

Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов»

С.Н.Павлович

Лабораторный практикум

для студентов МСФ и МТФ

по дисциплинам:

*«Автоматизированный электропривод» (МСФ),
«Электрооборудование кузнечно-штамповочного производства» и
«Электрооборудование цехов металлургических заводов» (МТФ)*

Электронный учебный материал

Минск 2014

УДК 004(076.5)
ББК 32.81
П 12

Автор:

С.Н. Павлович, профессор кафедры «Электропривода и автоматизации промышленных установок и технологических комплексов», канд. техн. наук, профессор

Рецензенты:

В.П.Беляев – доцент кафедры «Полиграфического оборудования и обработки информации» БГТУ, канд. техн. наук, доцент;

Б.И.Фираго – профессор кафедры «Электропривода и автоматизации промышленных установок и технологических комплексов» БНТУ, доктор техн. наук, профессор

Павлович, С.Н.

П12 Лабораторный практикум для студентов МСФ и МТФ по дисциплинам: «Автоматизированный электропривод» (МСФ), «Электрооборудование кузнечно-штамповочного производства» и «Электрооборудование цехов металлургических заводов» (МТФ) / С.Н.Павлович. – Мн.: БНТУ, 2014. – 56 с.

В практикуме приведены описания девяти лабораторных работ, каждая из которых содержит цель работы, постановку задачи, порядок выполнения работы, контрольные вопросы, требования к содержанию отчета и теоретические сведения.

Практикум предназначен для студентов МСФ и МТФ по дисциплинам: «Автоматизированный электропривод» (МСФ), «Электрооборудование кузнечно-штамповочного производства» и «Электрооборудование цехов металлургических заводов» (МТФ).

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
тел.(017)292-77-52 факс (017)292-91-37
E-mail: emd@bntu.by
<http://www.bntu.by/ru/struktura/facult/psf/chairs/im/>
Регистрационный № БНТУ/ФИТР46-53.2014

© БНТУ, 2012
© ПАВЛОВИЧ С.Н., 2012

Оглавление

В в е д е н и е	4
Общие требования по проведению лабораторных работ	5
Модуль М1 – «Универсальный лабораторный стенд»	6
Лабораторная работа №1	6
Приложение 1 (к модулю М1).....	7
Модуль М2 – «Контактная аппаратура и простейшие схемы (неревверсивная и реверсивная) управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором»	15
Лабораторная работа №2	15
Лабораторная работа №3	17
Приложение 2 (к модулю М2).....	18
Модуль М3 – «Способы торможения и схемы автоматического управления торможением АД с короткозамкнутым ротором»	30
Лабораторная работа №4	30
Лабораторная работа №5	31
Приложение 3 (к модулю М3).....	33
Модуль М4 – «Способы пуска и схемы автоматического управления пуском ДПТ»	37
Лабораторная работа № 6	37
Лабораторная работа № 7	38
Лабораторная работа № 8	44
Приложение 4 (к модулю М4).....	47
Модуль М5 – «Тиристорный электропривод постоянного тока».....	52
Лабораторная работа № 9	52
Приложение 5 (к модулю М5).....	56

Введение

В настоящее время в обучении все шире используется **модульный подход**, в основе которого лежат такие основные принципы как системность, структуризация и модульность. Понятие «**модуль**» в рамках одной учебной дисциплины означает **блок информации**, включающий в себя логически завершенную одну, две или более единиц учебного материала.

При модульном подходе обучения учебная программа дисциплины (или ее отдельные разделы, темы) представляются в виде определенного количества конкретных модулей, с которыми обучаемый может работать самостоятельно или под руководством преподавателя. При этом *каждый модуль – это автономный учебный материал, предназначенный для освоения некоторой элементарной единицы знаний или умений*. Для каждого модуля (или для каждой единицы учебного материала) формулируется цель и четкая постановка задачи, дополненные необходимыми теоретическими сведениями.

В данном лабораторном практикуме приведены описания следующих пяти модулей дисциплин

*«Автоматизированный электропривод»,
«Электрооборудование кузнечно-штамповочного производства» и
«Электрооборудование цехов металлургических заводов»:*

М1 – «Универсальный лабораторный стенд» (*Лабораторная работа № 1- Изучение устройства и принципа работы универсального лабораторного стенда*);

М2 – «Контактная аппаратура и простейшие схемы (*нереверсивная и реверсивная*) управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором» (*Лабораторная работа № 2 - Экспериментальное исследование нереверсивной схемы управления асинхронным двигателем (АД) с короткозамкнутым ротором; Лабораторная работа № 3- Экспериментальное исследование реверсивной схемы управления АД с короткозамкнутым ротором*);

М3 – «Способы торможения и схемы автоматического управления торможением АД с короткозамкнутым ротором» (*Лабораторная работа № 4 - Экспериментальное исследование схемы автоматического управления торможением по принципу противовключения АД с короткозамкнутым ротором; Лабораторная работа № 5- Экспериментальное исследование схемы автоматического управления динамическим торможением АД с короткозамкнутым ротором*);

М4 – «Способы пуска и схемы автоматического управления пуском ДПТ» (*Лабораторная работа № 6 - Экспериментальное исследование схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции времени; Лабораторная работа № 7- Экспериментальное исследование схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции тока; Лабораторная работа № 8 – «Экспериментальное исследование схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции ЭДС »*);

М5 – «Тиристорный электропривод постоянного тока» (*Лабораторная работа № 9- Экспериментальное исследование тиристорного электропривода постоянного тока с системой подчиненного регулирования*).

Теоретические сведения к указанным модулям практикума оформлены в виде Приложений №№ 1 – 5 (номер Приложения соответствует номеру модуля).

Общие требования по проведению лабораторных работ

При выполнении лабораторных работ *студент обязан*:

1. Пройти инструктаж по технике безопасности и соблюдению требований пожарной безопасности в лаборатории с последующей регистрацией в соответствующем журнале.
2. Выполнить лабораторную работу в соответствии с пунктом «Содержание лабораторной работы (план работы)».
3. По завершении выполнения лабораторной работы показать результаты преподавателю, привести в порядок рабочее место и получить разрешение покинуть лабораторию.

Цикл лабораторных работ предусматривает их последовательное выполнение. Студенты, не выполнившие предыдущую работу, допускаются к выполнению последующей работы только после отработки предыдущей. *В случае пропуска занятий по уважительной причине студенту необходимо отработать соответствующие лабораторные работы с другой группой при наличии свободного рабочего места и с разрешения преподавателя.*

При возникновении затруднений студентам следует обратиться к описанию предыдущих работ или к рекомендованной литературе.

Модуль М1 – «Универсальный лабораторный стенд»

Лабораторная работа №1

Изучение устройства и принципа работы универсального лабораторного стенда

Цель работы: Изучение назначения, технических характеристик, устройства и принципа работы стенда, а также мер безопасности при проведении экспериментальных исследований на стенде схем управления электродвигателями; усвоение мер безопасности и общих правил работы в лаборатории.

Постановка задачи

Изучить универсальный лабораторный стенд в соответствии с поставленной целью работы; рассчитать моменты инерции шкивов электрических машин и передаточные числа i_1 – «исследуемый двигатель – другой двигатель» и i_2 – «исследуемый двигатель - тахогенератор».

Содержание лабораторной работы

Лабораторная работа включает:

1. Изучение теоретического материала (см. Приложение 1).
2. Измерение диаметров и толщин шкивов обоих электродвигателей и тахогенератора.
3. Расчет передаточных чисел i_1, i_2 и моментов инерции шкивов.

Контрольные вопросы

1. Почему лабораторный стенд называется *универсальным*?
2. Какое электрооборудование имеется в стенде?
3. Как рассчитываются моменты инерции шкивов?
4. Какие меры техники безопасности необходимо соблюдать при работе на стенде, в лаборатории?
5. Что запрещается делать студентам при работе на стенде и в лаборатории?

Содержание отчета

Отчет по выполнению работы должен содержать следующие сведения:

1. Номер и наименование лабораторной работы.
2. Состав студентов-исполнителей работы.
3. Цель работы.
4. Постановку задачи.
5. Результаты расчета передаточных чисел i_1 и i_2 , а также моментов инерции шкивов.

Приложение 1 (к модулю М1)

Теоретические сведения к лабораторной работе №1 – «Изучение устройства и принципа работы универсального лабораторного стенда»

1. Назначение стенда

Лабораторный стенд является универсальным и предназначен для выполнения студентами всего цикла лабораторных работ по курсам «Автоматизированный электропривод», «Электрооборудование КШП» и «Электрооборудование цехов металлургических заводов». Этот цикл работ позволяет приобрести студентам практические навыки по экспериментальным исследованиям электрических схем управления электродвигателями постоянного и переменного тока.

2. Технические характеристики стенда

Электропитание стенда осуществляется от трехфазной сети переменного тока с линейным напряжением 220 ± 22 В частотой $50 \pm 0,5$ Гц. Потребляемая стендом мощность из сети составляет не более 500 Вт.

На стенде установлены для исследования следующие электродвигатели:

1) Электродвигатель постоянного тока (ДПТ) типа СЛ-221 с паспортными данными:

- номинальное напряжение $U_n=110$ В;
- номинальная частота вращения $n_n=4600$ об/мин;
- номинальный ток возбуждения $I_{вн}=0,1$ А;
- номинальный ток якоря $I_n=0,35$ А;
- момент инерции двигателя $J_{дв} = 0,00055$ кг·м² ;
- номинальный КПД $\eta_n=33\%$.

2) Асинхронный электродвигатель (АД) с короткозамкнутым ротором типа УАД-052 со следующими паспортными данными:

- номинальная мощность $P_n=20$ Вт;

- номинальная частота вращения $=2760$ об/мин;
- номинальный ток $I_n = 0,18$ А;
- номинальное напряжение $U_n = 220$ В;
- номинальный КПД $\eta_n = 51\%$;
- номинальный коэффициент мощности $\cos_n \varphi = 0,5$;
- момент инерции двигателя $J_{дв} = 0,000172$ кг·м² ;
- номинальный момент $M_n = 0,069$ Н·м;
- критический момент $M_k = 0,1389$ Н·м;
- ток холостого хода $I_0 = 0,1$ А;
- сопротивления обмоток статора $R_1 = 122$ Ом; $R_2' = 91$ Ом; $X_1 = 57$ Ом; $X_2' = 57$ Ом.

Блок питания стенда обеспечивает следующие напряжения и токи:

Напряжение, В	Максимально допустимый ток, А	Примечание
+5	1,0	Питание секундомера
+15	1,0	Стабилизированное
-15	1,0	Стабилизированное
+18	0,1	Не стабилизированное
+110	1,0	Питание ДПТ
+24	2,0	Питание реле

3. Устройство и принцип работы стенда

Стенд состоит из лицевой панели (рис. 1.1) и закрытого корпуса. Принципиальная электрическая схема стенда (рис. 1.2) на лицевой панели для удобства разделена на 6 функциональных частей:

- 1) схема управления электродвигателем постоянного тока (см. рис. 1.3);
- 2) схема управления АД с короткозамкнутым ротором (см. рис. 1.4);
- 3) тиристорный преобразователь и замкнутая схема управления ДПТ (см. рис. 1.5);
- 4) блок электрических машин, состоящий из ДПТ, АД и тахогенератора (на лицевой панели расположены шкивы, насаженные на валы этих машин и связанные между собой резиновым пассиком) – см. рис. 1.6;
- 5) блок регулировок (ручки регулируемых резисторов) и секундомера (табло, выключатель и кнопка «сброс») – см. рис. 1.7;
- 6) блок измерительных приборов (амперметры и вольтметры) и питания стенда (вводной выключатель, предохранители и индикаторы напряжения питающей электросети фаз А, В, С) – см. рис. 1.8.

Сборка экспериментально исследуемых принципиальных электрических схем управления электродвигателями производится короткими соединительными проводниками (перемычками со штекерами) путем соединения

(коммутации) соответствующих точек схемы, выведенных на гнезда лицевой панели стенда. Соединительные проводники на собираемых электрических схемах показываются в виде ломаных линий с одним углом (см., например, рис. 2.1 модуля М2).

В корпусе стенда за лицевой панелью размещены платы (блока управления, диодных мостов, электронных реле, блока питания, секундомера), магнитные пускатели, блок резисторов, силовой трансформатор блока питания.

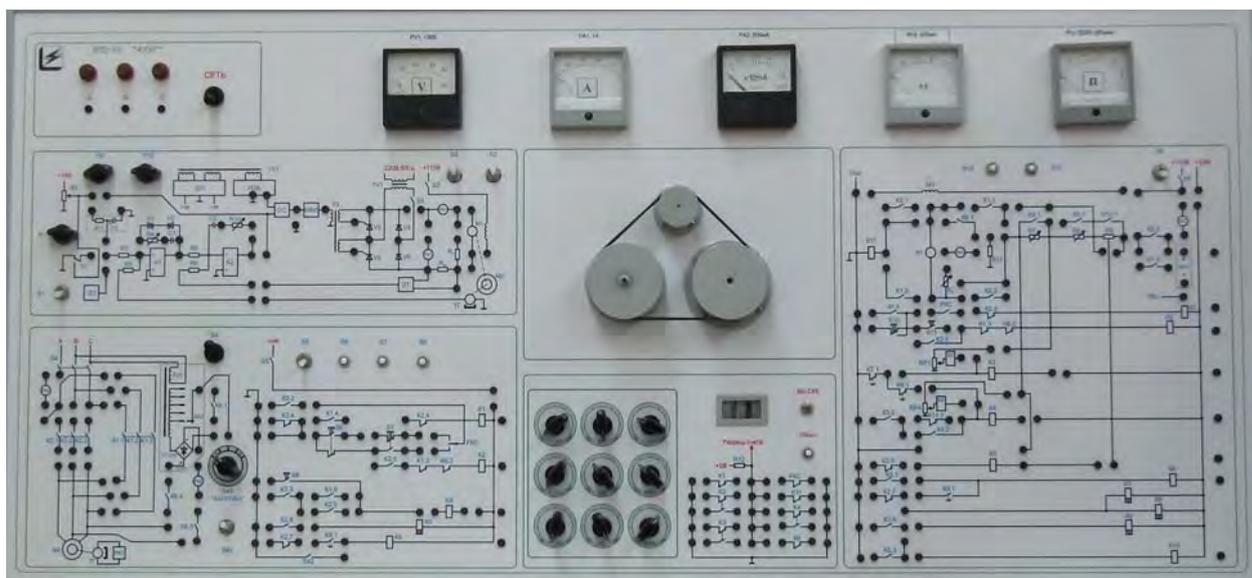


Рис. 1.1. Изображение лицевой панели лабораторного стенда

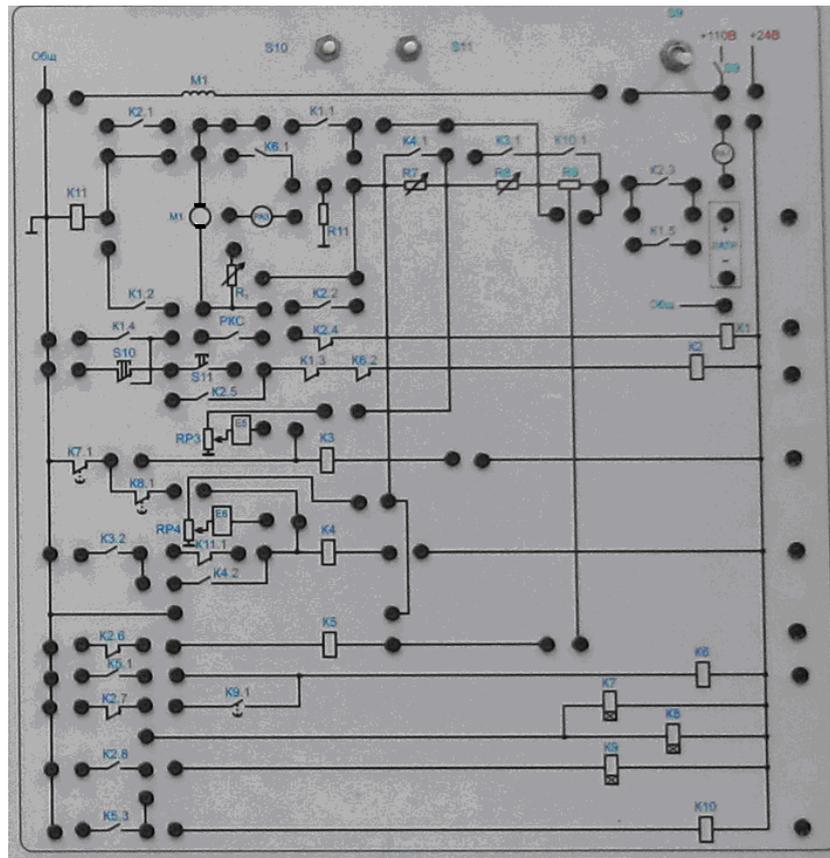


Рис. 1.3. Схема управления электродвигателем постоянного тока

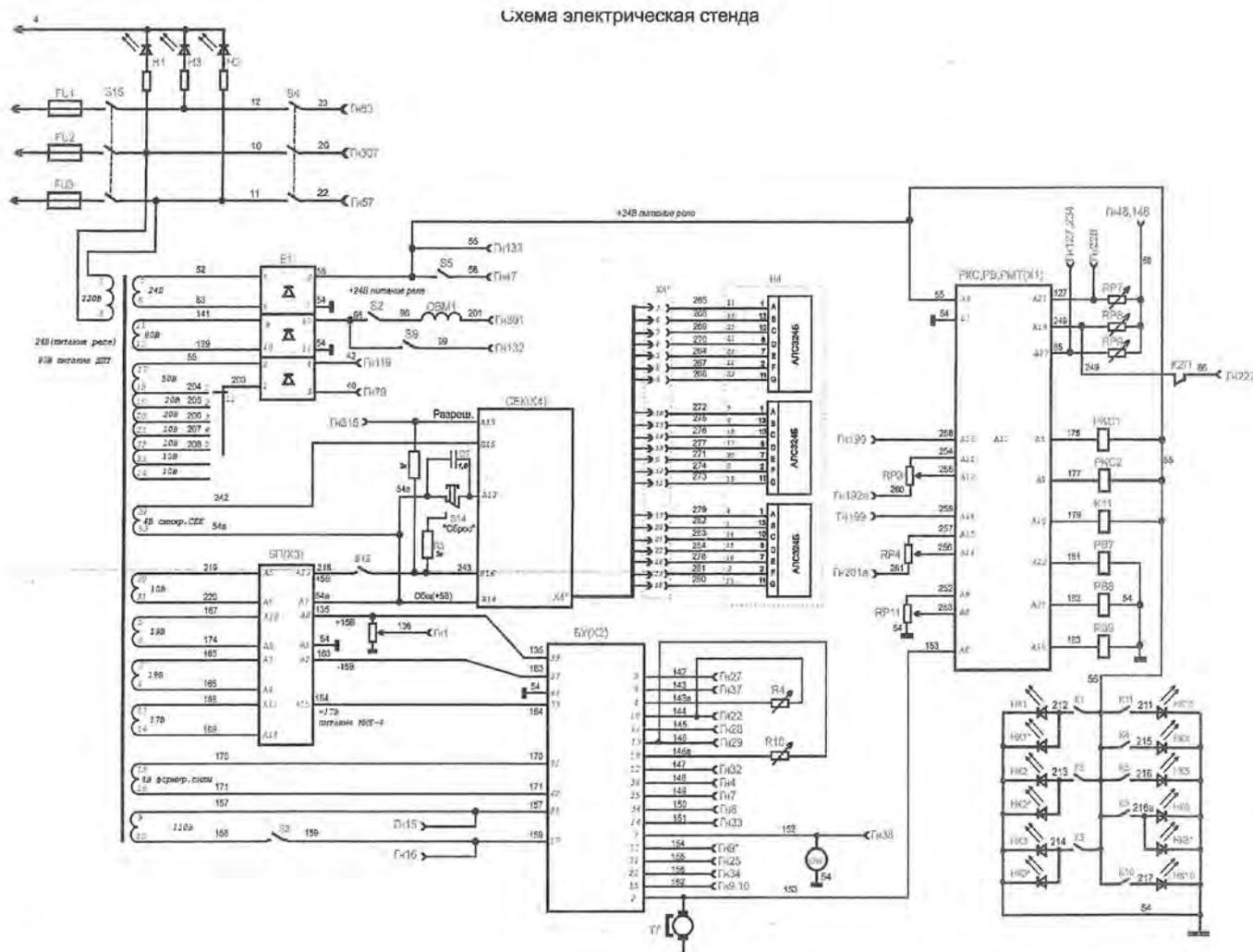


Рис. 1.2. Принципиальная электрическая схема станда

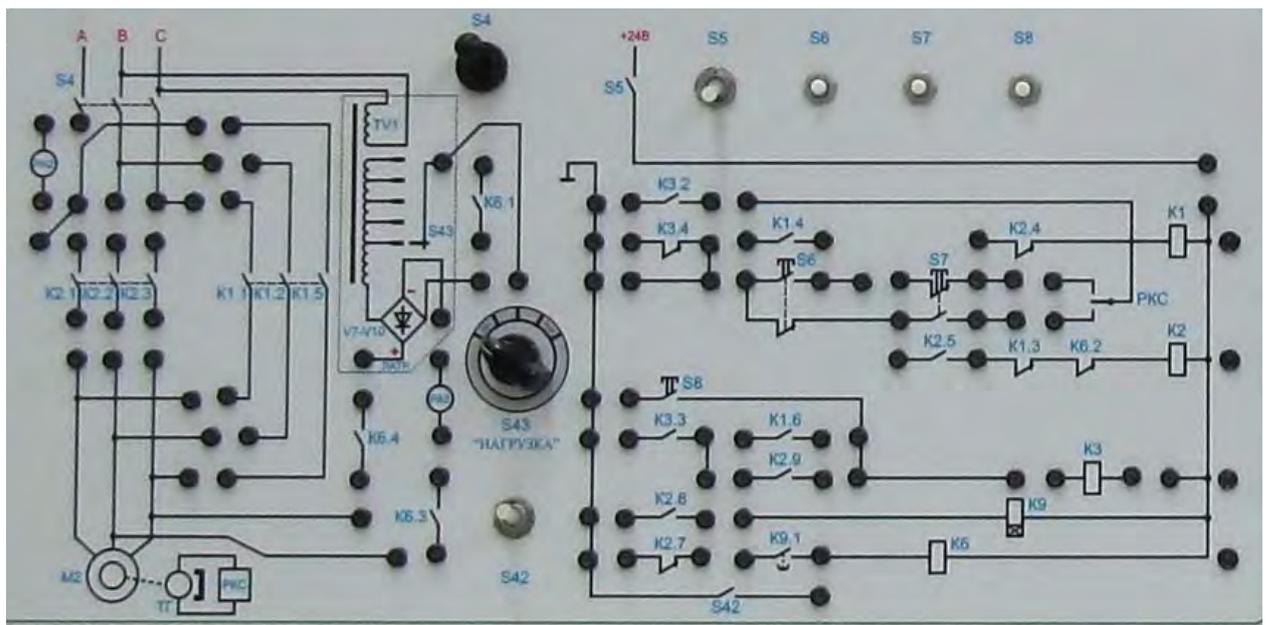


Рис. 1.4. Схема управления АД с короткозамкнутым ротором

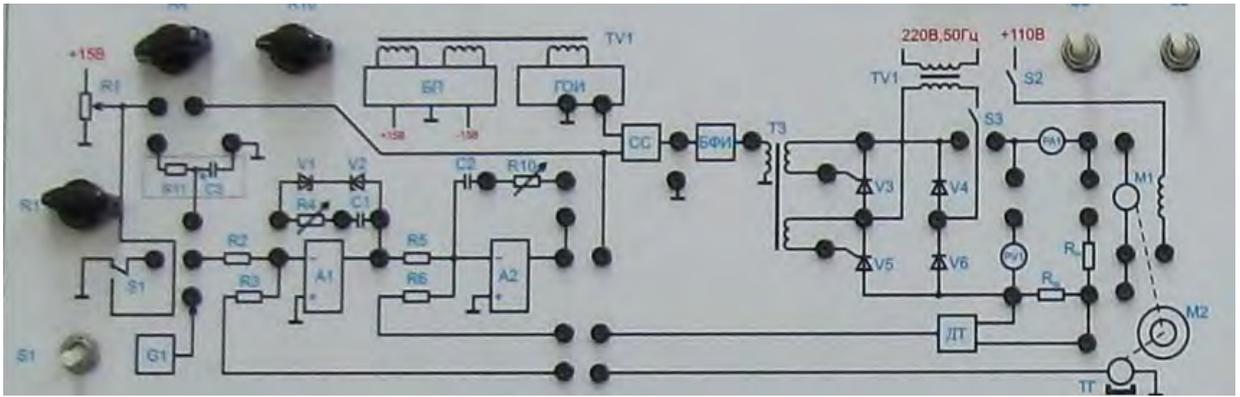


Рис. 1.5. Тиристорный электропривод



Рис. 1.6. Блок электрических машин

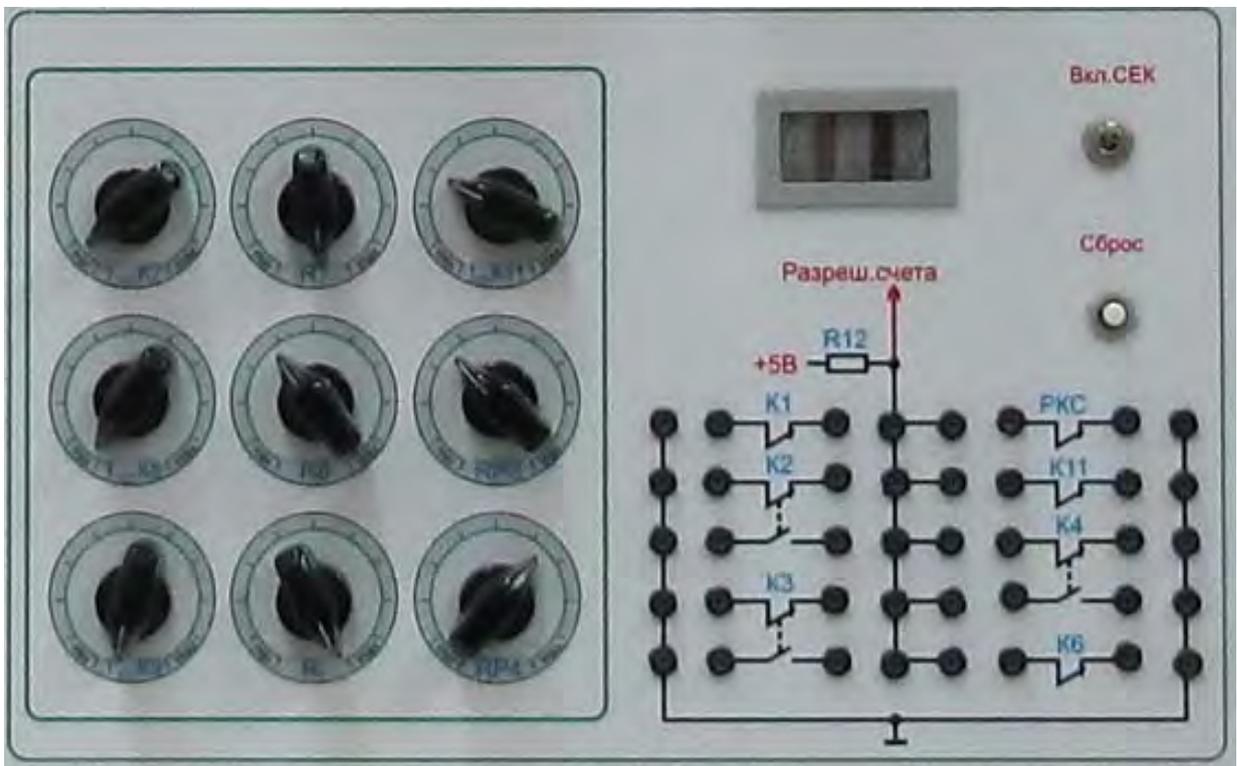


Рис. 1.7. Блок регулировок и секундомера



Рис. 1.8. Блок измерительных приборов

Силовой трансформатор обеспечивает необходимые напряжения для источников питания стенда.

В описании каждой лабораторной работы, предусматривающей проведение экспериментальных исследований на стенде, дается принципиальная электрическая схема со всеми гнездами стенда (при этом *необходимые для коммутации гнезда* в данной конкретной лабораторной работе показаны *ломаными с одним углом соединительными линиями*) и указан порядок действий (программа) студентов при проведении ими экспериментальных исследований на стенде.

Для лучшего усвоения принципа работы различных схем управления электродвигателями постоянного и переменного тока в стенде предусмотрены индикаторы (светодиоды красного цвета НК на рис. 1.2, которые загораются при включении контакторов и реле K1 - K6, K10, K11), расположенные на лицевой панели стенда справа от схемы управления (см. рис. 1.3) на линиях электрических цепей соответствующих катушек контакторов и реле K1 - K6, K10, K11.

4. Момент инерции электропривода

Момент инерции ДПТ $J_{дв}=0,00055 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и АД $J_{дв}=0,00017 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

Момент инерции шкивов можно определить по выражению:

$$J_{шк.i} = \rho \frac{\pi R_{шк*i}^4 \cdot d_{шк.}}{2},$$

где $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ – плотность железа;

$R_{шк*i}$ – радиус шкива;

$d_{шк.i}$ – толщина шкива.

Приведенный момент инерции шкива к валу исследуемого двигателя

$$J_{шк*i} = J_{шк.i} / i^2,$$

где i – передаточное число;

$$i = \frac{\omega_{дв}}{\omega_{шк*i}} = \frac{R_{шк*i}}{R_{шк*дв}};$$

$\omega_{дв}$, $\omega_{шк*i}$ – угловые скорости вращения двигателя и шкива.

Приведенный к валу исследуемого двигателя момент инерции всей системы электропривода

$$J_{\Sigma} = 0,00087 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

5. Меры безопасности и общие правила работы в лаборатории

1) При эксплуатации стенда необходимо соблюдать «Правила технической эксплуатации электроустановок и потребителей» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

2) Включение питания стенда и выполнение экспериментальных исследований производить только после разрешения преподавателя.

3) К работе в лаборатории допускаются студенты, получившие инструктаж по технике безопасности от преподавателя и расписавшиеся в журнале.

4) Перед каждым включением стенда убедитесь, что пуск оборудования никому не угрожает.

5) Запрещается включать исследуемое оборудование без предварительной проверки преподавателем правильности сборки электрической схемы.

6) Обязательно отключите стенд в случаях:

- ухода от стенда даже на короткое время;
- временного прекращения работы на стенде;
- перерыва в подаче электроэнергии.

7) Студентам в лаборатории **запрещается:**

- производить поиск и устранять неисправности на работающем оборудовании;
- работать одному.

8) После окончания работы выключите лабораторный стенд, приведите в порядок рабочие места, сообщите преподавателю об окончании работы и только с его разрешения покидайте лабораторию.

Модуль М2 – «Контактная аппаратура и простейшие схемы (неревверсивная и реверсивная) управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором»

Лабораторная работа №2

Экспериментальное исследование неревверсивной схемы управления асинхронным двигателем (АД) с короткозамкнутым ротором

***Цель работы:** Изучение контактной аппаратуры, используемой при управлении электродвигателями постоянного и переменного тока; основных способов пуска АД и экспериментальное исследование неревверсивной схемы управления АД.*

Постановка задачи

В соответствии с поставленной целью лабораторной работы необходимо: 1) по Приложению 2 изучить контактную аппаратуру, используемую в схемах управления электродвигателями постоянного и переменного тока; 2) изучить основные способы пуска АД с короткозамкнутым ротором и 3) экспериментально исследовать в работе неревверсивную схему управления АД с короткозамкнутым ротором на универсальном лабораторном стенде «АЭП», изученном в лабораторной работе №1 (модуль М1).

Содержание лабораторной работы (план работы)

1. Изучите теоретический материал (см. Приложение 2).
2. Соберите на лабораторном стенде неревверсивную схему управления АД согласно рис. 2.1. Включение напряжения питания осуществляется тумблерами S4 и S5, пуск двигателя М2 – кнопкой S7, остановка - кнопкой S6.
3. Зафиксируйте бросок тока в фазе АД в момент пуска по прибору А2.
4. Запишите показания измерительных приборов V2, А2 и измерителя частоты вращения в установившемся режиме работы. Используя паспортные данные двигателя и результаты измерений, рассчитайте M_c нагрузки.
5. Кнопкой S6 осуществите останов АД и с помощью секундомера зафиксируйте время до остановки двигателя.

Контрольные вопросы

1. Для чего в основном применяют рубильники?
2. Как устроен пакетный выключатель?
3. Поясните устройство и принцип действия контактора.

4. Как определяется коэффициент возврата электромагнитного реле и почему его значение меньше единицы?
5. Поясните принцип действия АД.
6. Перечислите основные способы пуска АД с короткозамкнутым ротором.
7. Назовите достоинства и недостатки прямого пуска АД.
8. Что понимается под *нулевой защитой* АД и в каких схемах она обеспечивается, а в каких нет?
9. Поясните принцип действия схемы пуска АД, изображенной на рис. 2.1.

Содержание отчета

Отчет по выполнению работы должен содержать следующие сведения:

1. Номер и наименование лабораторной работы.
2. Состав студентов-исполнителей работы.
3. Цель работы.
4. Постановку задачи.
5. Экспериментально исследуемую электрическую схему (рис. 2.1).
6. Опишите порядок работы схемы рис. 2.1.

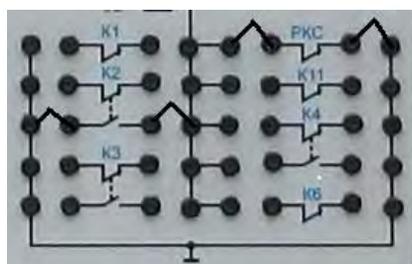
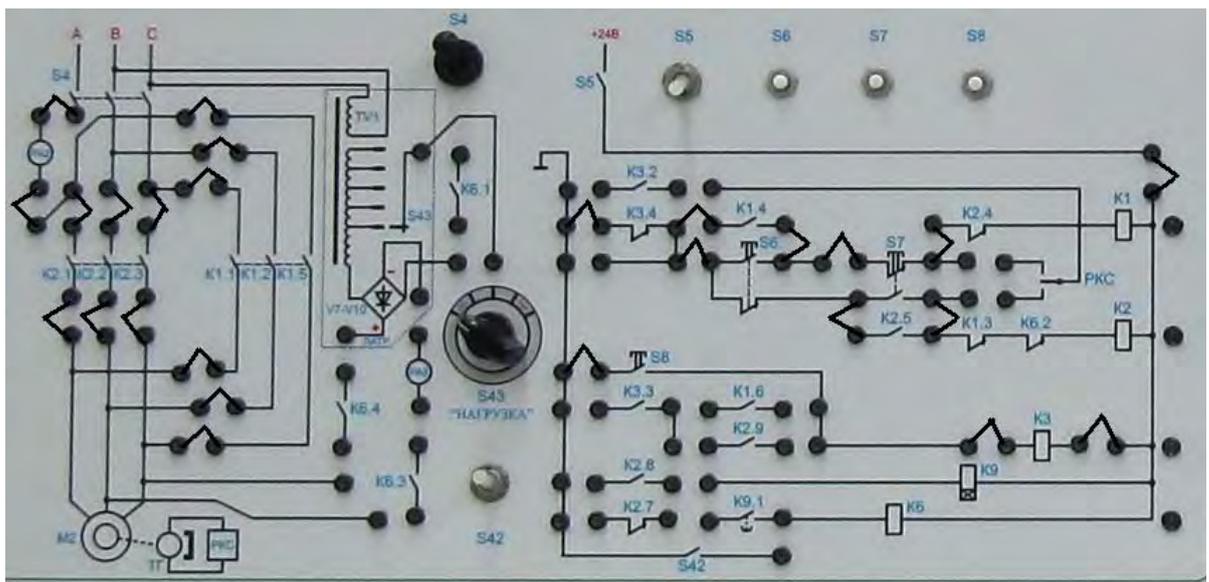


Рис. 2.1. Экспериментально исследуемая электрическая схема

Лабораторная работа №3

Экспериментальное исследование реверсивной схемы управления АД с короткозамкнутым ротором

Цель работы: изучить принцип работы реверсивной схемы управления АД и экспериментально исследовать ее.

Постановка задачи

В соответствии с поставленной целью лабораторной работы необходимо: 1) по Приложению 2 изучить принцип работы *реверсивной* схемы управления АД с короткозамкнутым ротором; 2) экспериментально исследовать в работе реверсивную схему управления АД с короткозамкнутым ротором на универсальном лабораторном стенде.

Содержание лабораторной работы (план работы)

1. Изучите теоретический материал (см. Приложение 2).
2. Соберите на лабораторном стенде реверсивную схему управления АД согласно рис. 2.2.
3. Запустите двигатель путем нажатия на кнопку S6.
4. Осуществите реверс АД путем нажатия кнопки S7. Зафиксируйте предельное значение тока статора и установившиеся частоты вращения до реверса и после.
5. Опишите порядок работы схемы рис. 2.2.

Контрольные вопросы

1. Как устроено тепловое реле и для чего оно применяется?
2. Для чего в схеме применяются плавкие предохранители FU1?
3. С какой целью в схемах рис. 2.5, б и рис. 2.2 последовательно с катушкой КМ1 включен размыкающий блок-контакт КМ2, а с катушкой КМ2 – блок-контакт КМ1?
4. Перечислите основные элементы схемы пуска, реверса и защиты АД.
5. Каким образом осуществляется нулевая защита в схеме управления АД?
6. Почему одновременное нажатие на кнопки S6 и S7 не приведет к аварийной ситуации в схеме управления АД?
7. Поясните принцип действия реверсивной схемы управления АД.

Содержание отчета

Отчет по выполнению работы должен содержать следующие сведения:

1. Номер и наименование лабораторной работы.

2. Состав студентов-исполнителей работы.
3. Цель работы.
4. Постановку задачи.
5. Экспериментально исследуемую электрическую схему (рис. 2.2).

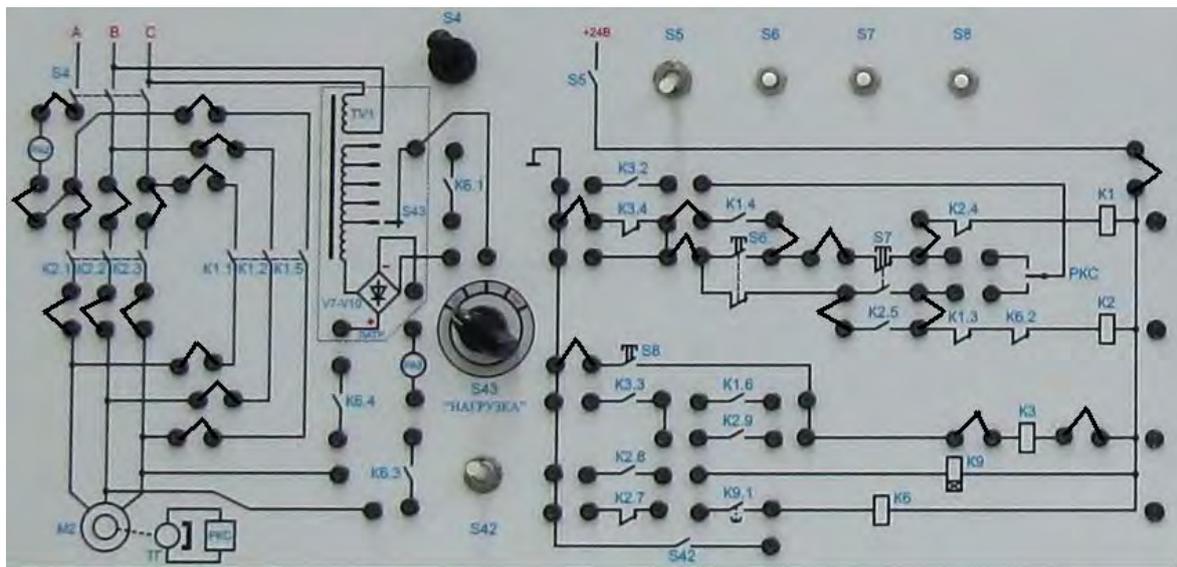


Рис. 2.2. Исследуемая электрическая схема

Приложение 2 (к модулю М2)

Теоретические сведения к лабораторным работам

№ 2 – «Экспериментальное исследование схемы неперевсивного управления асинхронным трехфазным электродвигателем с короткозамкнутым ротором» и

№ 3 – «Экспериментальное исследование схемы неперевсивного управления асинхронным трехфазным электродвигателем с короткозамкнутым ротором»

Контактная аппаратура ручного и дистанционного управления

К контактной аппаратуре *ручного* и дистанционного управления относятся следующие электрические аппараты: рубильники, выключатели, путевые переключатели, кнопки, реле, контакторы, магнитные пускатели и др.. Основными элементами этих аппаратов являются **контакты**, для изготовления которых применяют медь, бронзу, латунь, в особо ответственных случаях – серебро. Все большее применение находят контакты из металлокерамики, обладающие повышенной надежностью, долговечностью, износостойкостью.

При размыкании контактов под нагрузкой вследствие действия ЭДС самоиндукции и ионизации воздушного промежутка между ними возможно возникновение электрической дуги, которая вызывает оплавление или подгорание контактов. Для защиты их от действия дуги и сокращения времени ее действия приме-

няют различные *дугогасительные* приспособления и устройства: **роговые разрядники** (электрическая дуга под действием потока горячего воздуха, перемещающегося вверх, поднимается по расходящимся рогам, удлиняется, обрывается и гаснет), **асбоцементные камеры** с деионной решеткой из стальных пластин (электрическая дуга индуцирует в пластинах вихревые токи, а их магнитный поток смещает дугу в сторону пластин, затягивает внутрь решетки, рассекает их на мелкие части; от соприкосновения дуги со стенками дугогасительной камеры дуга охлаждается и быстро гаснет); **дугогасительные катушки**, включаемые последовательно в цепь главных контактов (дуга под действием магнитного поля катушки растягивается на расходящихся рогах контактов, соприкасается со стенками дугогасительной камеры, охлаждается и гаснет).

Широко используется также гашение дуги в *минеральном масле* (в аппаратах свыше 1000 В). Например, контакты масляного выключателя погружают в стальной бак, наполненный маслом. При размыкании контактов дуга интенсивно охлаждается маслом и гаснет.

Так как электрические контакты требуют ухода и снижают надежность работы установки, то в настоящее время широко внедряют бесконтактную аппаратуру, выполняемую на полупроводниковых элементах.

Рубильники применяют в качестве *вводных выключателей*, предназначенных для снятия напряжения со схемы электроустановки и создания видимого разрыва электрической цепи при ремонтах, осмотрах и длительных остановках (в перерывах между сменами и т.п.). Такие рубильники называют **вводными**. Вводной рубильник в нормальных условиях не разрывает рабочего тока электродвигателя: это выполняют обычно другие аппараты. Чтобы ножи отключенного рубильника не находились под напряжением и не представляли опасности при случайном к ним прикосновении, провода от сети присоединяют к контактным стойкам (губкам) рубильника, прикосновение к которым менее вероятно.

В станкостроении иногда находят применение трехполюсные рубильники с боковой рукояткой, которые встраивают в шкафы с электроаппаратурой так, чтобы рукоятка находилась снаружи. В цепях постоянного тока применяют двухполюсные рубильники. В станкостроении рубильники заменяются более удобными и более компактными другими аппаратами – пакетными или автоматическими выключателями.

Пакетные выключатели (*переключатели*) являются более компактными по сравнению с рубильниками. Пакетный выключатель содержит несколько примыкающих друг к другу однополюсных выключателей, управляемых поворотом общей оси. Однополюсные выключатели можно установить так, чтобы при повороте оси одни цепи замыкались, а другие размыкались. Пакетный выключатель снабжается механизмом, обеспечивающим фиксацию и быстрое переключение контактов, которое не зависит от скорости поворота рукоятки выключателя. В станкостроении применяют пакетные выключатели на 4...60 А. В электрических схемах станков пакетные выключатели используют в качестве вводных выключателей (вместо рубильников) и переключателей цепей управления и сигнализации.

Путевые переключатели и конечные выключатели располагают по пути следования механизма и в крайних (предельных) положениях. Контакты этих аппаратов переключаются с помощью специального рычага движущимися элементами механизма.

В цепях электрического освещения станков и других потребителей малой мощности применяются малогабаритные одно- или двухполюсные переключатели – **тумблеры**. Специальный механизм (с помощью пружины) быстро переключает контакты независимо от скорости поворота рычажка переключателя. Этим обеспечивается мгновенный разрыв электрической дуги между контактами.

В схемах электропривода широко используются пускорегулирующие реостаты, добавочные резисторы, RC цепочки и т.п. Резисторы и реостаты характеризуются величиной сопротивления (Ом) и рассеиваемой мощностью (Вт). Для их изготовления используют сплавы, обладающие высоким удельным электрическим сопротивлением, – фехраль, константан и др.

Для *дистанционного* управления электродвигателями применяется релейно-контакторная аппаратура. Основными ее элементами являются контакторы, магнитные пускатели и электромагнитные реле.

Контактор представляет собой электрический аппарат дистанционного действия, предназначенный для оперативных переключений силовых цепей (двигателей, электротехнических установок и др.).

Контакторы различаются по следующим показателям:

- *роду тока*: постоянный и переменный;
- *числу главных полюсов*: одно-, двух-, трех- и пятиполюсные;
- *номинальному току*: от 4 до 2500 А;
- *номинальному напряжению главной цепи*: 220, 440, 600 В постоянного тока и на 380, 660 В переменного тока;
- *номинальному напряжению катушек*: 24...220 В постоянного тока и 24...660 В переменного напряжения;
- *конструкции электромагнита*: с прямоходным якорем и с якорем клапанного типа;
- *способу гашения дуги*: с дугогасительной катушкой, с дугогасительной камерой.

Основными элементами контактора (рис. 2.3) являются: *втягивающий электромагнит* (катушка 1, железный сердечник 2, подвижный якорь 3), *главные контакты* 4, *блок-контакты* 7, 8, *возвратная пружина* 5. При нажатии на пусковую кнопку SB1 включается катушка 1, которая притягивает якорь 3. При этом переключаются контакты: главные контакты 4 замыкаются, присоединяя двигатель М к сети; блок-контакты 8 (замыкающие) замыкаются, а блок-контакты 7 (размыкающие) размыкаются. Для останова двигателя нажимают кнопку SB2. Катушка контактора обесточивается, якорь под действием пружины 5 и собственного веса отпадает, главные контакты 4 размыкаются, двигатель отключается от сети.

Более надежно работают контакторы с катушками постоянного тока, у которых отсутствуют гудение, вибрация, а пусковые броски тока минимальны. Поэтому в электроприводе ответственных механизмов (например, в металлургии и др.) используют в основном контакторы с катушками постоянного тока, получающими питание от специального выпрямителя небольшой мощности. Время включения контакторов 0,05...0,5 с, а время отключения 0,03...0,05 с.

Магнитные пускатели применяют для дистанционного и автоматического управления (пуск, останов, реверс) трехфазными асинхронными двигателями. Их основные элементы – контактор и тепловые реле. Реверсивные магнитные пускатели имеют два контактора в одном корпусе и два тепловых реле (для защиты двигателя от перегрузок по току).

Реле осуществляют скачкообразное переключение цепей управления под воздействием различных сигналов (электрических, механических, тепловых и др.). По принципу действия реле делятся на электромагнитные, индукционные, электронные, тепловые и др. Реле могут быть контактными, бесконтактными и реагировать на изменение различных величин (электрических и неэлектрических). В соответствии с этим различают реле тока, напряжения, скорости, времени, температуры, давления и др. Значение параметра (тока, времени и т.п.), при котором реле срабатывает, называется *уставкой реле*. Одной из основных характеристик реле является *коэффициент возврата K_v* , равный отношению значений входной величины при отпуске якоря и срабатывании реле ($K_v = 0,4...0,95$).

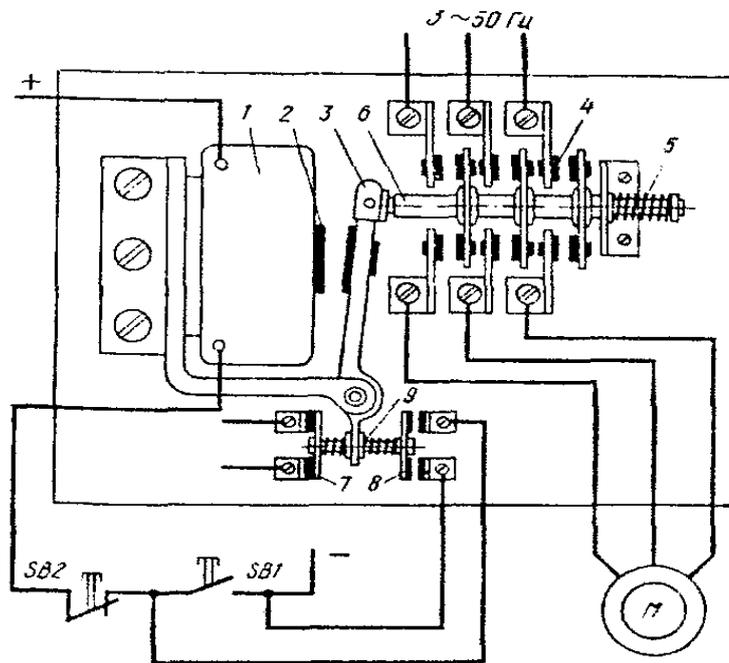


Рис. 2.3. Схема контактора

Наибольшее применение в схемах релейно-контакторного управления находят *электромагнитные реле напряжения и тока*. Основными элементами таких реле являются катушка постоянного или переменного тока, железный сердечник, якорь и контактная система. При увеличении входной величины (например, то-

ка) до величины уставки реле оно срабатывает (включается) и переключает контакты. При уменьшении тока катушки до величины тока отпускания якоря реле отключается и его контакты под воздействием возвратной пружины вновь переключаются в исходное положение.

Многоконтактные электромагнитные реле, используемые для размножения поступающих на их входы сигналов, а иногда – для их усиления, называются **промежуточными реле**. Серийно выпускаемые универсальные промежуточные реле имеют до десяти пар контактов, на номинальный ток 0,4...10 А. Катушки их рассчитаны на номинальные напряжения 24...660 В.

В электроприводе используются и **реле времени** для отсчета требуемых временных задержек (выдержек). Наибольшее применение находят электромагнитные реле времени постоянного тока. Выдержка времени обеспечивается благодаря замедлению отпадания якоря реле после отключения его катушки. Для замедления отпадания якоря на магнитопровод насаживается массивная металлическая гильза. После отключения катушки реле действующий в сердечнике магнитный поток спадает и наводит в гильзе ЭДС. Появляется ток в гильзе, который создает дополнительный магнитный поток в сердечнике, препятствующий исчезновению основного магнитного потока, т.е. результирующий магнитный поток в сердечнике спадает более замедленно, а выдержка времени при наличии гильзы увеличивается.

Для грубого регулирования выдержки времени между якорем и сердечником крепят тонкую (0,1...0,5 мм) немагнитную прокладку, с помощью которой изменяется индуктивность магнитной цепи реле, а следовательно, и выдержка времени (она уменьшается). Более тонкое регулирование выдержки времени осуществляется винтом, действующим на натяжение пружины (при уменьшении натяжения пружины выдержка времени увеличивается).

АППАРАТУРА ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Простейшими аппаратами, обеспечивающими защиту электродвигателей и цепей управления ими от чрезмерно больших токов (при коротких замыканиях), являются **плавкие предохранители**. Отключение участка короткого замыкания этими аппаратами происходит путем перегорания специально рассчитанной плавкой вставки предохранителя, представляющей собой калиброванную проволоку или металлическую (цинковую) пластинку.

В машиностроении применяют резьбовые и трубчатые предохранители. Последние имеют цинковую плавкую вставку, помещенную внутри фибрового патрона, закрытого с обоих концов металлическими обоймами. При перегорании плавкой вставки дуга не выходит за пределы патрона, а давление газов, образующихся при этом, способствует быстрому гашению дуги. Трубчатые предохранители изготавливают на 15, 60, 100, 200, 450, 600, 1000 А при напряжении 500 В.

Для электродвигателей постоянного тока и асинхронных с фазным ротором, пускаемых посредством реостата, плавкую вставку выбирают по номинальному току электродвигателя. Для короткозамкнутых асинхронных двигателей плавкую вставку выбирают на силу тока, в 2–2,5 раза меньшую пускового. Пуск электродвигателей происходит кратковременно, поэтому плавкая вставка при пуске не успевает перегореть. Однако предохранитель с плавкой вставкой, выбранной та-

ким образом, не защищает электродвигатель при длительных перегрузках (сравнительно небольших по величине). Для защиты электродвигателя от недопустимого перегрева при длительных небольших перегрузках применяют **тепловые реле** (рис. 2.4). Ток защищаемого электродвигателя проходит через нагревательный элемент 1. Вблизи него расположена пластинка, состоящая из двух наложенных одна на другую и сваренных между собой полос 2 и 3 из металлов с различными коэффициентами теплового расширения. При нагревании пластинка изгибается вправо, воздействует на рычаг 4, который под действием пружины 5 повернется против часовой стрелки и разомкнет контакт 6. Этот контакт, включенный в цепь управления электродвигателя, отключит электродвигатель от сети. После остывания биметаллической пластинки нажатием кнопки возврата 7 рычаг 4 возвращается в исходное состояние и контакт 6 замыкается.

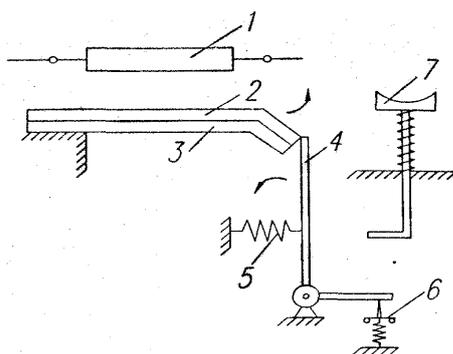


Рис. 2.4. Схема теплового реле

Правильно выбранное и отрегулированное тепловое реле срабатывает при перегрузках электродвигателя по току на 20 % за время 20 мин и не срабатывает при пуске двигателя или значительных, но кратковременных перегрузках.

При больших токах тепловое реле отключает электродвигатель значительно позже, чем плавкий предохранитель. Поэтому для надежной защиты электродвигателя в схему вводят тепловые реле и плавкие предохранители.

Для защиты электродвигателя от перегрузки обычно применяют *два* тепловых реле. При установке *одного* реле двигатель оказался бы незащищенным от двухфазной работы (при перегорании предохранителя, включенного последовательно с нагревательным элементом теплового реле, двигатель продолжал бы работать от двух фаз с резко возросшим током). Размыкающие контакты обоих тепловых реле включают последовательно с катушкой контактора, поэтому срабатывание любого реле вызывает отключение электродвигателя.

Тепловые реле изготавливают в виде отдельных аппаратов или пристроенными к контакторам магнитных пускателей, причем у многих тепловых реле два нагревательных элемента через биметаллические пластинки и рычажную систему воздействуют на один и тот же контакт.

ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Наиболее часто используются *принципиальные* электрические схемы, на которых в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах

ЕСКД, изображают все электрические аппараты и устройства со всеми электрическими связями между ними, а также электрические элементы (разъемы, зажимы и т.д.).

Основные правила выполнения схем:

– схемы выполняются без масштабов; графические элементы аппаратов располагают на схеме там, где это наглядно для понимания работы схемы (используется принцип наибольшей наглядности). Если различные элементы одного аппарата на чертеже оказываются в разных частях схемы, они снабжаются *одинаковыми* буквенными или буквенно-цифровыми обозначениями;

– схемы изображают в *отключенном положении аппаратов*, когда катушки не обтекаются током, а кнопки и пружины отпущены. В соответствии с этим все контакты в схеме делятся на *замыкающие* (при обесточенной катушке разомкнуты) и *размыкающие* (при обесточенной катушке замкнуты). Силовые цепи на схеме вычерчивают жирными линиями, а цепи управления – более тонкими;

– каждому устройству и элементу на схемах присваивается *буквенно-цифровое обозначение*, составленное из буквенного обозначения и порядкового номера, проставленного после буквенного обозначения, одинаковой с ним высоты.

Приведем рекомендуемые одно- и двухбуквенные обозначения (первая буква означает тип элемента, вторая – его функциональное назначение):

А – усилители; В – преобразователи неэлектрических величин в электрические (датчики; например, ВR – тахогенератор); С – конденсаторы; D – интегральные схемы; F – разрядники, предохранители, защитные устройства (FA – дискретные элементы защиты по току; FU – плавкие предохранители); G – генераторы, источники питания; K – реле, контакторы, пускатели (KA – токовое реле, KK – электротепловое реле, KT – реле времени, KU – реле напряжения, KM – контактор, магнитный пускатель); M – двигатель; Q – выключатель в силовых цепях (QF – автоматический выключатель, QS – рубильник); S – коммутационные устройства для слаботочных цепей (SA – выключатель или переключатель, SB – выключатель кнопочный, SQ – выключатель путевой, SM – командоконтроллер); T – трансформаторы (TA – трансформатор тока, TU – трансформатор напряжения); U – преобразователи одних электрических величин в другие электрические величины (UZ – преобразователь частоты, выпрямитель, инвертор); V – приборы полупроводниковые (VD – диод, VT – транзистор, VS – тиристор); Y – устройства механические (YA – электромагнит, YB – тормоз, YC – электромагнитная муфта).

Но часто обозначение элементов электрических аппаратов составляют также и из начальных букв названия и назначения аппарата, например: PT – реле тепловое, PP – реле промежуточное, П или КнП – кнопка «Пуск», С или КнС – кнопка «Стоп».

На рис. 2.5, а приведена простейшая схема управления (*неревверсивная*) пуском асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Для пуска включают рубильник QS и нажимают на кнопку SB1. Контактор KM1 при этом включается (так как через размыкающий контакт кнопки SB2 и кнопку SB1 образуется замкнутая цепь для катушки контактора KM1) и своими главными контактами (с дугогашением) KM1 подключает статор двигателя к сети. Замыкающий блок-контакт контактора KM1 шунтирует кнопку SB1 (это позволяет отпустить кнопку SB1, не отключая катушки контактора KM1). Блок-контакт KM1 называют контактом

самопитания или контактом самоблокировки. Отключение электродвигателя от сети осуществляется нажатием кнопки SB2 (по катушке KM1 протекание тока прерывается, контактор отключится, разомкнув три силовых контакта KM1 в цепи двигателя M), после чего схема приходит в исходное состояние.

Данная схема обеспечивает так называемую *нулевую защиту* – защиту от самопроизвольного повторного включения асинхронного двигателя при восстановлении напряжения сети после аварийного понижения его до нуля или до недопустимо низких значений. При перебое в электроснабжении контактор KM1 отпадает, размыкая все свои контакты, включая и блок-контакты, а при появлении напряжения в сети контактор KM1 не включится сам, пока не будет нажата кнопка SB1. То же самое будет происходить, если напряжение сети уменьшится до 50...60 % номинального при переменном токе и до 15...20 % при постоянном токе. Если электродвигатель включают рубильником, пакетным выключателем и контроллером, то при перебое в электроснабжении и остановке механизма схема электропривода не нарушается, а восстановление напряжения в сети вызывает самопроизвольное включение двигателя. Такой внезапный пуск двигателя и механизма может стать причиной аварии или несчастного случая.

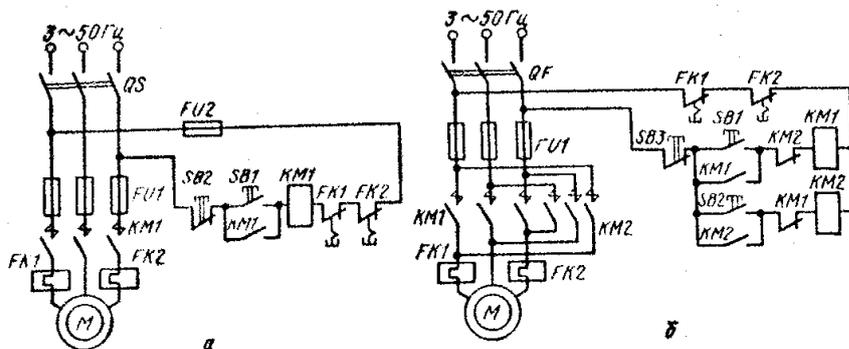


Рис. 2.5. Схемы пуска асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

Замена кнопки SB1 аппаратом ручного управления без самовозврата, например тумблером, также приводит к тому, что схема теряет свойство нулевой защиты.

На рис. 2.5, б показана схема управления пуском асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с *реверсивным* магнитным пускателем. Для подачи командных импульсов имеются три кнопки SB1, SB2, SB3. При нажатии кнопки SB1 включается контактор KM1, который своими силовыми контактами KM1 подключает статор двигателя к сети. Одновременно он своим замыкающим блок-контактом шунтирует кнопку SB1, а размыкающим блок-контактом разрывает цепь катушки контактора KM2, чтобы исключить возможность короткого замыкания в силовой цепи двигателя через главные контакты контакторов KM1 и KM2 при одновременном нажатии обеих кнопок (SB1 и SB2). При нажатии кнопки SB2 включается контактор KM2. Две фазы статора при этом меняются местами, и двигатель изменит направление вращения. В данной схеме для реверса электродвигателя необходимо предварительно нажать на кнопку SB3 («Стоп»), а затем уже на кнопку SB2.

На рис. 2.5, в показана схема управления пуском асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с *реверсивным* магнитным пускателем, в которой используются сдвоенные кнопки для пуска двигателя вперед и назад, позволяющие осуществлять реверс АД без предварительного нажатия на кнопку «Стоп».

В электроустановках с целью исключения аварий и повышения надежности работы при возможных нарушениях нормального режима могут применяться различные виды защит, блокировки и сигнализация. В релейно-контакторных схемах управления применяются (кроме *нулевой*) также *максимально-токовая*, *тепловая* и другие виды защит. *Нулевая защита* обеспечивает защиту от самозапуска двигателя при кратковременном исчезновении напряжения сети. При управлении от кнопок нулевую защиту осуществляет сам контактор, а при управлении от командоконтроллера – реле защиты по напряжению. *Максимально-токовая* и *тепловая защиты* обеспечивают защиту электрооборудования от коротких замыканий и перегрузок.

В схеме на рис. 2.5, а защита двигателя М осуществляется тепловыми реле FK1, FK2, включенными в две фазы статора, а также плавкими предохранителями FU1. Размыкающие контакты защитных реле FK1, FK2 включены в цепь катушки контактора KM1. Защита схемы управления двигателем осуществляется плавкими предохранителями FU2. При перегрузке или коротком замыкании срабатывает реле защиты FK1 или FK2. Контакт защитного реле размыкается и отключает катушку контактора KM1, который своими главными контактами KM1 отключит двигатель М от сети.

Реверсивные магнитные пускатели, содержащие по два контактора в общем корпусе, обычно снабжаются *механической блокировкой*. В этом случае посредством коромысла или кулачков не допускается включение одного контактора, когда другой уже включен или пока он полностью не отключится.

Блокировки в электрических схемах обеспечивают правильный порядок работы схемы, исключают холостые и аварийные включения аппаратов, предупреждают несчастные случаи, возможные завалы перегрузочных пунктов, поломки машин и др. По назначению блокировки разделяют на технологические и защитные. *Технологические* блокировки используются для осуществления заданной последовательности работы схемы. *Защитные* блокировки предотвращают ошибочные переключения в схеме и защищают электрооборудование, механизмы, а иногда и оператора от последствий неправильных действий. К защитным относятся блокировки реверсивных пускателей, предупреждающие их одновременное включение (см. рис. 2.5, б). Путевые блокировки ограничивают движение механизмов и защищают их от поломки.

Основные способы пуска АД

Пуск асинхронных электродвигателей. Для ограничения бросков тока и повышения пускового момента пуск асинхронных электродвигателей с фазным ротором, особенно средней и большой мощности, осуществляется через специальное пусковое устройство. Простейшее из них – пусковой реостат, секции которого изготовлены из стали, чугуна, хрома, фехраля и других сплавов с повышенным сопротивлением. По мере разгона двигателя реостат выводится ступенями.

В случае если питающая сеть недостаточно мощная, применяется пуск асинхронных двигателей при пониженном напряжении с помощью реактора L или автотрансформатора (рис. 2.6). При реакторном пуске сначала замыкается линейный контактор КМ1, а после разгона двигателя – контактор КМ2, а КМ1 отключается. При автотрансформаторном пуске сначала включаются контакторы КМ1 и КМ3, а после разгона двигателя КМ1 и КМ3 отключаются, а контактор КМ2 включает двигатель на полное напряжение сети.

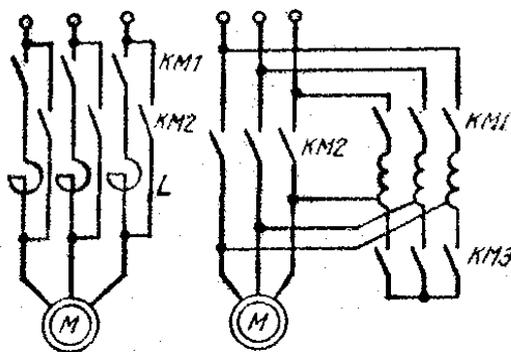
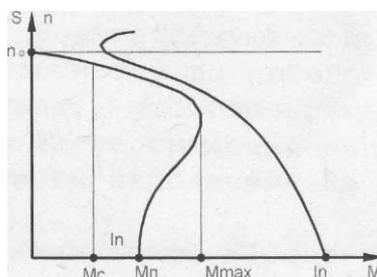
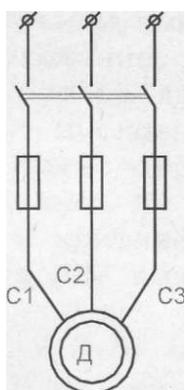


Рис. 2.6. Схемы пуска АД с короткозамкнутым ротором при пониженном напряжении

На рис. 2.7, а изображена схема **прямого пуска** АД (когда его обмотку статора подключают непосредственно к трехфазной сети) с помощью выключателя. После включения выключателя происходит разгон АД. При этом момент M , развиваемый двигателем, и ток I в его обмотке статора изменяются в соответствии с графиками, изображенными на рис. 2.7, б. АД разгоняется до установившейся частоты вращения, при которой момент, развиваемый двигателем, равен моменту сил сопротивления на его валу.

А В С



Р
и
с

а)

б)

Рис. 2.7. Схема прямого пуска АД (а) и графики изменения момента и тока при пуске АД (б)

Такой вид пуска называется *прямым пуском*. К недостаткам прямого пуска относятся:

- а) относительно малый пусковой момент: $M_n = (1,2...1,6) M_n$;
- б) относительно большой пусковой ток: $I_n = (5...8) I_n$.

Из-за первого недостатка иногда приходится выбирать двигатель большей мощности, чем это требуется по условиям работы при установившемся режиме, что экономически нецелесообразно.

Большой ток в периоды пуска АД может вызвать значительное падение напряжения в сети малой мощности, что неблагоприятно скажется на работе осветительных приборов и т.п. В маломощных сетях, сечение проводов которых невелико, а протяженность значительная, для ограничения пускового тока применяют пуск с активными или индуктивными сопротивлениями, включенными в цепь обмотки статора АД с к.з. ротором (рис.2.8,а.), или пуск с переключением обмотки статора со звезды на треугольник(рис.2.8,в.).

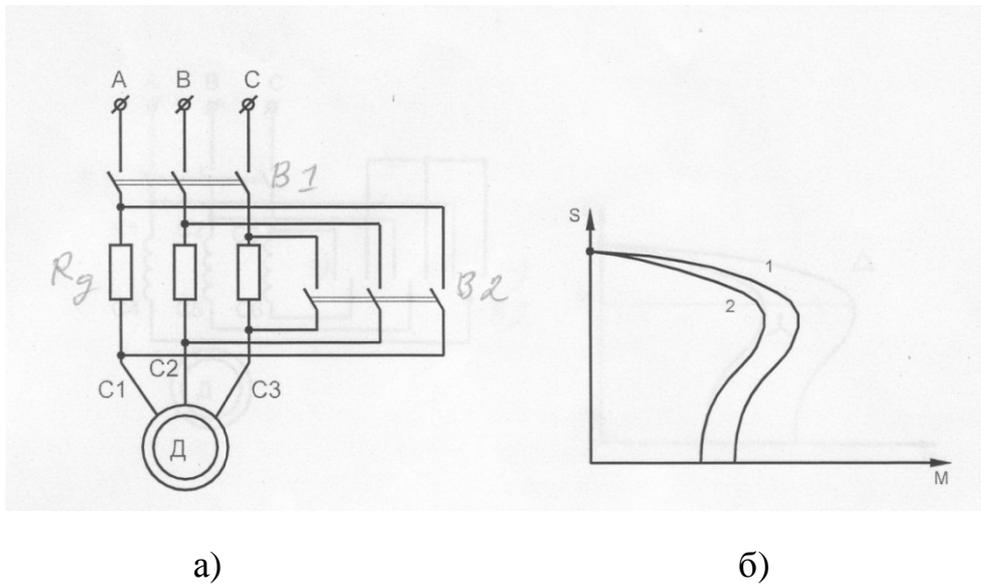


Рис. 2.8. Пуск АД с активным сопротивлением в обмотке статора

Перед пуском выключатель В2 (рис. 2.8,а) устанавливают в выключенное положение, затем включают выключатель В1. После окончания разбега ротора двигателя включают выключатель В2, чем шунтируют добавочные пусковые резисторы. Соответствующим подбором сопротивления Rд можно ограничить пусковой ток до любого необходимого значения. Однако не следует забывать, что одновременно уменьшаются пусковой и критический моменты из-за снижения напряжения на обмотке статора АД, вызванного падением напряжения на сопротивлении Rд.

На рис. 2.8,б. изображены механические характеристики двигателя при $R_d = 0$ (кривая 1) и $R_d \neq 0$ (кривая 2).

Пуск двигателя с переключением со звезды на треугольник возможен, когда обмотка статора может быть соединена звездой и треугольником и напряжение сети соответствует соединению обмотки статора треугольником. Установив предварительно выключатель В2 (рис. 2.9,а.) в положение а), что соответствует соединению обмотки статора звездой, выключателем В1 включают двигатель в сеть. После окончания пуска выключатель В2 перекидывают в положение б), благодаря чему обмотка статора оказывается соединенной треугольником. Напряжение на фазе обмотки статора во время пуска будет меньше номинального в $\sqrt{3}$ раза. Вследствие этого ток фазы уменьшится в той же степени, а поскольку линейный ток больше фазного в $\sqrt{3}$ раз, пусковой линейный ток при таком способе пуска будет меньше по сравнению с прямым пуском в 3 раза. Одновременно в 3 раза уменьшатся пусковой и максимальный моменты, так как они пропорциональны квадрату фазного напряжения.

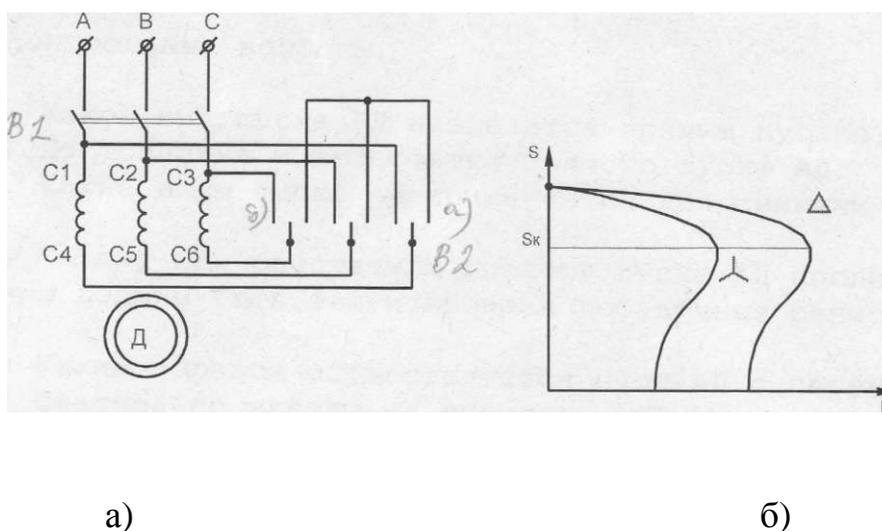


Рис. 2.9. Пуск АД с переключением со звезды на треугольник

Значение критического скольжения не изменится, так как оно не зависит от напряжения. На рис. 2.9,б изображены механические характеристики двигателя, соответствующие схеме соединения треугольником и пусковой схеме звездой.

Модуль М3 – «Способы торможения и схемы автоматического управления торможением АД с короткозамкнутым ротором»

Лабораторная работа №4

Экспериментальное исследование схемы автоматического управления торможением по принципу противовключения АД с короткозамкнутым ротором

Цель работы: Изучение способов торможения и схемы автоматического управления торможением АД по способу противовключения.

Постановка задачи

В соответствии с поставленной целью лабораторной работы необходимо: 1) по Приложению 3 изучить основные способы торможения АД с короткозамкнутым ротором и 2) экспериментально исследовать в работе схему автоматического управления торможением двигателя по способу противовключения на универсальном лабораторном стенде.

Содержание лабораторной работы (или план работы)

1. Изучите теоретический материал (см. Приложение 3).
2. Соберите на лабораторном стенде схему автоматического управления торможения АД по способу противовключения согласно рис. 3.1. После включения тумблеров S4 и S5 возможен пуск АД кнопкой S7 «Вперед» и кнопкой S6 «Назад», соответственно работают магнитные пускатели K2 и K1. Для торможения АД следует нажать кнопку S8.
3. Зафиксируйте бросок тока в фазе АД в момент пуска по прибору A2.
4. Запишите показания измерительных приборов V2, A2 и измерителя частоты вращения в установившемся режиме работы.
5. Кнопкой S7 запустите АД, кнопкой S8 осуществите режим торможения противовключением. Зафиксируйте бросок тока в фазе статора АД по прибору A2 и время торможения с помощью секундомера. Сравните это время с временем свободного выбега в лабораторной работе № 2.

Контрольные вопросы

1. Какие виды торможения применяются для останова АД?
2. В чем суть торможения АД противовключением?
3. Для чего применяется в схеме торможения АД противовключением реле контроля скорости (РКС) ?
4. Расскажите принцип действия схемы торможения АД противовключением.
5. В чем достоинства и недостатки данного способа торможения?

Содержание отчета

Отчет по выполнению работы должен содержать следующие сведения:

1. Номер и наименование лабораторной работы.
2. Состав студентов-исполнителей работы.
3. Цель работы.
4. Постановку задачи.
5. Экспериментально исследуемую электрическую схему (рис. 3.1).

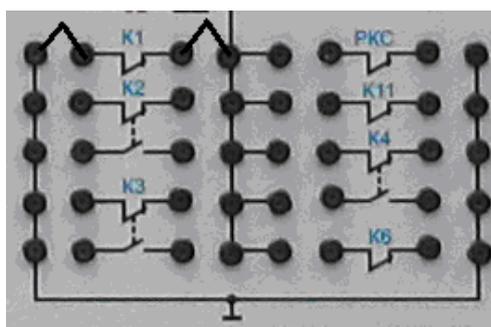
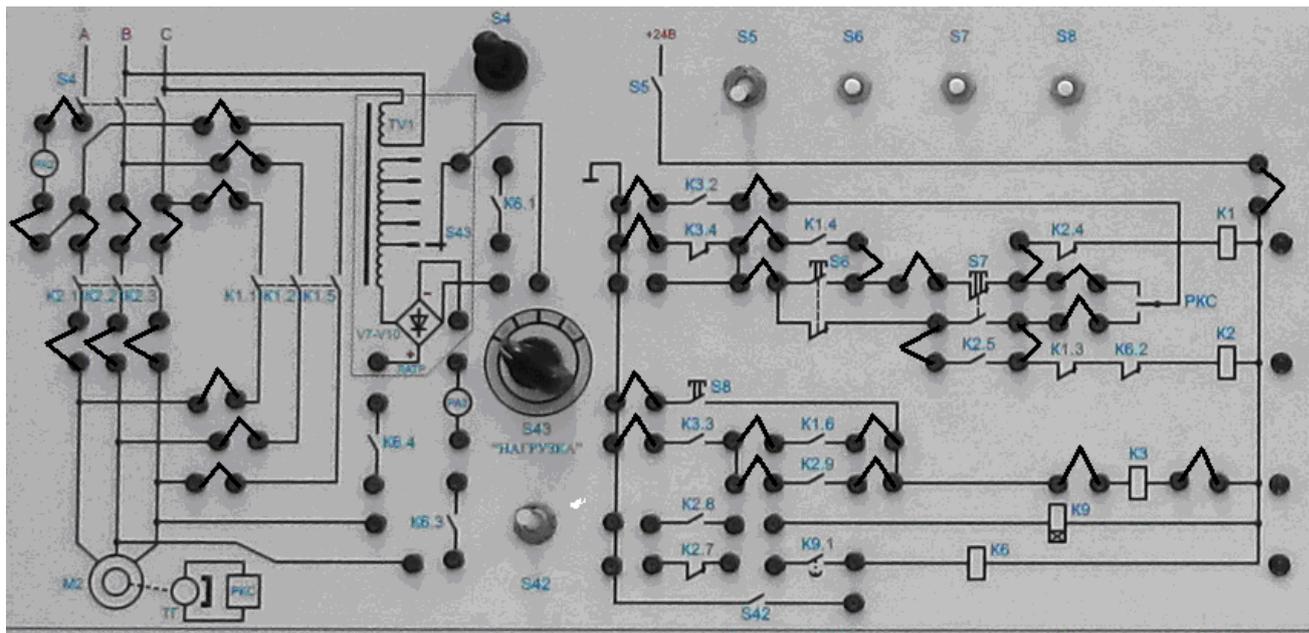


Рис. 3.1. Экспериментально исследуемая электрическая схема

Лабораторная работа №5

Экспериментальное исследование схемы автоматического управления динамическим торможением АД с короткозамкнутым ротором

Цель работы: изучить принцип работы схемы автоматического управления динамическим торможением АД и экспериментально исследовать ее.

Постановка задачи

В соответствии с поставленной целью лабораторной работы необходимо:

- 1) по Приложению 3 изучить принцип динамическим торможением АД с короткозамкнутым ротором;
- 2) экспериментально исследовать в работе схему автоматического управления АД с короткозамкнутым ротором с использованием динамического торможения им на универсальном лабораторном стенде.

Содержание лабораторной работы (план работы)

1. Изучите теоретический материал (см. Приложение 3).
2. Соберите схему рис. 3.2. Установите переключатель S13 в крайнее левое положение. Нажмите кнопку S7, а затем кнопку S6. Сопротивлением RP9 подберите время срабатывания реле времени K9, равному расчетному. После этого переключателем S13 установите постоянный ток $2I_0$.
3. Соберите схему рис. 3.3. Кнопкой S7 запустите АД, кнопкой S6 остановите двигатель. Зафиксируйте время торможения. Сравните результаты с лабораторными работами №3 и №4.

Контрольные вопросы

1. В чем суть динамического торможения АД?
2. Каким образом получают постоянный ток для динамического торможения АД?
3. Расскажите принцип действия схемы динамического торможения АД.

Содержание отчета

Отчет по выполнению работы должен содержать следующие сведения:

1. Номер и наименование лабораторной работы.
2. Состав студентов-исполнителей работы.
3. Цель работы.
4. Постановку задачи.
5. Экспериментально исследуемую электрическую схему.

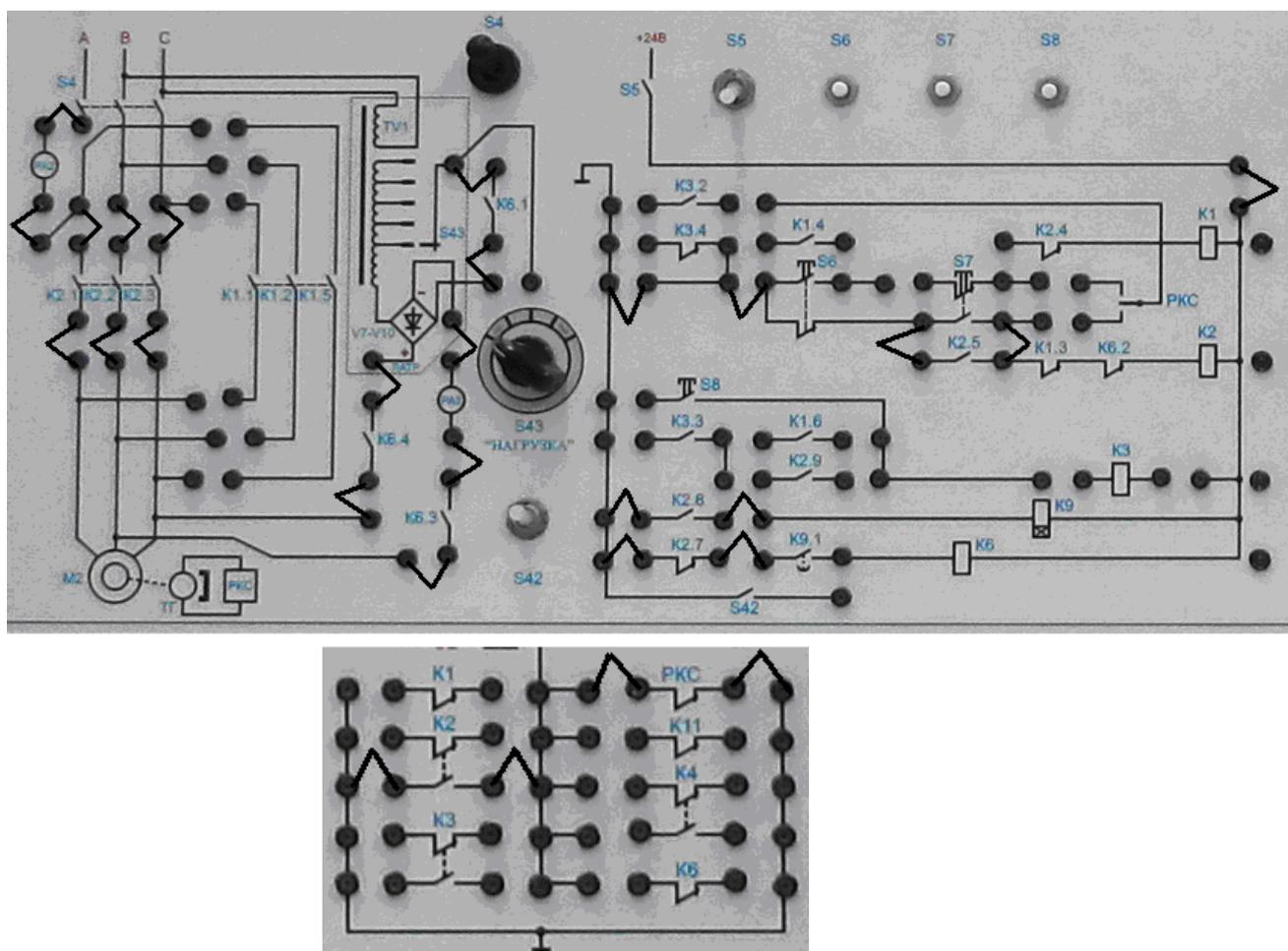


Рис. 3.2. Экспериментально исследуемая электрическая схема

Приложение 3 (к модулю М3)

Теоретические сведения к лабораторным работам

№ 4 – «Экспериментальное исследование схемы автоматического управления торможением по принципу противовключения АД с короткозамкнутым ротором» и

№ 5 – «Экспериментальное исследование схемы автоматического управления динамическим торможением АД с короткозамкнутым ротором»

Принципы автоматического управления пуском и торможением двигателей. При автоматическом пуске (или торможении) с помощью релейно-контакторных или бесконтактных аппаратов осуществляются определенные переключения как в силовой цепи, так и в цепи управления. Для асинхронных двигателей с фазным ротором и ДПТ в цепи роторов и якорей двигателей включаются пусковые резисторы, которые при разгоне двигателей по ступеням выключаются. Когда пуск закончится, пусковые резисторы полностью шунтируются. Процесс торможения двигателей также может быть автоматизирован. После команды на торможение с помощью релейно-контакторной аппаратуры осуществляются необходимые пере-

ключения в силовых цепях. При подходе к скорости, близкой к нулю, двигатель отключается от сети.

Управление пуском двигателя осуществляется в функции ЭДС (или скорости), тока, времени и пути.

Асинхронный двигатель может работать во всех трёх известных тормозных режимах. При этом во всех режимах АД развивает момент, действующий в сторону, противоположную направлению вращения ротора, и поэтому он называется **тормозным моментом**.

Рекуперативное торможение с отдачей энергии в сеть возможно при угловой скорости выше синхронной ($\omega > \omega_0$), например при спуске груза. При этом скольжение будет отрицательным $s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0 < 0$. Активная мощность при этом изменит знак, т.е. электрическая машина будет работать генератором, преобразуя кинетическую энергию опускающегося груза в электрическую и отдавая её в сеть. Механические характеристики являются продолжением характеристик двигательного режима и располагаются во II и IV квадратах (рис. 3.3, линии с двумя засечками).

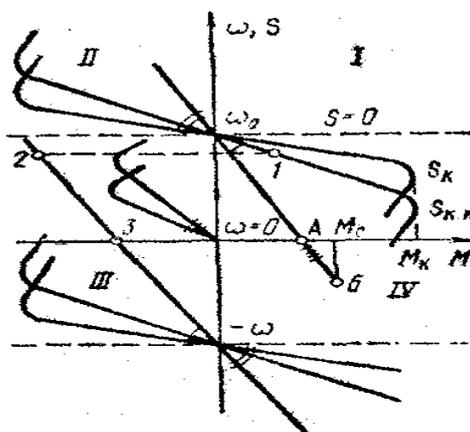


Рис. 3.3. Совмещенные механические характеристика АД

В режиме **торможения противовключением** ротор вращается в сторону, противоположную направлению вращения магнитного поля статора, скольжение становится больше единицы $S = [\omega_0 - (-\omega)] / \omega_0 = 1 + \omega / \omega_0$ и ток ротора превышает ток короткого замыкания. Поэтому для ограничения тока в цепь ротора вводят ступень реостата. Механические характеристики в этом режиме торможения являются продолжением характеристик двигательного режима (при $s > 1$ или $\omega < 0$) и располагаются во II и IV квадратах (рис. 3.3, линии с четырьмя засечками). Таким образом, ротор двигателя, включённого на подъём, вращается в противоположную сторону, так как в цепь ротора введено большое сопротивление и момент электродвигателя достигает момента сопротивления лишь при отрицательном скольжении (на рис. 3.3 точка Б). Такой режим часто используется в металлургических кранах при спуске грузов в тормозном режиме.

Торможение **противовключением** может осуществляться реверсом магнитного поля статора (путём перемены местами двух фаз статора). Одновременно в цепь ротора вводится ступень реостата, ограничивающая ток и увеличивающая тормозной момент. На рис. 3.3 показан график перехода асинхронного двигателя с фазным ро-

тором в режим торможения *противовключением*. В точке 1 двигательного режима осуществляется реверс и двигатель переходит на работу в точку 2, по линии 2-3 осуществляется интенсивное торможение *противовключением*. В точке 3 двигатель останавливается и его необходимо отключить от сети, иначе он начнёт вращаться в противоположном направлении.

Простейшим командным аппаратом в системах автоматического управления в функции скорости является *индукционное реле контроля скорости* (рис. 3.4). Валик 1 реле связывают с валом электродвигателя, скорость которого необходимо контролировать. На этом валике закреплён цилиндрический постоянный магнит 2. На том же валике 1 на отдельных подшипниках установлено кольцо 3 из листовой стали. На внутренней поверхности кольца уложена обмотка 4, аналогичная обмотке ротора короткозамкнутого асинхронного двигателя.

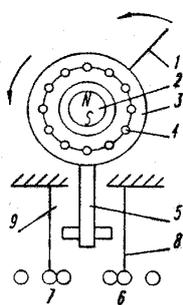


Рис. 3.4. Конструктивная схема реле контроля скорости (РКС) *противовключением*

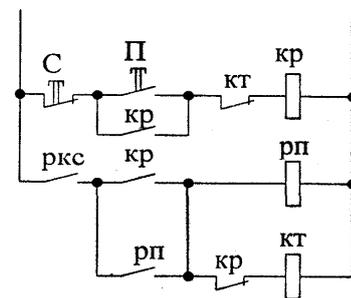
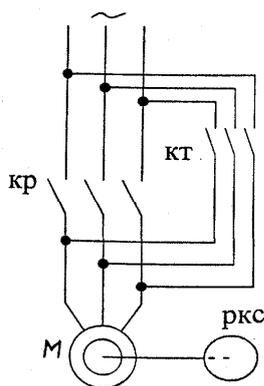


Рис. 3.5. Схема торможения АД *противовключением*

При вращении магнита 2 в стержнях обмотки 4 наводятся ЭДС и появляется ток, в результате чего кольцо 3 поворачивается в сторону вращения магнита так же, как ротор асинхронного двигателя начинает вращаться вслед за полем. При повороте кольца 3 толкатель 5 в зависимости от направления вращения вала электродвигателя воздействует на контактную систему 6 или 7. Во время остановки и приближения его частоты вращения к нулю толкатель 5 перестаёт нажимать на контактные пружины 8 и 9, и контактная система приходит в нормальное положение.

Наиболее широкое применение в машиностроении реле контроля скорости получило в схемах торможения *противовключением* асинхронных двигателей. Одна из таких схем представлена на рис. 3.5. При нажатии на кнопку П срабатывает рабочий контактор КР, который своими главными контактами включает электродвигатель. При этом открывается размыкающий блок-контакт КР, и закрывается замыкающий блок-контакт в цепи катушки промежуточного реле РП. Когда электродвигатель разгонится до некоторой небольшой частоты вращения, замыкающий контакт реле контроля скорости РКС закрывается и включает реле РП. Это реле замыкает контакт, включенный параллельно замыкающему блок-контакту КР. Через катушку КТ ток при этом не протекает, так как цепь её разорвана замыкающим контактом КР. В таком состоянии схема находится во время работы станка.

Когда нажимают кнопку С, контактор КР отпадает и своими главными контактами отключает двигатель от сети. Размыкающий блок-контакт КР при этом закрывается, через замкнутые контуры РКС и РП включается тормозной контактор ТК.

Его главные контакты включают электродвигатель на реверс, магнитное поле начинает вращаться в обратную сторону и происходит торможение электродвигателя противовключением. При снижении частоты вращения до определённой малой величины контакт *PKC* размыкается, реле *PP* и контактор *KT* отпадают и электродвигатель отключается от сети. Если вал неподвижного электродвигателя повернуть от руки (например, дёрнув за ремень), то замыкающий контакт *PKC* включится. Однако двигатель при этом вращаться не начнёт, так как замыкающие контакты *PP* и *KP* открыты. Наличие промежуточного реле *PP* предотвращает возможность такого аварийного пуска двигателя.

В режиме **динамического торможения** двигатель отключают от сети переменного тока и две фазы обмотки статора подключают к источнику постоянного тока (постоянный ток получают с помощью полупроводникового выпрямителя). В результате в статоре создаётся неподвижное в пространстве магнитное поле, которое индуктирует в обмотках вращающегося ротора ток. Взаимодействие этого тока с неподвижным полем статора создаёт тормозной момент. На рис. 3.4 показаны механические характеристики в этом режиме при различных значениях сопротивления цепи ротора (линии с тремя засечками).

Динамическое торможение АД отличается простотой, плавностью и надёжностью. Его используют в приводах подъемников, многих металлорежущих станков и др.

Модуль М4 – «Способы пуска и схемы автоматического управления пуском ДПТ»

Лабораторная работа № 6

Экспериментальное исследование схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции времени

Цель работы: Изучение способов пуска ДПТ (двигателя постоянного тока с независимым возбуждением) и исследование в работе схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции времени.

Постановка задачи

В соответствии с поставленной целью лабораторной работы необходимо: 1) по Приложению 4 изучить основные способы пуска ДПТ и 2) экспериментально исследовать в работе схему автоматического управления пуском ДПТ в функции времени.

Содержание лабораторной работы (план работы)

1. Изучите теоретический материал (см. Приложение 4).
2. Соберите на лабораторном стенде схему рис. 4.1 и опытным путем подберите заданные выдержки времени реле К7, К8 с помощью секундомера и соответствующих регуляторов на лицевой панели стенда. При нажатии кнопки S 11 срабатывает пускатель К2 и его размыкающий контакт запускает секундомер (для настройки К7 собрана вспомогательная схема "первая ступень" рис. 4.1). Через время выдержки реле К7 оно сработает и своим контактом включит реле К3, которое остановит секундомер замыкающим контактом. При настройке реле К8 собирают вспомогательную схему "вторая ступень" рис. 4.1.
3. Соберите схему пуска ДПТ в функции времени согласно рис. 4.2. Кнопкой S11 осуществите пуск двигателя и с помощью приборов рА1, р ω зафиксируйте броски тока и соответствующие им частоты вращения в моменты срабатывания пусковых ступеней. Постройте зависимости $I = f(t)$ и $n = f(t)$. Если в процессе пуска токи переключения на разных ступенях резко отличаются, то подберите опытным путем сопротивления ступеней и выдержки времени, при которых различие токов переключения незначительно отличаются на разных ступенях.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы пуска ДПТ?
2. Что собой представляет пусковая диаграмма?
3. Расскажите о принципе действия электромагнитного реле времени.
4. Поясните принцип действия схемы пуска АД, изображенной на рис. 4.2 .

Содержание отчета

Отчет по выполнению работы должен содержать следующие сведения:

1. Номер и наименование лабораторной работы.
2. Состав студентов-исполнителей работы.
3. Цель работы.
4. Постановку задачи.
5. Экспериментально исследуемую электрическую схему (рис. 4.2).

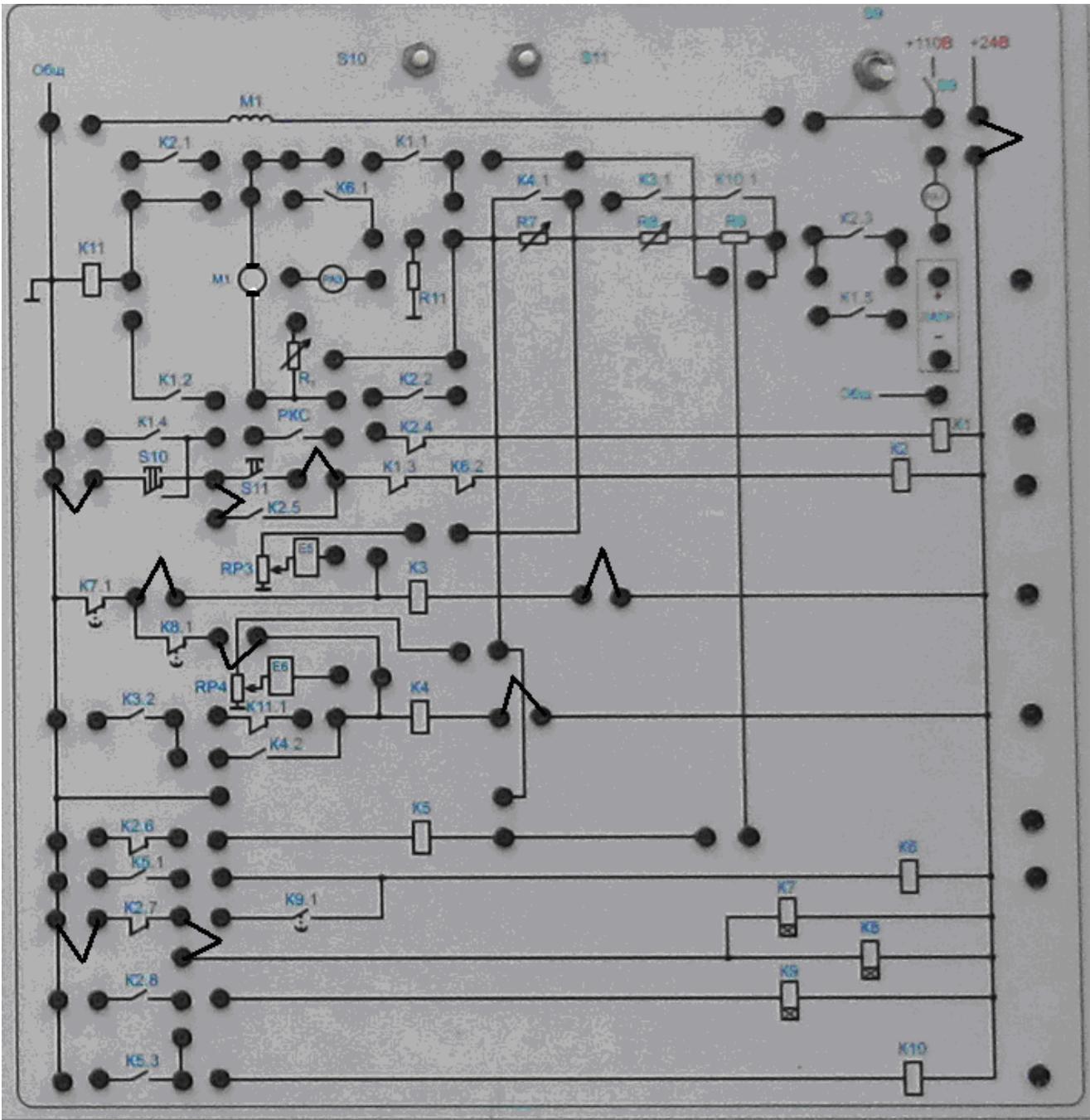
Лабораторная работа № 7

Экспериментальное исследование схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции тока

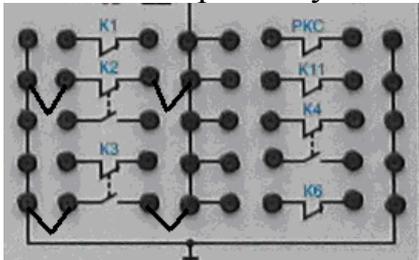
Цель работы: Изучение способов пуска ДПТ и исследование в работе схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции тока.

Постановка задачи

В соответствии с поставленной целью лабораторной работы необходимо: 1) по Приложению 4 изучить основные способы пуска ДПТ и 2) экспериментально исследовать в работе схему автоматического управления пуском ДПТ в функции тока.



Первая ступень



Вторая ступень

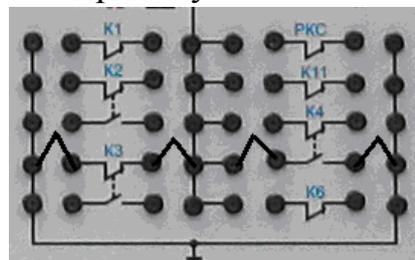
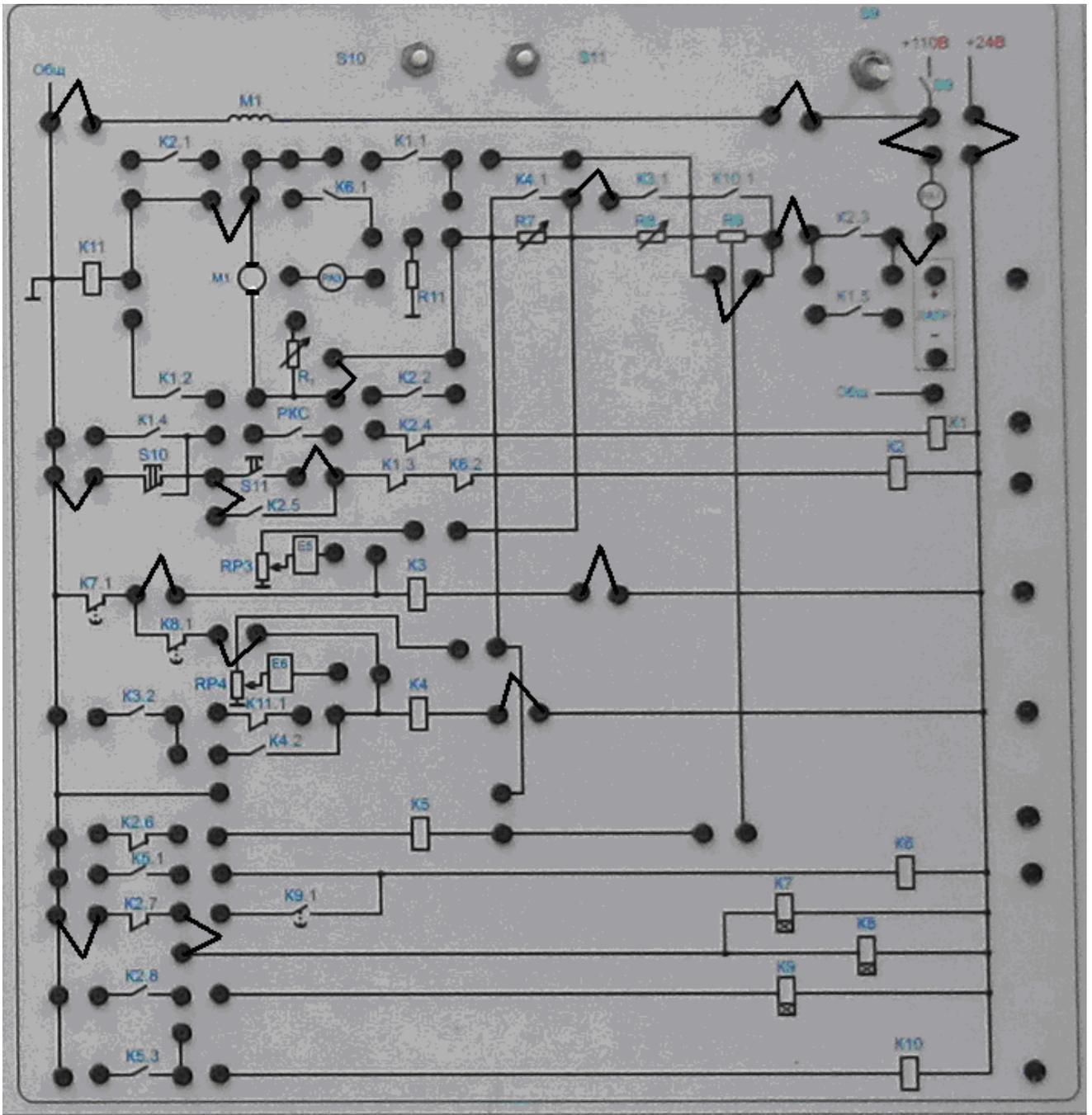


Рис. 4.1. Электрическая схема для настройки выдержек времени



Время пуска

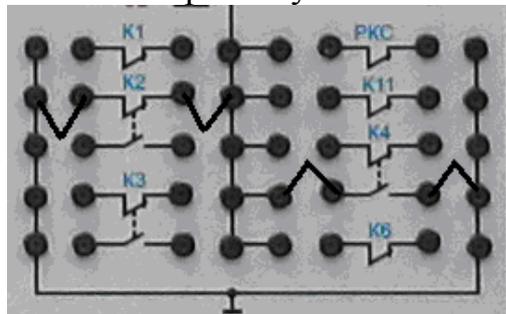


Рис. 4.2. Электрическая схема пуска ДПТ в функции времени

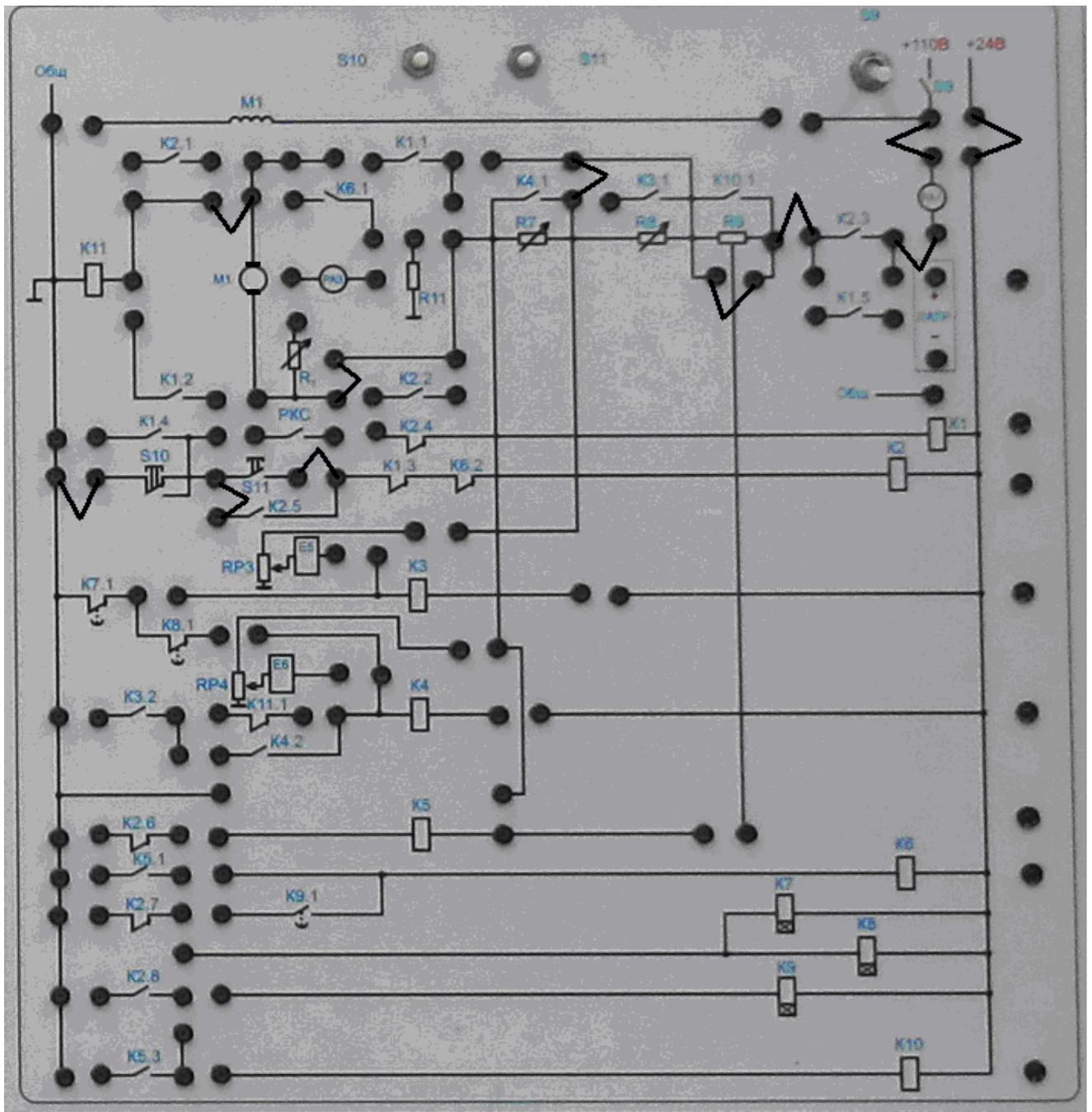


Рис. 4.3. Электрическая схема для настройки значения тока

Содержание лабораторной работы (план работы)

1. Изучите теоретический материал (см. Приложение 4).
2. Соберите на лабораторном стенде схему рис. 4.3. Нажмите кнопку S11 и после срабатывания K2, изменяя сопротивление R7, выставьте по амперметру A1 ток I1.
3. Регулировочной ручкой реле K11 на лицевой панели стенда добейтесь срабатывания реле тока K11. Увеличивая R7, измерьте ток отпущения I2 реле тока.
4. Разберите схему рис. 4.3, не изменяя уставку (настройку) реле тока K11.
5. Соберите схему рис. 4.4. Кнопкой S11 осуществите пуск ДПТ в функции тока. Остановите двигатель кнопкой S10.

Контрольные вопросы

1. В каких пределах обычно колеблется величина тока якоря ДПТ при пуске?
2. Во сколько ступеней осуществляется пуск ДПТ по схеме рис. 4.4?
3. Поясните принцип действия схемы пуска ДПТ, изображенной на рис. 4.4 .

Содержание отчета

Отчет по выполнению работы должен содержать следующие сведения:

1. Номер и наименование лабораторной работы.
2. Состав студентов-исполнителей работы.
3. Цель работы.
4. Постановку задачи.
5. Экспериментально исследуемую электрическую схему (рис. 4.4).

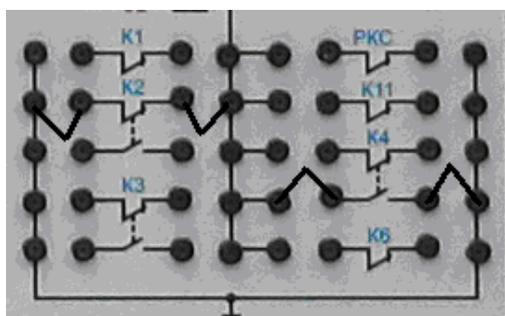
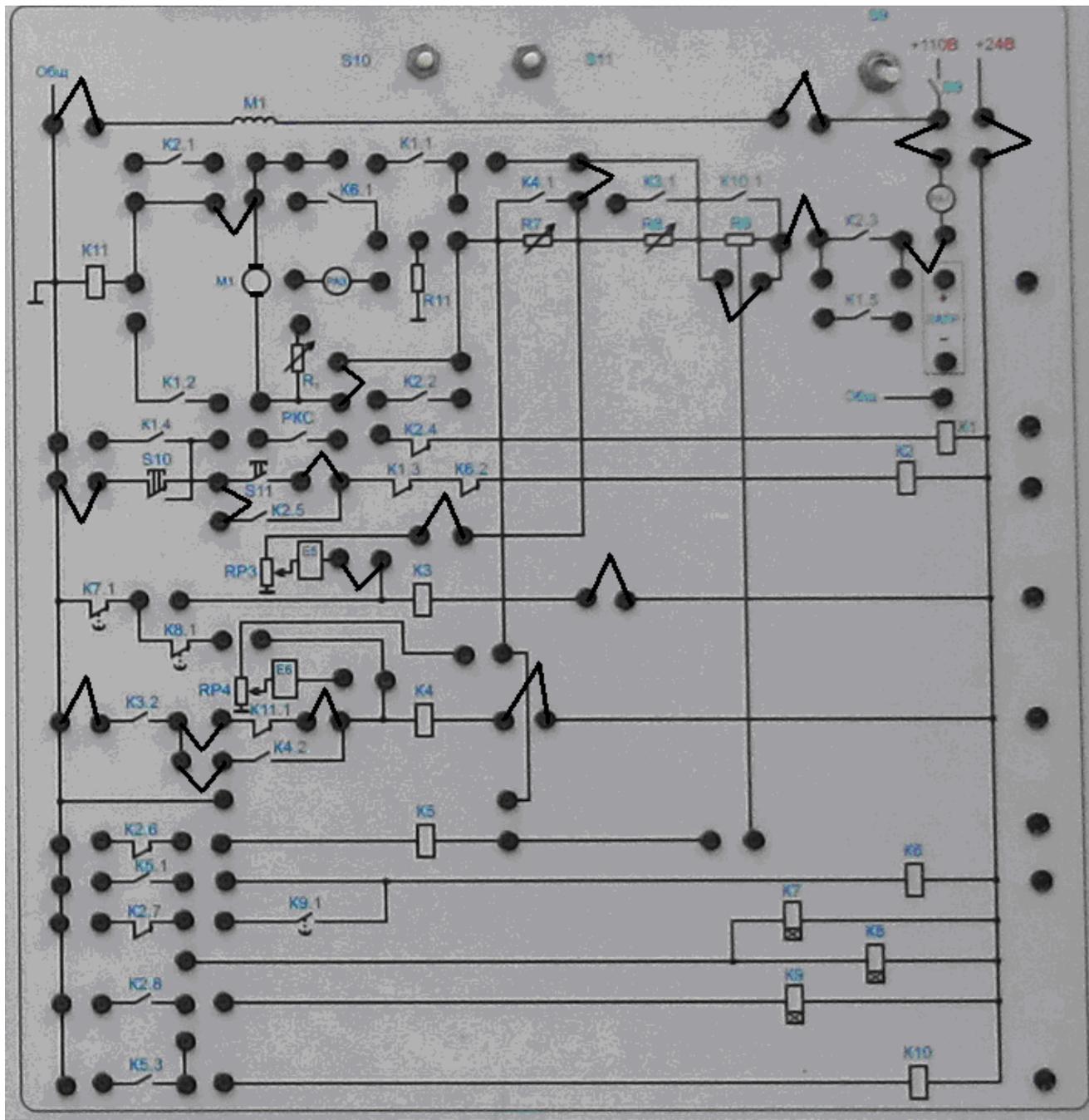


Рис. 4.4. Электрическая схема пуска ДПТ в функции тока

Лабораторная работа № 8

Экспериментальное исследование схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции ЭДС

Цель работы: Изучение способов пуска ДПТ и исследование в работе схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции ЭДС.

Постановка задачи

В соответствии с поставленной целью лабораторной работы необходимо: 1) по Приложению 4 изучить основные способы пуска ДПТ и 2) экспериментально исследовать в работе схему автоматического управления пуском ДПТ в функции ЭДС.

Содержание лабораторной работы (план работы)

1. Изучите теоретический материал (см. Приложение 4).
2. Соберите на лабораторном стенде схему рис. 4.5 без вспомогательных схем. Нажмите кнопку S11 и после срабатывания K2, изменяя сопротивление R7, R8, установите заданное напряжение срабатывания реле K3 (измерять тестером между общим проводом и точкой соединения R7 и R8). Затем с помощью резистора RP3 добейтесь срабатывания реле K3. Далее с помощью R7 установите заданное напряжение срабатывания реле K4 (измерять тестером между общим проводом и точкой соединения R11 и R7). После чего с помощью резистора RP4 добейтесь срабатывания реле K4.
3. С помощью тестера выставьте заданные сопротивления пусковых ступеней R7, R8. Если затем в процессе пуска токи переключения на разных ступенях будут резко отличаться, то опытным путем подберите сопротивления ступеней и выдержки, при которых различие токов переключения незначительно отличаются на разных ступенях.
4. Соберите схему рис. 4.6 и вспомогательную схему «первая ступень» рис. 4.5. Кнопкой S11 осуществите пуск двигателя и по приборам pA1, p ω и секундомеру зафиксируйте броски тока, соответствующие им частоты и время для первой ступени пуска. Остановите двигатель кнопкой S10. Соберите вспомогательную схему «вторая ступень» рис. 4.5, произведите пуск и повторите измерения для второй ступени.

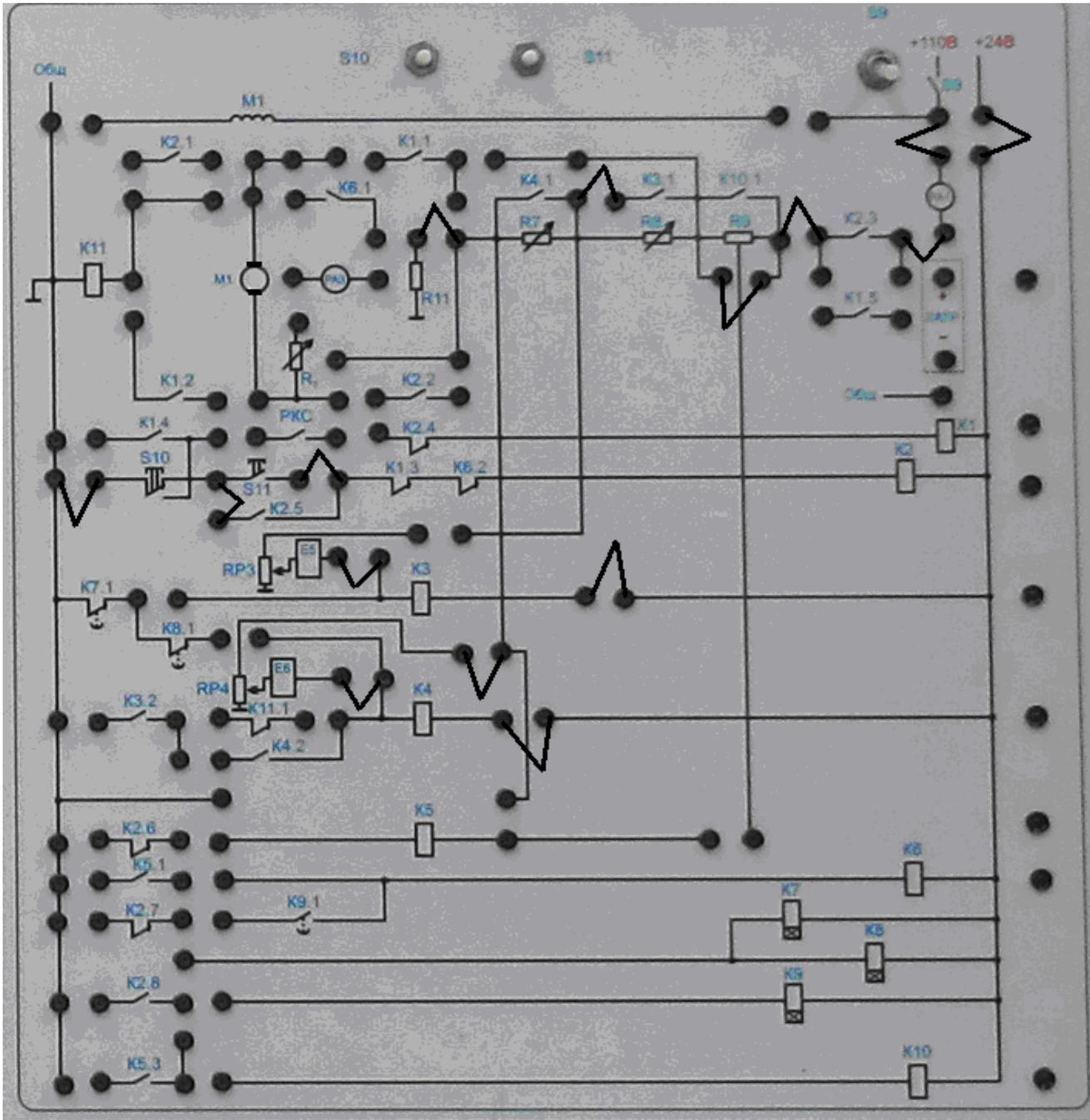
Контрольные вопросы

1. В чем заключается суть пуска ДПТ в функции ЭДС?
2. Какова область применения схемы пуска ДПТ в функции ЭДС?
3. Поясните принцип действия схемы пуска ДПТ, изображенной на рис. 4.6.

Содержание отчета

Отчет по выполнению работы должен содержать следующие сведения:

1. Номер и наименование лабораторной работы.
2. Состав студентов-исполнителей работы.
3. Цель работы.
4. Постановку задачи.
5. Экспериментально исследуемую электрическую схему (рис. 4.6).



Первая ступень

Вторая ступень

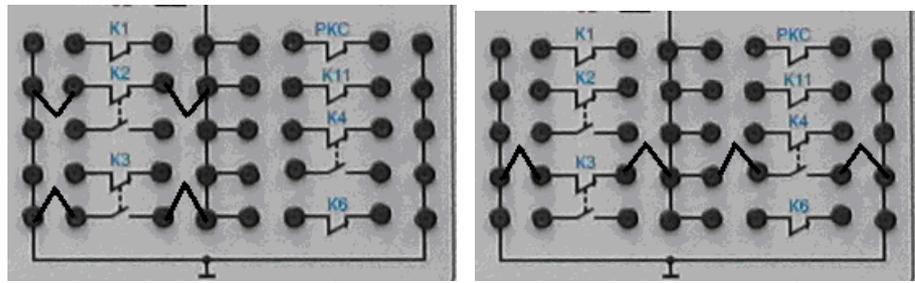
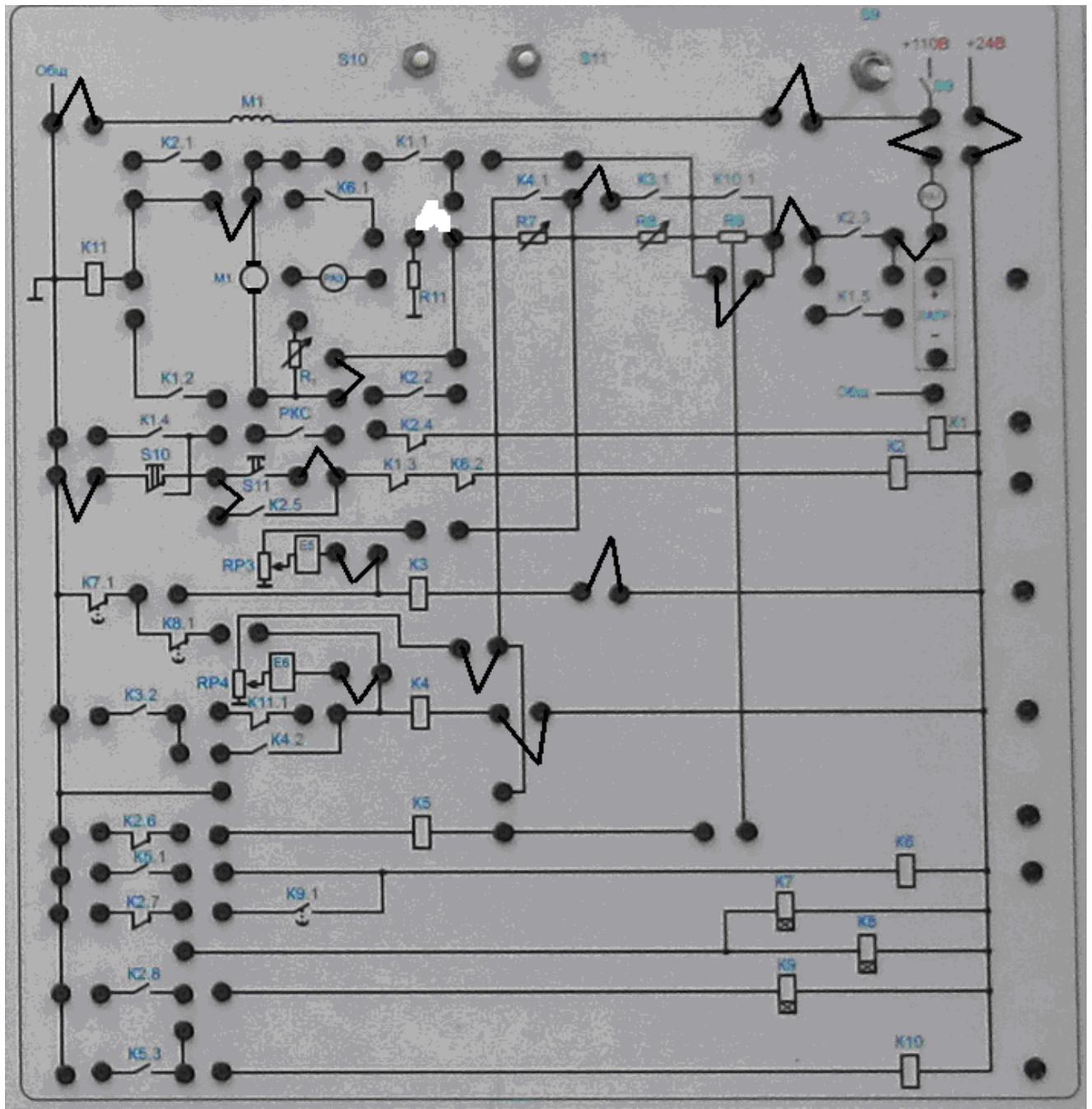


Рис. 4.5. Электрическая схема для настройки напряжений срабатывания реле



Время пуска

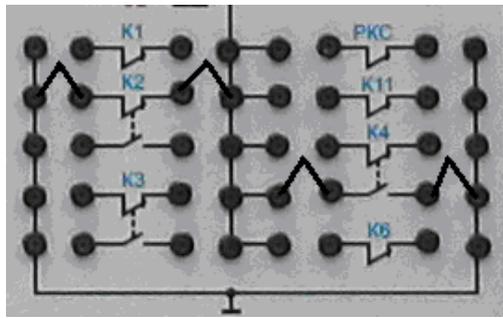


Рис. 4.6. Экспериментально исследуемая электрическая схема

Приложение 4 (к модулю М4)

Теоретические сведения к лабораторным работам:

- № 6 – «Экспериментальное исследование схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции времени» ;**
- № 7 – «Экспериментальное исследование схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции тока» и**
- № 8 – «Экспериментальное исследование схемы автоматического управления пуском ДПТ в функции ЭДС»**

К пуску ДПТ предъявляется основное требование: не допустить при пуске протекание через якорь большого тока (больше $2,5 I_{ном}$), опасного для двигателя по условиям коммутации.

Теоретически и практически возможны три способа пуска : 1) при включении в цепь якоря пускового сопротивления только на время пуска; 2) при пониженном напряжении в цепи якоря и 3) прямой пуск (без пускового сопротивления) – только для двигателей маленькой мощности, у которых пусковой ток меньше $4 I_{ном}$ и разгон двигателя происходит меньше 1 секунды.

Пуск ДПТ при включении пускового реостата R_p последовательно с якорем обеспечивает пусковой ток $I_{яп} = U_{я} / (R_{я} + R_p)$

У двигателей большой мощности $R_{я} = 0,02 - 1,1 \text{ Ом}$ и прямой пуск для них невозможен, так как в начальный момент пуска противо-ЭДС $E_{пр} = C_e \cdot \omega \cdot \Phi = 0$ и ток якоря был бы равен до $100 I_{ном}$, что недопустимо по условиям коммутации. Поэтому сопротивление R_p выбирают таким, чтобы ток якоря при пуске был равен $2,5 I_{ном}$, а по мере разгона двигателя это сопротивление выводится до нуля.

Пуск ДПТ с ограниченным пусковым током возможен (без пускового реостата) и при питании якоря двигателя от отдельного источника с регулируемым выходным напряжением. Тогда ограничение пускового тока и плавный разгон двигателя обеспечиваются постепенным повышением напряжения на якоре от нуля до номинального значения. Этот метод находит применение в регулируемых мощных электроприводах постоянного тока.

Автоматизация пускового процесса по первому способу пуска облегчает управление ДПТ, устраняет возможные ошибки при пуске и ведет к повышению

производительности механизмов, особенно при повторно-кратковременных режимах их работы.

Пуск двигателей постоянного тока и асинхронных с фазным ротором обычно осуществляют в соответствии с заданной пусковой диаграммой, при этом закорачивание ступеней реостата происходит либо при достижении двигателем определенной скорости, либо при определенной силе тока, либо через заданные промежутки времени.

На рис. 4.7 изображена пусковая диаграмма двигателя с тремя ступенями пускового реостата, из которой видно, что закорачивание ступеней реостата производится через время t_1 (первая ступень), через время t_2 (вторая ступень) и t_3 (третья ступень). Ток двигателя при пуске изменяется в пределах от I_1 до I_2 .

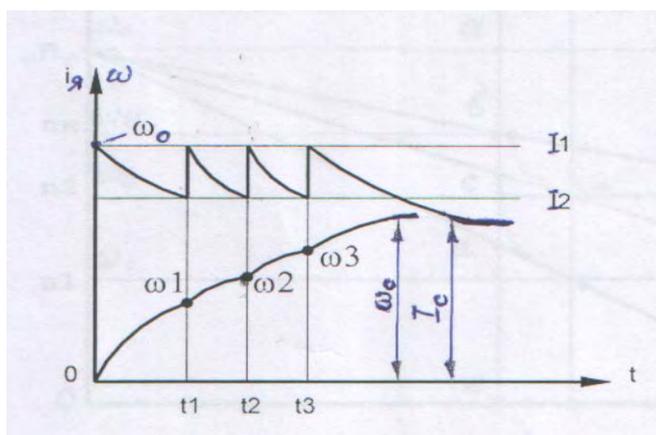


Рис. 4.7. Пусковая диаграмма

Из диаграммы рис. 4.7 следует, что выключение (закорачивание, шунтирование) ступеней пускового реостата должно происходить при определенной угловой скорости двигателя (ω_1 , ω_2 , ω_3), или при определенной величине тока I_2 , или через определенные промежутки времени (t_1 , t_2 , t_3). Очевидно, что управление пуском ДПТ может быть осуществлено:

- 1) в функции скорости;
- 2) в функции тока;
- 3) в функции времени.

Узел управления пуском ДПТ в функции времени представлен на рис 4.8.

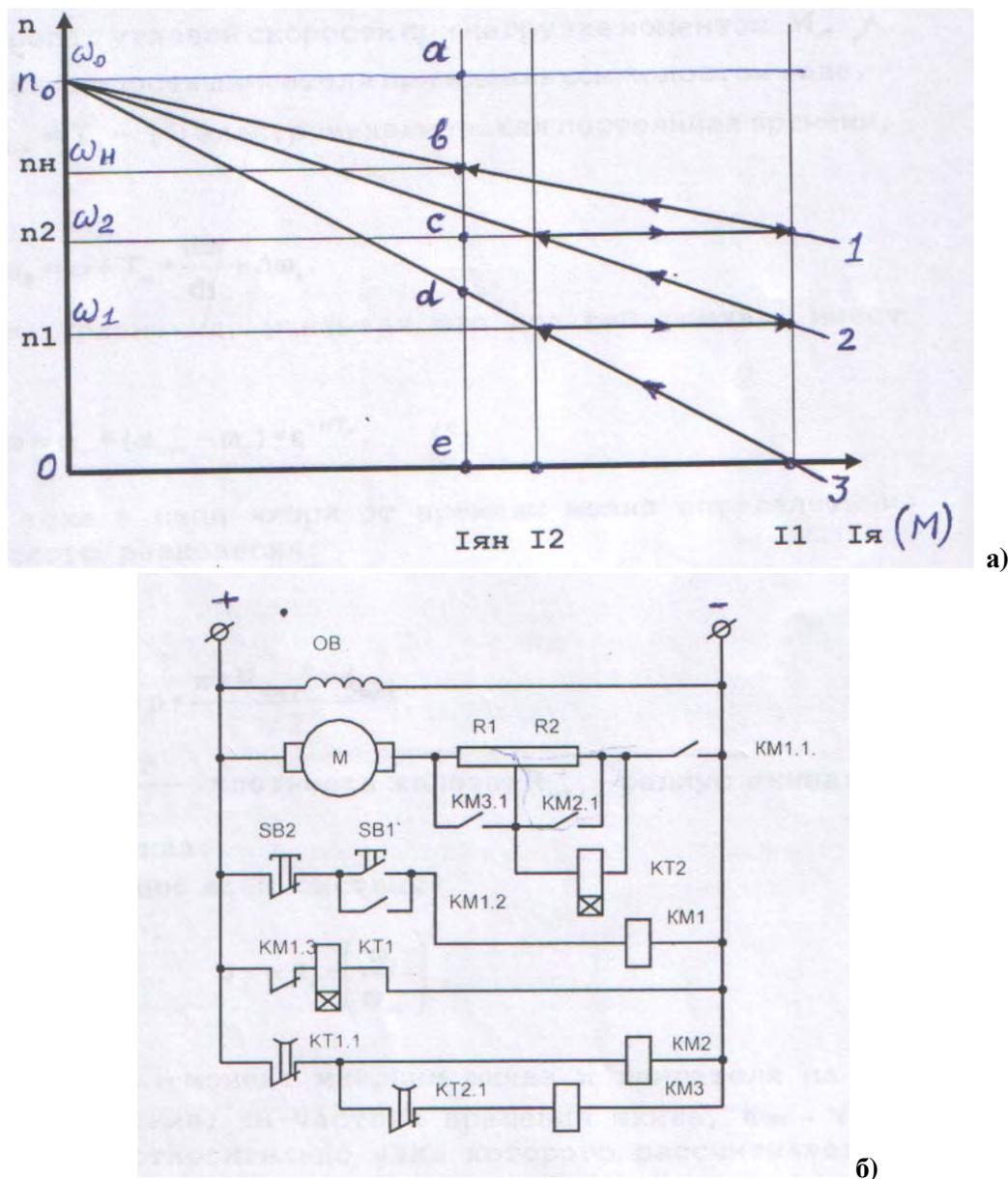


Рис. 4.8. Узел управления пуском ДПТ в функции времени

При нажатии кнопки SB1 контактор KM1 своим контактом KM1.1 подключает якорь двигателя к сети, а контактом KM1.3 отключает питание от катушки реле KT1. Падение напряжения от пускового тока на сопротивлении R1 вызывает срабатывание реле KT2, которое размыкает свой контакт. С определенной выдержкой времени замыкается контакт KT1.1 реле KT1 и контактор KM2 контактом KM2.1 шунтирует ступень R1 вместе с реле KT2. Последнее опять с выдержкой времени замыкает свой контакт KT2.1, что приводит к шунтированию ступени R2.

Управление в функции времени получило широкое применение в современных электроприводах постоянного и переменного тока благодаря своим достоинствам: простоте схемы, надежности и независимости ее работы от колебаний нагрузки или напряжения.

Узел управления пуском ДПТ в функции тока в одну ступень представлен на рис 4.9, где применено токовое реле ускорения РТ1 с размыкающими контактами. При включении линейного контактора КМ1 получает питание катушка токового реле РТ1 и его размыкающий контакт в цепи контактора ускорения КМ3 в начале пуска размыкается. Поэтому пуск двигателя начинается с полностью введенным сопротивлением в якорной цепи; контакт блокировочного реле КМ2 не позволяет контактору КМ3 включиться сразу после включения контактора КМ1, так как собственное время включения реле КМ2 выбирается большим или равным собственному времени включения реле РТ1.

Ток отпущения реле РТ1 равен току переключения I_2 , что приводит к срабатыванию контактора КМ3 и шунтированию пускового сопротивления. При втором броске тока контактор КМ3 не отключается вследствие того, что контакт реле РТ1 шунтирован теперь контактом КМ3.1 реле КМ3.

Достоинство рассмотренного принципа управления заключается в том, что переключения производятся при заданных значениях тока в цепи и не зависят от колебания напряжения в ней. Однако этот принцип управления имеет и **недостаток**. Так, если при пуске двигателя нагрузочный момент на его валу по каким-либо причинам окажется выше расчетного, то ток может длительное время превышать величину I_2 , при которой происходит отпущение якоря реле. Поэтому пусковое сопротивление окажется не выключенным, что может привести к его перегоранию, так как оно не рассчитано на длительную работу.

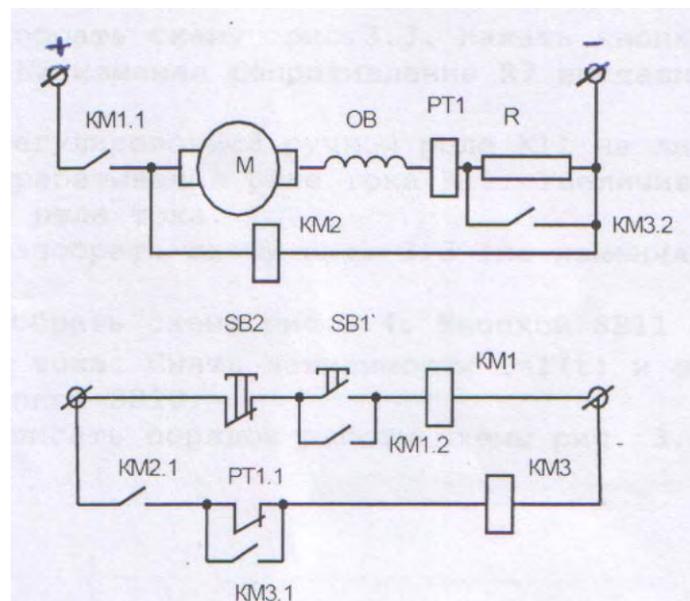


Рис. 4.9. Узел управления пуском ДПТ в функции тока

Узел управления пуском ДПТ в функции ЭДС представлен на рис. 4.10. При таком управлении контакторы или реле ускорения срабатывают в зависимости от изменения противо-ЭДС двигателя в процессе его разгона.

При нажатии кнопки SB1 включается линейный контактор КМ4, подключающий контактом КМ4.1 двигатель к сети при полностью введенном пусковом сопротивлении. Одновременно вспомогательный контакт КМ4.2 шунтирует кнопку, чем обеспечивается питание контактора при ее отпущении. По мере разгона двигателя уве-

личивается его ЭДС в обмотке якоря, уменьшается ток в ней и растет напряжение на ее зажимах (рис. 4.8,а). При определенной частоте вращения оно достигает значения, при котором срабатывает контактор ускорения КМ1, шунтирующий первую пусковую ступень R1. В этот момент скачком возрастают ток в якоря и вращающий момент, что вызывает дальнейшее увеличение скорости. При следующем заданном значении скорости срабатывает контактор КМ2, шунтирующий ступень R2 и т.д.

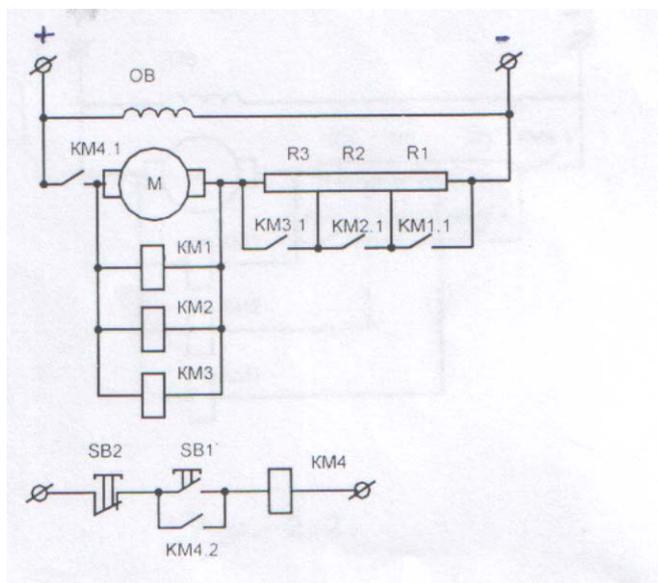


Рис. 4.10. Узел управления пуском ДПТ в функции ЭДС

Лабораторная работа № 9

Экспериментальное исследование тиристорного электропривода постоянного тока с системой подчиненного регулирования

Цель работы: Изучение способов регулирования скорости ДПТ (двигателя постоянного тока с независимым возбуждением) и исследование в работе тиристорного электропривода ДПТ с системой подчиненного регулирования.

Постановка задачи

В соответствии с поставленной целью лабораторной работы необходимо: 1) по Приложению 5 изучить основные способы регулирования скорости ДПТ и 2) экспериментально исследовать в работе схему тиристорного электропривода с ДПТ и системой подчиненного регулирования.

Содержание лабораторной работы (план работы)

1. Изучите теоретический материал (см. Приложение 5).
2. Соберите на лабораторном стенде схему регулируемого тиристорного электропривода постоянного тока согласно рис. 5.1 для экспериментального исследования ДПТ без обратных связей (ОС) по скорости и току, т.е. без системы подчиненного регулирования. При этом обмотку возбуждения двигателя ОВМ1 подключите к источнику постоянного напряжения +110 В через выключатель S9 (а не через S2) согласно рис. 5.2.

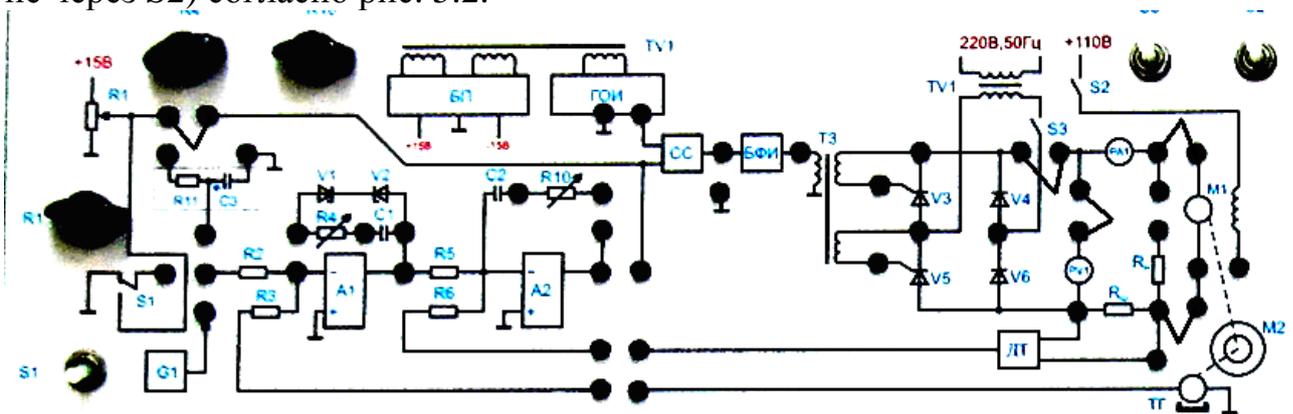


Рис. 5.1. Исследуемая электрическая схема без обратных связей



Рис. 5.2. Схема подключения обмотки возбуждения

3. Соберите схему управления асинхронным электродвигателем (АД) для работы в режиме динамического торможения согласно рис. 5.3. Эта схема предназначена и будет дальше использоваться при экспериментальном исследовании тиристорного электропривода постоянного тока для создания нагрузки на валу исследуемого ДПТ.

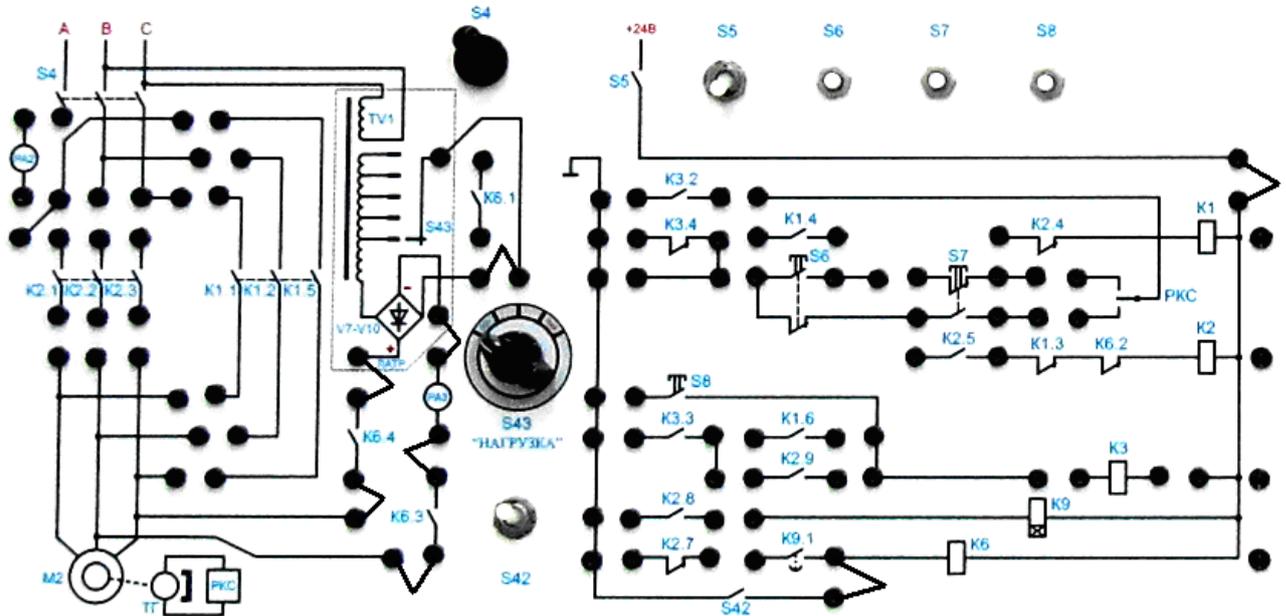


Рис. 5.3. Схема управления АД в режиме динамического торможения

4. После проверки преподавателем правильности сборки схем согласно рис. 5.1 – 5. Исследуйте в работе тиристорный электропривод постоянного тока в такой последовательности:

1) Установите рукоятки выключателей S4 и S42 «вниз», выключателей S3 и S9 «вверх», переключателя S43 «влево (мин)», потенциометра R1 для задания напряжения управления $U_{зад}$ «влево»;

2) Подайте на стенд напряжение питания из сети 220/127 В, включив четырехконтактную вилку питающего стенд кабеля в соответствующую розетку на стене (рядом со стендом), и включите вводной выключатель стенда S4 «вверх». При этом на стенде зажгутся индикаторные лампочки (их три), свидетельствующие о наличии на стенде питающего напряжения сети переменного тока фаз А, В и С.

3) Вращая движок потенциометра R1 плавно «вправо» до крайнего положения и обратно («влево») до крайнего положения, наблюдайте, как изменяется выходное напряжение управляемого тиристорного выпрямителя (по вольтметру PU1) и соответственно скорость вращения ДПТ (по прибору $P\omega$).

4) Потенциометр R1 установите выходное напряжение тиристорного преобразователя сначала 50 В, а позже 60 В и 70 В. Для этих напряжений запишите в табл. 5.1 показания приборов PA1, PU1, $P\omega$.

5) Выполните предыдущий подпункт, нагружая ДПТ. Например:

* установите потенциометром R1 напряжение на выходе тиристорного выпрямителя 50 В, а затем включите тумблер S42 («вверх») и запишите показания приборов в табл. 5.1;

* переключатель S43 поверните вправо на один шаг и снова запишите показания приборов в табл. 5.1. Аналогично снимите показания приборов при напряжении выпрямителя 60 В и 70 В.

б) Отключите S4 (рукоятку поставьте «вниз») и соберите схему согласно рис. 5.4, т.е. с обратными связями по скорости и току.

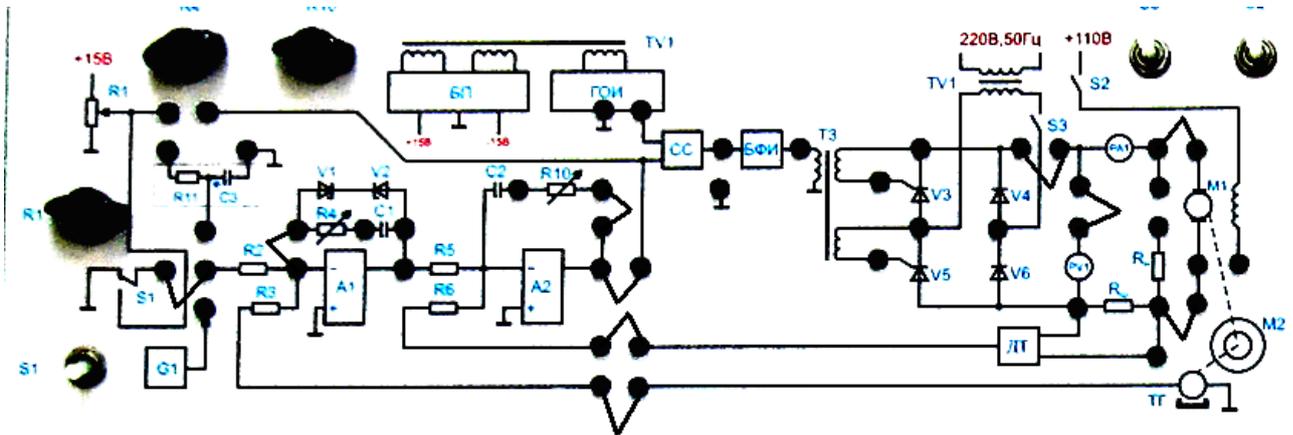


Рис. 5.4. Исследуемая схема с обратными связями

7) Установите выключатель S1 и S42 «вниз», переключатель S43 «влево – мин), потенциометр R1 «влево» и включите выключатель S4 («вверх»).

8) Установите потенциометром R1 напряжение на двигателе 50 В и снимите показания приборов в табл. 5.1 (при холостом ходе).

9) Включите S42 («Вверх») и снимите показания приборов в табл. 5.1 (при нагрузке ДПТ);

* Переключатель S43 поверните вправо на один шаг и снова запишите показания приборов в табл. 5.1.

10) Аналогично снимите показания приборов при напряжении выпрямителя 60 В и 70 В.

11) Выключите из работы стенд и разберите схемы.

12) По результатам табл. 5.1 на одном графике постройте электромеханические характеристики $\omega = f(I_a)$ при различных напряжениях на ДПТ и для различных схем тиристорного электропривода постоянного тока (с обратными связями и без них).

Таблица 5.1

№ эксперимента	U (по PU1) (В)	$P\omega$ (об/мин)	I_a (по PA1) (А)	Условия эксперимента
1	50			Схема без ОС (х.х.) (с нагрузкой S43 _{мин}) (с нагрузкой S43 ₁)
2				
3				
4	60			Схема без ОС (х.х.)

5 6				(с нагрузкой S43 _{мин}) (с нагрузкой S43 ₁)
7 8 9	70			Схема без ОС (х.х.) (с нагрузкой S43 _{мин}) (с нагрузкой S43 ₁)
10 11 12	50			Схема с ОС (х.х.) (с нагрузкой S43 _{мин}) (с нагрузкой S43 ₁)
13 14 15	60			Схема с ОС (х.х.) (с нагрузкой S43 _{мин}) (с нагрузкой S43 ₁)
16 17 18	70			Схема с ОС (х.х.) (с нагрузкой S43 _{мин}) (с нагрузкой S43 ₁)

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы регулирования скорости ДПТ?
2. Что собой представляет тиристор и как он обозначается в электрических схемах?
3. Каким образом управляется работа тиристора?
4. Поясните принцип действия схемы, изображенной на рис. 5.1.
5. Поясните принцип действия схемы, изображенной на рис. 5.2.

Содержание отчета

Отчет по выполнению работы должен содержать следующие сведения:

1. Номер и наименование лабораторной работы.
2. Состав студентов-исполнителей работы.
3. Цель работы.
4. Постановку задачи.
5. Экспериментально исследуемую электрическую схему (рис. 5.3, 5.4).
6. График электромеханических характеристик электропривода.

Теоретические сведения к лабораторной работе № 9 – «Экспериментальное исследование тиристорного электропривода постоянного тока с системой подчиненного управления»

Регулирование скорости электроприводов постоянного тока. Скорость ДПТ НВ можно регулировать:

- 1) путем изменения сопротивления в цепи якоря;
- 2) изменением потока возбуждения;
- 3) изменением напряжения, подводимого к якорю.

Регулирование *по первому способу* имеет существенно недостатки:

- уменьшается жесткость механических характеристик при снижении угловой скорости, а потери мощности в главной цепи возрастают;
- диапазон регулирования ограничен, особенно при малых нагрузках;
- невелики плавность и точность регулирования.

По этим причинам такой способ регулирования в приводе постоянного тока используется редко.

По *второму способу* можно регулировать магнитный поток только в сторону уменьшения (так как в номинальном режиме магнитная цепь двигателя насыщена), что соответствует увеличению скорости выше номинальной. Возможный диапазон регулирования скорости при этом не превышает 2 для двигателя нормального исполнения. Верхний предел скорости ограничивается механической прочностью элементов якоря двигателя – бандажей обмотки якоря, коллектора.

Основным способом регулирования скорости ДПТ НВ является способ, основанный на изменении подводимого к якорю напряжения, которое осуществляется с помощью специального регулируемого преобразователя. В качестве индивидуальных источников питания используют в основном тиристорные преобразователи. Жесткость механических характеристик привода по системе «преобразователь – ДПТ НВ» практически постоянна. Механические характеристики представляют собой семейство параллельных друг другу прямых. Диапазон, плавность, точность регулирования здесь выше, чем при других способах регулирования. Поэтому данная система привода применяется для механизмов, требующих глубокого и плавного регулирования скорости.

Тиристорный электропривод постоянного тока. В промышленности широко применяется регулируемый тиристорный электропривод постоянного тока. Тиристоры – это самые мощные полупроводниковые приборы, используемые в силовых схемах электропривода. Они выпускаются на токи от нескольких килоампер при допустимом обратном напряжении до нескольких киловольт. С помощью тиристора, включенного в цепь переменного тока, можно не только выпрямлять напряжение, но и регулировать его величину.

Управление тиристором, т.е. включение, осуществляется с помощью управляющего электрода УЭ (рис. 5.5), на который в момент отпирания подаются от-

пирающие импульсы тока $I_{отп}$ из схемы управления. При отсутствии отпирающего сигнала (вентиль заперт) сопротивление вентиля равно бесконечности, а при подаче на управляющий электрод отпирающего импульса $I_{отп}$ его сопротивление падает до нуля (вентиль открывается). В точке естественной коммутации (точка a на рис. 5.5, a) тиристор запирается. Запереть тиристор с помощью управляющего электрода невозможно, т.е. тиристор в отличие от транзистора является полупроводящим прибором.

С помощью фазосдвигающего устройства схемы управления можно изменять фазу (момент) подачи отпирающего импульса (рис. 5.5, z) относительно точки естественной коммутации вентиля, т.е. можно изменять угол регулирования α .

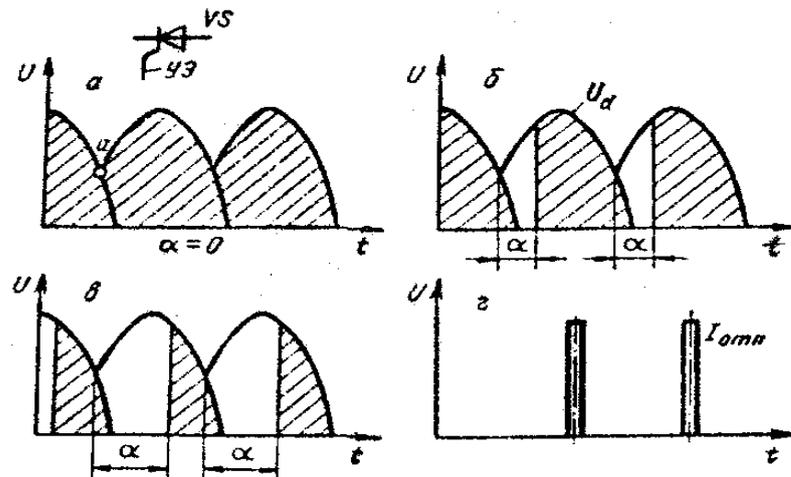


Рис. 5.5. Графики регулирования выходного напряжения тиристорного выпрямителя

Величина выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя соответствует площади заштрихованного участка $U(t)$ (рис. 5.5, $a - в$).

$$U_{d\alpha} = \sqrt{2} \frac{m}{\pi} \sin(\pi/m) U_2 \cos \alpha = U_{d0} \cos \alpha,$$

где m – число фаз выпрямления;

U_2 – действующее значение линейного напряжения питающего трансформатора;

U_{d0} – максимальное выпрямленное напряжение преобразователя при полностью открытых тиристорах ($\alpha = 0$):

$$U_{d0} = \sqrt{2} \frac{m}{\pi} \sin(\pi/m) U_2.$$

Таким образом, изменяя с помощью системы импульсно-фазового управления (СИФУ) угол регулирования α , можно плавно и в широких пределах (от нуля до U_{d0}) изменять величину выпрямленного напряжения и соответственно угловую скорость электродвигателя ω .

Параметр m связывает число фаз напряжения питающей сети ($p = 1; 2; 3$) с числом полупериодов ($q = 1; 2$) этого напряжения, в которых работают вентили:

$m = pq$. Величина m определяется частотой пульсаций за период напряжения сети.

В обобщенном виде схема тиристорного электропривода с трехфазным преобразователем представлена на рис. 5.6.

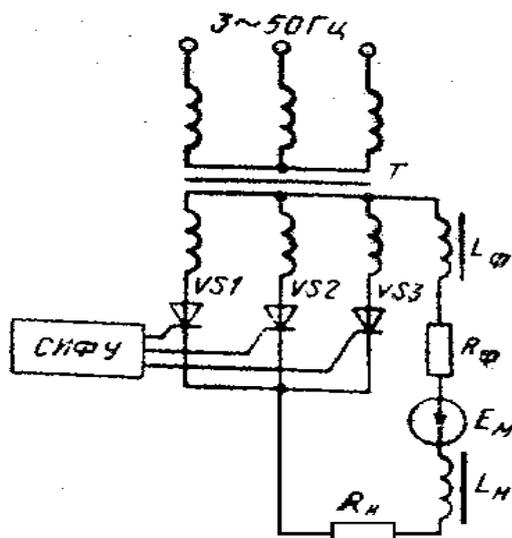


Рис. 5.6. Обобщенная схема тиристорного электропривода:
 VS1 – VS3 – тиристоры; L_ϕ , R_ϕ – индуктивность и активное сопротивление
 сглаживающего фильтра; $L_н$, $R_н$ – то же нагрузки; $E_м$ – ЭДС двигателя

В СИФУ фиксация момента подачи управляющего импульса обычно осуществляется путем сравнения двух напряжений с использованием так называемого *вертикального* принципа, т.е. момент подачи отпирающего импульса определяется равенством постоянного управляющего напряжения u_y (рис. 5.7, а) и опорного напряжения $u_{оп}$. В момент равенства напряжений u_y и $u_{оп}$ (точка a) в схеме возникает либо один, либо пачка импульсов с крутым передним фронтом $i_{отп}$, которые затем подаются на управляющие электроды тиристоров.

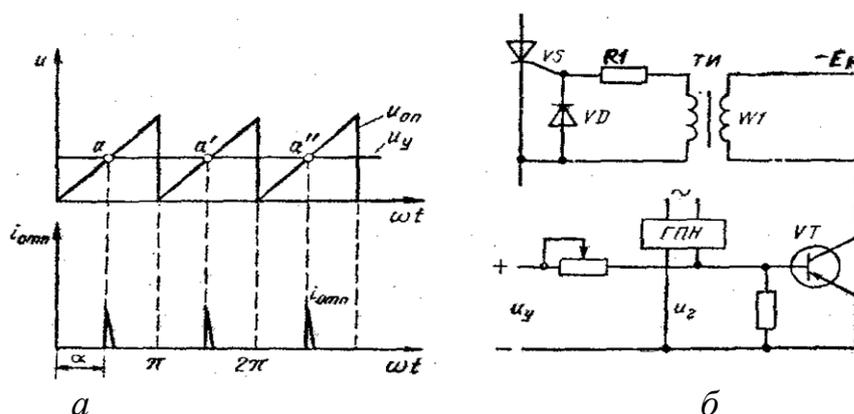


Рис. 5.7. Графики напряжений (а) и схема (б) системы импульсно-фазового управления тиристором

На рис. 5.7, б в упрощенном виде представлена схема управления тиристором. Напряжение, подаваемое на базу транзистора VT, равно алгебраической сумме управляющего напряжения u_y и выходного напряжения генератора пилообразно-

го напряжения ГПН. При положительном напряжении на базе транзистор заперт. В момент, соответствующий точке a (см. рис. 5.7, a), когда результирующее напряжение на базе станет равным нулю, транзистор откроется и в первичной обмотке $W1$ импульсного трансформатора ТИ возникнет напряжение. Импульс напряжения через вторичную обмотку трансформатора будет подведен к управляющему электроду тиристора VS , он откроется. Для формирования крутого переднего фронта импульса используется дополнительная обмотка обратной связи трансформатора (на схеме не показана). Резистор $R1$ и диод VD служат для защиты управляющего $p - n$ -перехода тиристора от действия недопустимого тока или напряжения обратной полярности. Изменяя управляющее напряжение u_y , оператор изменяет момент отпирания тиристора, т.е. изменяет угол регулирования α от 0 до π (см. рис. 5.7, a). При этом изменяется выходное напряжение преобразователя, а следовательно, и скорость подключенного к нему электродвигателя.

Электропривод постоянного тока с системой подчиненного регулирования. В теории электропривода широко используется *инженерный метод* синтеза унифицированных контуров регулирования, называемый *методом последовательной коррекции с подчиненным регулированием координат* (или проще – *метод подчиненного регулирования координат*). Сущность его заключается в том, что объект регулирования представляется в виде последовательно соединенных звеньев $П1 - P_i$, выходными параметрами (координатами) которых могут быть скорость, ток, момент, положение и т.п. Для управления каждой из этих координат служит отдельный регулятор P_i , образующий с объектом управления замкнутый контур с соответствующей обратной связью $k_{o.c.}$ Регуляторы соединяются последовательно, так что выход одного из них является входом другого. При этом замкнутые контуры регулирования образуют систему, в которой имеется *внешний контур*, состоящий из звена $П1$ объекта управления и соответствующего регулятора $P1$, и *внутренние контуры*. Выходной сигнал внешнего контура является задающим для последующего (внутреннего), заключенного внутри него контура. Таким образом, каждый внутренний контур регулирования подчинен соответствующему внешнему контуру. Каждому регулируемому параметру соответствует свой регулятор с обратной связью. Число контуров равно числу регулируемых параметров (координат) объекта управления и соответственно – числу регуляторов.

Достоинства системы подчиненного регулирования:

- удобство эксплуатации;
- простота наладки;
- широкая унификация узлов управления;
- возможность реализации систем управления из наборов стандартных элементов независимо от структуры и параметров электропривода.

Структурная схема электропривода постоянного тока (тиристорного, реверсивного) с системой подчиненного регулирования приведена на рис. 5.8. Электродвигатель M получает питание от реверсивного тиристорного преобразователя $UZ1, UZ2$, который питается от трехфазной сети через автоматический выключатель QF и трансформатор T . Выключатель QF защищает блоки тиристорных преобразователей от коротких замыканий. Пульсации выпрямленного тока сглаживаются реактором L .

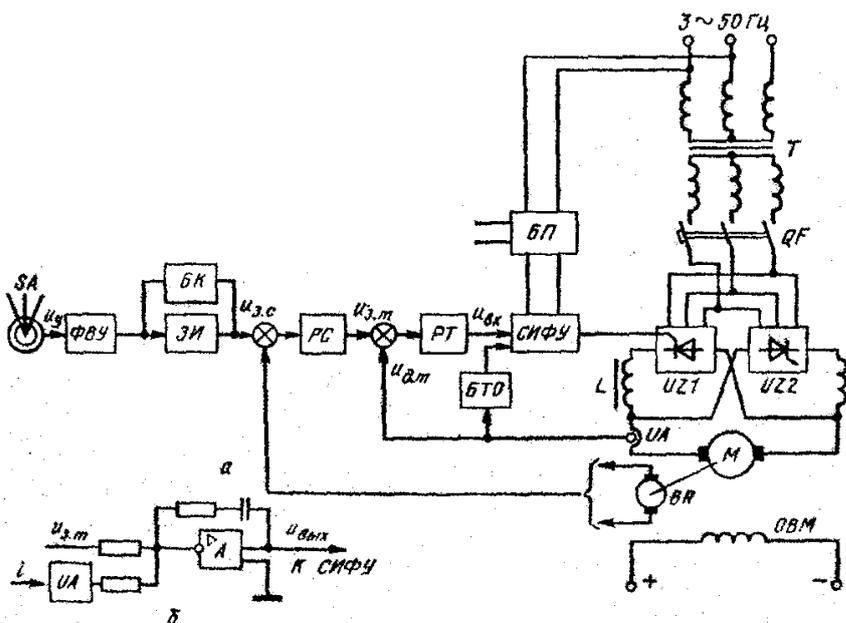


Рис. 5.8. Схема автоматизированного (тиристорного, реверсивного) электропривода постоянного тока с системой подчиненного регулирования

СИФУ генерирует управляющие импульсы для тиристоров, изменяет фазу их в зависимости от величины управляющего сигнала на ее входе с целью регулирования напряжения преобразователя и скорости электропривода. Величина входного сигнала $u_{вх}$ СИФУ является функцией от управляющего сигнала u_y и сигналов обратных связей, поступающих в схему управления электроприводом. Управление электродвигателем (пуск, реверс, регулирование скорости) осуществляется бесконтактным командоконтроллером SA (ручным или педальным) обычно сельсинного типа с поста управления.

Сигнал u_y переменного тока на выходе SA необходимо преобразовать в сигнал постоянного тока, полярность которого определялась бы фазой напряжения u_y , фиксируемой положением ручки командоконтроллера. Для этой цели используют фазочувствительное выпрямительное устройство ФВУ.

Командоконтроллер SA дает обычно ступенчатый сигнал управления, что может вызвать чрезмерный бросок динамического тока. Поэтому для ограничения динамического тока при разгоне и торможении на вход регулятора скорости РС подается сигнал, изменяющийся линейно во времени и получаемый на выходе датчика интенсивности ЗИ.

В схеме (см. рис. 5.8, а) предусмотрена возможность шунтирования ЗИ бесконтактным ключом БК оператором (в случае возникновения ненормальных ситуаций).

С помощью тахогенератора BR осуществляется отрицательная обратная связь по частоте вращения двигателя, а с помощью датчика тока UA – отрицательная обратная связь по току двигателя.

Схема электропривода имеет два самостоятельных регулятора: регулятор скорости РС и регулятор тока РТ. РС осуществляет прием сигнала задания скорости двигателя $u_{3.c}$, обеспечение изменения скорости двигателя с определенным уско-

рением и т.д. Кроме своей основной функции он также ограничивает сигнал $u_{з.т}$ допустимым значением, которое часто зависит от величины потока двигателя; ограничивает скорость изменения тока якоря di/dt , осуществляет формирование требуемой жесткости механических характеристик электропривода и т.п.

Регулятор тока якоря РТ получает на входе сигнал задания $u_{з.м}$ с выхода регулятора скорости и сигнал обратной связи $u_{д.м}$ с выхода датчика тока UA. На выходе он формирует напряжение управления $u_{вх}$ к СИФУ UZ, определяющее угол регулирования тиристоров α . Регулятор тока осуществляет также ограничение скорости нарастания тока, улучшение динамики контура тока в зоне прерывистого тока, управление переключением выпрямительных мостов реверсивного преобразователя и др.

Схема простейшего регулятора тока представлена на рис. 5.8, б. В составе регулятора имеется усилитель А с ограничением тока. На выходе регулятор тока формирует напряжение управления, поступающее в СИФУ. Блоки питания БП обеспечивают питание СИФУ, регуляторов и других элементов системы управления. Для ограничения тока якоря допустимым значением в схему управления введен блок токовой отсечки (БТО), который защищает электропривод от недопустимых перегрузок и аварийных токов, воздействуя непосредственно на вход СИФУ и ограничивая выпрямленный ток предельно допустимым значением. Принцип токовой отсечки состоит в том, что при достижении током двигателя заданного значения (уставки) фаза отпирающих импульсов изменяется так, что напряжение на выходе силового блока снижается, ограничивая ток заданным значением.

Рассмотренная система электропривода широко используется в механизмах, требующих широкого и плавного регулирования скорости. Автоматизированный электропривод в общем случае осуществляет регулирование различных параметров: скорости, тока, напряжения, момента, положения и др.