

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ»**

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ

**«АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ»**

**Составители: Артыков Т.Д.
Мирисаев А.У.**

СОДЕРЖАНИЕ:

1. Лабораторная работа №1

«Изучение, сборка и наладка схем управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором»

2. Лабораторная работа № 2

«Изучение, сборка и наладка схем управления трехскоростным асинхронным двигателем»

3. Лабораторная работа № 3

«Изучение, сборка и наладка схемы управления двигателем постоянного тока независимого возбуждения»

4. Лабораторная работа № 4

«Изучение и наладка схемы управления двигателя постоянного тока независимого возбуждения»

5. Лабораторная работа № 5

«Изучение, сборка и наладка схемы управления пуском синхронного двигателя (панель СМ-2204)»

Лабораторная работа №1

ИЗУЧЕНИЕ, СБОРКА И НАЛАДКА СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы: закрепление теоретических знаний, изучение, разработка, монтаж и наладка релейно-контакторных схем автоматического управления пуском и торможением асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором (КЗР).

Методические указания для составления схем:

Управление АД с КЗР осуществляется наиболее просто, т.к. они требуют сравнительно простых операций управления: при пуске и остановке включение статора в сеть и отключение его вручную или автоматически; при реверсировании и торможении противовключением – переключением двух фаз; при динамическом торможении – отключение двигателя от сети и подача постоянного тока в обмотку статора.

При составлении схемы следует иметь ввиду следующее:

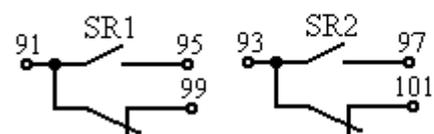
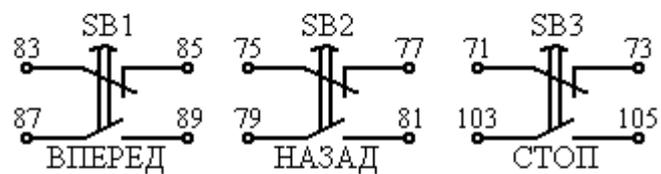
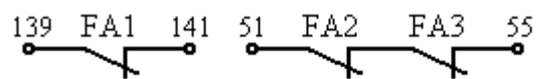
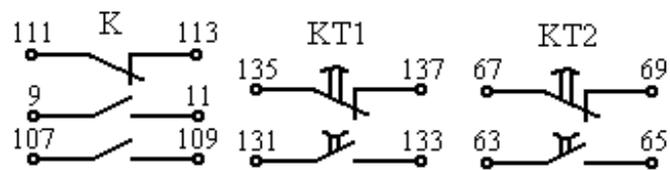
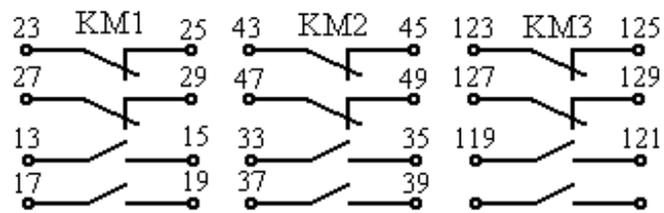
1. Для защиты двигателя от перегрузок применено реле максимального тока. Срабатывание этого реле приводит к отключению двигателя по истечению выдержки времени реле **КТ1**.
2. Для управления торможением противовключением и динамическим в функции времени предусмотрено реле **КТ2**.
3. Для управления торможением противовключением и динамическим в функции скорости на двигателе установлено индукционное реле контроля скорости **SR**. Реле **SR** состоит из постоянного магнита А, имеющего форму цилиндра, вращающегося вокруг оси О, соединенной с валом двигателя. Постоянный магнит помещен внутри цилиндра Б, имеющего на внутренней стороне обмотку аналогичную обмотке КЗ ротора АД, и поворачивающейся вокруг оси на небольшой угол. При этом, связанный с цилиндром Б упор В, преодолевая противодействие пружины Е, переключает контакты реле Д.

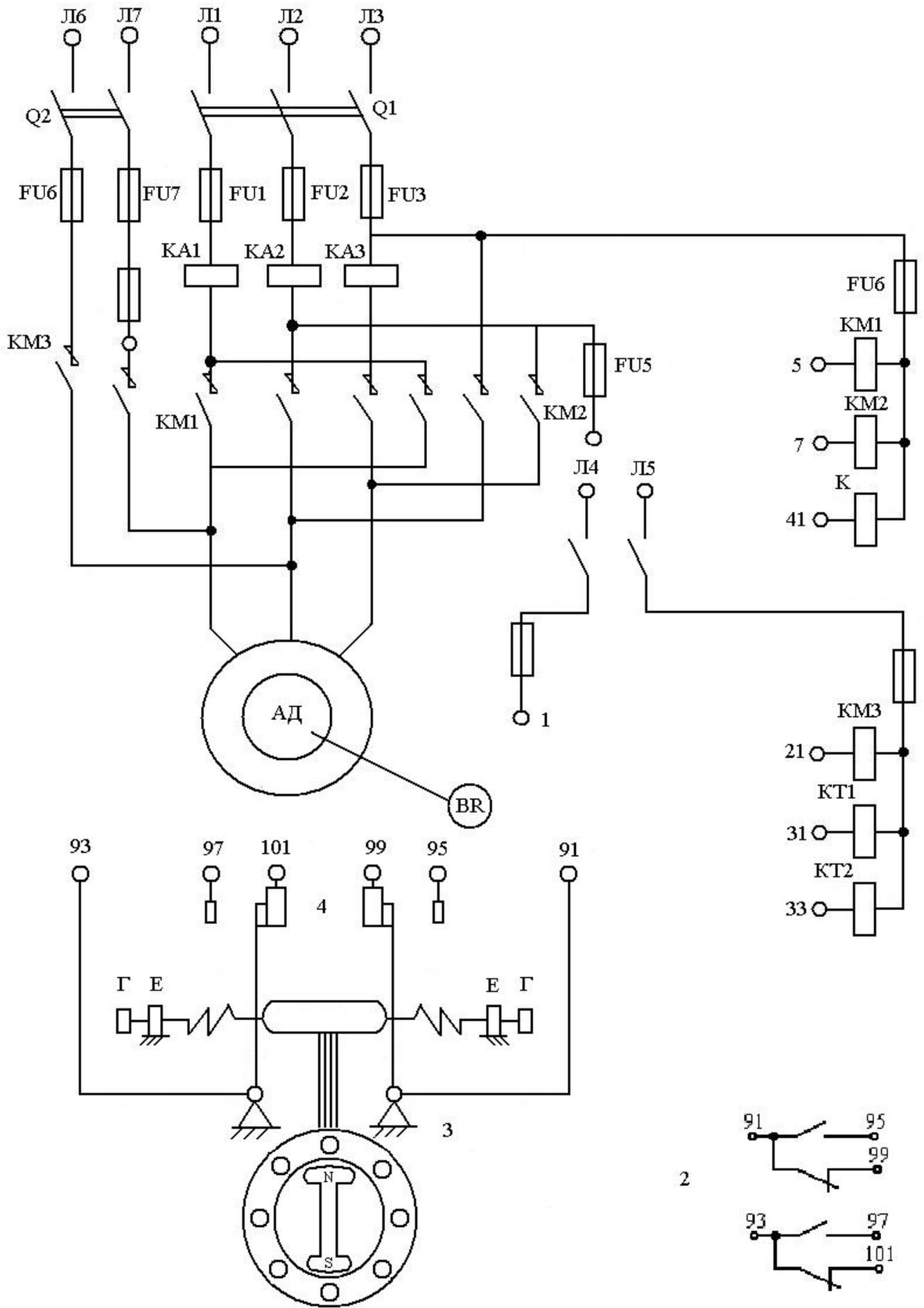
Реле работает по принципу динамического торможения. При вращении магнита А в КЗ обмотке цилиндра Б наводится Э.Д.С., под действием которой протекает ток в этой обмотке. Ток обмотки создает поток, взаимодействие которого с потоками постоянного магнита А создает вращающий момент приложенный к обмотке цилиндра Б. Этот момент направлен в сторону вращения постоянного магнита. Уже на сравнительно низких скоростях на цилиндр Б воздействует момент, достаточный для переключения одной пары контактов. При более высоких скоростях эти контакты реле остаются в том же положении. Когда совершается торможение двигателя, при определенной низкой скорости реле возвращает свои контакты в исходное положение и тем самым дает импульс на прекращение торможения. Величина скорости, при которой переключаются контакты реле, регулируется постоянными магнитами Г путем изменения усилия пружин Е. Реле **SR** имеет один замыкающий и один размыкающий контакты для каждого направления вращения.

Когда осуществляется торможение динамическое или торможение противовключением двигателя в функции скорости, то при определенной малой скорости реле размыкает свой замыкающий (нормально замкнутый) контакт и отключает двигатель от сети, не допуская реверса. Лабораторная панель позволяет собирать различные схемы управления АД с КЗР. Установленные на ней аппараты имеют соединения в цепи главного тока согласно рис. 1, а все выводы элементов цепей управления выведены на клемник.

Контрольные вопросы

1. Для какой цели служит блокировка в схеме управления АД, работающего в реверсивном режиме.
2. Торможение противовключением АД в функции скорости, в функции времени.
3. Динамическое торможение АД. Недостатки и достоинства.
4. Способы защиты АД, предусмотренные в схемах.





Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ, СБОРКА И НАЛАДКА СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХСКОРОСТНЫМ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Цель работы: изучить особенности асинхронного многоскоростного двигателя, развить навыки по сборке и наладке релейно–контакторных схем управления.

Описание лабораторной установки:

Состав установки:

- Трехскоростной двигатель типа ВАД–56-8/6/4
- Рабочая панель с аппаратурой управления
- Контакторы:
 - $КМ_1, КМ_2$ – 3-х полюсные переменного тока;
 - $КМ_3, КМ_4, КМ_5$ – 3-х полюсные и один 5-ти полюсный переменного тока, осуществляющие переключения в обмотках статора двигателя
- Q – рубильник
- QF – автомат защиты силовой цепи
- FU_1, FU_2 – плавкие предохранители, защищающие цепь управления от токов КЗ
- $SB_1 \div SB_7$ – кнопки управления.

Кроме того, имеются необходимое поле с пронумерованными клеммами, на которые выведены все необходимые концы аппаратов управления.

Краткие теоретические сведения:

Одним из способов регулирования скорости асинхронного электродвигателя с КЗ ротором является изменение числа пар полюсов магнитной системы машины путем переключения обмоток статора. Скорость вращающегося магнитного поля определяется выражением:

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}$$

где f_1 – частота тока в цепи статора, Гц;

p – число пар полюсов машины;

n_1 – скорость вращения ротора, об/мин;

Скорость вращения ротора определяется по формуле:

$$n_2 = n_1(1-s),$$

где s – скольжение, $s = (n_1 - n_2) / n_1$

Так как, изготовление ротора с переключением полюсов затруднительно, то многоскоростные двигатели выполняются с КЗ роторами. Двухскоростные двигатели имеют одну переключаемую обмотку на статоре. Трех– и четырехскоростные – две независимые обмотки. Каждая из фаз переключаемых обмоток статора состоит из двух одинаковых половин, которые при переключении включаются последовательно (большее число полюсов). Одновременно с переключателем полуфаз обмотки обычно переключаются с одинарной звезды на двойную звезду или с треугольника на двойную звезду. При переключении со звезды на двойную звезду, момент двигателя примерно сохраняется постоянным, а мощность изменяется пропорционально скорости. При переключении с треугольника на двойную звезду, мощность остается постоянной, а момент изменяется обратно пропорционально скорости.

Целесообразно, таким образом, применять первый метод регулирования скорости в механизмах, где требуется постоянство мощности, а второй метод – в механизмах, требующих постоянство момента.

Регулирование скорости АД с переключением числа пар полюсов нашло широкое применение в механизмах, где не требуется плавное регулирование скорости (некоторые виды металлорежущих станков, вентиляторы, элеваторы и т.д.), благодаря своей экономичности, жесткости получаемых механических характеристик.

Существенным показателем работы электропривода являются потери энергии в переходных режимах. Чем выше скорость двигателя, тем меньше его габариты, тем меньше момент инерции его ротора. Габариты многоскоростного двигателя определяются его низшей

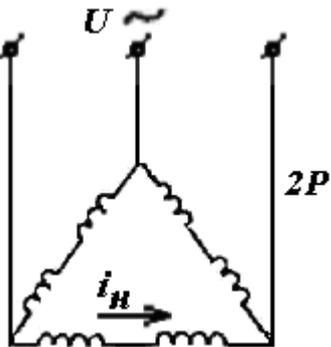
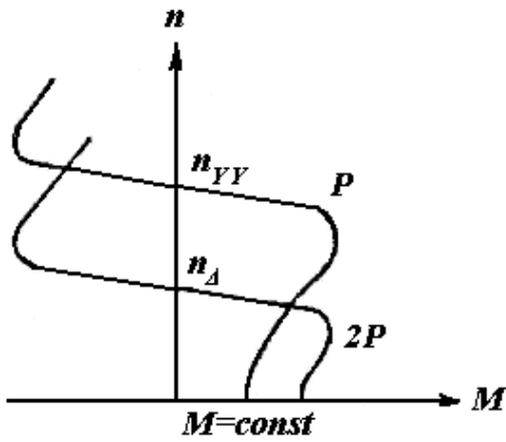
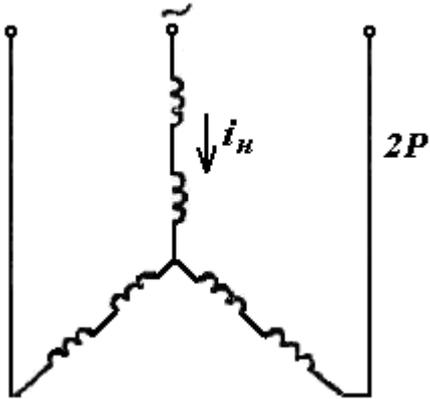
скоростью, поэтому момент инерции ротора значительно больше, чем односкоростного двигателя, имеющего скорость, равную высшей скорости многоскоростного двигателя на такую же мощность. Потери при пуске, торможении пропорциональны моменту инерции ротора, следовательно, при пуске на высшую скорость потери многоскоростного двигателя больше, чем в односкоростном двигателе той же мощности и скорости. Для уменьшения потерь в переходных режимах целесообразно применять ступенчатый пуск и торможение многоскоростных двигателей (например: потери при ступенчатом пуске двигателя от 0 до 3000 об/мин и при ступенчатом торможении от 3000 до 0 об/мин уменьшаются в два раза, чем при прямом пуске и торможении).

В лабораторном стенде применен 3-х скоростной АД с двумя обмотками, одна из которых переключается с треугольника на двойную звезду, а вторая соединена в звезду.

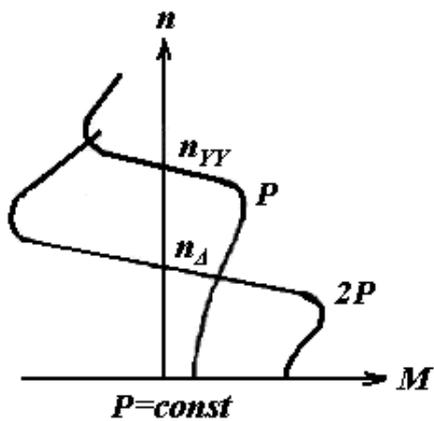
При составлении схем управления необходимо учитывать:

1. Возможность переключения скорости при $P = \text{const}$ и $M = \text{const}$, т.е. последовательность переключения должна осуществляться следующим образом:
 - а) при $P = \text{const}$ с первой скорости на третью;
 - б) при $M = \text{const}$ со второй скорости на третью.
2. Возможность использования кнопок управления для взаимной блокировки контакторов, так например, при нажатии кнопки **SB** (направление вращения вперед) должна размыкаться цепь катушки контактора **KM₂** (направление вращения назад) и наоборот. Такие же взаимные блокировки должны осуществляться в цепях контакторов **KM₃**, **KM₄**, **KM₅** с помощью контактов кнопок **SB₅**, **SB₆**, **SB₇**. Это позволяет осуществить переход из одной скорости в другую без нажатия кнопки «Снять скорость» (**SB₂**). Для осуществления полного отключения схемы необходимо использовать кнопку «Стоп» (**SB₁**).

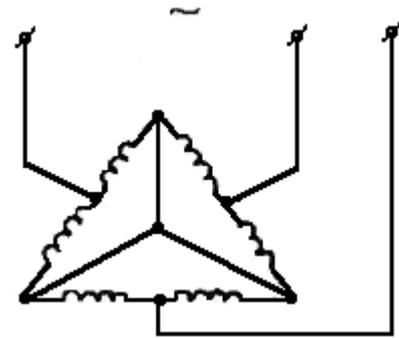
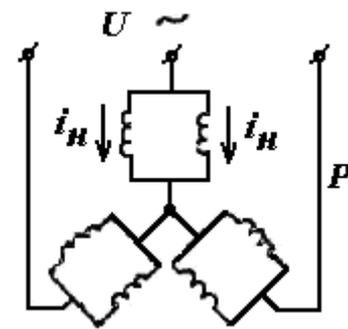
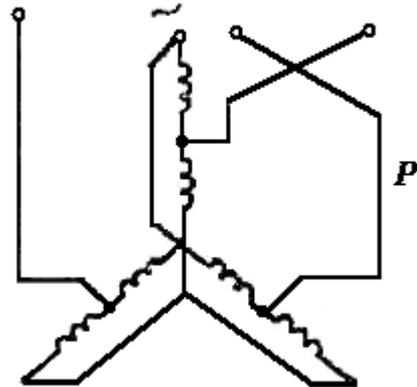
$$P_Y = 3 \frac{u}{\sqrt{3}} i_n \cdot \cos \varphi_Y = \sqrt{3} u \cdot i_1 \cdot \cos \varphi$$



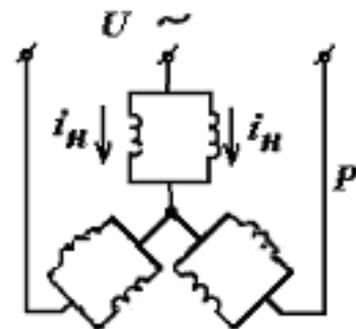
$$P_\Delta = 3U \cdot i_n \cdot \cos \varphi_\Delta$$

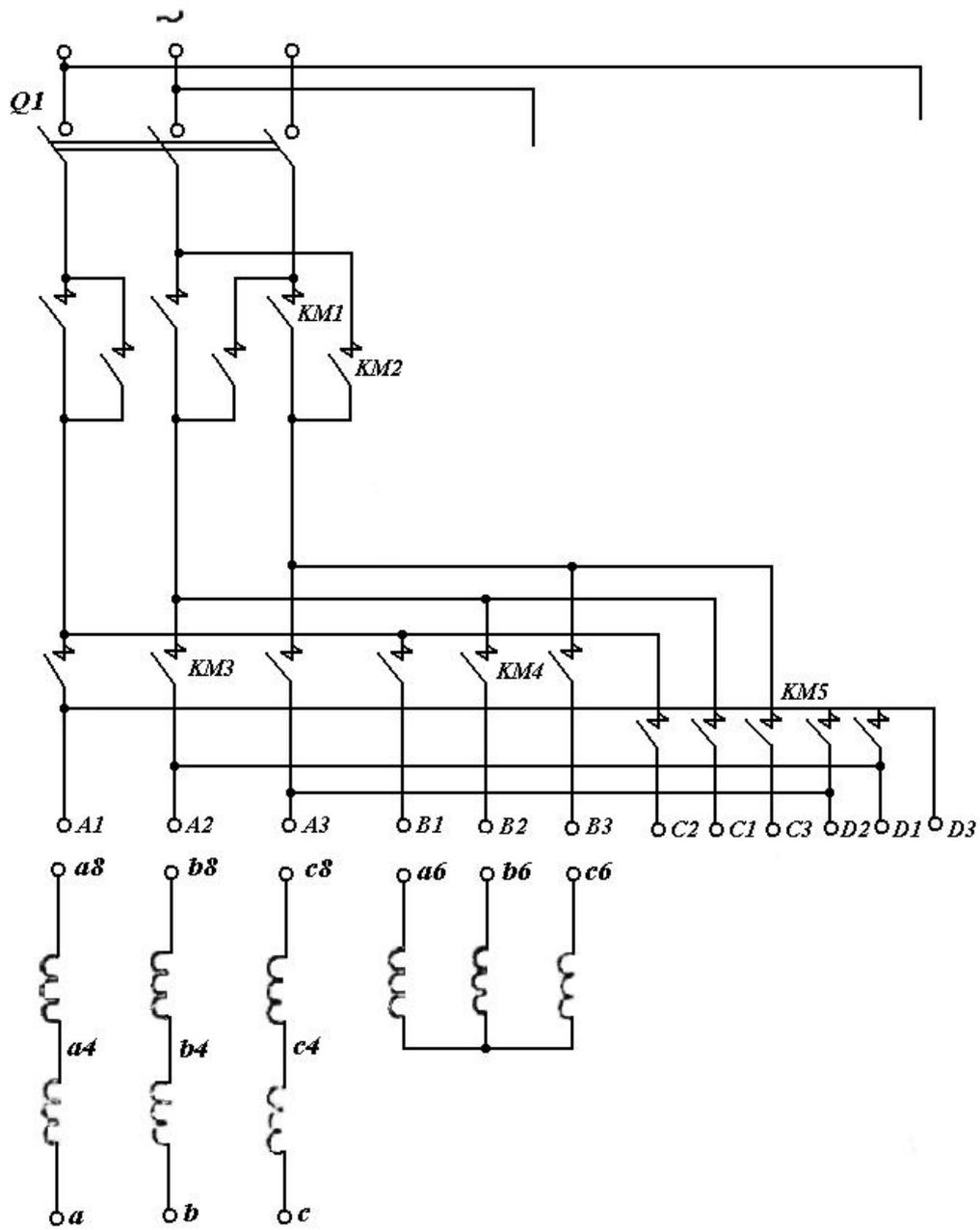


$$P_{YY} = 3 \frac{u}{\sqrt{3}} 2i_n \cdot \cos \varphi_{YY} = 2\sqrt{3} u \cdot i_n \cdot \cos \varphi$$



$$P_{YY} = 3 \frac{u}{\sqrt{3}} 2i_n \cdot \cos \varphi_{YY} = 3,46u \cdot i_n \cdot \cos \varphi_{YY}$$





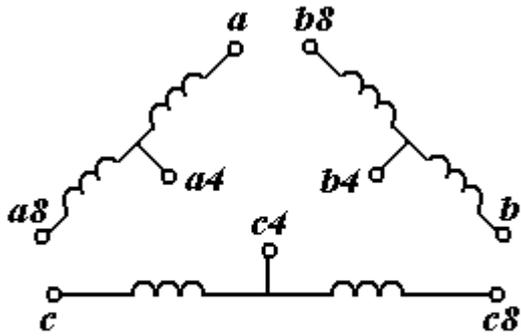


схема 1

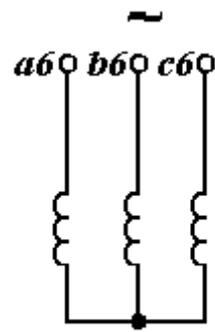
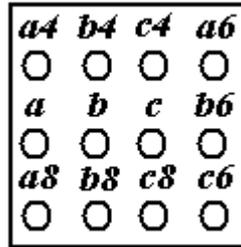
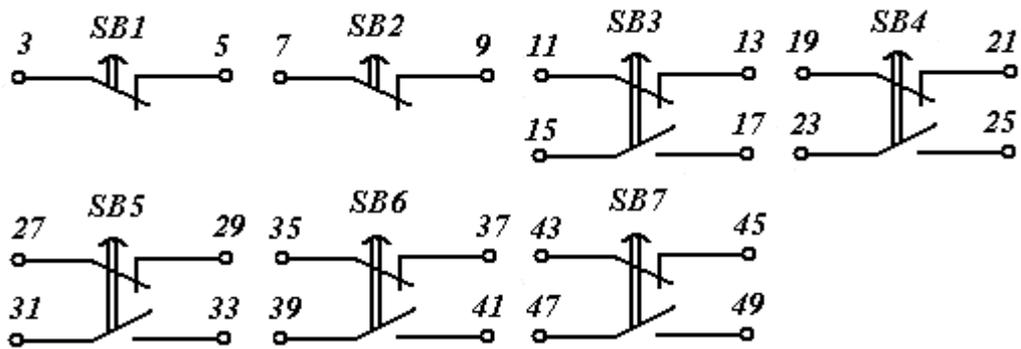
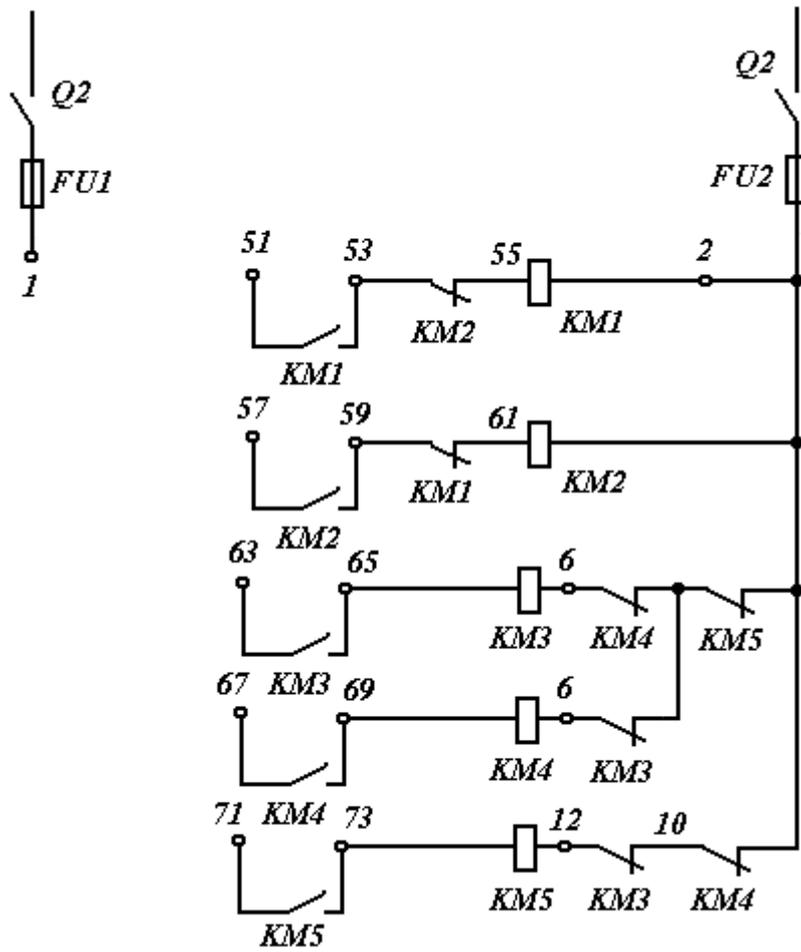


схема 2



Тип АД – 56 – 8 / 6 / 4

	50 Гц	380 В	70% ЕД
	1 скорость	2 скорость	3 скорость
	Δ	Y	YY
I_{cm} , А	10,3	12,3	13,8
P_n , кВт	3,8	4,4	5,5
n_n , об/мин	700	940	1380
$\cos\varphi$	0,85	0,7	0,8



Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ, СБОРКА И НАЛАДКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы: закрепление теоретических и практических знаний, а также приобретение навыков по сборке и наладке схем автоматического управления на примере стенда с двигателем постоянного тока независимого возбуждения.

Состав лабораторного стенда:

- а) типовая панель СМ-6326;
 - б) двигатель постоянного тока типа МИ-41 т;
 - в) регулировочный резистор;
 - г) ящики сопротивлений типа ЯС 100-2.
- Точки подключения от них выведены на клемную доску панели.

Принципиальная схема лабораторной установки.

Схема установки изображена на рис. 3.2., где приняты следующие обозначения:

М и **LM** – мотор и обмотка возбуждения двигателя;

SM₀÷SM₅ – контакты командоконтроллера;

R₁, R₂, R₃ – резисторы ускорения;

R₄, R₅, R₆, R₇ – соответственно: резисторы динамического торможения, разряда обмотки **LM**, цепи возбуждения, ограничивающий в цепи катушки реле динамического торможения.

Контакты:

KM – линейный;

KM₁ – динамического торможения;

KM₂÷KM₅ – реверсирующие;

KM₇÷KM₉ – ускорения.

Реле:

FA₁, FA₂ – защиты от максимальных токов;

KT₂÷KT₄ – ускорения (по времени) при пуске до основной скорости;

KT₅, KT₆ – ускорения (при пуске с ослабленным потоком).

FU₁, FU₂ – предохранители;

Q₁, Q₂ – рубильники.

Паспортные данные двигателя:

Тип МИ-41Т; мощность $P_n=1,6$ кВт; ток якоря $I_n=4,5$ А; напряжение $U_n=220$ В; скорость $n_n=1000$ об/мин; сопротивление обмотки якоря и дополнительных полюсов $R_\alpha+R_{дон}=5,32$ Ом; маховый момент $GD^2=0,23$ кг·м².

Схема предусматривает трехступенчатый пуск двигателя в функции независимой выдержки времени, реверсирование с динамическим торможением в функции скорости, остановку в режиме динамического торможения и пуск на скорость выше основной (номинальной) путем двухступенчатого ослабления магнитного поля двигателя с независимой выдержкой времени.

В качестве реле времени использованы электромагнитное реле с демпфирующим КЗ кольцом (**KT₁, KT₂, KT₅, KT₆**) и с закорачиваемыми катушками (**KT₃, KT₄**). Для защиты от самозапуска и недопустимого снижения напряжения питания применен контактор **KV**.

С целью уменьшения нагрева обмотки возбуждения **LM**, остающейся включенной при неработающем двигателе, в ее цепь введено полное сопротивление регулятора возбуждения **R₆**. При пуске двигателя перед включением якоря резистор **R₆** шунтируется контактами реле **KT₅, KT₆** (6-8, Ш2-6). Реле **KT₁** своими замыкающими контактами (2-48) создает выдержку времени перед включением линейного контактора **KM₆** после замыкания реверсивных контакторов. Такая выдержка времени необходима для того, чтобы цепь якоря замыкалась уже после того, как магнитный поток двигателя достигнет достаточной величины (поскольку до пуска он был ослаблен введением резистора **R₆**). Кроме того, реле **KT₁** своими контактами (32-34) шунтирует

первый момент пуска контакта реле **КФ** (32-34), обеспечивая этим возможность подготовки к пуску включение контакторов **КV**, **КМ₂**, **КМ₃** или **КV**, **КМ₄**, **КМ₅** при не притянувшемся якоре **КФ**.

Пуск до скорости выше основной, заранее задаваемой путем установки рукоятки **Р₆**, производится размыкание контактов реле **КТ₅** и **КТ₆** (6-8), Ш2-6, шунтирующих при пуске сопротивление **Р₆**. Во избежание недопустимых толчков тока в якорной цепи при быстром ослаблении потока сопротивление резистора **Р₆** вводится двумя ступенями при помощи реле управления полем **КТ₅** и **КТ₆**, которые после окончания пуска последовательно с выдержкой времени размыкают свои контакты и вводят установленное сопротивление **Р₆** в цепь обмотки возбуждения.

Реле торможения **KU** предотвращает возможность противовключения при реверсировании двигателя, препятствуя своим размыкающим контактом (32-42). Контакты (2-32) реле **KU** осуществляют контроль за нормальной работой самого реле, отключая двигатель в конце пуска, если реле неисправно.

Остановка и реверсирование двигателя осуществляется путем динамического торможения в одну ступень при полном потоке, либо ослабляется за счет включения сопротивления резистора **Р₆** (для этого следует снять перемычку 11-81, шунтирующую размыкающий контакт **КМ₁**).

Реле обрыва поля (оно же реле нулевого тока, реле контроля тока возбуждения) **КФ** защищает двигатель от недопустимого повышения скорости и тока якоря при снижении тока возбуждения путем отключения катушки контактора **КV**.

В схеме предусмотрены также максимальная токовая защита посредством реле **ФА₁** и **ФА₂**, механическая и электрическая блокировка между реверсивными контакторами, исключающая их одновременное включение.

Командоконтроллерное управление позволяет обеспечить четкую последовательность работы на пусковых характеристиках и получить, таким образом, ступенчатое регулирование скорости вниз от номинальной скорости.

Недостатком рассматриваемой схемы является несовершенное управление возбуждением, требующее большого количества аппаратов и не предохраняющего двигатель от толчков тока при резком изменении тока возбуждения, что может иметь при ручном управлении регулятором возбуждения **Р₆**.

Последовательность работы схемы.

Схему (рис. 3.2.) изображают в нормальном состоянии, когда не подано напряжение питания. Для приведения в исходное положение рубильники **Q₁** и **Q₂** включаются в сеть, командоконтроллер находится в нулевом положении. Тогда обмотка возбуждения **LM** подключается к сети последовательно с сопротивлением **Р₆**, срабатывает реле **КТ₁** и **КТ₂**. Реле **КТ₂** размыкает свой контакт (48-52), разрывая цепь катушки **КМ₇**, **КМ₈**, **КМ₉**, а реле **КТ₁** замыкает (32-34), шунтируя контакт **КV**, и размыкает контакт (2-48), разрывая цепь катушки **КМ₆** и контактор **КV**, замыкающий контакт 1-41.

Пуск

При переводе рукоятки командоконтроллера в положение «3» вперед замыкаются его контакты **SM₁**, **SM₃**, **SM₄**, **SM₅**. Контакторы **КМ₂**, **КМ₃**, получив питание по цепи 1-11-21-44-42-32-2, срабатывают и подготавливают якорную цепь двигателя для включения в направлении вращения вперед. Их блок - контакты (24-2) разрывают цепь катушки **КТ₁**; (42-32) блокирует размыкающие контакты **KU**; (41-11) подготавливает цепь питания **КМ₆**, **КМ₇**, **КМ₈**, **КМ₉**, **КТ₆**. Эти реле шунтируют сопротивление резистора (Ш2-2-8), обеспечивая возрастание потока возбуждения до номинального значения.

По истечении выдержки времени реле **КТ₁** размыкает свой контакт 34-32, и если к этому времени размыкающий контакт **КФ** не замкнулся (обрыв цепи возбуждения), контактор **КV** отключает цепь управления. Если цепь возбуждения в порядке и контакт **КФ** замкнут, питание **КV** прерывается. Второй контакт **КТ₁** (48-2) замкнувшись, даст питание катушке **КМ₆**. Сработав контактор **КМ₆** своим главным контактом подключает двигатель к сети через пусковые резисторы **Р₁**, **Р₂**, **Р₃**, а своим размыкающим блок – контактом 12-2 разрывает цепь катушки первого реле ускорения **КТ₂**. Двигатель начинает разгон при полном потоке (контакты

КТ₅ и **КТ₆**, Ш2-6-8 замкнуты), при введенных в цепь якоря всех степеней пускового сопротивления **R₁**, **R₂**, **R₃**. Реле **КТ₃**, **КТ₄**, получив питание от падения напряжения на пусковых сопротивлениях, притягивают свои якоря и размыкают контакты 52-54 и 54-56.

По истечении выдержки времени реле **КТ₂** замыкает контакты 48-52 и подает питание контактору **КМ₇**, шунтирующему первую ступень пускового сопротивления **R₁**, которое с выдержкой времени подает питание контактору **КМ₈**, и закорачивает катушку. Последний шунтирует вторую ступень пускового сопротивления **R₂** и закорачивает катушку **КТ₄**. Кроме того, своим контактом (Ш2-4) **КМ₈** подготавливает цепь регулирования тока возбуждения реостатом **R₆**.

По истечении выдержки времени реле **КТ₄** подает питание катушке **КМ₉** (контакты 54-56). Контактор **КМ₉**, сработав шунтирует последнюю ступень пускового сопротивления и переводит двигатель на естественную характеристику. Одновременно размыкаются его блок – контакты 2-32 и 2-58. Контактными 2-32 проверяется срабатывание реле **КУ**. Если по каким-либо причинам реле **КУ** не сработало, его контакты (2-32) не замкнуты в момент размыкания блок – контактов **КМ₉**, прервется цепь **КV** и схема будет отключена. Блок – контакты **КМ₉** (2-62) разрывают цепь катушки **КТ₆**. Реле **КТ₆** с выдержкой времени отпускает свой якорь с контактами (6-8), выводит первую ступень реостата **R₆**, а контактами (2-62) разрывает цепь катушки **КТ₆**. Реле **КТ₆** с выдержкой времени вводит вторую ступень реостата **R₆**, обеспечивая заданную положением рукоятки **R₆** скорость двигателя. Если требуемая скорость невелика, то ослабление поля произойдет при размыкании контактов **КТ₅** (6-8).

Остановка

Для остановки двигателя командоконтроллер следует перевести в нулевое положение. При этом потеряют питание все включенные контакторы (**КМ₂**, **КМ₃**, **КМ₆**, **КМ₈**, **КМ₉**). Двигатель отключается от сети, однако схема в исходное положение не придет, т. к. двигатель, продолжая вращаться по инерции будет развивать ЭДС, обеспечивающую питание реле **КУ**. Поэтому контакты **КУ** (26-24) удерживаются во время вращения двигателя замкнутыми. Как только замкнется размыкающий блок – контакт отключившегося контактора **КМ₃** (24-22) получит питание катушка **КМ₁**. Контактор **КМ₁** срабатывает, главный контакт его подключит якорь двигателя на тормозное сопротивление **R₄**, а размыкающий блок – контакт (41-11) подключит цепь катушек **КТ₅** и **КТ₆**. Реле **КТ₅** и **КТ₆** сработав обеспечивают усиления поля на период торможения.

В случае снятой перемычки (11-81), шунтирующей размыкающий блок – контакт **КМ₁**, усиление поля будет неполным (реле **КТ₆** не срабатывает). Это сделано для исключения недопустимых бросков тока при глубоком регулировании скорости (более чем 2:1). Когда скорость двигателя будет близка к нулю, реле **КУ** отпустит свой якорь и разорвет цепь питания контактора **КМ₁** и схема придет в исходное положение.

Реверс

При реверсе двигателя схема работает в два этапа:

- а) в начале происходит остановка, путем динамического торможения до отключения реле **КУ**, защищающего двигатель от режима противовключения;
- б) затем происходит пуск, аналогично вышеописанному.

ИЗУЧЕНИЕ И НАЛАДКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы: закрепление теоретических знаний по разработке, созданию монтажа, наладки и эксплуатации релейно-контакторных схем автоматического управления пуском и торможением двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Лабораторная установка состоит из типовой панели СН-6015, ящиков сопротивлений серии ЯС, двигателя ПН-28,5 и командоконтроллера.

Схема панели СН-6015 и размещение клеммников для внешних соединений приведена на рис. 4.2. Панель предназначена для управления двигателями ответственных механизмов. И поэтому на ней установлены два перекидных рубильника Q_3 и Q_4 , которые в случае каких-либо повреждений аппаратов, нарушающих схему работы, позволяют переключить двигатель и командоконтроллер на резервную панель, сводя тем самым к минимуму время аварийного простоя механизма.

Описание схемы:

Схема на рис. 4.1. предусматривает двухступенчатый пуск двигателя в функции независимой выдержки времени, реверсирование с торможением в режиме противовключения в функции скорости и остановку свободным выбегом. Управление обеспечивается командоконтроллером, предусматривающим двухступенчатое регулирование скорости введением в цепь якоря пусковых сопротивлений. Диаграмма замыканий командоконтроллера приведена на рис. 4.2.

Наличие ступени противовключения создает небольшой начальный момент двигателя, чем смягчаются удары при пуске и повышается его плавность, т. е. создается ступень противовключения. Пусковые резисторы должны быть выбраны из условия длительного нахождения под током из-за использования их при работе на пониженных скоростях.

В качестве реле ускорения (реле времени) применены электромагнитные реле РЭ-100. Оба реле KT_1 и KT_2 заряжаются (питаются) падением напряжения на тормозной и пусковой ступени резистора в первый момент включения на сеть. Выдержка времени определяется продолжительностью падения тока в короткозамкнутых катушках, создаваемых замыканием контакторов KM_6 , KM_7 . Эти токи возникают за счет электромагнитной энергии, запасенной катушками реле KT_1 , KT_2 .

Управление ступенью противовключения, осуществляемой в функции скорости, производится при помощи реле KU_1 и KU_2 (РЭ-100). Эти реле включены в диагональ моста, состоящего из резистора R_4 и $R_1+R_2+R_3$, и источника питания и якоря двигателя с ЭДС E_d . Такая схема позволяет обеспечить отсутствие напряжения на катушке реле KU в момент переключения схемы на режим торможения и его повышение при снижении скорости в процессе торможения. При скорости примерно $0,2\omega_0$, когда напряжение на катушке составит 40% от U_c , реле срабатывает, и дальнейшее торможение произойдет также в режиме противовключения, но только с пусковыми ступенями резисторами, когда $J < J_{доп}$.

В схеме предусмотрены: максимальная токовая защита двигателя (реле FA_1 , FA_2) нулевая защита (реле KV), плавкие предохранители FU_1 , FU_2 для защиты цепи управления, разрядный резистор для шунтирования обмотки возбуждения двигателя дополнительным ножом рубильника Q_2 при ее отключении.

Работа схемы:

В исходном положении схемы перекидные рубильники Q_3 и Q_4 включены в положении «Рабочая панель» (РП), которые подключают двигатель и командоконтроллер к панели, и рубильники Q_1 и Q_2 , подключающие главную цепь и цепь управления к сети.

Обмотка возбуждения двигателя LM получает питание и, если командоконтроллер SM находится в нулевом положении, и его контакт SM_0 замкнут, включается реле KV , и своими контактами (1-41) шунтирует SM_0 . Если теперь перевести рукоятку командоконтроллера в одно из крайних положений «3-вперед» или «3-назад», то произойдет автоматический пуск двигателя до полной скорости, соответствующей нагрузке.

При переводе рукоятки **SM**, например, в положение «3-ВП» размыкается контакт **SM₀**, вводя в действие нулевую защиту, и замыкаются контакты **SM₁**, **SM₂**, **SM₃**, **SM₅**, получают питание катушки **KM₁**, **KM₂**, **KM₃**. Эти контакторы подключают якорь двигателя к сети для вращения в направлении «вперед». При этом проходящий по цепи якоря ток значительно меньше пускового, так как величина его ограничена суммой сопротивлений резисторов всех пусковых ступеней (**R₂**, **R₃**) и торможения противовключения (**R₁**). Двигатель развивает небольшой пусковой момент, т. е. создается режим предварительного пуска. Падения напряжения на резисторах **R₁** и **R₂** достаточны для втягивания реле ускорения **KT₁**, **KT₂**, которые мгновенно размыкают свои контакты (2-32) и (32-42) в цепи катушек контакторов ускорения **KM₇** и **KM₈**. Одновременно срабатывает реле **KU₁**, так как напряжение на его катушке при неподвижном двигателе больше напряжения трогания. Замыкающие контакты (21-51) замкнувшись подключают питание катушки **KM₆**. Контактор **KM₆** сработав закорачивает ступень противовключения (**P₁-P₂**), а также катушку реле ускорения **KT₁**. Двигатель начинает разгоняться на первой пусковой характеристике. По истечении выдержки времени **KT₁**, происходит замыкание контактов (2-32) и получает питание катушка контактора ускорения **KM₇**. В свою очередь контактор **KM₇**, замкнув цепь (**P₂-P₃**) отключает пусковую ступень и закорачивает катушку реле ускорения **KT₂**. По истечении выдержки времени **KT₂** своими контактами (32-42) подает питание контактору **KM₈**, который шунтирует вторую ступень резистора (**P₃-P₄**) и переводит двигатель на естественную характеристику.

При переводе рукоятки командоконтроллера в нулевое положение **SM₀**, цепи катушек всех контакторов разрываются и двигатель отключается от сети, а схема приходит в исходное положение. Двигатель останавливается свободным выбегом или тормозом, катушка которого **T₁-T₂** включается последовательно с якорем двигателя.

Для реверса двигателя рукоятку **SM** нужно перевести из рабочего положения одного направления вращения в одно из положений другого направления вращения, не задерживаясь в нулевом положении. Например, из рассмотренного ранее положения «3-ВП» переведен командоконтроллер **SM** в положение «3-НЗ». При переводе **SM** через нулевое положение теряют питание все аппараты управления (кроме реле **KV**) и поэтому размыкаются контакты всех включенных при ходе «вперед» контакторов. Затем замыкаются контакты контакторов **KM₄** и **KM₅**. Якорь двигателя, продолжающий вращаться по инерции вперед, подключается к сети всеми резисторами **R₁-R₂** и **R₂-R₄**, но при полярности, соответствующей направлению «назад». Ток якоря теперь значительно больше, чем при пуске, так как величина его в режиме противовключения определяется суммой действующих в цепи якоря напряжения сети и ЭДС двигателя, т.е.

$$I_r = \frac{U_c + E_o}{R_r + R_1 + R_2 + R_3} = \frac{U_c + E_o}{R_r + R_3}$$

Напряжение на катушке **KU₂** равно в этом случае разности напряжения сети и падения напряжения в резисторах, т. е. оказывается очень малым и недостаточным для втягивания реле. Находясь в режиме противовключения, двигатель интенсивно тормозится и по мере снижения скорости, напряжение на реле **KU₂** возрастает. При скорости двигателя, близкой к нулю, напряжение на катушке **KU₂** достигнет значения напряжения втягивания, реле **KU₂** срабатывает и своими контактами (31-51) подает питание катушке **KM₆**. Контактор **KM₆** включившись, шунтирует ступень противовключения **P₁-P₂** и одновременно закорачивает катушку **KT₁**. Начинается процесс пуска в обратную сторону. Все остальное происходит аналогично процессу пуска вперед.

Реверс двигателя из хода «назад» на ход «вперед» происходит аналогично, но режим противовключения управляется реле **KU₁**. Если режим противовключения необходимо использовать только для торможения привода, то при остановке двигателя, и даже несколько раньше, рукоятку командоконтроллера нужно поставить в нулевое положение. Для регулирования скорости двигателя используются промежуточные положения рукоятки **SM**, на которых соответствующие контакторы ускорения выпадают, двигатель работает на искусственных характеристиках.

ЗАДАНИЯ ПО РАБОТЕ

1. Изучить развернутую схему установки и ознакомиться с расположением аппаратов на ней.
2. Составить спецификацию оборудования установки.
3. По заданному режиму пуска и торможения определить величины пусковых и тормозного сопротивлений резисторов.
4. Определить уставки реле ускорения (K_{T1} , K_{T2}), реле торможения (K_{U1} , K_{U2}) и реле защиты (FA_1 , FA_2). Ознакомиться с методикой настройки их при наладке схемы.
5. Собрать схему управления двигателем от исследуемой панели.
6. Произвести опробование работы схемы, проследить за работой аппаратуры.
7. Отыскать заданное повреждение в схеме, устранить его, указать в чем оно состояло и как себя проявило.
8. Описать работу схемы.

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ, СБОРКА И НАЛАДКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ (ПАНЕЛЬ СМ-2204)

Цель работы: изучить схему автоматического пуска синхронного двигателя и развить навыки по чтению, сборке и наладке схем автоматического управления электроприводами.

Программа работы:

1. Ознакомиться с электрооборудованием, используемым в работе, расположением и назначением элементов схемы.
2. Изучить принцип работы и последовательность работы аппаратов схемы.
3. Собрать силовую схему и схему управления на лабораторной установке.
4. Произвести два, три пробных пуска двигателя, проследив за работой ее аппаратуры. Показания измерительных приборов и время запуска записать.
5. Определить кратность пускового тока.
6. Во время наладки схемы во избежание нагрева пусковой обмотки СД допускается не более трех пусков подряд. Последующие пуски должны производиться через 20 минут.
7. Отыскать заданное повреждение в схеме управления и устранить его, указав в отчете в чем оно состояло и как себя проявило.
8. Составить отчет по проделанной работе.

Описание лабораторной установки:

Состав лабораторной установки:

- М–синхронный двигатель ($P_H=5\text{кВт}$, $U_H=220\text{В}$, $I_H=12,55\text{А}$, $n=1500$ об/мин);
- G–возбудитель с самовозбуждением ($P_H=0,5\text{кВт}$, $U_H=85\text{В}$, $I_H=6,3\text{А}$, $n=1500$ об/мин);
- Пульт управления с кнопочной станцией;
- Сигнальные лампы и приборы;
- Шунтовой регулятор к возбудителю и сопротивление $R=2400$ Ом для шунтирования обмотки возбуждения двигателя при пуске;
- Две наборных панели, на клеммы которых выведены пронумерованные концы схемы управления;
- **Контакты:**
 - ✓ KM_1 –линейный;
 - ✓ KM_2 –контактор подачи возбуждения;
 - ✓ KM_3 –контактор форсирования возбуждения.
- **Реле:**
 - ✓ KF–реле наличия тока возбуждения;
 - ✓ KU–реле наличия напряжения в сети;
 - ✓ РВЧ–маятниковое реле времени, пристроенное к линейному контактору КМ.
- **Рубильники:**
 - ✓ Q_1 –включение схемы управления;
 - ✓ Q_2 –включение силовой цепи.

Лабораторная установка позволяет осуществить прямой асинхронный пуск синхронного двигателя. Питание обмотки возбуждения двигателя осуществляется от возбудителя, который посажен на одном валу с двигателем, или от независимого источника тока (в зависимости от положения переключателя Q_2).

Сборка схемы:

Сборке схемы подлежит часть схемы (силовая и управления), показанная на рис. 5.1. пунктиром. При сборке силовой части схемы следует использовать проводники соответствующего сечения. Расположение точек присоединения на панели показано на рис. 5.2. При сборке схемы управления необходимо соединить проводниками точки наборного поля рабочей панели. Нумерация концов пульта управления проведена цифрами второй сотни 126, 134, 139 и т.д., а схема панели – цифрами первой сотни – 26, 34, 39 и т.д.

Подача возбуждения осуществляется в функции скорости. Схемой предусматриваются следующие защиты и блокировки:

1. Защита синхронного двигателя М от перегрузок осуществляется тепловыми реле FA_1 , FA_2 .
2. Защита от асинхронного режима при включенном контакторе KM_2 (асинхронный режим возникает при исчезновении тока возбуждения или недопустимом его значении при выпадении М из синхронизма или не втягивания в синхронизм при пуске) осуществляется реле КФ. Это реле снабжено КЗ демпфером, чтобы не отключать М при кратковременном снижении тока возбуждения, которое может иметь место при резких толках нагрузки.
3. Защита, осуществляемая контактором KM_1 , отключает двигатель при исчезновении напряжения или действия других защит. Нулевая защита предотвращает самозапуск М при восстановлении напряжения.
4. Защита от КЗ в цепях управления осуществляется предохранителями FU_1 , FU_2 .
5. Блокировка (блок-контакт) Q_2 (2-3) не разрешает пуск двигателя при отсутствии напряжения в сети, питающей возбуждение М. Наличие напряжения контролируется реле КУ. Если питание возбуждения предполагается от возбудителя, посаженного на одном валу с М (переключатель Q_2 в верхнем положении), то эта блокировка, замкнутая в его верхнем положении, используется блок-контактом переключателя.
6. Блокировка, обеспечивающая форсированное самовозбуждение возбудителя Г за время разгона М до подсинхронной скорости, осуществляется контактором KM_3 . Схемой предусмотрена сигнализация цветными лампами HL_2 (зеленая – М готов к пуску или отключен), HL_1 (белая – М в режиме пуска), HL_3 , HL_4 (красная – М в работе).

Последовательность работы схемы:

В исходном положении схемы на зажимы L_1 , L_2 , L_3 подано напряжение, рубильник Q_1 включен, выключена HL_2 , переключатель Q_2 находится в верхнем положении и его блок-контакт (1-3) замкнут, контактор KM_3 включен и шунтируется R_4 , обмотка возбуждения М подключена на сопротивление $R_1=3\div 10 R_{об}$ для уменьшения тока в роторной цепи и следовательно для улучшения пусковой характеристики.

Пуск двигателя

При нажатии на кнопку SB_2 получает питание контактор KM_1 . Своими главными контактами подключает М к сети и последний начинает разгон в асинхронном режиме. Блок-контакт KM_1 (6-8) блокирует пусковую кнопку, (1-32) отключает HL_2 (1-30), включает HL_1 (2-14), подготавливает цепь включения KM_3 . При включении KM_1 заводится маятниковое реле РВЧ, но работать оно не может, т.к. стопорный соленоид РЧ, подключенный на падение напряжения сопротивлений R_1 при скорости М меньше $0,95n$ держит якорь статора втянутым в анкер, механизм выдержки времени застопорен.

Когда скорость М достигнет значения $(0,4-0,5)n$, начинается процесс форсированного самовозбуждения. При достижении двигателя подсинхронной скорости $0,95n$ уменьшается падение напряжения на R_1 , не обеспечивается удержание якоря стопора РЧ, пружина поднимает его и освобождает анкер механизма выдержки времени, который отработав заданную установку времени замыкает свой контакт (14-16) в цепи катушки KM_2 . Контактор, включившись, своими главными контактами подает постоянный ток от возбудителя Г в обмотку возбуждения мотора, отключается сопротивление R_1 , но контакты KM_2 замыкаются раньше, чем размыкается его нормально замкнутый контакт и наоборот. Это обеспечивает нормальную коммутацию цепи обмотки возбуждения, обладающей большой индуктивностью при отключении KM_2 . Блок-контакт KM_2 (2-12) отключает KM_3 , чем снимает форсирование возбудителя и устанавливает ток возбуждения, заданный R_4 (2-34), отключает HL_3 .

Мотор при нормальных условиях пуска при подаче постоянного тока в обмотку возбуждения втягивается в синхронизм. Одновременно с включением KM_2 заводится пристроенное к нему маятниковое реле времени. После отработки заданной установки его контакт (7-9) размыкается. Однако, питание KM_1 не прерывается, т.к. установившийся ток

возбуждения обеспечивает срабатывание реле KF, контакты которого (7-9) блокируют размыкающие контакты КМ₂ (7-9).

Остановка двигателя

Остановка двигателя осуществляется нажатием кнопки стоп SB₁, что вызывает отключение контакторов КМ₁ и КМ₂. Мотор отключается от сети (КМ₁), снимается возбуждение (КМ₂), а обмотка возбуждения шунтируется сопротивлением, что приводит к гашению поля возбуждения. Мотор останавливается свободным выбегом. Схема приводится в исходное положение. Все виды защиты действуют, как кнопка SB₁, на отключение КМ₁. Тепловые реле срабатывают при нагрузках мотора или затянувшемся асинхронном режиме. При отсутствии тока возбуждения или выпадения из синхронизма мотора, что приводит к значительным колебаниям тока возбуждения, КМ₁ отключается контактами KF.