точке выбега  $n_{xx}$  до пересечения с осью абсцисс, получают отрезок времени  $t_{\text{подкл}}$ .

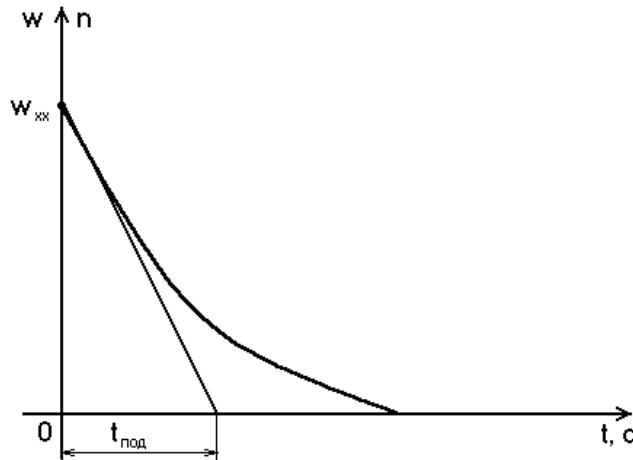


Рисунок 1. Кривая выбега привода

Из полученного треугольника видно, что:

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{n_{xx}}{t_{\text{подкл}}},$$

тогда 
$$J = 9,55 M_c \frac{t_{\text{подкл}}}{n_{xx}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (6)$$

или 
$$J = M_c \frac{t_{\text{подкл}}}{\omega_{xx}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (7)$$

Величина момента сопротивления  $M_c$  определяется по формуле:

$$M_c = 9,55 \frac{\Delta P_{\text{мех}}}{n_{xx}}, \text{ Нм} \quad (8)$$

или

$$M_c = \frac{\Delta P_{\text{мех}}}{\omega_{xx}}, \text{ Нм} \quad (9)$$

где  $\Delta P_{\text{мех}}$  - механические потери вращения привода, соответствующие скорости вращения  $n_{xx}$  или  $\omega_{xx}$ .

Механические потери вращения находятся из потерь холостого хода, зафиксированных при вращении привода по показаниям приборов.

Значение мощности  $\Delta P_{\text{мех}}$  при проведении опыта выбега, пренебрегая потерями в меди ротора, может быть определено по формуле:

$$\Delta P_{\text{мех}} = P_o \cdot P_{\text{мс}} = P_o \cdot 3 I_{\text{ос}}^2 R_{\text{фс}}, \text{ Вт} \quad (10)$$

где  $P_o$  - мощность холостого хода, определенная по ваттметру,

$I_{\text{ос}}$  - ток в статоре двигателя при вращении привода в холостую,

$R_{\text{фс}}$  - активное сопротивление одной фазы статора,

#### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием установки и изучить порядок проведения работы.
2. Записать технические данные машин и приборов.
3. Собрать электрическую схему установки, снять показания холостого хода, записав показания в таблицу 1.

Таблица 1

Данные опыта холостого хода

Напряжение, подведенное к двигателю $U, В$	Ток статора асинхронного двигателя $I_{oc}, А$	Потери мощности на холостом ходу $P_o, Вт$	Частота вращения $n_{xx}, об/мин$

4. Провести опыт по снятию кривой выбега (самоторможение), показания записать в таблицу 2.

Таблица 2

Опыт самоторможения электропривода

$U_{тг}, В$								
$n, об/мин$								
$\omega, рад/с$								
$t, с$	0	5	10	15	20	25	30	35

5. Определить мощность, обусловленную механическими потерями вращения привода.

6. Построить кривую  $n=f(t)$  и определить  $t_{подкл.}$

7. Определить момент инерции привода.

Для снятия показаний холостого хода двигатель подключают к сети и разгоняют агрегат до скорости холостого хода.

При холостом ходе агрегата необходимо зафиксировать напряжение, подводимое к двигателю, ток холостого хода, частоту вращения холостого хода. Частота вращения определяется по данным вольтметра, подключенного к тахогенератору.

У двигателя переменного тока мощность холостого хода фиксируется по ваттметру.

Опыт по снятию кривой выбега (самоторможения) проводится следующим образом. Двигатель привода подключить к сети и при достижении скорости холостого хода его отключают от сети. Через равные промежутки времени до полной остановки двигателя фиксируют показания вольтметра, подключенного к тахогенератору и секундомера. Последнее показание времени снимается при скорости, равной нулю. Построенная по точкам кривая выбега должна иметь вид рисунок 1. Проведя касательную линию к кривой выбега в точке  $\omega_{xx}$  на оси времени определяют  $t_{подкл.}$ , которое подставляется в расчетную формулу (7) момента инерции.

Механические потери подсчитываются по формуле (10).

Активное сопротивление одной фазы статора двигателя  $R_{фс}=1$  Ом.

**Контрольные вопросы:**

1. Для каких целей определяют момент инерции привода?
2. В каких единицах измеряется момент инерции?
3. Что будет со временем торможения агрегата, если момент инерции уменьшить?



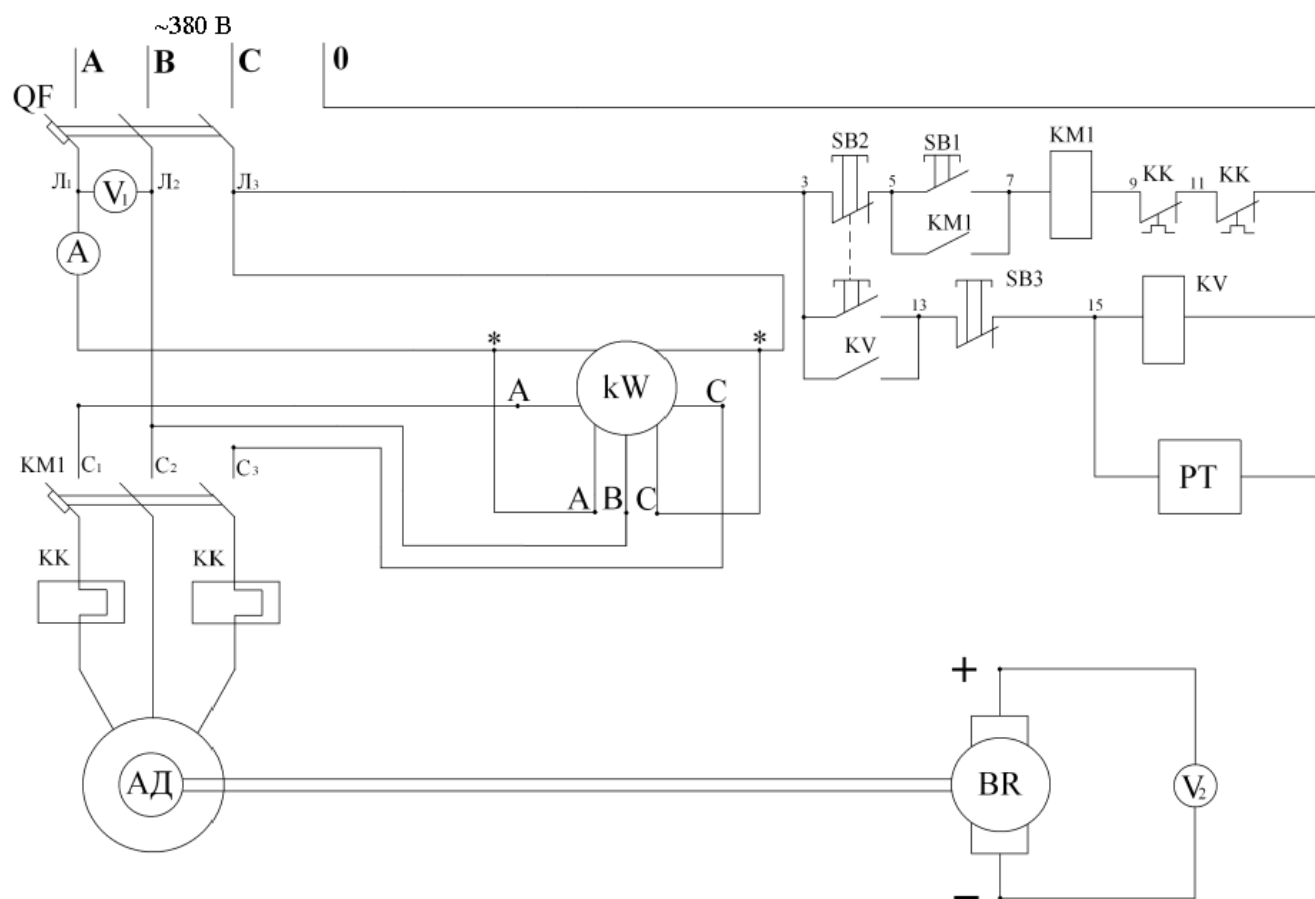


Рисунок 2. Схема управления АД с короткозамкнутым ротором

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

(рабочее место № 3)

**Тема:** Исследование механических характеристик двигателя постоянного тока в различных режимах.

**Цель работы:** Изучение электромеханических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения в двигательном и тормозных режимах работы.

### Краткие теоретические сведения

Уравнение электромеханической характеристики электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения имеет вид:

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{RI}{K\Phi}, \quad (1)$$

где  $U$  — напряжение питающей сети;

$\Phi$  — магнитный поток двигателя;

$I$  — ток в якорной цепи двигателя;

$\omega$  — угловая скорость вращения якоря;

$K$  — коэффициент, зависящий от конструктивных данных двигателя

$$K = \frac{PN}{2\pi a}, \quad (2)$$

где  $P$  — число пар полюсов двигателя;

$N$  — число активных проводников обмотки якоря;

$a$  — число пар параллельных ветвей обмотки якоря;

$R$  — суммарное сопротивление якорной цепи, включающее внешнее сопротивление реостата и соединительных проводов и внутреннее сопротивление обмотки якоря.

Развиваемый двигателем электромагнитный момент связан с током якоря и магнитным потоком зависимостью:

$$M = K\Phi I, \text{ Нм} \quad (3)$$

Для двигателей постоянного тока возможны следующие тормозные режимы:

1. Режим генераторного торможения с отдачей электрической энергии в питающую сеть;

2. Режим динамического торможения;

3. Режим торможения противовключением.

Генераторное торможение с отдачей энергии в сеть осуществляется в том случае, когда скорость двигателя оказывается выше скорости идеального холостого хода и ЭДС якоря становится больше приложенного напряжения.

Динамическое торможение происходит при отключении якоря двигателя от сети и замыкании его на сопротивление. Обмотка возбуждения при этом остается присоединенной к сети.

Торможение противовключением осуществляется в том случае, когда обмотки двигателя включены для одного направления вращения, а якорь двигателя под воздействием внешнего момента или сил инерции вращается в противоположную сторону.

Переход от об/мин. к угловой скорости вращения в рад/с осуществляется по известной зависимости:

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{n}{9,55} \quad \text{рад/с} \quad (4)$$

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием установки, изучить порядок проведения работы.
2. Записать технические данные машин и приборов.
3. Включить агрегат в работу и, задаваясь различными нагрузками, снять данные для построения электромеханических характеристик в двигательном и тормозных режимах. Показания приборов записать в таблицу 1.
4. На одном графике построить электромеханические характеристики в двигательном и тормозных режимах работы.

#### *Двигательный режим*

1. Универсальный переключатель SA установить в положение “двигательный режим”. Включить автоматические выключатели QF2; QF4 и затем QF1. Реостатом R2 установить номинальный ток возбуждения двигателя.
2. Плавно увеличивая ЛАТРом напряжение до номинального произвести пуск двигателя. Изменяя нагрузку на валу двигателя реостатом R3 и реостатом R4, снять показания приборов для трех точек электромеханической характеристики. Двигатель при этом нагрузить до  $I \leq 1,2I_H$ . Напряжение на двигателе с помощью ЛАТРа поддерживать номинальным.
3. Установить ручку ЛАТРа в нулевое положение. Выключить автоматические выключатели.

#### *Режим генераторного торможения*

1. Универсальный переключатель SA установить в положение “генераторное торможение”. Положение ручек ЛАТРов установить в нулевое положение. Включить автоматические выключатели QF1; QF2; QF3; QF4. Запустить двигатель, плавно увеличивая ЛАТРом напряжение до  $U_C \approx 50B$ . Снять показания приборов для построения электромеханической характеристики в двигательном режиме.
2. Плавно увеличивая ЛАТРом напряжение на генераторе, перевести двигатель в режим генераторного торможения. Снять показания приборов при разных значениях тока двигателя для построения электромеханической характеристики в режиме генераторного торможения.
3. Установить положение ручек ЛАТРов в нулевое положение, выключить автоматические выключатели.

#### *Режим динамического торможения*

1. Универсальный переключатель SA установить в положение “динамическое торможение”. Включить автоматические выключатели QF2; QF4 и затем QF3. Регулируя ЛАТРом напряжение на генераторе, изменять скорость вращения двигателя. Снять показания приборов для электромеханической характеристики в режиме динамического торможения.
2. Установить ручку ЛАТРа в нулевое положение. Выключить автоматические выключатели.

Таблица 1

	$U_{ДВ}$ В	$I_{ДВ}$ А	$I_{Воз}$ А	$U_{ТГ}$ В	$n$ об/мин	$\omega$ рад/с
Двигательный режим						

Режим генераторного торможения						
Режим динамического торможения						

**Контрольные вопросы:**

1. Каким уравнением описывается электромеханическая характеристика?
2. Как получить режим динамического торможения?
3. Что такое генераторный режим торможения и как его получить?
4. Каков порядок включения электроприборов в различных режимах?

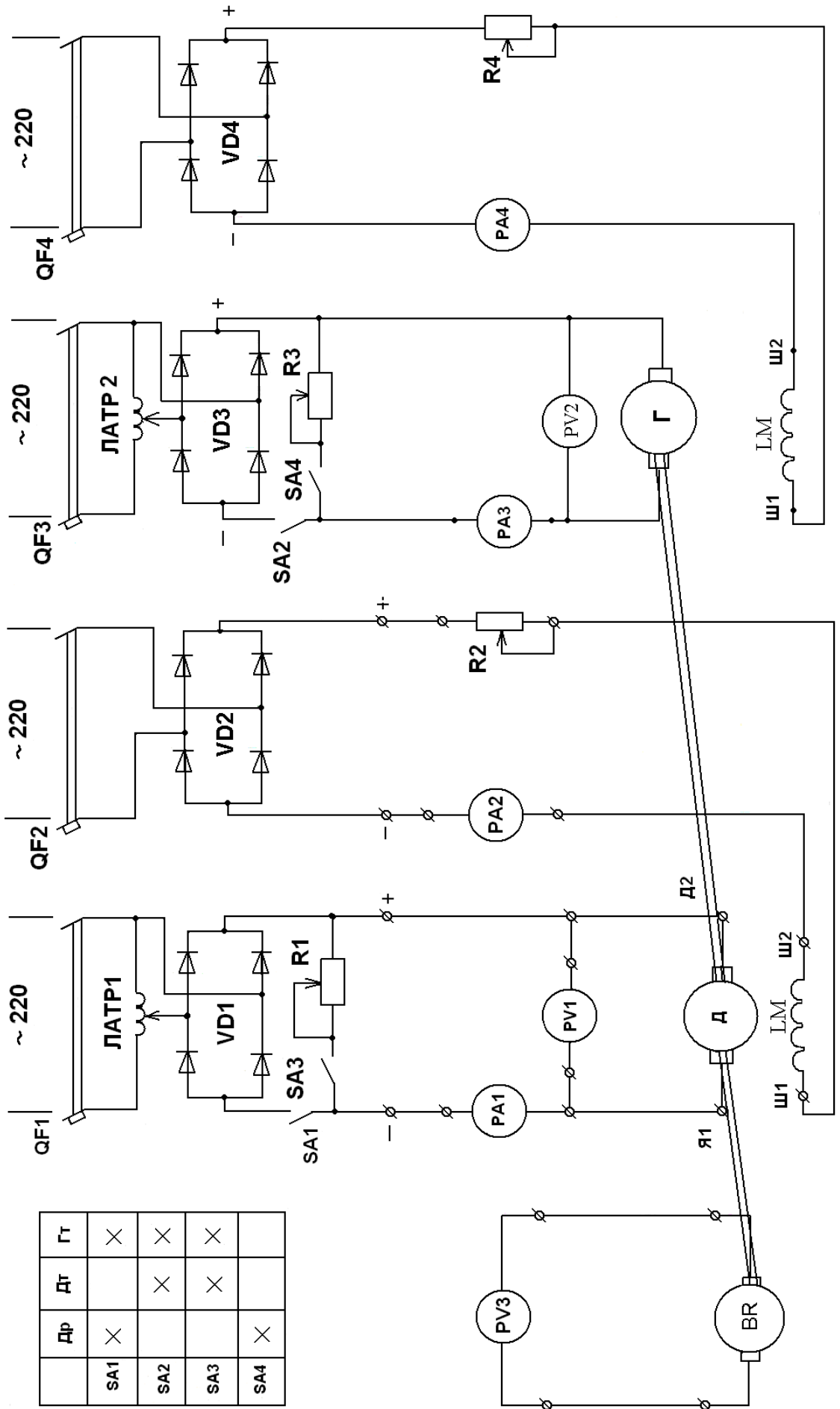


Рисунок 1. Схема проведения опыта

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

(рабочее место № 18)

**Тема:** Изучение регулировочных свойств электропривода с двигателем постоянного тока

**Цель работы:** Изучение механических характеристик двигателя постоянного тока при различных способах регулирования скорости.

### Краткие теоретические сведения

Под регулированием скорости понимают возможность работы двигателя по желанию оператора с различными скоростями вращения.

Регулировать скорость вращения двигателя постоянного тока возможно следующим образом:

1. Включением добавочных сопротивлений в цепь якоря. При этом регулировании и данном моменте двигателя скорость вращения снижается. Этот способ регулирования обладает следующими недостатками: для получения низких скоростей надо включить большое сопротивление. Характеристика получается мягкой. Предел регулирования равен 50% вниз от основной скорости.

2. Ослаблением магнитного потока двигателя. При этом скорость идеального холостого хода  $\omega_0$  увеличивается обратно пропорционально току. Соответственно увеличивается и рабочая скорость  $\omega$  двигателя. Этот способ удобен и экономичен. Механические характеристики достаточно жесткие. Скорость регулируется при постоянной мощности, то есть  $I = const$ .

3. Изменением напряжения на якоре двигателя независимого возбуждения. При этом способе регулирования скорость вращения идеального холостого хода  $\omega_0$  пропорциональна подведенному к якору напряжению, скоростные и механические характеристики двигателя параллельны между собой. Регулирование происходит при постоянном моменте.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием установки, изучить порядок проведения работы.

2. Записать паспортные данные электрических машин и приборов.

3. Собрать электрическую схему установки (см. рисунок 1).

4. Включить агрегат в работу и, задаваясь различными нагрузками, снять данные для построения естественной механической характеристики в двигательном режиме. Показания приборов записать в таблицу 1.

5. Снять данные для построения искусственной реостатной механической характеристики ( $R_{доб}$  задается преподавателем) и при  $U_{дв}=U_{ном}$ ,  $I_{в дв}=I_{в дв ном}$ . Показания приборов записать в таблицу 1.

6. Снять данные для построения искусственной механической характеристики при ослабленном магнитном потоке двигателя и при  $R_{доб} = 0$ ,  $U_{дв}=U_{ном}$ . Ток возбуждения задается преподавателем. Показания приборов записать в таблицу 1.

7. Снять данные для построения искусственной механической характеристики при пониженном напряжении питания двигателя и при  $I_{в дв}=I_{в дв ном}$ ;  $R_{доб} = 0$ . Величина напряжения задается преподавателем. Показания приборов записать в таблицу 1.

8. В одних осях координат построить все механические характеристики двигателя.

Таблица 1

### Результаты измерений и вычислений

Тип характеристик	$U_{дв}$ В	$I_{я}$ А	$I_{воз}$ А	$U_{тг}$ В	$F_1$ кг	$F_2$ кг	$M$ кг·м	$M$ н·м	$n$ об/м ин	$\omega$ рад/с
-------------------	---------------	--------------	----------------	---------------	-------------	-------------	-------------	------------	-------------------	-------------------

Естественная $R_{\text{доб}} = 0$ $I_{\text{воз}} = I_{\text{воз ном}}$ $U_{\text{дв}} = U_{\text{дв ном}}$										
Искусственная При $R_{\text{доб}} =$ $I_{\text{в}} = I_{\text{в ном}}$ $U_{\text{дв}} = U_{\text{дв ном}}$										
Искусственная При $I_{\text{в дв}} =$ $U_{\text{дв}} = U_{\text{дв ном}}$ $R_{\text{доб}} = 0$										
Искусственная При $U_{\text{дв}} =$ $I_{\text{в}} = I_{\text{в ном}}$ $R_{\text{доб}} = 0$										

#### Методические указания к проведению работы

1. Для проведения опыта необходимо сначала включить автомат QF2, реостатом  $R_2$  установить по амперметру  $A_2$  номинальный ток возбуждения. Затем, установив ручку ЛАТРа в нулевое положение и введя полностью сопротивление в цепи якоря двигателя, включить автомат QF1. Плавно увеличивая ЛАТРОм напряжение, произвести пуск двигателя, вывести сопротивление из цепи якоря. Изменяя нагрузку на валу двигателя с помощью ленточного тормоза снять данные для трех точек естественной механической характеристики. При этом напряжение на двигателе и ток возбуждения следует поддерживать номинальными. Момент на валу двигателя определить по формуле:

$$M = F_2 R_{\text{шк}} \quad [\text{кг м}], \quad (1)$$

где

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot \ell_1}{\ell_2} \quad [\text{кг м}] \quad (2)$$

где  $\ell_1$ ;  $\ell_2$  - плечи рычага тормоза, м;

$R_{\text{шк}}$  - радиус шкива тормозного устройства, м;

$F_1$ ;  $F_2$  - сила на плече тормозного устройства, кг.

Опыт по снятию данных для построения реостатной характеристики, характеристики при ослабленном магнитном потоке и пониженном напряжении проводится аналогично, но

изменяется один из регулируемых параметров.

2. При определении скорости вращения двигателя с помощью тахогенератора пользоваться формулой:

$$n = U_{ТГ} \cdot 17,3 \text{ об/мин} \quad (3)$$

Переход от об/мин к угловой скорости вращения в рад/с осуществляется по известной зависимости:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} \text{ рад/с} \quad (4)$$

**Контрольные вопросы:**

1. Напишите уравнение механической характеристики двигателя.
2. Изменением каких электрических величин можно регулировать скорость двигателя?
3. Какая из построенных механических характеристик жестче?
4. При каких способах регулирования скорости изменяется скорость холостого хода?



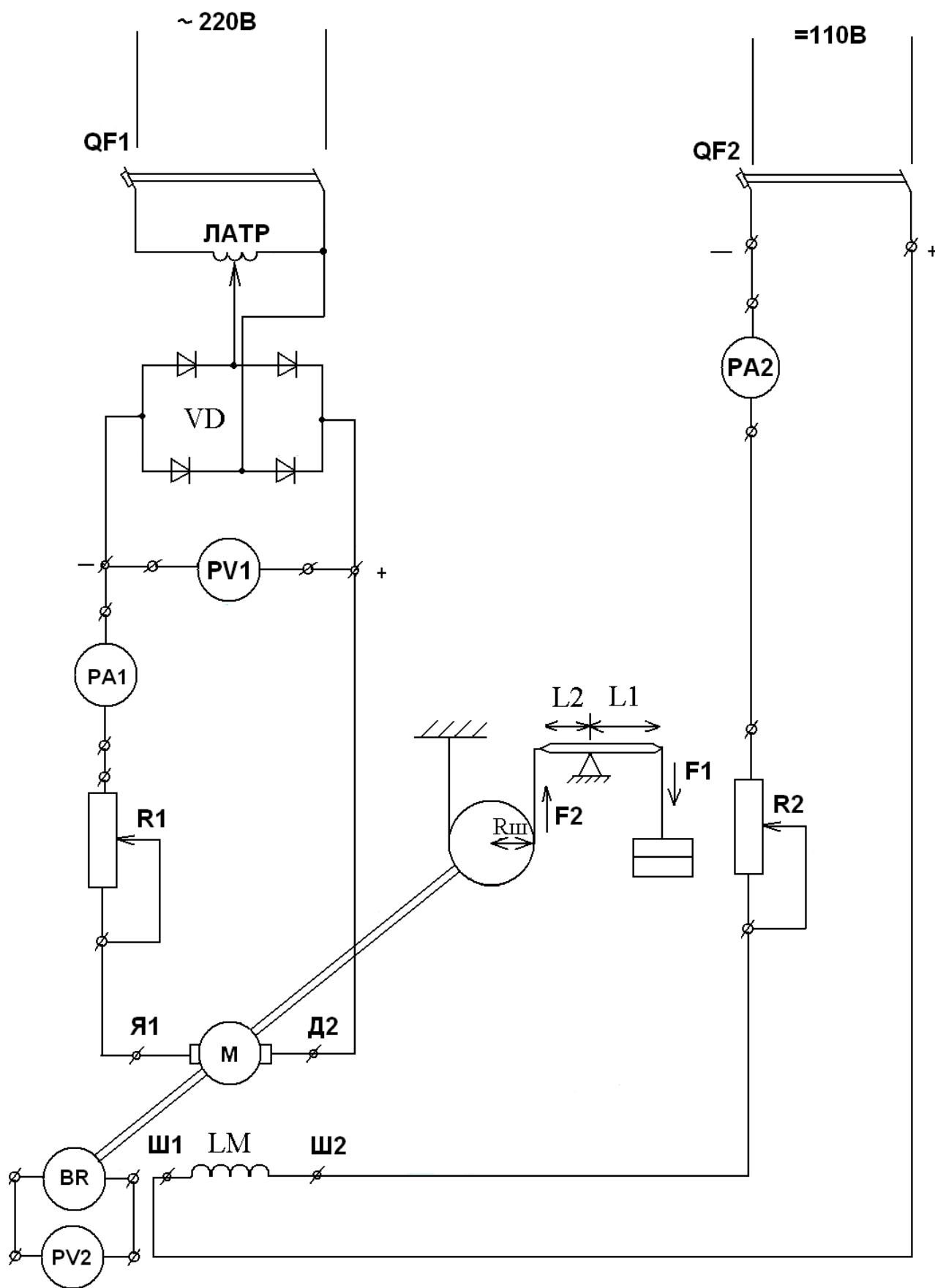


Рисунок 1. Схема управления двигателем постоянного тока

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

(рабочее место №13)

**Тема:** Исследование механических характеристик асинхронного электродвигателя в различных режимах.

**Цель работы:** Изучение механических характеристик  $\omega = f(M)$  асинхронного двигателя с фазным ротором в двигательном и тормозном режимах работы.

### Краткие теоретические сведения

Скорость вращения магнитного поля статора (синхронная скорость):

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{p} \text{ рад/с} \quad (1)$$

или

$$n_0 = \frac{60f}{p} \text{ об/мин} \quad (2)$$

где  $f$  — частота переменного тока, Гц;

$p$  — число пар полюсов.

Скольжение ротора:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (3)$$

где  $\omega$  — угловая скорость вращения ротора, рад/с.

Уравнение момента двигателя:

$$M = \frac{3U_{c.\phi}^2 \left( \frac{R'_p}{s} \right)}{\omega_c \left[ \left( r_c + \frac{R'_p}{s} \right)^2 + (x_c + x_p)^2 \right]} \quad (4)$$

Если пренебречь активным сопротивлением статора,  $r_c = 0$ , то

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}} \quad (5)$$

где  $U_\phi$  — подведенное фазное напряжение, В;

$R_p$  — приведенное к статору активное сопротивление цепи ротора, Ом;

$x_c$  — реактивное сопротивление статора, Ом;

$x_c$  — приведенное реактивное сопротивление ротора, Ом;

$r_c$  — активное сопротивление статора, Ом.

Асинхронный двигатель, кроме двигательного, может работать в следующих тормозных режимах:

а) генераторном с отдачей энергии в сеть;

б) противовключения;

в) динамического торможения.

Генераторное торможение с отдачей энергии в сеть имеет место при скорости вращения ротора выше синхронной (работа двигателя на спуск груза). Торможение осуществляется только до скорости  $\omega_0$ . В этом тормозном режиме двигатель отдает активную энергию в сеть, а на создание магнитного потока потребляет из сети реактивную. Механические характеристики этого режима являются продолжением характеристик двигательного режима, что видно из рисунка 1.

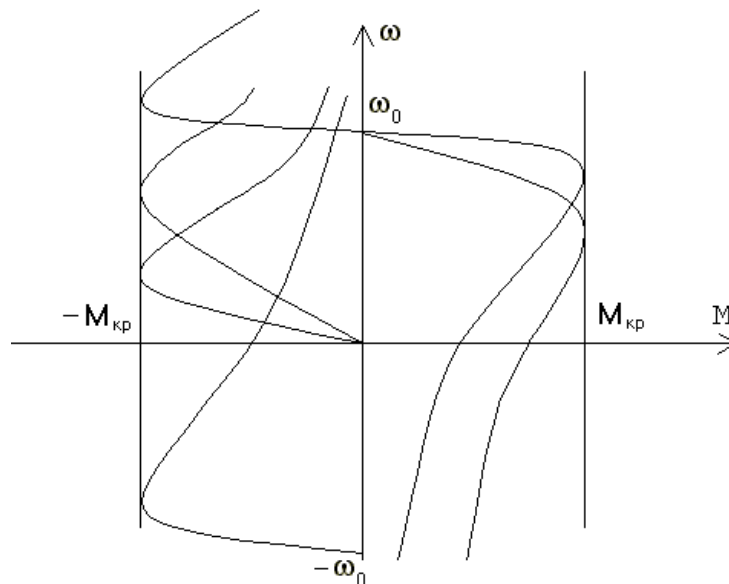


Рисунок 1. Механические характеристики асинхронного двигателя

Торможение противовключением имеет место в том случае, когда вращающееся магнитное поле имеет одно направление вращения, а ротор - другое. Вращающийся по инерции электропривод тормозит противовключением - изменением направления вращения магнитного поля, для чего две фазы на зажимах статора меняют местами. При этом скорость вращения ротора по отношению к скорости вращения магнитного поля будет отрицательной (см. рисунок 1). Поскольку скольжение в этом режиме больше единицы, то для ограничения тока в роторе в его цепь вводят значительное добавочное сопротивление.

Динамическое торможение асинхронного двигателя осуществляется отключением его от сети переменного тока и включением двух фаз статора на сеть постоянного тока. Если этот режим применяют к двигателю с фазным ротором, то в цепи ротора при этом вводят добавочное сопротивление, что улучшает тормозные свойства.

Проходя по обмотке статора, постоянный ток образует неподвижное магнитное поле, основная волна которого даст синусоидальное распределение индукции. Во вращающемся роторе возникает переменный ток, создающий свое поле, которое также неподвижно относительно статора. В результате взаимодействия суммарного магнитного потока с током ротора возникает тормозной момент, величина которого зависит от намагничивающей силы статора, сопротивления ротора и скорости двигателя.

Величина критического момента пропорциональна квадрату приложенного к статору напряжения постоянного тока и возрастает с ростом напряжения. Критическое скольжение зависит от сопротивления, включенного в ротор. Оно увеличивается пропорционально росту сопротивления. Величина максимального момента при этом не изменяется.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить основные теоретические сведения.
2. Записать технические (паспортные) данные машины, аппаратов и измерительных приборов.
3. Собрать электрическую схему установки.
4. Снять механические характеристики в двигательном режиме. Показания приборов записать в таблицу 1.
5. Снять механические характеристики в режиме динамического торможения. Показания приборов записать в таблицу 1.
6. Построить механические характеристики двигателя в одних координатах.

Таблица 1

Данные измерений и расчетов

Режим работы	Показания приборов					Расчетные данные		
	$U_{ад.}$ В	$I_{ад.}$ А	$U_{дпт.}$ В	$I_{дпт.}$ А	$U_{т.г.}$ В	$\Pi$ об/мин	$\omega$ рад/с	$M$ Н м
Двигательный режим.	Без дополнительного сопротивления в цепи ротора.							
Режим динамического торможения, при $I_{воз.} = A$	Без дополнительного сопротивления в цепи ротора.							
	С дополнительным сопротивлением в цепи ротора.							

Методические указания к проведению работы

*Двигательный режим (естественная характеристика)*

1. Для снятия естественной механической характеристики в двигательном режиме универсальный переключатель SA1 установить в положение 2 "Двигательный режим" (рисунок 2).
2. Движок реостата  $R_n$  установить в крайнее верхнее положение. Включить автомат QF1 и QF2. Установить ручку контроллера SA2 в четвертое положение. Изменяя нагрузку на валу двигателя реостатом  $R_n$ , снять показания приборов для пяти точек электромеханической характеристики.
3. Отключить автоматы QF1 и QF2.

*Двигательный режим (искусственная характеристика)*

1. Универсальный переключатель SA1 установить в положение 2 "Двигательный режим".
2. Движок реостата  $R_n$  установить в крайнее верхнее положение (сопротивление  $R_n$  введено). Включить автомат QF1, QF2. Установить ручку контроллера SA2 по заданию преподавателя в 1-ое, 2-ое или 3-е положение. Изменяя нагрузку на валу асинхронного двигателя реостатом  $R_n$ , снять показания приборов для 5-и точек механической характеристики.
3. Отключить автоматические выключатели QF1, QF2.

*Режим динамического торможения*

1. Для снятия механических характеристик в режиме динамического торможения универсальный переключатель SA1 установить в положение 1 "Режим динамического

торможения".

2. Установить движок латра в нулевое положение. Включить автомат QF2. Реостатом  $R_{т.д.}$  по заданию преподавателя установить ток возбуждения асинхронной машины и установить ручку контроллера SA2 в положение 1, 2, 3 или 4. Плавно увеличивая латром напряжение, произвести пуск двигателя постоянного тока и снять показания приборов для 5-ти точек механической характеристики асинхронного двигателя в режиме динамического торможения. Показания приборов записать в таблицу 1.

3. Установить движок латра в нулевое положение. Выключить автоматический выключатель QF2.

Расчетные формулы:

$$n = 17,3 \cdot U_{мг.} \text{ (об/мин); } \quad \omega = \frac{n}{9,55} \text{ (рад/с)} \quad (6)$$

Величина момента двигателя:

*в двигательный режим:*  $M = k I_{дпт.}$ , (Н м), (7)

где  $k=1$ ;

*в режиме динамического торможения:*

при  $I_{воз.}=2A$ ,  $M = k I_{дпт.}$ , где  $k=4$ ; (8)

при  $I_{воз.}=3A$ ,  $M = k I_{дпт.}$ , где  $k=5$ ; (9)

при  $I_{воз.}=4A$ ,  $M = k I_{дпт.}$ , где  $k=6$ ; (10)

#### **Контрольные вопросы:**

1. На какие характерные участки можно разделить график естественной механической характеристики асинхронного двигателя?
2. Как определяется момент на валу двигателя при проведении опыта?
3. С какой целью в цепь ротора вводится активное сопротивление?

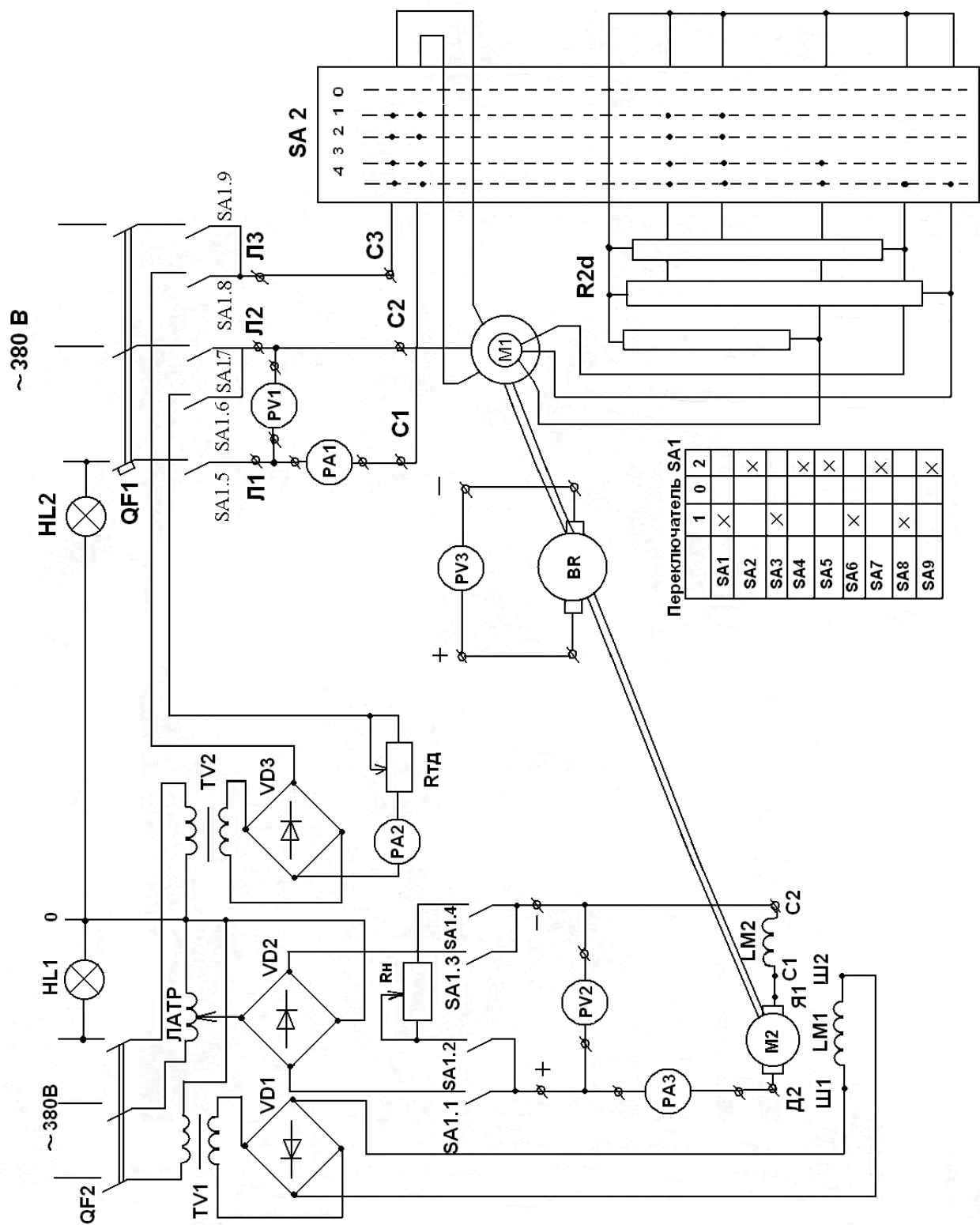


Рисунок 2. Схема исследования АД в различных режимах работы

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

(рабочее место № 9)

**Тема:** Исследование механической характеристики синхронного электродвигателя.

**Цель работы:** Изучение электромеханических свойств и характеристик синхронного двигателя.

### Краткие теоретические сведения

Процессу пуска и режиму работы соответствуют разные механические характеристики двигателя.

При пуске двигателя обмотку статора подключают к сети переменного тока, а обмотку возбуждения замыкают контактами переключателя SA на разрядное сопротивление  $R_p$ . Вращение ротора начинается под действием момента, создаваемого короткозамкнутой обмоткой. Пусковая обмотка синхронного двигателя рассчитывается на кратковременный режим работы (20-30 с.). При достижении двигателем подсинхронной скорости ( $0,95\omega_c$ ) в обмотку возбуждения ротора подается постоянный ток, и двигатель втягивается в синхронизм.

Механическая характеристика режима нагрузки синхронного двигателя представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс, ее жесткость  $\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \infty$ , поэтому она называется абсолютно жесткой.

Чтобы двигатель не вышел из синхронизма при перегрузках или снижении сетевого напряжения, временно можно увеличить ток возбуждения, т.е. использовать форсированный режим.

Синхронный двигатель позволяет регулировать потребление реактивной мощности из сети.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием установки, изучить порядок проведения работы.
2. Записать технические данные приборов и машин.
3. Собрать электрическую схему установки (рисунок 1).
4. Произвести пуск двигателя.
5. Изменяя нагрузку двигателя, снять данные для построения механической характеристики синхронного двигателя. Показания приборов записать в таблицу 1

Таблица 1

Измерения				Вычисления				
$U_1$ В	$I_1$ А	$I_e$ А	$U_{mg}$ В	$F_1$ кг	$F_2$ кг	М н м	n об/мин	$\omega$ рад/с

6. Построить механическую характеристику СД.

Порядок асинхронного пуска СД следующий:

1. Переключателем SA обмотку возбуждения СД замкнуть на сопротивление  $R_p$ ;
2. Автоматом QF подать напряжение на СД;
3. Амперметр PA2 в цепи обмотки возбуждения синхронного двигателя должен иметь двустороннюю шкалу (ноль посередине). При асинхронном разгоне стрелка амперметра PA2 отклоняется влево и вправо от нуля. Когда нарастание частоты ротора прекратится, то, в момент отклонения стрелки PA2 в какую-либо сторону, следует возбудить двигатель, т.е. переключателем SA2 быстро подать возбуждение в обмотку возбуждения. После этого

4. СД втягивается в синхронизм и процесс пуска заканчивается.

Механическая характеристика СД представляет собой зависимость скорости вращения  $\omega$  двигателя от нагрузочного момента  $M_2$ .

После пуска двигателя устанавливают ток возбуждения  $I_{в.ном.}$ . Затем двигатель нагружают с помощью тормозного устройства, доводя ток статора до значения  $I_1=I_{1 ном.}$ .

Приблизительно через равные интервалы этого тока снимают показания приборов и заносят их в таблицу 1. При каждом снятии показаний приборов следует изменить ток возбуждения двигателя и установить величину  $I_{в.ном.}$ , соответствующую минимальному значению тока статора при данном нагрузочном моменте  $M_2$ .

При вычислениях пользоваться формулами:

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} \quad (\text{кг}), \quad (1)$$

$$M_2 = 9,81 \cdot F_2 \cdot R_{шк.} \quad (\text{Н м}), \quad (2)$$

где  $R_{шк.}$  - радиус шкива тормозного устройства, м.

$$n = 17,3 \cdot U_{мг.} \quad (\text{об/мин}) \quad (3)$$



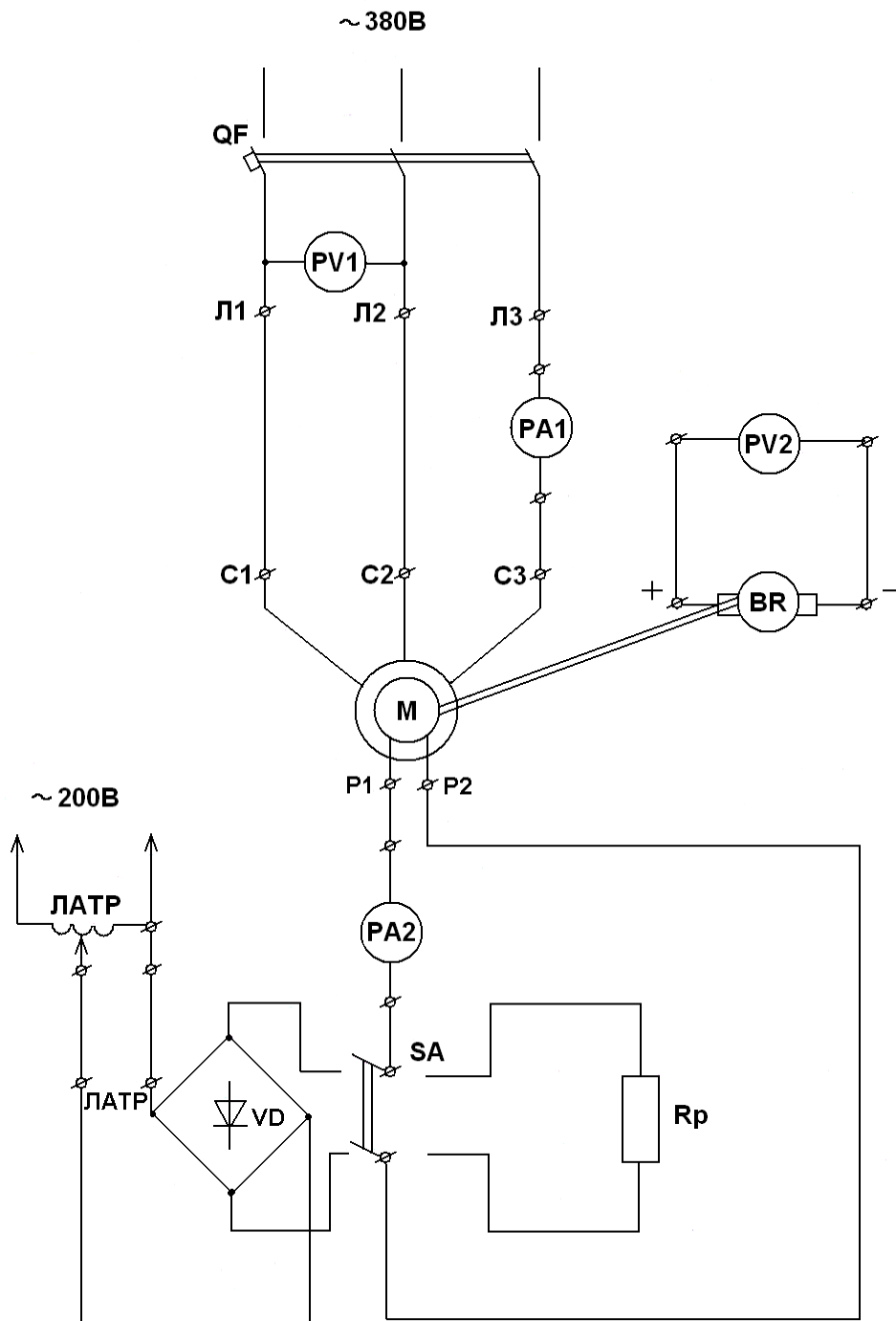


Рисунок 1. Схема управления синхронным двигателем

**Контрольные вопросы:**

1. Объяснить принцип работы синхронного двигателя.
2. Какие существуют способы пуска синхронных двигателей?
3. С какой целью при асинхронном пуске синхронного двигателя обмотку возбуждения замыкают на активное сопротивление?
4. Что такое выпадение синхронного двигателя из синхронизма и при каких условиях оно происходит?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

(рабочее место № 1 или 19)

**Тема:** Исследование нагрузочных диаграмм электродвигателя.

**Цель работы:** изучение режимов работы электроприводов, получение опытных данных для построения нагрузочных диаграмм и проверка мощности приводного двигателя.

### Краткие теоретические сведения

В процессе работы электродвигателя его нагрузка может быть постоянной или изменяться различным образом. Работа электродвигателя характеризуется нагрузочными диаграммами, представляющими собой зависимости вращающего момента электродвигателя, мощности и тока от времени.

$$M_{\partial}=f(t)$$

$$P_{2\partial}=f(t)$$

$$I_{\partial}=f(t)$$

Проверка правильности выбора мощности электродвигателя для привода исполнительного механизма по условиям нагревания и допустимой перегрузки производится с помощью нагрузочных диаграмм, получаемых расчетным или опытным путем, по показаниям электроизмерительных самопишущих приборов. Различают нагрузочные диаграммы электродвигателя и исполнительного механизма.

Стандартом предусматриваются следующие основные режимы работы электрических машин:

1) Продолжительный номинальный режим (рисунок 1), то есть режим работы электрической машины при неизменной номинальной нагрузке, продолжающейся столько времени, что превышение температуры всех частей электрической машины при неизменной температуре охлаждающей среды достигает практически установившихся значений. Условное обозначение режима S1. Примером такого режима может служить работа электроприводов насосов, вентиляторов, конвейеров с постоянно перемещаемыми грузами и т.п.

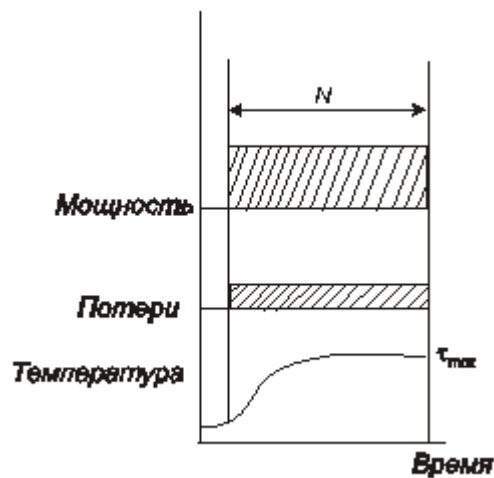


Рисунок 1

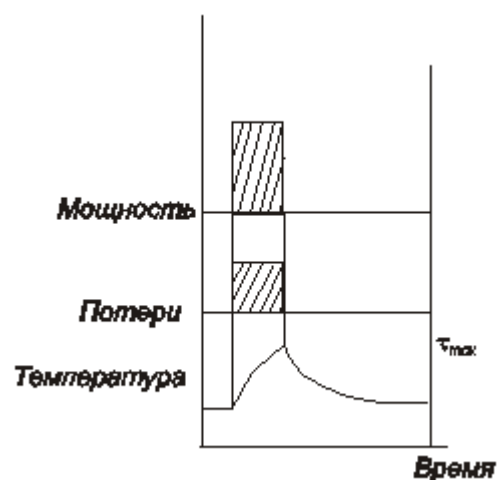


Рисунок 2

2) Кратковременный номинальный режим (рисунок 2) – это такой режим работы электрической машины, при котором периоды неизменной номинальной нагрузки чередуются с периодами отключения машины. Периоды нагрузки не настолько длительны, чтобы превышение температуры всех частей электрической машины при практически неизменной температуре охлаждающей среды могло достичь установившихся значений, а периоды остановки настолько длительны, что все ее части охлаждаются до температуры окружающей среды. Условное обозначение режима S2. Кратковременному режиму S2 устанавливается длительность периода неизменно номинальной нагрузки 10; 30; 60; 90 мин. Для этого режима работы выпускается специальная серия электрических машин кратковременного режима.

3) Повторно-кратковременный номинальный режим (рисунок 3) – это режим работы

электрической машины, при котором кратковременные периоды неизменной номинальной нагрузки (рабочие периоды) чередуются с периодами отключения машины (паузами), причем, как рабочие периоды, так и паузы не настолько длительны, чтобы превышение температуры отдельных частей электрической машины при практически неизменной температуре охлаждающей среды могли достичь практически установившихся значений.

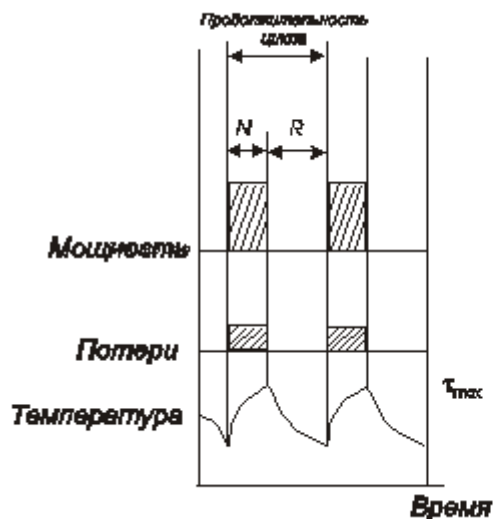


Рисунок 3

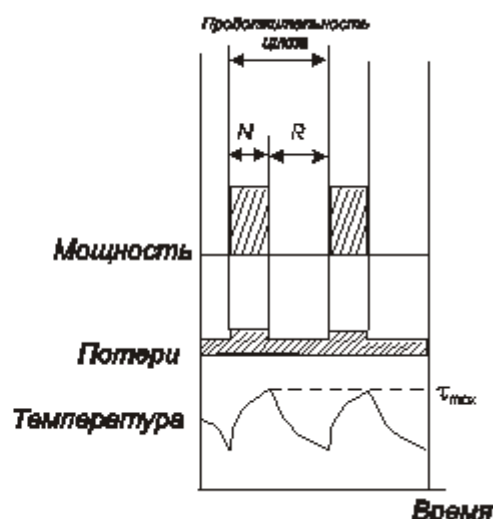


Рисунок 4

Повторно-кратковременный номинальный режим работы характеризуется относительной (в процентах) продолжительностью включения (ПВ):

$$ПВ\% = \frac{t_p}{t_p + t_n} \cdot 100 \quad (1)$$

где  $t_p$  - время работы;  
 $t_n$  - пауза.

Пусковые потери практически не оказывают влияния на превышение температуры отдельных частей машины. Условное обозначение режима S3. Для повторно-кратковременного режима работы выпускаются электродвигатели по стандартным значениям относительной продолжительности включения 15; 25; 40; 60%.

4) Перемежающийся номинальный режим (рисунок 4), то есть режим работы электрической машины, при котором кратковременные периоды неизменно номинальной нагрузки чередуются с периодами холостого хода, при чем как рабочие периоды, так и паузы не настолько длительны, чтобы превышение температуры отдельных частей электрической машины при неизменной температуре охлаждающей среды могли достичь практически установившихся значений. Перемежающийся режим характеризуется относительной (в процентах) продолжительностью нагрузки ПН и определяется по формуле.

$$ПН = \frac{t_p}{t_p + t_{xx}} \cdot 100 \quad (2)$$

где  $t_p$ —время работы,  
 $t_{xx}$ -время холостого хода.

Условное обозначение режима S6.

Кроме указанных режимов классификация предусматривает еще четыре дополнительные режима, которые являются разновидностями первых трех режимов и встречаются гораздо реже.

Нагрузочные диаграммы строятся по данным нагрузочного тока  $I=f(t)$ , полезной мощности  $P_{2\partial}=f(t)$  и момента испытуемого двигателя  $M_{2\partial}=f(t)$ .

Полезная мощность на валу испытуемого двигателя:

$$P_{2\partial} = P_{1\partial} \cdot \eta_{\partial} \quad (3)$$

где  $P_{2\partial}$  – мощность на валу испытуемого двигателя;

$P_{1\partial}$  – мощность в цепи испытуемого двигателя (показания ваттметра);

$\eta_{\partial}$  – КПД испытуемого двигателя.

Момент на валу испытуемого двигателя определяется по току якоря нагрузочной машины, то есть

$$M = C_m \cdot I_{2\text{HM}} \quad (4)$$

где  $C_m = K_m \cdot \Phi$ ;

$$K_m = \frac{60a}{2\pi}$$

так как при проведении опыта ток возбуждения нагрузочной машины, поддерживается постоянным, а следовательно и магнитный поток остается постоянным  $\Phi = \text{const}$ .

Проверку мощности испытуемого двигателя по нагреву рекомендуется производить по данным нагрузочной диаграммы методом среднеквадратичного тока:

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (5)$$

Если вращающий момент испытуемого двигателя и его мощность пропорциональны току, то вместо эквивалентного тока можно воспользоваться формулами эквивалентного момента или эквивалентной мощности:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (6)$$

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (7)$$

Проверка на перегрузочную способность двигателей постоянного тока производится по наибольшему допустимому току в цепи якоря, величина которого по условиям коммутации не должна превышать значения

$$I_{\text{я}} = 2I_n$$

Проверка на перегрузочную способность асинхронного двигателя согласно заданному по графику режиму производится графоаналитическим методом путем сравнения наибольшего момента по графику с критическим моментом двигателя по его техническим (паспортным) данным.

#### Порядок выполнения работы

1. Записать технические (паспортные) данные машин, аппаратов, контрольно-измерительных приборов.
2. Собрать электрическую схему установки согласно схеме рисунка 5. Включить агрегат в работу и снять данные нагрузочных диаграмм и кривой нагрева электродвигателя. Показания приборов записать в таблицы 1, 2, 3.
3. По данным опыта построить графики нагрузочных диаграмм и по ним проверить соответствие мощности электродвигателя по нагреву и по допустимой нагрузке.
4. Составить отчет по выполненной работе.

Таблица 1

Данные измерений и вычислений

Режим работы	U <sub>д</sub> В	I <sub>д</sub> А	P <sub>1д</sub> Вт	U <sub>нм</sub> , В	I <sub>нм</sub> , А	t <sub>работы</sub> , мин	t <sub>паузы</sub> , мин
Повторно-кратковременный							
Продолжительный режим с переменной нагрузкой							

Таблица 2

Повторно-кратковременный режим при  $\theta_0 = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$ 

t мин	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\theta_{обм}$ °C																				

Таблица 3

Продолжительный режим с переменной нагрузкой при  $\theta_0 = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$ 

t мин	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\theta_{обм}$ °C																				

В начале проводится опыт по снятию данных для построения нагрузочной диаграммы повторно-кратковременного режима. Нагрузка электродвигателя создается изменением нагрузки машины НМ, задавая определенные значения тока  $I_{нм}$  (величина нагрузки задается руководителем). По данным опыта мощность на валу испытуемого двигателя определить по формуле:

$$P_{2д} = P_{1д} \cdot \eta_{д} \quad (8)$$

где  $P_{1д}$  – мощность в цепи питания двигателя (показания ваттметра)

$\eta_{д}$  – КПД испытуемого двигателя. Момент на валу двигателя определить по формуле (4).

По данным таблиц 1 и 2 построить нагрузочные диаграммы для повторно-кратковременного режима в осях  $I_{д}=f(t)$ ,  $P_{2д}=f(t)$ ,  $M_{д}=f(t)$ .

Затем проводится опыт по снятию данных для построения нагрузочной диаграммы продолжительного режима с переменной нагрузкой. Время работы электропривода с той или иной нагрузкой задается руководителем. Данные приборов и расчетов записать в таблицы 1 и 3.

По данным таблиц 1 и 3 построить нагрузочные диаграммы для длительного режима с переменной нагрузкой в осях  $I_{д}=f(t)$ ,  $P_{2д}=f(t)$ ,  $M_{д}=f(t)$

Проверка соответствия мощности данного электродвигателя по условиям нагрева режиму работы, согласно полученной опытным путем нагрузочной диаграммы, осуществляется методом среднеквадратичного тока по формуле (5). Полученное по этой формуле значение среднеквадратичного тока следует сравнить с паспортными данными испытуемого двигателя, и если в результате окажется, что  $I_{экр} < I_{н д}$ , то электродвигатель по нагреву выбран правильно.

**Контрольные вопросы:**

1. Чем отличается нагрузочная диаграмма электродвигателя от нагрузочной диаграммы исполнительного механизма?
2. Дайте определения режимов работы.

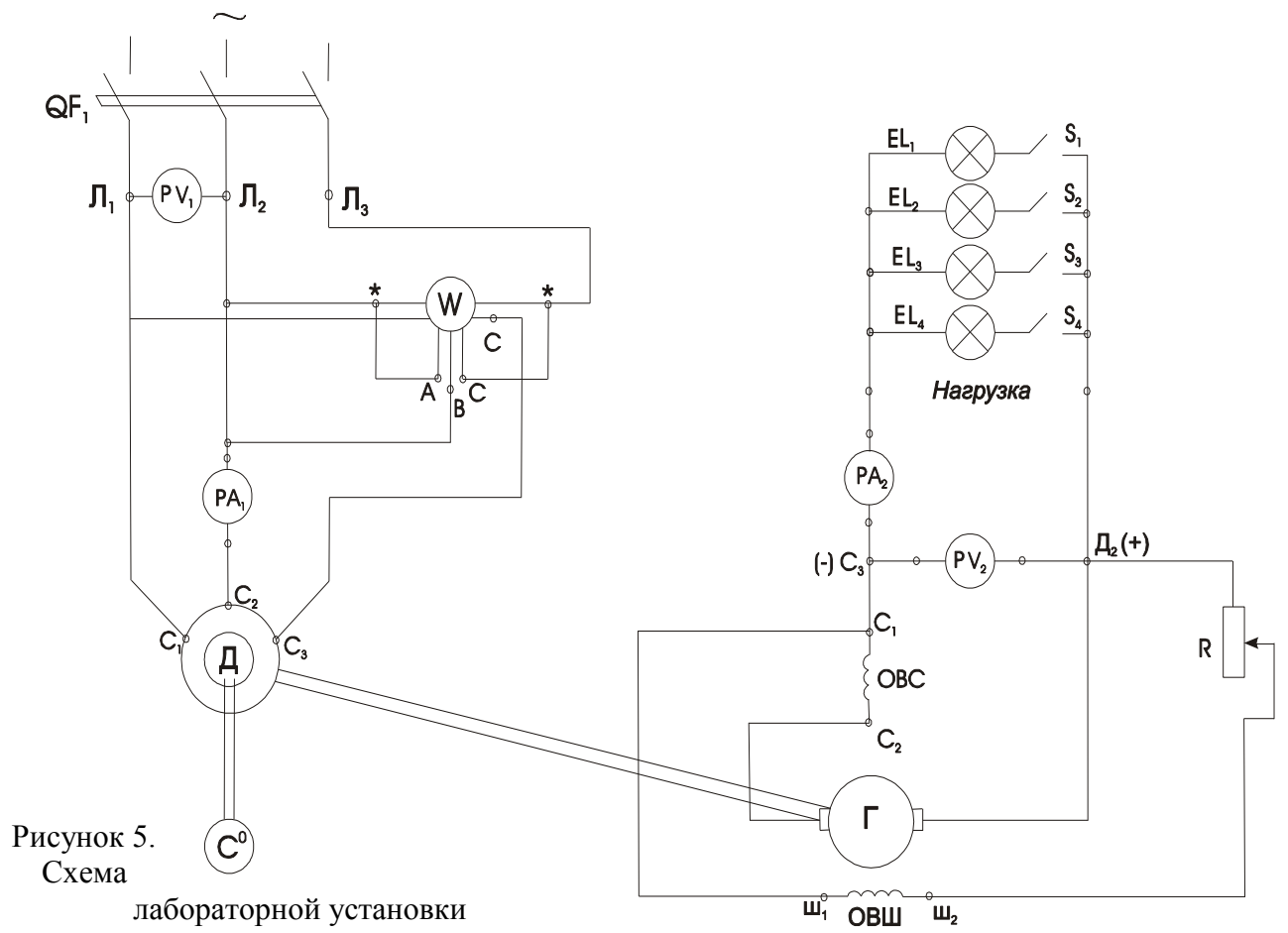


Рисунок 5.  
Схема  
лабораторной установки

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

(рабочее место № 7 или 14)

**Тема:** Исследование разомкнутой схемы управления двигателем постоянного тока.

**Цель работы:** Изучить схему автоматического управления электродвигателем постоянного тока смешанного возбуждения и приобрести навыки в сборке и регулировке этой схемы.

### Краткие теоретические сведения

Во многих системах электропривода пуск электродвигателя связан с необходимостью тех или иных переключений в его силовой цепи. Это справедливо для ДПТ присоединяемого к сети постоянного по величине напряжения и пускаемого в ход при помощи сопротивлений, включаемых в силовую цепь.

У ДПТ пусковые резисторы замыкаются накоротко по ступеням при помощи контакторов, называемых контакторами ускорения, для управления которыми могут быть использованы все величины, изменяющиеся в процессе ускорения. В данной лабораторной работе представлена схема управления ДПТ с двумя ступенями ускорения и управления ими в функции тока.

У ДПТ катушки токового реле ускорения включаются последовательно с якорем. Режим динамического торможения осуществляется с помощью тормозного сопротивления при нажатии кнопки СТОП.

### Порядок выполнения работы

1. Записать паспортные данные двигателя, аппаратов и измерительных приборов.
2. Изучить схему управления ДПТ
3. Собрать электрическую схему и опробовать ее в действии.
4. Построить характеристики по заданию преподавателя.

Для проведения лабораторной работы использована установка, состоящая из ДПТ со смешанным возбуждением, пяти контакторов, двух автоматических выключателей, трех реле тока, одного реле напряжения, кнопочной станции и измерительных приборов. См. схему на рисунке 2.

### Принцип работы схемы

Схема удовлетворяет следующие условия - обмотка возбуждения рассчитана на длительное прохождение полного тока возбуждения при неподвижном двигателе, управление ускорением осуществляется в функции тока посредством электромагнитных реле тока. Торможение динамическое. Реверсирование происходит изменением направления тока в обмотке якоря.

### Пуск двигателя

При включении автоматического выключателя QF1 через обмотку возбуждения ОВШ и реле КА протекает ток. Реле КА срабатывает и замыкает свой контакт КА(25-17) в цепи катушек контакторов КМ1 и КМ2. При включении автоматического выключателя QF2 никаких изменений в схеме управления не происходит. При кратковременном нажатии кнопки ВПЕРЕД SB1 замыкается цепь катушки контактора КМ1, при срабатывании которого замыкаются силовые контакты КМ1, блок - контакты КМ1(21-22), (16-28) и размыкаются блок-контакты КМ1 (16-18),(26-27). Вследствие этого:

а) двигатель присоединяется к сети и начинается его ускорение в направлении ВПЕРЕД при полном пусковом сопротивлении;

б) по силовой цепи двигателя протекает ток  $I_1$ , под действием которого срабатывает реле ускорения КА1 и его контакт КА1 (28-29) размыкается;

в) катушка реле KV1 включена параллельно якорю двигателя, поэтому реле KV1 срабатывает в первый период ускорения двигателя, замыкая контакт KV1 (19-20);

г) замыкающие контакты КМ3 (3-12) и КМ4 (12-5) контакторов ускорения КМ3 и КМ4 остаются разомкнутыми.

При этом происходит разгон двигателя, этому периоду пуска соответствует



характеристика 1.

По мере разбега ДПТ ток двигателя снижается до значения  $I_2$ , при этом реле КА1 отпускает свой якорь и его контакт КА1 (28-29) замкнется. При этом включится контактор КМ3 и своим контактом КМ3 (3-12) замкнет накоротко первую секцию сопротивления ускорения  $R_{g1}$ . Двигатель начинает работать на характеристике 2, причем при переключении ток в силовой цепи возрастет до значения  $I_1$ . Под действием тока  $I_1$  реле ускорения КА2 втягивает свой якорь и контакт КА2 (30-31) размыкается. В процессе ускорения двигателя ток в силовой цепи вновь уменьшится до значения  $I_2$ , реле КА2 отпустит свой якорь и контакт КА2 (30-31) замкнется. При этом включится контактор КМ4 и выведет пусковое сопротивление  $R_{g2}$ . Двигатель переходит на естественную характеристику и разгонится до установившегося значения скорости. На этом пуск закончен.

Работа схемы при пуске НАЗАД происходит аналогично.

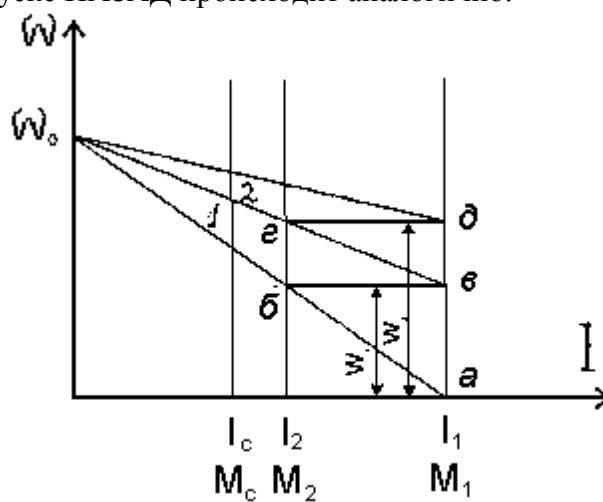


Рисунок 1. Пусковая диаграмма двигателя постоянного тока

### Режим динамического торможения

Выключатель Q1 включить. Для остановки двигателя следует кратковременно нажать кнопку СТОП SB3. При этом разомкнется цепь обмотки контактора КМ1 (КМ2), который своими контактами отключит цепь якоря электродвигателя, цепи обмоток всех ускоряющих реле и контакторов от сети. Следовательно, разомкнутся контакты КМ3 и КМ4, шунтирующие секции пускового сопротивления  $R_{g1}$ ,  $R_{g2}$ , чем подготовят силовую часть схемы для повторного пуска электродвигателя. Так как параллельная обмотка возбуждения ОВШ остается под напряжением, а якорь двигателя продолжает вращаться по инерции, то на зажимах Я1, Д2. наводится ЭДС. Поэтому реле КВ1 остается включенным и контакт КВ1 (19-20) замкнут. При этом получит питание катушка контактора КМ5, который своим контактом КМ5 (10-11) подключает якорь двигателя на тормозное сопротивление  $R_{g3}$ . Двигатель перейдет в режим динамического торможения, при котором кинетическая энергия вращающихся по инерции масс электропривода будет преобразовываться в электрическую.

При скорости двигателя близкой к нулю, реле КВ1 отпускает якорь и обесточивает катушку контактора КМ5.

Контактор КМ5 отключает якорь двигателя от тормозного сопротивления  $R_{g3}$ . На этом процесс торможения заканчивается, — двигатель подготовлен к повторному пуску.

Если после нажатия кнопки СТОП SB3 немедленно, пока еще не закончился процесс торможения, нажать кнопку НАЗАД SB2, то включения контактора КМ2 не произойдет, так как якорь контактора КМ5 втянут и его размыкающий контакт КМ5 (24-25) разомкнут.

Измерение параметров, характеризующих пуск и остановку двигателя

Пуск повторяют два раза, наблюдая за бросками пускового тока на каждой ступени. Время пуска измеряется секундомером, начиная с момента нажатия кнопки SB1 и заканчивая моментом уменьшения тока якоря до установившегося значения. Для проверки эффективности динамического торможения следует сначала остановить двигатель при разомкнутой цепи сопротивления Rg3 и измерить время торможения, а затем замкнуть цепь сопротивления Rg3 и опыт повторить. Все параметры, характеризующие пуск и остановку двигателя, заносятся в таблицу 1, по данным этой таблицы строят пусковую диаграмму ДПТ

Таблица 1

N Опыта	ПУСК				ОСТАНОВКА		
	Время пуска, с	Пусковой ток по ступеням,		Частота вращения по ступеням, об/мин		Время остановки, с	
		первой	второй	первой	второй	Без торможения.	В режиме динамического торможения.
1							
2							
Ср.значе ние							

**Контрольные вопросы:**

1. Для чего вводятся сопротивления в цепь якоря ДПТ смешанного возбуждения и из каких соображений устанавливается их величина?
2. Каким образом обеспечивается изменение направления вращения якоря электродвигателя при контактном управлении?
3. Какие блокировки применяются в электрических схемах, обеспечивающих управление реверсивными электродвигателями постоянного тока смешанного возбуждения?
4. Почему разрядное сопротивление подключается к обмотке возбуждения через полупроводниковый выпрямитель?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

(рабочее место № 4 или 17)

**Тема:** Исследование разомкнутой релейной схемы управления асинхронным двигателем с фазным ротором

**Цель работы:** Изучить работу схемы автоматического пуска асинхронного двигателя с фазным ротором и пусковым реостатом в цепи ротора в функции времени.

### Краткие теоретические сведения

Пуск асинхронного двигателя с фазным ротором предусматривает постепенное (по мере разгона электропривода) шунтирование отдельных секций пускового реостата в цепи ротора. При этом очередная секция пускового реостата шунтируется контактами по достижении ротором такой скорости, при которой пусковой ток и момент снижаются до заданной величины, то есть этот процесс протекает во времени. Следовательно, автоматизация пуска асинхронного двигателя возможна в функции времени. В автоматических схемах управления пуском двигателя используются реле времени.

Для обеспечения плавного пуска двигателя необходимо определенное соотношение между наибольшим пусковым моментом  $M_{\text{пуск1}}$  и наименьшим (переключающим) моментом  $M_{\text{пуск2}}$ . Это соотношение зависит от числа ступеней  $Z$  реостата. Обычно при расчете величины сопротивлений отдельных секций реостата задаются наибольшим пусковым моментом  $M_{\text{пик}}$  и числом ступеней  $Z$  (обычно две-три ступени). Тогда величина переключающего пускового момента  $M_{\text{пуск2}}$  может быть, определена по формуле:

$$M_{\text{пуск2}} = M_{\text{пуск1}} \sqrt[Z]{\frac{M_{\text{пуск1}} \cdot S_n}{M_n}}, \quad (1)$$

где  $M_n$ ,  $S_n$  - номинальный момент и номинальное скольжение двигателя.

### Описание работы схемы

На рисунке 1 приведена схема нереверсивного управления пуском двигателя с фазным ротором в функции времени. Управление контакторами ускорения производится в функции времени при помощи пневматических реле времени. Схема выполнена в предположении, что двигатель работает в длительном режиме.

Предварительно необходимо включить автоматический выключатель QF.

При нажатии кнопки SB1 включается контактор KM, который подключает силовыми контактами KM статор двигателя к сети. Блок-контактами контактор KM шунтирует кнопку SB1 и подключает катушку реле времени KT1, которое с выдержкой времени своим замыкающим контактом KT1 подключит катушку контактора KM1. Контактор KM1, замыкая свои контакты в цепи ротора, выводит первую секцию сопротивления и блок-контактом KM1 подключает катушку реле времени KT2. Реле времени KT2 с выдержкой времени своим замыкающим контактом KT2 подключит катушку контактора KM2. Контактор KM2 выводит вторую секцию сопротивления из цепи ротора. Аналогично с выдержкой времени включится последний контактор ускорения KM3, который замкнет накоротко кольца ротора. Пуск двигателя закончен.

При работе двигателя контакторы KM1 и KM2 не несут ни какой нагрузки. При значительной мощности двигателя в целях экономии электроэнергии, потребляемой катушками KM1 и KM2, целесообразно их отключать после включения контактора KM3.

Для остановки двигателя нажимают кнопку SB2, что вызовет отключение контакторов KM и KM3.

В схеме предусмотрена защита АД от перегрузок с помощью теплового реле КК и от коротких замыканий в цепях статора автоматическим выключателем QF. Кроме того, схема управления осуществляет нулевую защиту при исчезновении напряжения сети с помощью контактора KM.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, записать паспортные данные двигателя, релейно-контакторных аппаратов и измерительных приборов.

2. Проверить соответствие напряжения питания катушек релейно-контакторных аппаратов.
3. Изучить принципиальную электрическую схему управления АД.
4. Собрать схему (рисунок 1), опробовать в работе и произвести ее наладку, отрегулировав реле времени на требуемые выдержки времени.
5. Опытным путем определить параметры, характеризующие пуск АД, данные измерений занести в таблицу 1.
6. Построить механические характеристики АД при пуске и кривые переходного процесса.

Таблица 1

Номера замеров	Время пуска, с	Пусковой ток (А) для трех ступеней		
		первой	второй	третьей
1				
2				
3				
Ср. значение				

**Контрольные вопросы:**

1. Изложите последовательность срабатывания контакторов и реле при пуске двигателя?
2. Объясните назначение размыкающего контакта КМ3 в цепи реле времени КТ1?
3. Какие виды защит используются в схеме управления двигателем?

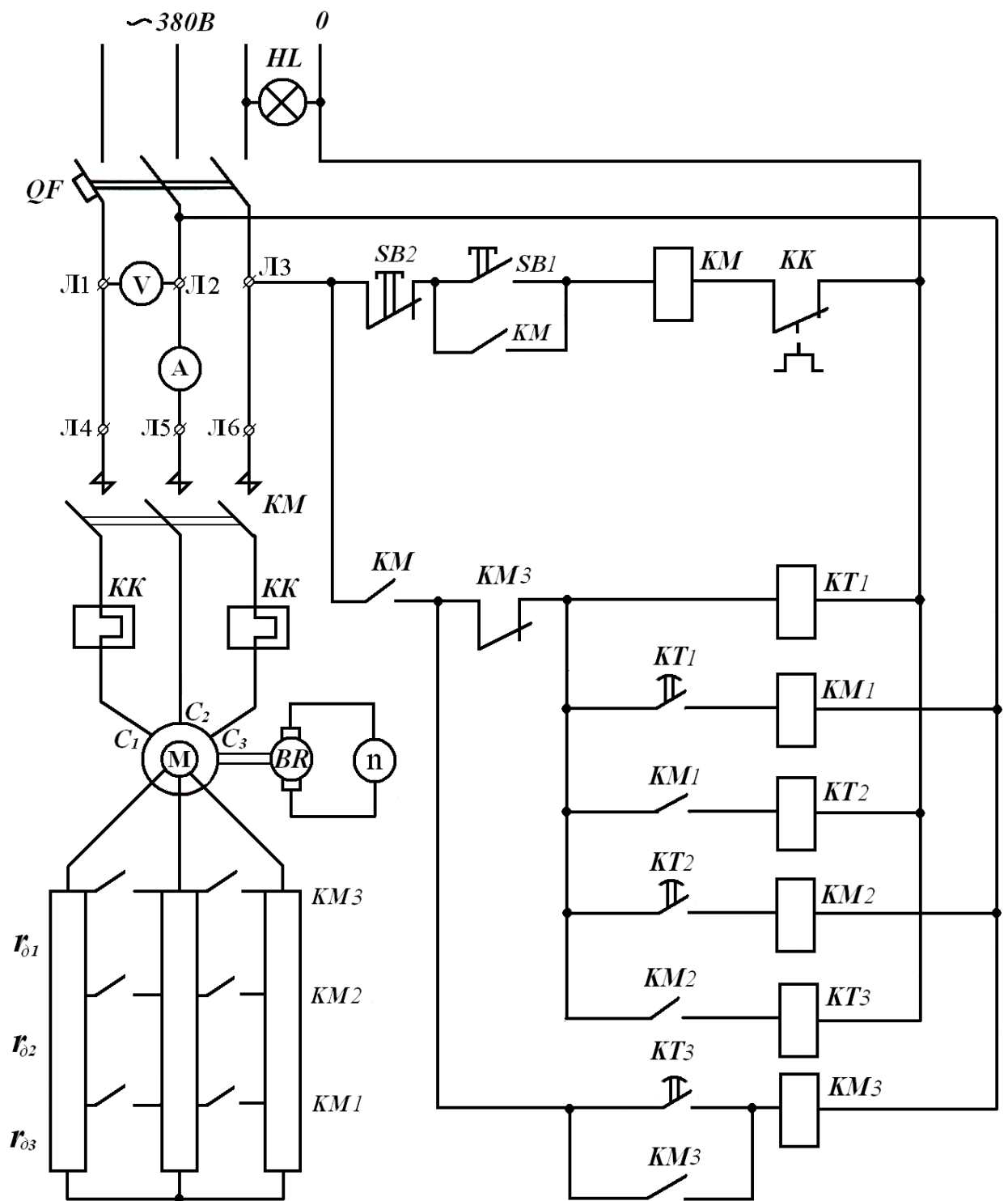


Рисунок 1. Схема управления пуском асинхронного двигателя с фазным ротором

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

(рабочее место №11)

**Тема:** Исследование реверсивной схемы управления асинхронным двигателем с фазным ротором с торможением противовключением

**Цель работы:** изучить устройство, работу разомкнутой релейно-контакторной схемы управления АД.

### Краткие теоретические сведения

В схемах управления АД применяются различные способы торможения двигателя:

- а) механическое торможение;
- б) торможение противовключением;
- в) динамическое торможение;
- г) генераторное торможение.

Механическое торможение возможно при помощи электромагнитного тормоза. Механический тормоз предназначен для удержания механизма в нужном положении.

При динамическом торможении статор вращающегося электродвигателя отключают от сети переменного тока и подключают к источнику постоянного тока. Обмотка статора, питаемая постоянным током, создает неподвижное в пространстве магнитное поле, в котором по инерции вращается ротор. В обмотке ротора при этом наводится Э.Д.С., протекает переменный ток и возникает магнитный поток. Взаимодействие тока ротора с результирующим магнитным полем АД создает тормозной момент, за счет чего достигается эффект торможения.

Торможение противовключением можно получить изменением чередования двух фаз. Если на ходу двигателя переключить фазы А и С, направление вращения поля статора изменится на обратное, а ротор будет продолжать вращаться в прежнем направлении. Скорость ротора станет отрицательной, и двигатель начнет замедляться, достигнет нулевой скорости и далее реверсируется.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить принципиальную схему управления асинхронным двигателем (рисунок 1).
2. Изучить устройство лабораторной установки, аппаратуру управления, записать технические данные АД и аппаратов управления.
3. Включить установку и произвести следующие виды торможения:
4. динамическое, торможение противовключением. Записать показания приборов.
5. Начертить механические характеристики АД в двигательном и тормозных режимах.

### Принцип работы схемы

Схема станции автоматического управления электроприводом переменного тока обеспечивает 2-х ступенчатый пуск АД с фазным ротором, реверсирование электропривода, торможение противовключением и динамическое торможение.

Пуск электропривода осуществляется в функции времени с помощью пневматических реле времени КТ1, КТ2 и контакторов ускорения КМ4, КМ5.

Для управления электроприводом применен командный аппарат - универсальный переключатель SA, имеющий 6 контактов (SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, SA6).

Подача напряжения, защита силовых цепей и цепей управления осуществляется автоматическими включателями QF1, QF2, QF3. При их включении срабатывает реле напряжения KV (при условии нулевого положения ключа SA), реле блокировки KV1, КТ3, реле времени КТ1, КТ2.

При повороте переключателя SA в правое положение замыкаются контакты SA2, SA4, SA5, SA6 и размыкается контакт SA1, зашунтированный контактом реле KV. При этом получает питание катушка блокировочного реле KV2 через замыкающийся контакт реле КТ3 и катушки контакторов КМ1 и КМ через замыкающиеся контакты реле KV2. В

силовой цепи АД замыкаются контакты КМ и КМ1, на статор двигателя подается напряжение трехфазного переменного тока, но двигатель не трогается с места, т.к. велико сопротивление в цепи ротора.

Блок-контакты контакторов КМ1, КМ размыкают цепь реле КТ3, размыкающийся контакт которого с выдержкой времени замыкает цепь катушки контактора КМ3, контакты контактора КМ3 закорачивают ступень сопротивления противовключения в цепи ротора АД. При этом двигатель начинает разгон с полным пусковым сопротивлением.

Одновременно с этим контактом КМ3 обесточивается реле времени КТ1, которое с выдержкой времени замыкает цепь контактора ускорения КМ4. Контакты КМ4 закорачивают 1-ю ступень пускового сопротивления в цепи ротора АД и обесточивают реле времени КТ2, которое с выдержкой времени включает контактор КМ5. При этом добавочные сопротивления ротора АД выводятся полностью, и двигатель выходит на естественную характеристику.

#### **Режим торможения противовключением**

Для осуществления торможения двигателя, запущенного "Вперед", необходимо универсальный переключатель SA перевести из положения "Вправо" в положение "Влево".

В этом случае размыкается контакт SA2 и замыкается контакт SA3 универсального переключателя, в результате чего теряют питание катушки блокировочного реле KV2 и контактора КМ1, а катушки реле KV3 и контактора КМ2 получают питание.

В силовой цепи двигателя размыкаются контакты КМ1, а контакты КМ2 замыкаются, что приводит к изменению чередования 2-х фаз питающей цепи и к изменению направления вращения магнитного поля статора.

Ротор двигателя по инерции продолжает вращаться в прежнем направлении, в результате чего в его цепи индуктируется Э.Д.С.  $E_2$  значительно большая  $E_{2н}$ , так как  $E_1$  и  $U_1$  совпадают по направлению. В этих условиях срабатывает реле KV4, уставка напряжения втягивания которого устанавливается равной  $1,2E_{2н}$ .

Контакт KV4 размыкает цепь питания контакторов КМ3, КМ4, КМ5, в результате чего в цепь ротора двигателя вводится пусковое сопротивление и ступень противовключения и идет процесс торможения противовключением.

При скорости двигателя близкой к нулю якорь реле KV4, "отпадает" и, если универсальный переключатель не перевести в нулевое положение, двигатель начинает запуститься в обратном направлении.

#### **Режим динамического торможения**

Для остановки двигателя, запущенного "Вперед", в режиме динамического торможения универсальный переключатель SA переводят в нейтральное положение, при этом обесточиваются катушки реле KV2, контакторов КМ и КМ1, реле КТ4, контакторов КМ3, КМ4, КМ5. Статор двигателя отключается от сети переменного тока контактами КМ и КМ1.

Одновременно с этим собирается цепь для включения контактора динамического торможения КМ6 за счет выдержки времени на размыкание контактом реле КТ4. Контакты контактора КМ6 подключают источник постоянного напряжения к статору, в результате чего идет процесс динамического торможения при полном сопротивлении в цепи ротора. Торможение заканчивается после отсчета реле КТ4 своей выдержки времени, соответствующей времени торможения. Контактор КМ6 отключается.

#### **Контрольные вопросы:**

1. От чего зависит время торможения при торможении противовключением?
2. Назначение реле KV4?
3. Для какой цели служит блокировка контакторов?



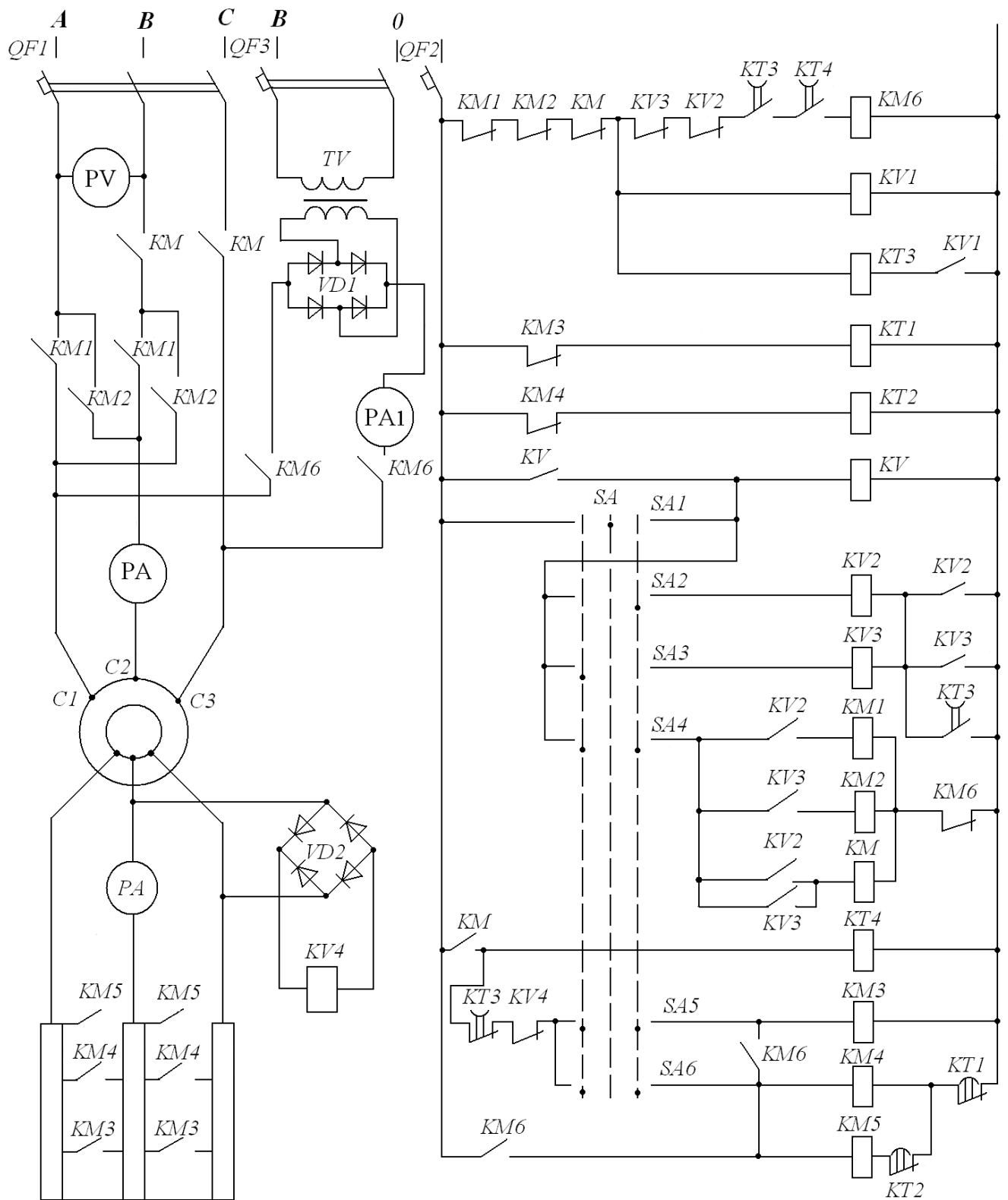


Рисунок 1. Схема управления АД с торможением противовключением и динамическим торможением.

#### 4. Информационное обеспечение обучения

##### Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

###### Основные источники:

1. Кацман М.М. Электрические машины. Справочник. (СПО). Учебное пособие / Кацман М.М. - Москва: КноРус, 2018. - 480 с.
2. Девочкин О.В. Электрические аппараты / О.В. Девочкин, В.В. Лохнин, Р.В. Меркулов, Е.Н. Смолин. – М.: Академия, 2017. – 240 с.
3. Москаленко В.В. Электрические машины и приводы / В.В. Москаленко, М.М. Кацман. - 1-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2018. – 368 с.

###### Дополнительные источники:

1. Лобзин С.А. Электрические машины / С.А. Лобзин. - 2-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2016. – 336 с.
2. Москаленко В. В. Системы автоматизированного управления электропривода: Учебник / В.В. Москаленко. - М.: ИНФРА-М, 2018. - 208 с.
3. Алиев, И.И. Электрические машины / И.И. Алиев. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2014. - 448 с.
8. Кацман М.М. Сборник задач по электрическим машинам: учеб.пособие для студ. учреждений сред. проф. образования – 5-е изд. – М.: Академия, 2012 – 160 с.

###### Интернет- ресурсы:

1. <https://cyberleninka.ru/> научная электронная библиотека «киберленинка».
2. <http://fcior.edu.ru/> Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов.
3. <https://elibrary.ru/defaultx.asp> научная электронная библиотека.
4. <http://electricalschool.info/>
5. <https://elektrikam.com/elektricheskie-mashiny/>
6. <https://electrohobby.ru/elektricheskie-mashinyi/>
7. <http://elektropspets.ru/books-elektrooborudovanie.php>