

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПУСКА
ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

**Методические указания
по выполнению лабораторной работы № 6
на стенде НТЦ-23**

Казань 2013

УДК 621.313
ББК 31.261.63
И88

И88 Исследование способов пуска трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором: Метод. указания по выполнению лабораторной работы № 6 на стенде НТЦ-23 / Сост.: Ю.А. Рылов, Н.Г. Баженов, Г.С. Магданов. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. – 20 с.

Методические указания содержат краткое описание конструкции, основные теоретические сведения, порядок выполнения и обработки полученных данных лабораторной работы на стенде НТЦ-23.

Предназначены для студентов 3 и 4 курсов КГЭУ всех форм обучения и бакалавров, обучающихся по дисциплине «Электрические машины».

УДК 621.313
ББК 31.261.63

Цель работы

Целью работы является изучение студентами способов пуска и пусковых свойств трехфазного асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором; приобретение практических навыков в сборке схем и снятии характеристик.

Продолжительность работы – 2 часа.

Краткие теоретические сведения

1. Общие положения

При рассмотрении возможных способов пуска необходимо учитывать следующие основные положения:

1) асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором должен развивать при пуске достаточно большой пусковой момент, который должен быть больше статического момента сопротивления на валу, чтобы ротор двигателя мог прийти во вращение и достичь номинальной частоты вращения;

2) величина пускового тока должна быть ограничена таким значением, чтобы не происходило повреждения двигателя и нарушения нормального режима работы сети;

3) схема пуска должна быть по возможности простой, а количество и стоимость пусковых устройств – малыми.

При пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором на холостом ходу в активном сопротивлении его вторичной цепи выделяется тепловая энергия, равная кинетической энергии приводимых во вращение маховых масс. При пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором под нагрузкой количество выделяемой энергии, соответственно, увеличивается.

Выделение энергии в первичной цепи обычно несколько больше, чем во вторичной. При частых пусках, а также при весьма тяжелых условиях пуска, когда маховые массы приводимых в движение механизмов велики, возникает опасность перегрева обмоток двигателя.

Число пусков асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в час, допустимое по условиям его нагрева, тем больше, чем меньше номинальная мощность двигателя и чем меньше соединенные с его валом маховые массы. Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором мощностью 3–10 кВт в обычных условиях допускают до 5–10 включений в час.

Пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором сопровождается переходным процессом, обусловленным переходом ротора

и механически связанных с ним частей исполнительного механизма из состояния покоя в состояние равномерного вращения, когда вращающий момент двигателя уравнивается суммой противодействующих моментов, действующих на ротор двигателя.

Пусковые свойства асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором определяются, в первую очередь, значением пускового тока I_{Π} или его кратностью $I_{\Pi}/I_{\text{НОМ}}$ и значением пускового момента M_{Π} или его кратностью $M_{\Pi}/M_{\text{НОМ}}$.

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, обладающий хорошими пусковыми свойствами, развивает значительный пусковой момент при сравнительно небольшом пусковом токе. Однако получение такого сочетания пусковых параметров в асинхронном двигателе сопряжено с определенными трудностями, а иногда оказывается невозможным.

В начальный момент пуска скольжение $s = 1$, поэтому, пренебрегая током холостого хода, пусковой ток определяется по формуле:

$$I_{\Pi} = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (x_1 + x_2)^2}}, \quad (1)$$

а пусковой момент определяется по формуле:

$$M_{\Pi} = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot r_2 \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot ((r_1 + r_2)^2 + (x_1 + x_2)^2)}. \quad (2)$$

Из этих формул следует, что улучшить пусковые свойства двигателя можно, увеличив активное сопротивление цепи ротора, так как в этом случае уменьшение пускового тока сопровождается увеличением пускового момента. В то же время напряжение по-разному влияет на пусковые параметры двигателя: с уменьшением напряжения пусковой ток уменьшается, что благоприятно влияет на пусковые свойства асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, но одновременно уменьшается пусковой момент. Целесообразность применения того или иного способа улучшения пусковых свойств двигателя определяется конкретными условиями эксплуатации двигателя и требованиями, которые предъявляются к его пусковым свойствам.

Помимо пусковых значений тока I_{Π} и момента M_{Π} пусковые свойства двигателей оцениваются еще и такими показателями, как продолжительность и плавность пуска, сложность пусковой операции, ее экономичность (стоимость и надежность пусковой аппаратуры и потерь энергии в ней).

2. Прямой пуск АД с короткозамкнутым ротором

Наиболее простым способом пуска двигателя с короткозамкнутым ротором является включение обмотки его статора непосредственно в сеть, на номинальное напряжение обмотки статора. Такой пуск называется прямым. При этом пусковой ток двигателя (рис. 1): $I_{\Pi} = (5 \div 7) \cdot I_{\text{ном}}$.

Современные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором проектируются с таким расчетом, чтобы они по величине возникающих при пуске электродинамических усилий, действующих на обмотки, и по условиям нагрева допускали прямой пуск. Поэтому прямой пуск возможен, когда сеть достаточно мощна и пусковые токи не вызывают недопустимо больших падений напряжения в сети, не более 10–15 %.

Нормальным способом пуска двигателей с короткозамкнутым ротором является прямой пуск. При небольшой инерционности исполнительного механизма частота вращения ротора двигателя быстро достигает установившегося значения и пусковой ток также быстро падает, не вызывая перегрева обмотки статора. Если по условиям падения напряжения в сети прямой пуск двигателя с короткозамкнутым ротором невозможен, применяются различные способы пуска двигателя при пониженном напряжении. Однако при этом пропорционально квадрату напряжения на зажимах обмотки статора или квадрату пускового тока двигателя понижается пусковой момент, что является недостатком пуска при пониженном напряжении.

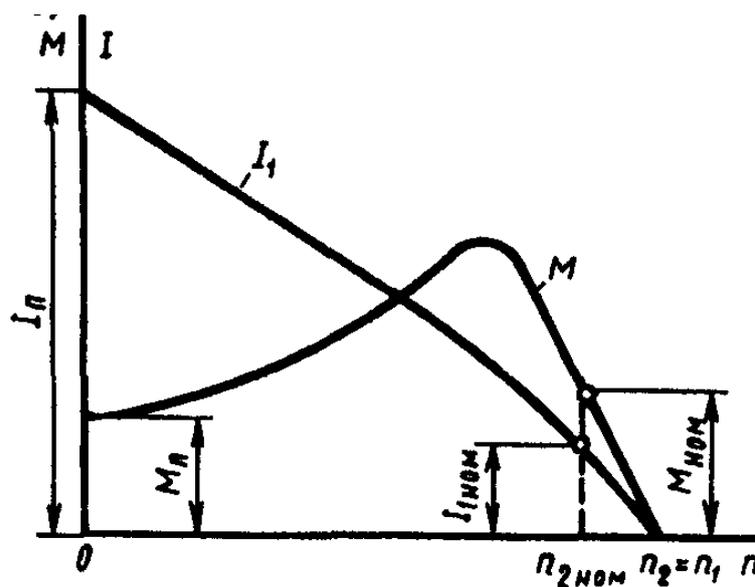


Рис. 1. График изменения тока и момента при пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Поэтому эти способы пуска применимы, когда возможен пуск двигателя на холостом ходу или под неполной нагрузкой. Необходимость пуска при пониженном напряжении встречается чаще всего у мощных высоковольтных двигателей. Существует несколько способов понижения подводимого к двигателю напряжения.

3. Пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник»

Для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, работающего при соединении обмоток статора «треугольником», можно применить пуск переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник». В момент подключения двигателя к сети переключатель ставят в положение «звезда», при котором обмотка статора оказывается соединенной в «звезду». При этом фазное напряжение на статоре снижается в $\sqrt{3}$ раз. Во столько же раз уменьшается и ток в фазах обмоток двигателя. Кроме того, при соединении обмоток «звездой» линейный ток равен фазному току, в то время как при соединении этих же обмоток «треугольником» линейный ток больше фазного в $\sqrt{3}$ раз. Следовательно, включив обмотки статора «звездой», линейный ток уменьшается в $\sqrt{3}$ раз. После того, как ротор двигателя разгонится до частоты вращения, близкой к установившейся, переключатель быстро переводят в положение «треугольник», и фазные обмотки двигателя оказываются под номинальным напряжением. Возникший при этом бросок тока является незначительным (рис. 2).

Рассмотренный способ пуска имеет существенный недостаток – уменьшение фазного напряжения в $\sqrt{3}$ раз сопровождается уменьшением пускового момента в $\sqrt{3}$ раз, так как пусковой момент асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором прямо пропорционален квадрату напряжения. Такое значительное уменьшение пускового момента не позволяет применять этот способ пуска для двигателей, включаемых в сеть при значительной нагрузке на валу.

Недостатком этого способа пуска является то, что при пусковых переключениях цепь асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором разрывается, что связано с возникновением коммутационных перенапряжений. Этот способ ранее широко применялся при пуске низковольтных двигателей, однако с увеличением мощности сетей потерял свое прежнее значение и сейчас используется сравнительно редко.

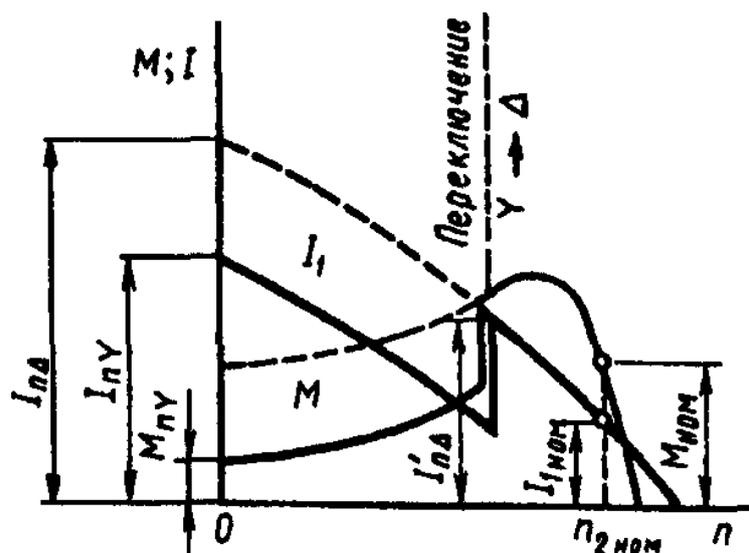


Рис. 2. График изменения момента и фазного тока при пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник»

4. Реакторный пуск АД с короткозамкнутым ротором

Более универсальным является способ пуска понижением подводимого к асинхронному двигателю с короткозамкнутым ротором напряжения посредством реакторов (реактивных катушек – дросселей).

Реакторный пуск осуществляется следующим образом. Сначала двигатель получает питание через трехфазный реактор (реактивную или индуктивную катушку), сопротивление которого ограничивает величину пускового тока. При этом ток из сети поступает в обмотку статора через реакторы, на которых происходит падение напряжения за счет индуктивного сопротивления реактора. В результате на обмотку статора подается пониженное напряжение. По достижении нормальной частоты вращения включается выключатель, который шунтирует реактор, в результате чего на двигатель подается нормальное напряжение сети.

Пусковые реакторы изготавливаются обычно с ферромагнитным сердечником и рассчитываются по нагреву только на кратковременную работу, что позволяет снизить их вес и стоимость. Для весьма мощных двигателей применяются также реакторы без ферромагнитного сердечника, с обмотками, укрепленными на бетонном каркасе.

Если составляющие сопротивления короткого замыкания двигателя равны r_K и x_K , то начальный пусковой ток при прямом пуске определяется по формуле:

$$I_{\text{п.п}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{r_{\text{к}}^2 + x_{\text{к}}^2}}. \quad (3)$$

При реакторном пуске, пренебрегая активным сопротивлением реактора, начальный пусковой ток определяется по формуле:

$$I_{\text{п.р}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{r_{\text{к}}^2 + (x_{\text{к}} + x_{\text{р}})^2}}. \quad (4)$$

Следовательно, при реакторном пуске начальный пусковой ток уменьшается в $\frac{I_{\text{п.п}}}{I_{\text{п.р}}}$ раз. Во столько же раз уменьшается и напряжение на зажимах двигателя в начальный момент пуска. Начальный пусковой момент при реакторном пуске уменьшается по сравнению с моментом при прямом пуске в $(\frac{I_{\text{п.п}}}{I_{\text{п.р}}})^2$ раз.

Недостаток этого способа пуска состоит в том, что уменьшение напряжения сопровождается существенным уменьшением пускового момента.

5. Автотрансформаторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Автотрансформаторный пуск осуществляется в следующем порядке. Сначала через автотрансформатор на статор асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором подается пониженное напряжение. При этом пусковой ток асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, измеренный на выходе автотрансформатора, уменьшается в k раз, где k – коэффициент трансформации автотрансформатора. Что же касается тока на входе автотрансформатора, то он уменьшается в k^2 раз по сравнению с пусковым током при прямом включении двигателя в сеть. Дело в том, что в понижающем автотрансформаторе первичный ток меньше вторичного в k раз, и поэтому уменьшение пускового тока при автотрансформаторном пуске составляет k^2 раз.

Таким образом, при автотрансформаторном пуске момент и ток асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором уменьшаются в одинаковое число раз. После достижения ротором двигателя определенной частоты вращения выключатель отключается, и двигатель получает питание через часть обмотки автотрансформатора, который в этом случае работает как реактор. Затем включается следующий выключатель, в результате чего

двигатель получает полное напряжение.

Пусковые автотрансформаторы рассчитываются на кратковременную работу. Согласно ГОСТ 3211-46 пусковые автотрансформаторы должны иметь ответвления, соответствующие величинам вторичного напряжения 45, 36 и 27 %. В каждом конкретном случае выбирается подходящая ступень напряжения.

Как и предыдущие способы пуска при пониженном напряжении, автотрансформаторный способ пуска сопровождается уменьшением пускового момента, так как значение последнего прямо пропорционально квадрату напряжения. С точки зрения уменьшения пускового тока, автотрансформаторный способ пуска лучше реакторного, но некоторая сложность пусковой операции и повышенная стоимость пусковой аппаратуры (понижающий автотрансформатор и переключающая аппаратура) несколько ограничивают применение этого способа пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

6. Пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при изменении частоты питающей сети f_1

Этот способ позволяет плавно изменять угловую частоту вращения ротора в наиболее широком диапазоне и, следовательно, позволяет уменьшить пусковые токи. Для его осуществления требуется, чтобы асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором получал питание от отдельного источника. В качестве такого источника могут быть использованы электромеханические или статические преобразователи частоты. В связи с развитием полупроводниковой техники в настоящее время наиболее предпочтительными являются полупроводниковые статические преобразователи.

При частотном пуске одновременно с изменением частоты f_1 приходится по определенному закону изменять и подводимое к обмотке статора напряжение U_1 . Это обусловлено определенными требованиями, предъявляемыми к механическим характеристикам асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Максимальный момент двигателя приближенно (пренебрегая сопротивлением r_1) определяется по формуле:

$$M_{\max} = \frac{K_D \cdot U_1^2}{f_1^2}, \quad (5)$$

где K_D – постоянный коэффициент асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Отношение моментов M_{\max} при двух значениях частоты будет равно:

$$\frac{M_{\max 1}}{M_{\max 2}} = \left(\frac{U_{1(1)} \cdot f_{1(2)}}{U_{1(2)} \cdot f_{1(1)}} \right)^2, \quad (6)$$

где индексы (1) и (2) относятся к различным угловым частотам вращения.

В общем виде закон изменения U_1 при регулировании частоты f_1 :

$$\frac{U_{1(1)}}{U_{1(2)}} = \frac{f_{1(2)}}{f_{1(1)}} = \sqrt{\frac{M_{\max 2}}{M_{\max 1}}}. \quad (7)$$

Если при пуске требуется, чтобы M_{\max} на механических характеристиках при любой частоте f_1 оставался неизменным (пуск с постоянным моментом), то получим

$$\frac{U_{1(1)}}{U_{1(2)}} = \frac{f_{1(2)}}{f_{1(1)}} = \text{const} \quad (8)$$

или

$$\frac{U_{1(1)}}{f_{1(1)}} = \frac{U_{1(2)}}{f_{1(2)}} = \text{const}. \quad (9)$$

Откуда следует, что для осуществления пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с постоянным моментом необходимо подводимое к обмотке статора напряжение изменять пропорционально его частоте.

При осуществлении закона регулирования (9) основной магнитный поток машины при различных значениях частоты f_1 практически остается неизменным, т.е.

$$\Phi \approx \frac{1}{4,44 \cdot \omega_1 \cdot k_{\omega 1}} \cdot \frac{U_1}{f_1} = \text{const}. \quad (10)$$

При частотном пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором его энергетические характеристики остаются практически неизменными, поэтому этот способ пуска является экономичным. Недостатками частотного пуска являются громоздкость и высокая стоимость источника питания.

Практическая часть

Задание на выполнение лабораторной работы

1. Записать паспортные данные электрических машин и измерительных приборов.

2. Ознакомиться со схемой и порядком включения стенда.

3. Ознакомиться с конструкциями двигателя с короткозамкнутым ротором, реакторов и переключающих устройств.

4. Собрать схему и после проверки ее преподавателем осуществить пуск двигателя прямым включением в сеть. Снять данные и построить механическую характеристику двигателя с короткозамкнутым ротором при номинальном напряжении и частоте.

5. Собрать схему и после проверки ее преподавателем, осуществить частотный пуск двигателя. Снять данные и построить механические характеристики двигателя с короткозамкнутым ротором.

6. Собрать схему и после проверки ее преподавателем выполнить пуск двигателя при номинальной частоте, изменяя напряжение питания. Снять данные и построить механическую характеристику двигателя с короткозамкнутым ротором.

7. Сделать обработку полученных данных. Провести анализ результатов лабораторной работы и составить подробный отчет.

Анализируя результаты лабораторной работы, необходимо дать сравнительную оценку пусковым свойствам асинхронного двигателя при различных способах пуска, рассмотренных в данной лабораторной работе. При этом следует иметь в виду основные начальные пусковые параметры двигателя – пусковой ток и пусковой момент, полученные в результате экспериментов. При сравнении удобно воспользоваться отношениями $\frac{I_{\Pi}}{I_{\Pi 0}}$ и $\frac{M_{\Pi}}{M_{\Pi 0}}$, где $I_{\Pi 0}$ и $M_{\Pi 0}$ — начальные значения пускового тока и пускового момента при пуске двигателя непосредственным включением в сеть.

При выводах о достоинствах и недостатках способов пуска необходимо учитывать еще и такие показатели, как сложность пусковой операции и ее экономичность, имея в виду стоимость дополнительных устройств.

Порядок работы с лабораторной установкой

Из-за наличия фильтров индикации, показания приборов носят приближенный характер и не позволяют сопоставить значения токов при различных пусках. Поэтому измерение пусковых токов осуществляется при заторможенном роторе асинхронного двигателя.

ВНИМАНИЕ!

Пусковой ток двигателя М2 намного больше номинального тока, поэтому снимать показания приборов следует по возможности быстро, не допуская чрезмерного перегрева двигателя.

ПРИМЕЧАНИЕ 1

1. Перед началом работы необходимо тщательно изучить настоящие методические указания и подробно ознакомиться со схемой предстоящей лабораторной работы.

2. Приступая к работе, следует установить все тумблеры в нижнее положение, соответствующее их отключенному состоянию, а ручки регуляторов (резисторов) установить в крайнее левое положение («0») – против часовой стрелки. Ручки регуляторов при работе поворачивать плавно, без резких движений.

3. Сборку схемы производить только при отключенном питании стенда. После окончания сборки схемы совместно с преподавателем тщательно проверить правильность соединений на соответствие рисункам, прилагаемым к лабораторным работам. Убедиться в отсутствии коротких замыканий в монтаже схемы.

ПРИМЕЧАНИЕ 2

При включении автоматического выключателя «СЕТЬ»:

1) по двум нижним рядам цифровых табло лицевой панели стенда должна пробежать бегущая строка «HELLO»;

2) на всех цифровых табло должны установиться нули («0»).

Если какое-либо из этих пунктов не выполняется – отключить выключатель «СЕТЬ», выполнить п.2 ПРИМ.1 и включить его снова!

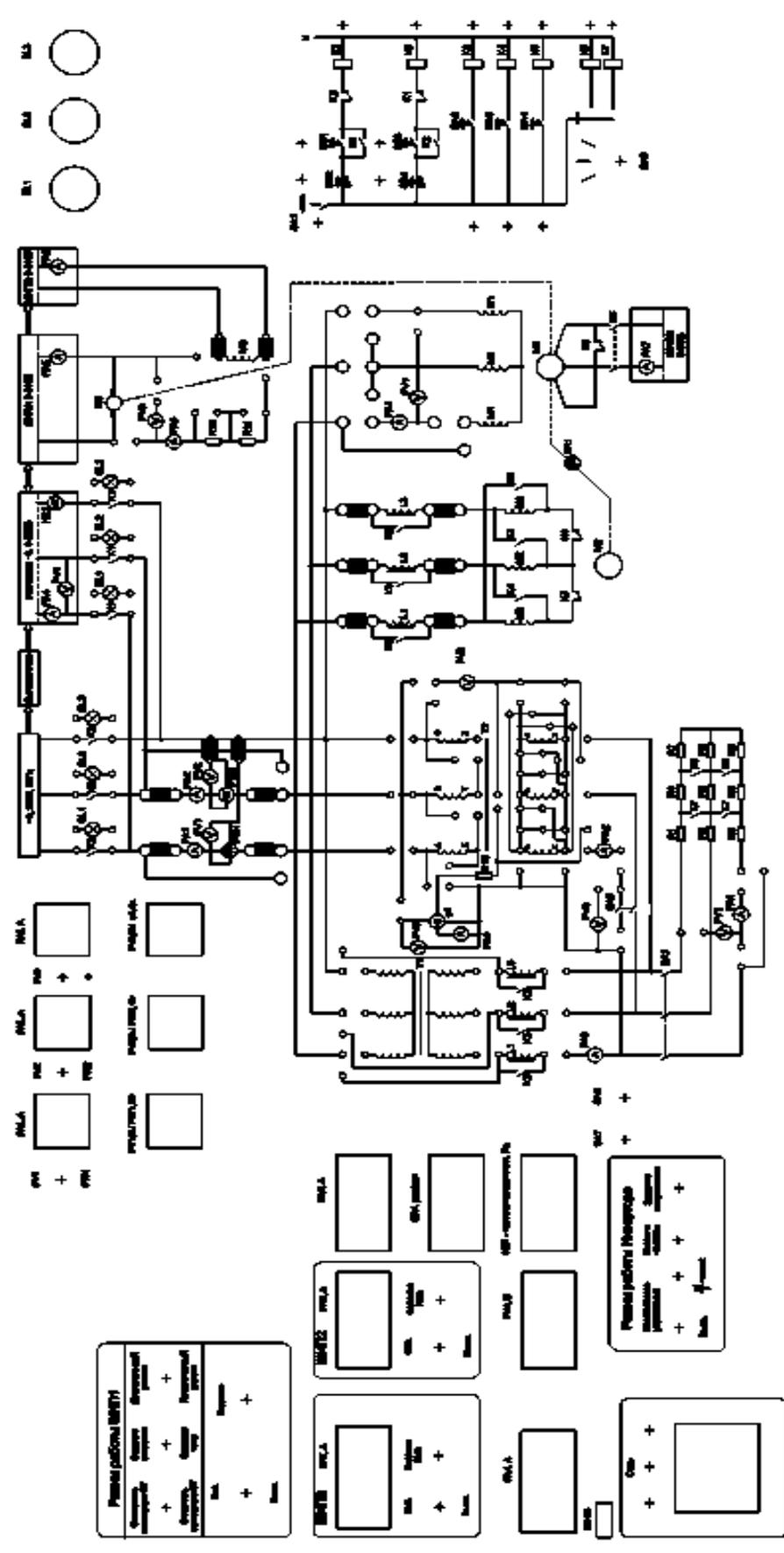


Рис. 3. Схема коммутации АД с короткозамкнутым ротором ?

1. Прямой пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при соединении обмотки статора «треугольником»

Изучить принципиальную схему стенда.

Для исследования пусковых свойств асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (машина М2) собрать схему, представленную на рис. 3.

Опыт проводить в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель «СЕТЬ»;
- включить выключатель SA1;
- для включения обмотки статора по схеме «треугольник» установить переключатель SA3 и SA2 в положение «Включено».

Установить режим работы Инвертора:

- независимое управление – положение «Включено»;
- установить выключатель PV1/PW1 в положение «PV1»;
- установить выключатель PV2/PW2 в положение «PW2»;
- с помощью регулятора «Задание частоты» установить значение частоты $f = 50$ Гц (контролировать по прибору HZ1);

– включить Инвертор (SA26);

– регулятором «Задание напряжения» установить по вольтметру PV4

$U_1 = 0$ В.

Чтобы ротор двигателя М2 не вращался, нужно подключить к сети вспомогательную машину М3, которая работает в генераторном режиме.

Для этого необходимо:

- установить выключатель ШИП2 в положение «Включено»;
- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП2 установить номинальное значение тока возбуждения вспомогательной машины М3 $PA6 = 0,5$ А;

– установить режим работы ШИП1: «Включить замкнутую СУ», «Задание скорости», «Генераторный режим»;

– включить ШИП1 – тумблер в положение «Включено»;

– с помощью регулятора «Задание» ШИП1 установить значение частоты вращения ротора равно нулю (контроль по прибору BR1);

– при помощи регулятора «Задание напряжения» Инвертора плавно увеличить напряжение на статоре АД до значения $U_1 = 180$ В (контролировать по вольтметру PV4);

– **подключить исследуемый двигатель к выходу Инвертора, нажав кнопку SB1;**

– измерить ток PA5 в якорной цепи нагрузочного двигателя М3, пусковой ток и напряжение исследуемого двигателя;

– **отключить исследуемый двигатель, нажав кнопку SB2;**

– опыт повторить 5 раз;

– данные занести в табл. 1.

Таблица 1

Данные прямого пуска асинхронного двигателя

№	Измерено			Вычислено					
	$I_{\text{ДПТ}},$ А	$I_{\text{п}},$ А	$U_{\text{п}},$ В	$U_{\text{фп}},$ В	$I_{\text{фп}},$ А	$I_{\text{фпср}},$ А	$I_{\text{фпср}} /$ $I_{\text{ф·ном}}$	$M_{\text{п}},$ Н · м	$M_{\text{п}} /$ $M_{\text{н}}$
	РА5	РА1	PV1						
1									
2									
3									
4									
5									

Завершив эксперимент, необходимо:

- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП2 уменьшить ток возбуждения ДПТ до нуля (контролировать по прибору РА6);
- выключить ШИП1 и ШИП2 – тумблеры в положение «Выключено»;
- уменьшить напряжение на выходе Инвертора до нуля (контролировать по прибору PV4);
- отключить исследуемый двигатель, нажав кнопку SB2;
- выключить выключатели SA2, SA3 и SA1;
- выключить автоматический выключатель «СЕТЬ».

Измерить линейные значения напряжений и токов, а затем (в зависимости от схемы соединения обмотки статора) определить фазные значения напряжения и тока:

- при соединении в звезду:

$$U_{\Phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \text{ и } I_{\Phi} = I_{\text{л}}; \quad (11)$$

- при соединении в треугольник:

$$U_{\Phi} = U_{\text{л}} \text{ и } I_{\Phi} = \frac{I_{\text{л}}}{\sqrt{3}}. \quad (12)$$

Среднее арифметическое значение пускового тока:

$$I_{\Phi\text{пСр}} = \frac{I_{\Phi\text{п1}} + I_{\Phi\text{п2}} + I_{\Phi\text{п3}} + I_{\Phi\text{п4}} + I_{\Phi\text{п5}}}{5}. \quad (13)$$

Электромагнитный момент ДПТ:

$$M = I_{\text{ДПТ}} \cdot C_M \cdot \Phi. \quad (14)$$

Коэффициент ДПТ:

$$C_M \cdot \Phi = \frac{9,55 \cdot U_{\text{НОМ,ДПТ}}}{n_{\text{НОМ,ДПТ}}}. \quad (15)$$

Номинальный момент:

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{9,55 \cdot P_2}{n_{\text{НОМ}}}, \quad (16)$$

где $P_2 = P_{2\text{НОМ}} \approx 140\text{--}145$ Вт.

По результатам измерений рассчитать кратности пускового тока и пускового момента асинхронного двигателя.

Данные для ДПТ (М3): $U_{\text{ндпт}} = 220$ В; $n_{\text{ндпт}} = 1450$ об/мин (152 рад/с).

2. Зависимость пускового момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от напряжения

Для исследования пусковых характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (машина М2) собрать схему, представленную на рис. 3.

Опыт проводить в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель «СЕТЬ»;
- выполнить операции по ПРИМЕЧАНИЯМ 1 и 2;
- включить выключатель SA1;
- для включения обмотки статора по схеме «треугольник» установить переключатели SA2 и SA3 в положение «Включено».

Установить режим работы Инвертора:

- независимое управление – положение «Включено»;
- установить выключатель PV1/PW1 в положение «PV1»;
- установить выключатель PV2/PW2 в положение «PW2»;
- установить выключатель PV3/φ в положение «PV3»;
- с помощью регулятора «Задание частоты» установить значение частоты $f = 50$ Гц (контролировать по прибору HZ1), включить SA26.

Чтобы ротор двигателя М2 не вращался, нужно подключить к сети

вспомогательную машину МЗ, которая работает в генераторном режиме.

Для этого необходимо:

- установить выключатель ШИП2 в положение «Включено»;
- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП2 установить номинальное значение тока возбуждения вспомогательной машины МЗ $PA6 = 0,5 \text{ A}$;
- установить режим работы ШИП1: «Включить замкнутую СУ», «Задание скорости», «Генераторный режим»;
- включить ШИП1 – тумблер в положение «Включено»;
- с помощью регулятора «Задание» ШИП1 установить значение частоты вращения ротора равное нулю (контроль по прибору BR1);
- **подключить двигатель к выходу Инвертора, нажав кнопку SB1;**
- при помощи регулятора «Задание напряжения» Инвертора плавно увеличить напряжение на статоре АД от 90 В до 170 В до момента пуска (контролировать по вольтметру PV4);
- измерить ток в якорной цепи нагрузочного двигателя МЗ, пусковой ток и напряжение исследуемого двигателя;
- **отключить исследуемый двигатель, нажав кнопку SB2;**
- при помощи регулятора «Задание напряжения» Инвертора плавно уменьшить напряжение до 0 В;
- опыт повторить 5 раз;
- данные занести в табл. 2.

Таблица 2

Данные пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при изменении напряжения

№	Измерено			Вычислено					
	U_1 , В	$I_{\text{п}}$, А	$I_{\text{дпт}}$, А	$U_{\text{Фп}}$, В	$I_{\text{Фп}}$, А	$I_{\text{Фпср}}$, А	$I_{\text{Фпср}} / I_{\text{Фном}}$	$M_{\text{п}}$, Н · м	$M_{\text{п}} / M_{\text{н}}$
	PV1	PA1	PA5						
1									
2									
3									
4									
5									

Завершив эксперимент, необходимо:

- уменьшить напряжение на выходе Инвертора до нуля (контролировать по прибору PV4);

- отключить исследуемый двигатель, нажав кнопку SB2;
- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП2 уменьшить ток возбуждения ДПТ до нуля (контролировать по прибору РА6);
- выключить ШИП1 и ШИП2 – тумблеры в положение «Выключено»;
- выключить выключатели SA2, SA3 и SA1;
- выключить автоматический выключатель «СЕТЬ».

По результатам измерений рассчитать кратности пускового тока и пускового момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по формулам (11)–(16).

3. Частотный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Для исследования пусковых характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (машина М2) собрать схему, представленную на рис. 3.

Опыт проводить в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель «СЕТЬ»;
 - выполнить операции по ПРИМЕЧАНИЯМ 1 и 2;
 - включить выключатель SA1;
 - для включения обмотки статора по схеме «треугольник» установить переключатель SA3 и SA2 в положение «Включено».
- Установить режим работы Инвертора:
- $U/f = \text{const}$ – положение «Включено»;
 - установить выключатель PV1/PW1 в положение «PV1»;
 - установить выключатель PV2/PW2 в положение «PW2»;
 - установить выключатель PV3/φ в положение «PV3»;
 - с помощью регулятора «Задание частоты» установить значение частоты $f = 0$ Гц (контролировать по прибору HZ1);
 - с помощью регулятора «Задание напряжения» Инвертора установить значение напряжения $U_1 = 0$ В (контролировать по вольтметру PV4);
 - подключить исследуемый двигатель к выходу Инвертора, нажав кнопку SB1;
 - при помощи регулятора «Задание частоты» плавно увеличить частоту на статоре асинхронного двигателя до момента пуска (контролировать по прибору HZ1);
 - измерить ток в якорной цепи нагрузочного двигателя М3, пусковой ток и напряжение исследуемого двигателя;
 - отключить исследуемый двигатель, нажав кнопку SB2;
 - данные занести в табл. 3.

Данные пуска асинхронного двигателя
с короткозамкнутым ротором при постоянном моменте

Измерено					Вычислено	
f , Гц	Ω , рад/с	$U_{п}$, В	$I_{п}$, А	$I_{дпт}$, А	$U_{Фп}$, В	$I_{Фп}$, А
HZ1	BR1	PV1	PA1	PA5		
20						
35						
50						

Завершив эксперимент, необходимо:

- уменьшить напряжение на выходе Инвертора до нуля (контролировать по прибору PV4);
- отключить исследуемый двигатель, нажав кнопку SB2;
- выключить выключатели SA2, SA3 и SA1;
- выключить автоматический выключатель «СЕТЬ».

По результатам измерений рассчитать кратности пускового тока и пускового момента асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по формулам (11)–(16).

Контрольные вопросы

1. Какими показателями характеризуются пусковые свойства асинхронных двигателей?
2. Каковы достоинства и недостатки пусковых свойств асинхронных двигателей?
3. Как лучше, с точки зрения улучшения пусковых свойств, уменьшить пусковой ток: снижением подводимого к двигателю напряжения или увеличением активного сопротивления в цепи обмотки ротора?
4. Каковы достоинства и недостатки пуска асинхронных двигателей непосредственным включением в сеть?
5. Какие существуют способы пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении?
6. Перечислите способы регулирования частоты вращения ротора асинхронного двигателя и дайте им сравнительную оценку.
7. Почему при частотном пуске одновременно с частотой тока необходимо изменять напряжение?

8. Какие показатели определяют пусковые свойства асинхронных двигателей?

9. На чем основаны методы уменьшения пускового тока асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором? Перечислите эти методы.

10. Каков общий недостаток методов пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении?

11. На сколько уменьшается пусковой ток асинхронного двигателя при его пуске методом переключения обмотки статора со «звезды» на «треугольник»? Как при этом изменяется пусковой момент?

12. Какова зависимость пускового момента асинхронного двигателя от напряжения, подводимого к обмотке статора?

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПУСКА
ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

Методические указания
по выполнению лабораторной работы № 6
на стенде НТЦ-23

Составители: **Рылов Юрий Анатольевич,
Баженов Николай Георгиевич,
Магданов Геннадий Саяфович**

Кафедра электрического транспорта КГЭУ

Редактор издательского отдела *Т.В. Андреева*
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченкова*

Подписано в печать 08.07.13

Формат 60×84/16. Бумага «Business». Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 1,22. Уч.-изд. л. 1,35. Тираж 500 экз. Заказ 4644

Редакционно-издательский отдел КГЭУ, 420066, Казань, Красносельская, 51