

**ЫСЫКУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. К. ТЫНЫСТАНОВА**

З.В. Докомбаев

**Методическое руководство
к лабораторным работам по курсу:
«Электрические машины»**

КАРАКОЛ - 2011

УДК 621.31
ББК 31.261
Д 63

Методическое пособие рекомендовано к изданию решением Учебно-методического объединения (протокол № 7 от 26.03.2010г.) и Ученого Совета (протокол №11 от 25.06.2010г.) ИГУ им. К.Тыныстанова

Рецензент: канд. техн. наук, профессор С.С. Кадыркулов

Докомбаев З.В.

Д 63 Электрические машины. Метод. руководство к лабораторным работам. – Каракол: ИГУ, 2011. – 36 с.

ISBN 978-9967-441-23-1

Настоящее руководство к лабораторным работам по курсу «Электрическим машинам» составлено в соответствии с программой для высших учебных заведений.

В данном руководстве кратко даются основные сведения, описание стендов, методика проведения эксперимента для каждой лабораторной работы. Эти работы предназначены для закрепления теоретического материала по разделам «Асинхронные машины», «Синхронные машины». Кроме того, при проведении работ студент получает практические навыки с электрическими машинами, по методам их исследований и эксплуатации, подробно знакомится с конструкциями, принципом действия и характеристиками электрических машин различных типов.

Д 2202070100-10
ISBN 978-9967-441-23-1

УДК 621.31
ББК 31.261
© Докомбаев З., 2011.
@: ИГУ им. К.Тыныстанова, 2011.

Лабораторная работа № 1

Тема: Трёхфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором.

Цель работы:

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия трёхфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (АДКР).

2. Изучить способы пуска АДКР.

Оформление отчёта.

Отчёт должен содержать:

- 1) Схему стенда;
- 2) Паспортные данные двигателя;
- 3) Краткий конспект работы.
- 4) Таблицы с данными рабочих характеристик и характеристик хх.

Основные сведения. Принцип действия асинхронного двигателя.

Асинхронный трехфазный двигатель — самый распространённый в промышленности и сельском хозяйстве. Около 95% всех двигателей - асинхронные.

Асинхронный двигатель изобретен талантливым русским ученым М. О. Доливо - Добровольским в 1889 г. Простота устройства, дешевизна, высокий к. п. д., большая надёжность в работе способствовали его быстрому внедрению во все отрасли хозяйства.

Принцип действия асинхронного двигателя основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля, создаваемого в трехфазной обмотке статора, и проводников, с током которых состоит обмотка ротора.

Скорость вращения поля определяют из формулы:

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

Представим себе вращающееся магнитное поле в виде кольца с двумя постоянными магнитами (рис.1.1).

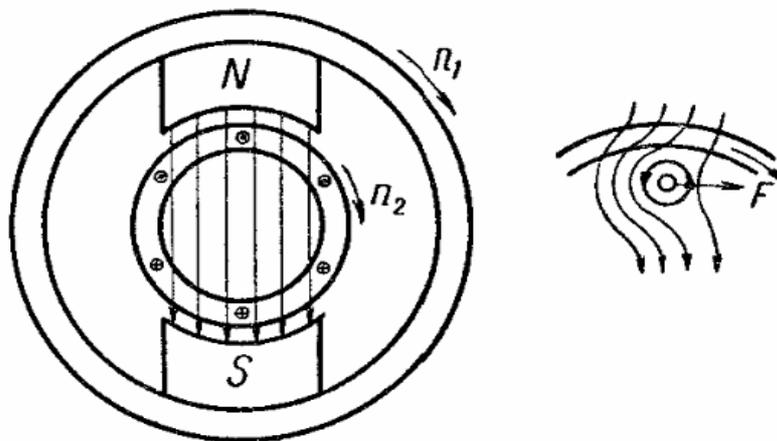


Рис. 1.1. Принцип действия асинхронного двигателя

В середине кольца помещена обмотка ротора в виде короткозамкнутой беличьей клетки.

Вращающееся магнитное поле статора индуцирует в проводах обмотки ротора токи, направление которых определяют по правилу правой руки. При этом нужно иметь в виду, что если магнитное поле вращается по часовой стрелке, то относительное вращение проводника нужно принимать против часовой стрелки.

В проводах, находящихся под северным полюсом, ток направлен к нам, и направление его обозначит точкой.

При взаимодействии магнитного поля статора и ротора (рис. 1.1) к проводу приложена сила \mathbf{P} , заставляющая его перемещаться в сторону движения поля статора.

Если поле статора вращается со скоростью n_1 , которую называют синхронной, то ротор вращается с меньшей скоростью n_2 , которую называют асинхронно.

Отставание ротора от поля статора называют скольжением и обозначают буквой S .

Величина скольжения может быть определена из уравнения:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Скольжение — основная переменная величина асинхронной машины, от которой зависит режим ее работы.

$$n_2 = n_1 (1 - S)$$

Число оборотов ротора n_2 при номинальных нагрузке, напряжении и частоте указывают на заводском щитке двигателя. Величина скольжения асинхронных двигателей составляет примерно $S = 0,01—0,06$. Скольжение может быть определено также в процентах.

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100\%$$

У асинхронного двигателя при неподвижном роторе скольжение имеет максимальное значение $s = 1$, так как $n_2 = 0$.

В начальный момент пуска в ход асинхронного двигателя, когда n_2 еще равно нулю, $s = 1$.

Пример. Определить число оборотов четырёх полюсного асинхронного электродвигателя, работающего со скольжением 3%.

Решение для четырёх полюсного асинхронного электродвигателя скорость вращения поля статора составляет:

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{4} = 1500 \text{ об/мин}$$

Тогда скорость вращения ротора определится из формулы скольжения:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \text{ откуда } n_2 = n_1 (1 - S);$$

$$n_2 = 1500 (1 - 0,03) = 1455 \text{ об/мин}$$

Пуск характеризуется двумя основными величинами – пусковым моментом и пусковым током, при этом:

- Величина пускового момента должна быть больше момента сопротивления на валу, создаваемого приводным механизмом. В противном случае ротор не придёт во вращение;
- Величина пускового тока должна быть ограничена значением, чтобы не произошло повреждения двигателя или нарушения нормальной работы сети. При пуске двигателя большой мощности от слабой сети необходимо уменьшить величину пускового тока.

Кроме того, процесс пуска характеризуется также временем пуска, потерями энергии в обмотках и их нагревом, переходными процессами при пуске. Следует отметить, что величина пускового тока определяется сопротивлениями обмоток машины и не зависит от момента сопротивления на валу. Однако продолжительность пуска определяется именно величиной этого момента сопротивления. Количество тепловой энергии, выделяемой в двигателе при разбеге, равно кинетической энергии приводимых во вращение масс, т.е. также зависит от величины момента и инерции на валу.

Современные АДКР проектируются и изготавливаются таким образом, чтобы по условиям нагрева и механической прочности они выдерживали прямой пуск, т.е. пуск путём включения двигателя непосредственно в сеть на номинальное напряжение. Это наиболее простой способ пуска, однако при этом пусковой ток двигателя превышает в 5÷7 раз номинальный ток. В настоящее время именно этот способ пуска является наиболее распространённым, т.к. современные энергетические системы имеют достаточные мощности.

Если по условиям падения напряжения в сети прямой пуск невозможен, например, при пуске высоковольтных двигателей большой мощности от маломощной сети, применяются различные способы при пониженном напряжении. Но при этом понижается также пусковой момент, который зависит от квадрата питающего напряжения (или от квадрата пускового тока). Поэтому эти способы применяются при пуске вхолостую или при неполной нагрузке.

Реакторный пуск осуществляется путём включения последовательно в цепь статора реактора. Реактор – это статическое электромагнитное устройство в виде индуктивной катушки с ферромагнитным сердечником или без сердечника, предназначенное для использования его индуктивности

для ограничения величины тока и скорости его нарастания. После включения двигатель получает питание через реактор, индуктивное сопротивление которого уменьшает значение пускового тока. При этом напряжения двигателя понижается за счёт падения напряжения на этом индуктивном сопротивлении. После разгона ротора реактор путём его шунтирования отключается из цепи статора, и двигатель оказывается под номинальным напряжением.

Автотрансформаторный пуск осуществляется путём подачи на двигатель через автотрансформатор пониженного напряжения. При этом способе пуска пусковой ток в сети и пусковой момент двигателя уменьшаются в K^2 раз, где K - коэффициент трансформации автотрансформатора, т.е. коэффициент понижения напряжения, а пусковой ток двигателя (т.е. ток на стороне низшего напряжения автотрансформатора) уменьшается в K раз. Поскольку при реакторном пуске пусковой ток двигателя является пусковым током сети, который и должен быть в первую очередь уменьшен, то очевидно, что при одинаковых пусковых токах в сети при реакторном способе пуска пусковой момент двигателя будет меньше. Однако это преимущество АТР-го пуска влечёт за собой удорожание пусковой аппаратуры, поэтому он применяется реже реакторного. После разгона ротора автотрансформатор закорачивается, и двигатель получает полное номинальное напряжение.

Пуск переключением обмотки статора со звезды на треугольник применяется при выводе всех шести концов обмотки АДКР, т.е. когда двигатель, предназначенный для работы на $380\sqrt{220В}$ с соединением обмоток «Y\Delta» от сети 220В. При этом способе обмотка включается при пуске в «Y» на то же напряжение 220В, а при достижении установившейся частоты вращения обмотка переключается в «Delta». Тогда фазные напряжения обмоток уменьшаются, в $\sqrt{3}$ раз и пусковой ток в фазах обмотки, уменьшается $\sqrt{3}$ раз. Пусковой момент уменьшается в $(\sqrt{3})^2 = 3$ раза, а пусковой ток в сети – также в $\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} = 3$ раза. Следовательно, данный способ пуска можно рассматривать как частный случай автотрансформаторного пуска при $K = \sqrt{3}$.

Недостаток этого способа заключается в том, что при переключениях цепь двигателя разрывается, что вызывает коммутационные перенапряжения в обмотках. Посредством специальных переключателей (без разрыва тока) этот недостаток можно устранить.

При тяжёлых условиях пуска обычный АКДР может не развить достаточного пускового момента для преодоления момента сопротивления на валу. В этом случае применяют двигатели с фазным ротором или со специальными исполнениями короткозамкнутых роторов (двух клеточные, с глубокими пазами, с повышенным активным сопротивлением ротора).

Рабочие характеристики асинхронного двигателя представляют собой зависимости потребляемой мощности P_1 , тока статора I_1 , момента на валу M , КПД η , коэффициента мощности $\cos\varphi$ и скольжения S от полезной мощности P_2 при $U_1 = \text{const}$ и $f_1 = \text{const}$.

Рабочие характеристики позволяют определить все показатели машин при различной по величине нагрузке. Они имеют следующий вид на (рис 1.2.):

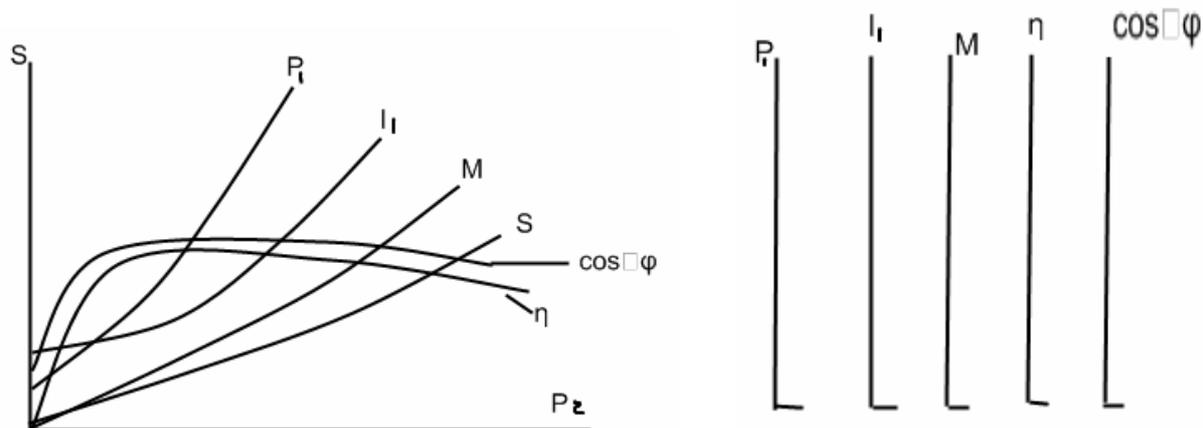


Рис. 1.2. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.

Кривая $S = f(P_2)$ при $P_2 = 0$, т.е. при холостом ходе начинается не из нуля, поскольку скольжение холостого хода $S_{xx} \neq 0$ и определяется величиной механических потерь двигателя. При увеличении нагрузки скольжение увеличивается, но незначительно, поэтому говорят, что асинхронный двигатель обладает «жесткой» характеристикой.

Кривая $M = f(P_2)$ имеет почти прямолинейный характер, т.к. при изменении нагрузки частота вращения двигателя остается почти постоянной.

Кривая $I_1 = f(P_2)$ выходит не из начала координат, т.к. в режиме Х.Х двигатель потребляет из сети I_{1xx} , обусловленный потерями холостого хода. По этой же причине кривая $P_1 = f(P_2)$ также идет не из начала координат. С ростом нагрузки ток I_1 , потребляемый из сети, также увеличивается.

Кривая $\eta = f(P_2)$ идет из нуля и имеет максимум, как в трансформаторе, в таком режиме, при котором постоянные потери, мало зависящие от нагрузки (потери в стали и механические потери), изменяющимся при изменении нагрузки. Обычно двигатель проектируется из условия, что бы максимум КПД получался при недогрузке машины.

Тогда в диапазоне изменения нагрузок от 0,5 до 1,0 от номинальной величины КПД будет почти постоянным (такой диапазон изменения наиболее часто встречается в эксплуатации).

Кривая $\cos \varphi = f(P_2)$ начинается при $P_2 = 0$ из точки $\cos \varphi_{xx}$.

Малые значения $\cos \varphi$ при небольших нагрузках объясняются тем, что в этом режиме, также как и при холостом ходе ток статора практически равен намагничивающему току, который сдвинут относительно напряжения сети на 90° . Значительная величина намагничивающего тока в асинхронных машинах по сравнению с трансформатором обусловлена наличием воздушного зазора между статором и ротором. Возрастание активной составляющей тока I_1 при увеличении нагрузки обуславливает рост $\cos \varphi$.

Описание лабораторной установки.

Питание на стенд подаётся включением трёхполюсного выключателя F_1 с автоматическим возвратом, который осуществляет защиту стенда по максимальному току и максимальной температуры. Наличие напряжения на стенде контролируется по сигнальной лампе H и вольтметру PV_1 . (рис. 1.3).

Питание испытуемого электродвигателя M производится или непосредственно от сети напряжением 380В, или через потенциал – регулятор T , обеспечивающий возможность регулирования напряжения питания в диапазоне от 0 до 220В. Во втором случае необходимо включить

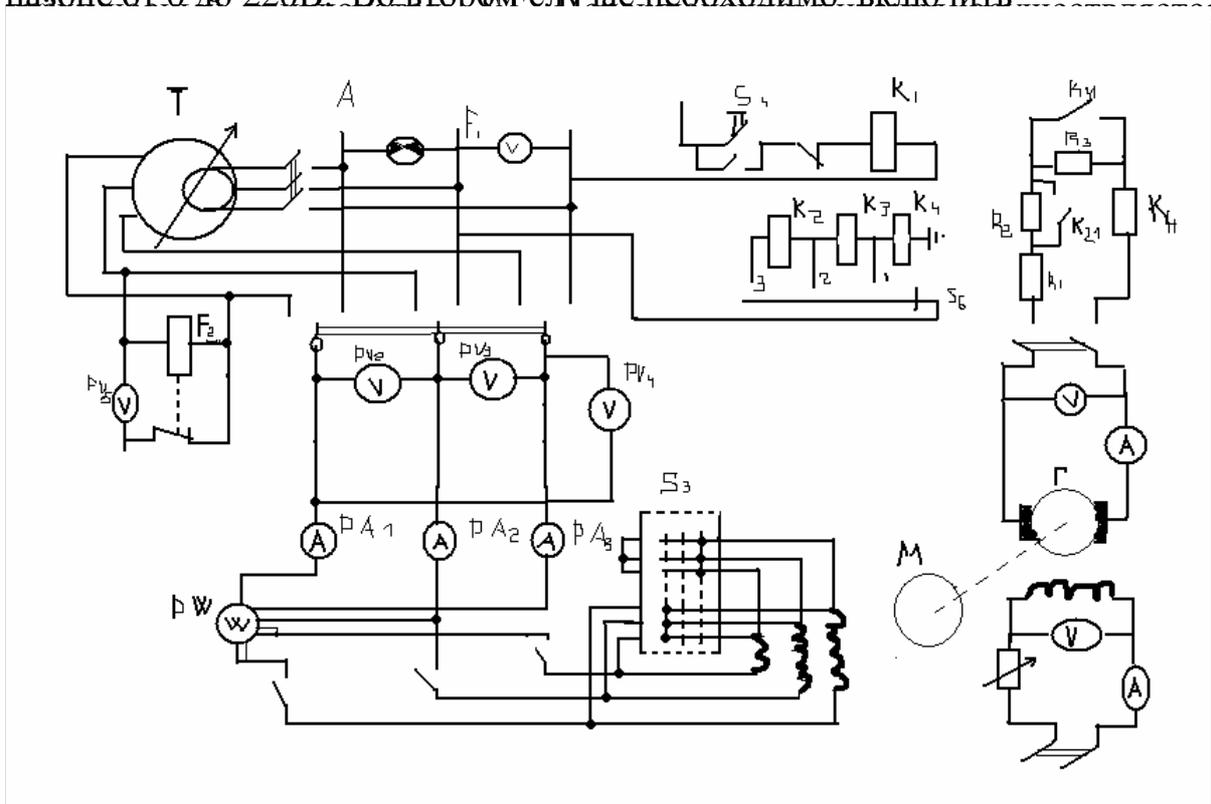


Рис.1.3. Схема стенда.

Переключение схемы соединения обмоток статора испытуемого электродвигателя в звезду «Y» или в треугольник «Δ» осуществляется пере-

ключением S_3 . на его катушку K_1 подаётся при нажатии нажимного кнопочного выключателя S_4 с замыкающим контактом. Пускатель срабатывает, и его силовые замыкающие контакты $K_{1.1}$, $K_{1.2}$ и $K_{1.3}$ включённые последовательно в цепь обмотки статора, замыкаются. Одновременно блок – контакт $K_{1.4}$ пускателя, включённый параллельно кнопочному выключателю S_4 , шунтирует последний, и питание на катушку K_1 подаётся независимо от того, нажат или нет выключатель S_4 . Для отключения катушки K_1 пускателя и, следовательно, для отключения обмотки статора от сети необходимо нажать кнопочный выключатель S_5 с размыкающим контактом.

В качестве механической нагрузки применяется генератор Γ постоянного тока с независимым возбуждением. Напряжение на обмотку возбуждения генератора подаётся включением двухполюсного выключателя S_8 , а нагрузка в цепь якоря подключается двухполюсным выключателем S_7 . Величину тормозного момента регулируют, изменяя ток возбуждения посредством изменения величины сопротивления переменного резистора R_5 в цепи обмотки возбуждения генератора Γ или изменяя величину нагрузочного сопротивления в цепи якоря генератора. Последнее осуществляется следующим образом. При помощи многокомпозиционного переключателя S_6 подаётся напряжение на катушки K_2 , K_3 и K_4 соответственно второго, третьего и четвёртого магнитных пускателей, которые своими силовыми контактами $K_{2.1}, K_{3.1}$ и $K_{4.1}$ шунтируют резисторы R_2 , R_3 и R_4 , включённые последовательно в цепь якоря генератора. При установке переключателя S_6 в положение «0» в цепь якоря включены все резисторы $R_1 \div R_4$, за счёт чего ток якоря будет минимальным, а при установке в положение «3» ток якоря будет максимальным, т.к. в этом случае он протекает только по одному резистору R_1 .

Ток статора I_1 контролируется амперметрами PA_1 , PA_2 и PA_3 , напряжение питания U_1 – вольтметрами PV_2 , PV_3 , PV_4 и PV_5 , а потребляемая мощность P_1 – трёхфазным двухэлементным ваттметром PW . При этом вольтметр PV_5 , предназначенный для измерения небольших напряжений питания в режиме короткого замыкания; подключён к выходу потенциал – регулятора T через размыкающий контакт реле напряжения F_2 , которое отключает этот вольтметр PV_5 при повышении напряжения выше его максимального предела измерения. Полезная мощность P_2 электродвигателя и момент M на его валу рассчитывают по показаниям вольтметра PV_6 и амперметра PA_4 в цепи якоря генератора Γ . Ток и напряжение в цепи возбуждения генератора контролируют соответственно амперметром PA_5 и вольтметром PV_7 . Измерение скольжения S ротора электродвигателя производится стробоскопическим способом или при помощи специального измерителя скольжения в соответствии с инструкцией по его применения.

Порядок выполнения.

1. Для осуществления прямого пуска электродвигателя при $U_1=U_{1н}$

включают выключатель F_1 . Переключатель S_2 ставят в положение 380В, а переключатель S_3 в положение «Y». Затем, нажимая кнопочный выключатель S_4 , включают магнитный пускатель и его силовые контакты $K_{1.1}$, $K_{1.2}$ и $K_{1.3}$, подключают обмотку статора к сети. В момент включения стрелки амперметров PA_1 , PA_2 и PA_3 отклонятся, показывая величину пускового тока $I_{пY}$. Затем двигатель отключают от сети нажатием кнопочного выключателя S_5 . После этого переключатель S_2 ставят в положение 220В, а переключатель S_3 – на $\square\square$. Не включая двигатель, устанавливают потенциал – регулятором Т напряжение $U_1=U_{1н}=220В$, которое контролируют вольтметрами PV2 и PV3. После этого включают магнитный пускатель и определяют пусковой ток $I_{п\Delta}$ (перед включением необходимо убедиться, что ротор двигателя остановился).

2.Осуществления пуска путём переключения обмотка статора со звезды на треугольник при $U_1=U_{1н}=220В=const$. Измерить пусковой ток I_p и ток при переключении $I_{п}$.

Это происходит следующим образом: переключатель S2 стоит в положении 220В и потенциал – регулятором Т устанавливают $U_1=220В$ (напряжение контролируется по вольтметрам PV2 и PV3). Ставят переключатель S3 в положение «Y» и производят пуск двигателя нажатием кнопочного выключателя S4. При этом регистрируют пусковой ток I_p . После разгона ротора переключатель S3 быстро переводят в положение « \square » и регистрируют бросок тока $I_{п}$.

Кратности пусковых токов определяются по формулам;

$$K_{IY}=I_{пY}/I_{нY}, \quad K_{\Delta Y}=I_{п\Delta}/I_{н\Delta},$$

$K_I=I_{п}/I_{н\Delta}$, где $I_{нY}$, $I_{н\Delta}$, - номинальные токи двигателя при соединении обмотки статора соответственно в « Δ » или «Y».

3.Полезная мощность P_2 двигателя и момент M на валу вычисляются по формулам; $P_2 = U_{я} I_{я} \eta_{г}$, $M = 9,55 P_2/n$,

где $\eta_{г}$ – КПД генератора;

$n = n_1(1 - S)$ – частота вращения ротора, об/мин;

$n_1 = 60 \cdot f \cdot P$ – частота вращения магнитного поля (синхронная частота вращения), об/мин.

КПД и коэффициент мощности рассчитывают по выражениям:

$$\eta = P_2/P_1 - \square \text{ QUOTE } \square \square \square \square; \square \text{ QUOTE } \square \square \square \square = P_1(\square \text{ QUOTE } \square \square \square \square - I_1).$$

4. Коэффициент мощности короткого замыкания $\square \text{ QUOTE } \square \square \square \square_k$ определяется по формуле $\square \text{ QUOTE } \square \square \square \square_k = P_1 \setminus (\square \text{ QUOTE } \square \square \square \square_k \cdot I_{1K})$.

Табл. 1. Пусковые токи и кратности пусковых токов

Опытные данные					Расчётные данные				
$I_{пY}$	$I_{п\Delta}$	$I_{п\Delta}$	$I_{н}$	$I_{н}$	K_{IY}	$K_{I\Delta}$	$K_{I\Delta}$	K_I	K_{I}
А	А	А	А	А	о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	о.е.

Табл. 2. Характеристики холостого хода

№ отсчётов	Опытные данные			Расчётные данные
	U ₁₀ В	I 10 А	P 10 Вт	cos φ, о.е.

Табл. 3. Рабочие характеристики

№ отсчётов	Опытные данные					Расчётные данные			
	I А	P ₁ Вт	S о.е.	I _я А	U _я В	P ₂ Вт	M Н·м	η %	cos φ о.е.

Контрольные вопросы:

1. Конструкция и принцип действия асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором?
2. Что такое скольжение ротора? От чего зависит величина скольжения на холостом ходу?
3. Какие характеристики называются рабочими?
4. Дать сравнение прямого, реакторного и автотрансформаторного пуска?

Лабораторная работа №2.

Тема: Трёхфазный асинхронный электродвигатель с фазным ротором.

Цель: Ознакомиться с конструкцией и принципом действия трёхфазного асинхронного электродвигателя с фазным ротором. (АДФР).

Оформление отчёта.

Отчёт должен содержать:

- 1) Схему стенда;

- 2) Паспортные данные двигателя;
- 3) Краткий конспект работы;
- 4) Таблицы с данными характеристик.

Основные сведения.

АДФР более сложны в изготовлении и эксплуатации, чем двигатели с короткозамкнутым ротором. Однако они имеют лучшие пусковые характеристики и позволяют легко регулировать частоту вращения ротора. Именно эти свойства и обуславливают их применение. АДФР используются в тех случаях, когда двигатель должен приводить во вращение приводной механизм с большим статическим моментом сопротивления или с большой маховой массой, и двигатель с короткозамкнутым ротором по своим пусковым свойствам неприемлем, а также в тех случаях, когда короткозамкнутый двигатель неприемлем по условиям регулирования.

Улучшение пусковых характеристик АДФР достигается введением в цепь ротора на время пуска добавочного сопротивления. Практическое значение и применение имеет включение только активного сопротивления, так как включение индуктивности вызывает увеличение угла сдвига между вторичным током индуктивности вызывает увеличение угла сдвига между вторичным током ротора и ЭДС E_2 , что приводит к значительному уменьшению вращающего момента.

При введении в цепь ротора пускового реостата к собственному приведённому сопротивлению фазы R_2' добавится приведённое сопротивление этого реостата R_g' , и полное приведённое сопротивление $R_{2п}'$ фазы будет равно:

$R_{2п}' = R_2' + R_g'$. Следовательно, пусковой ток $I_{п}$ уменьшается, т.к. он равен:

$$I_{п} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_{2п}')^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

где R – активное сопротивление обмотки статора;

$x_k = x_1 + x_2'$ – индуктивное сопротивление рассеяния машины.

Величина пускового момента определяется по формуле:

$$M_{п} = \frac{m_1 \cdot R_{2п}' \cdot U_1^2}{\Omega [(R_1 + R_{2п}')^2 + X_2^k]},$$

Ω – угловая скорость ротора.

При этом пусковой момент $M_{п}$ будет максимален, если критическое скольжение будет равно 1. Поскольку критическое скольжение равно:

$$S_{n1} = \frac{R_{2п}^{\setminus}}{\sqrt{R_1^2 + X_{2к}}} \approx \frac{R_{2п}^{\setminus}}{X_{к}},$$

то при $R_{2п}^{\setminus} = X_{к}$, будет $M_{п} = M_{\max}$. Следовательно, введение в цепь ротора пускового реостата с определённым активным сопротивлением не только уменьшает пусковой ток $I_{п}$, но и увеличивает пусковой момент $M_{п}$. Если пусковой реостат имеет несколько ступеней, то можно получить несколько механических характеристик с одинаковыми M_{\max} , но с разными критическими скольжениями (рис. 2.1).

Характеристика 4 при $R_{2п} = 0$ называется естественной. Характеристика 1 соответствует $R_{2п} = X_{к}$, т.е. $R_{2п}^{\setminus} = X_{к}$ и $R_{2п} = X_{к} R_{2}$. Кривые 2 и 3 при $0 < R_{2п}^{\setminus} < (X_{к} - R_{2п})$.

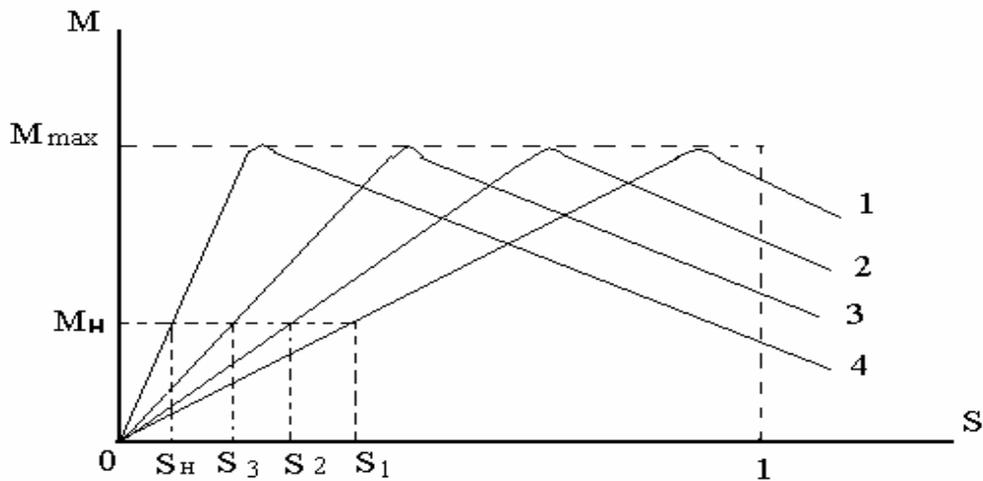


Рис. 2.1. Пуск двигателя с фазным ротором.

Перед включением в сеть в цепь ротора вводят сопротивление $R_{2п}^{\setminus} = X_{к}$, т.е. получают $S_{п} = 1$. Тогда $M_{п} = M_{\max}$ и ротор начинает вращаться.

В момент достижения точки пересечения кривой 1 с кривой 2 происходит переключение реостата, т.е. уменьшение его сопротивления, и ротор разгоняется по кривой 2. Аналогично происходит переход на кривую 3 и затем на естественную характеристику 4. В дальнейшем двигатель работает с номинальным моментом $M_{н}$ и номинальным скольжением $S_{н}$.

Изменение величины сопротивления $R_{2п}$ в цепи ротора позволяет регулировать частоту вращения ротора. Действительно, из рис. 2.1. видно, что при постоянном моменте $M = M_{н} = \text{const}$ введение в цепь ротора дополнительного сопротивления приводит к увеличению скольжения от $S_{н}$ до S_1 , поскольку в установившемся режиме работы вращающий и статический нагрузочный моменты взаимно уравновешиваются.

Описание лабораторной установки.

Принципиальная схема стенда приведена на (рис.2.2). Питание на стенд подаётся включением трёхполюсного выключателя F_1 с автоматическим возвратом, который осуществляет защиту стенда по максимальному току и максимальной температуре. Наличие напряжения на стенде контролируется по сигнальной лампе H .

Испытуемый двигатель M_2 подсоединяется к сети через потенциал -

регулятор T_1 , позволяющий регулировать величину подводимого напряжения U_1 . Подключение потенциал - регулятора T_1 к сети осуществляется при помощи магнитного пускателя, напряжение на катушку K_3 которого подаётся при нажатии нажимного кнопочного выключателя S_5 с замыкающим контактом. Пускатель срабатывает, и его силовые замыкающие контакты $K_{3.1}$, $K_{3.2}$ и $K_{3.3}$, включённые последовательно в цепь потенциал - регулятора T_1 , замыкаются. Одновременно блок – контакт $K_{3.4}$ шунтирует кнопочный выключатель S_5 , и питание на катушку K_3 подаётся независимо от того, нажат или нет выключатель S_5 . Для отключения катушки K_3 пускателя необходимо нажать нажимной кнопочный выключатель S_6 с размыкающим контактом. Тем самым потенциал - регулятор T_1 отключится от сети.

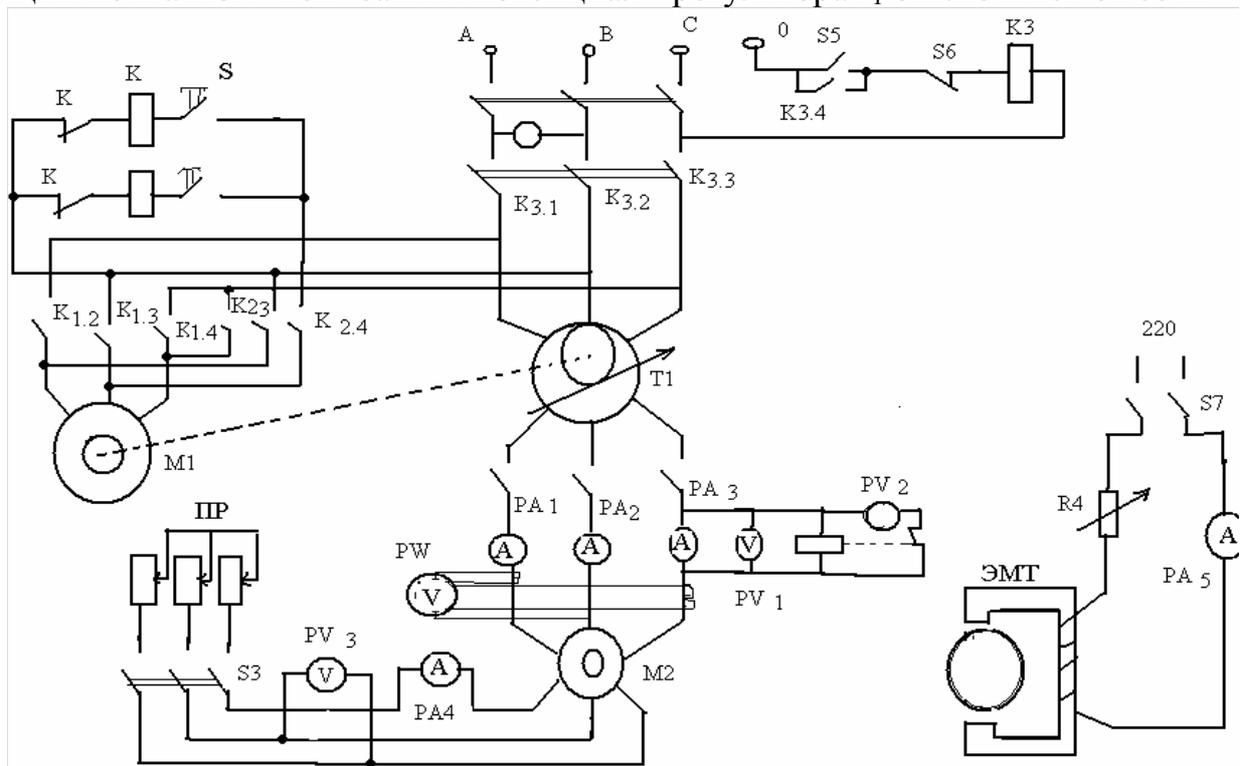


Рис. 2.2. Схема лабораторной установки.

Регулирование напряжения, подводимого к испытуемому двигателю M_2 , может осуществляться вручную при помощи двигателя M_1 , установленного на потенциал - регулятора T_1 , который соединён через червячную передачу с ротором потенциал – регулятора. Управление двигателя M_1 , осуществляется при помощи двух магнитных пускателей, напряжение на катушки K_1 и K_2 которых подаётся при нажатии соответственно нажимного кнопочного выключателя S_1 или S_2 .

Силовые контакты $K_{1.2}$, $K_{1.3}$ и $K_{1.4}$ первого пускателя и силовые контакты $K_{2.2}$, $K_{2.3}$ и $K_{2.4}$ второго пускателя включены в цепь двигателя M_1 таким образом, что при нажатии выключателя S_1 чередование фаз двигателя M_2 меняется по сравнению с включением его питания выключателем S_2 . За счёт этого осуществляется изменение направления вращения двигателя M_1

и соответственно направление поворота ротора потенциал – регулятора T_1 .

Испытуемый двигатель подключается к потенциал - регулятору T_1 , трёхполюсным выключателем S_4 . Посредством трёхполюсного выключателя S_3 в цепь ротора двигателя M_2 включается пусковой реостат ПР, выполненный с масляным охлаждением. В качестве механической нагрузки применяется электромагнитный тормоз ЭМТ, состоящий из электромагнита, содержащего четыре полюса с обмотками ОВ, и стального диска Д, закреплённого на валу двигателя M_2 . Электромагнит установлен с возможностью поворота в подшипниках, а его обмотка ОВ питается постоянным током при включении двухполюсного выключателя S_7 . Величину тормозного момента изменяют путём регулирования резистором R_4 величины тока в обмотках ОВ. Для контроля величины этого тока в цепь ОВ включён амперметр PA_5 . Величина тормозного момента измеряется по отклонению стрелки, установленной на электромагните и перемещающейся относительно неподвижной шкалы. Ток статора I_1 измеряется амперметрами PA_1 , PA_2 и PA_3 , напряжение питания – вольтметрами PV_1 и PV_2 , а потребляемая мощность P_1 – трёхфазным двухэлементным ваттметром PW , подключённым через трансформаторы тока T_2 и T_3 . При этом вольтметр PV_2 , предназначенный для измерения небольших напряжений питания в режиме короткого замыкания, подключён через размыкающий контакт реле напряжения выше его максимального предела измерения. В цепь обмотки ротора двигателя M_2 подключены амперметр PA_4 с отклонением стрелки в обе стороны и вольтметр PV_3 .

Порядок выполнения работы:

1) Ознакомиться с конструкцией асинхронного двигателя с фазным ротором, схемой испытательного стенда и паспортными данными испытуемого двигателя.

2) Осуществить пуск в ход и остановку машин.

3) Снять и построить характеристики холостого хода.

4) Снять и построить рабочие характеристики двигателя.

5) Измерить скольжение S ротора при $U_1 = U_{1н}$ на холостом ходу различными способами и сравнить результаты.

1. Ознакомиться с конструкцией асинхронного двигателя с фазным ротором, схемой испытательного стенда и паспортными данными испытуемого двигателя.

2. Данный пункт выполняется следующим образом:

а) ручку реостата ПР ставят в пусковое положение «Пуск», которое соответствует наибольшему сопротивлению пускового реостата;

б) включают выключатели F_1 , S_3 , S_4 и подключают после этого двигатель M_2 к сети с помощью магнитного пускателя нажатием выключателя S_5 . При этом обмотка тормоза ЭМТ отключена от питания, т.е. выключатель S_7 разомкнут;

с) плавно уменьшают сопротивление пускового реостата ПР до замыкания обмотки на коротко (положение ручки реостата «Ход»). При этом

необходимо проконтролировать изменение тока ротора I_2 по амперметру PA_4 и тока статора I_1 по амперметрам PA_1 , PA_2 и PA_3 ;

д) при остановке двигателя сначала нажатием выключателя S_6 отключают пускателем обмотку статора от сети, а затем пусковой реостат переводят в положение «Пуск». **Отключать двигатель от сети при разомкнутом роторе запрещается.** Это связано с тем, что при отключении запасённая электромагнитная энергия должна рассеиваться, и если ротор будет разомкнут, то быстрее исчезновение потока вызовет значительные перенапряжения в статоре, превышающие номинальные значения в 3 – 4 раза. Те же явления происходят при отключении двигателя при большом сопротивлении в цепи ротора, т.к. это тоже вызывает быстрое затухание магнитного потока.

3. Данный пункт выполняется следующим образом; выключатель S_7 выключен. Подводимое напряжение при помощи потенциал – регулятора T_1 изменяют в пределах $U_{10} = (0,3 \div 1,3)U_{1н}$, причём опыт начинают с большего значения напряжения, постепенно понижая его. Рекомендуется производить 9-11 отсчётов при различных значениях напряжения. Опыт холостого хода необходимо проводить при установившейся температуре частей испытуемого двигателя. Для этого до начала измерений рекомендуется вращать двигатель без нагрузки при номинальном напряжении в течение 15 мин. При проведении опыта измеряют линейное напряжение U_{10} (по вольтметрам PA_1 , PA_2 , PA_3) и потребляемую мощность P_{10} по ваттметру (PW). За действительное значение тока I_{10} принимают среднее арифметическое значение тока измеренных величин.

4. Потенциал – регулятором T_1 устанавливают номинальное напряжение $U_{1н}$ и поддерживают его постоянным в течении всего опыта. Включают выключатель S_7 и, регулируя реостатом R_4 ток в обмотках электромагнитного тормоза, и изменяют величину тормозного момента на валу. Рекомендуется проводить 5 – 7 отсчётов при различных значениях тормозного момента в пределах от 110% номинального значения до холостого хода. При этом измеряют ток I_1 (амперметрами PA_1 , PA_2 , PA_3), потребляемую мощность P_1 (ваттметром PW), скольжение ротора S (по частоте тока ротора, определяемой с помощью амперметра PA_4), тормозной момент M (по отклонению стрелки, установленной на электромагнитном тормозе).

5. Данный пункт выполняется при разомкнутом выключателе S_7 следующим образом;

а) стробоскопическим:

Диск D , насаженный на вал двигателя, освещают стробоскопической лампой, питаемой от той же сети. Если частота вспышек лампы равна частоте вращения диска, то он кажется неподвижным, а если частота вспышек больше, то он кажется вращающимся против направления вращения ротора. Устанавливаем такую частоту вспышек лампы, при которой диск D кажется вращающимся (обычно устанавливают частоту вспышек равной

синхронной частоте вращения η_1), и считаем число проходов секторов, выделенных на диске, мимо неподвижного указателя за какое – либо время. При этом прохождение сектора в момент пуска секундомера считаем нулевым. Число секторов, изображённых на диске, равно числу пар полюсов двигателя;

б) по частоте тока ротора:

По секундомеру измеряют время T определённого числа периодов качаний N стрелки амперметра PA_4 , включённого в цепь фазного ротора;

в) непосредственным измерением частоты вращения ротора:

При помощи тахогенератора или тахометра измеряют частоту вращения ротора n . По номинальным табличным данным испытуемой машины определяют синхронную частоту вращения n_1 . Следует отметить, что этот способ применим при измерении сравнительно больших скольжений ($S > 0,1$).

Результаты измерения скольжения разными способами занести в данную таблицу;

Наименование способа	Стробоскопический			По частоте тока ротора			Непосредственное		
	N	T сек	S о.е.	N	T сек	S о.е.	n об\мин	n ₁ об\мин	S о.е.
Измеряемая величина									

Контрольные вопросы:

1 Конструкция и принцип действия асинхронного двигателя с фазным ротором?

2. Указать преимущества и недостатки асинхронного двигателя с фазным ротором по сравнению с двигателем с короткозамкнутым ротором?

3. Что такое скольжение? В каких пределах изменяется скольжение при работе асинхронной машины в двигательном режиме?

4. Описать процессы пуска и отключения двигателя, объяснить суть данных операций?

Лабораторная работа № 3

Тема: Трёхфазный синхронный генератор.

Цель работы: Ознакомиться с характеристикой, конструкцией и принципом действия трёхфазного синхронного генератора, и с основными методами испытания.

Оформление отчёта.

Отчёт должен содержать:

- 5) Схему стенда;
- 6) Паспортные данные синхронного генератора;
- 7) Краткий конспект работы;
- 8) Таблицы с данными характеристик.

Основные сведения.

Основные свойства синхронных генераторов можно оценить с помощью ряда характеристик: холостого хода, нагрузочной, внешней, регулировочной и короткого замыкания. Характеристикой холостого хода называют зависимость напряжения обмотки якоря U_0 от тока I_f при холостом ходе (при токе якоря $I = 0$) и номинальной частоте вращения:

$$U_0 = f(I_f) \text{ при } I = 0, n = n_n = \text{const.}$$

Характеристика холостого хода показана на рис.3.1. (кривая 1) и подобна по форме основной характеристике намагничивания машины.

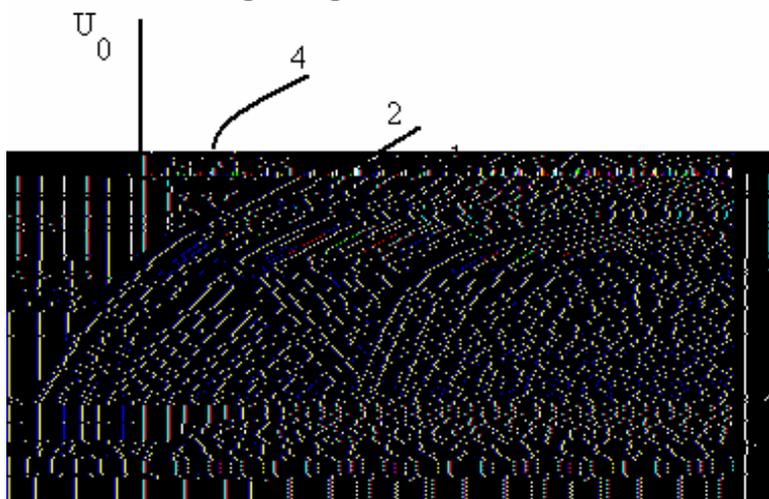


Рис. 3.1. Характеристика холостого хода и индукционная нагрузочная характеристика

$\Phi_m = f(F_{fm})$, где Φ_m – магнитный поток, F_{fm} – м.д.с возбуждения. При $I_0 = 0$ имеем, что $E_f = U_0$, где E_f – эдс, наводимая потоком Φ_m в обмотках якоря. При малых I_f поток Φ_m и э.д.с E_f пропорциональны м.д.с F_{fm} , и характеристика прямолинейна. По мере увеличения насыщения характеристика $\Phi_m = f(F_{fm})$ все сильнее отклоняется от прямолинейной. Если изобразить характеристику холостого хода в относительных единицах ($U_{0x} = U_0 / U_n$; $i_{fx} = I_f / I_{fно}$, где U_n – номинальное линейное напряжение; $I_{fно}$ – ток возбуждения холостого хода при $U_0 = U_n$), для различных синхронных генераторов они будут мало отличаться друг от друга. Усреднённая характеристика называется нормальной. Характеристика холостого хода позволяет определить степень насыщения машины. ∞

Нагрузочной характеристикой называют зависимость напряжения на выводах генератора от тока возбуждения $U = f(I_f)$ при постоянных токе якоря, частоте вращения и угле нагрузки ($I = \text{const}$, $n = \text{const}$, $\varphi = \text{const}$). Она показывает, как изменяется напряжение на выводах генератора при изменении тока возбуждения, если поддерживается $I = \text{const}$ и $\varphi = \text{const}$ за счёт регулирования сопротивления нагрузки Z_n . Характеристика холостого хода, в сущности, является частным случаем нагрузочной характеристики

при $Z_n = \infty$.

Из числа других нагрузочных характеристик практически используется только индукционная нагрузочная характеристика, соответствующая чисто индуктивной нагрузке ($\varphi = 90^\circ$, $\cos \varphi = 0$), которая приведена на рис. 3.1 (кривая 3). Она идёт ниже характеристики холостого хода (кривая 1) за счёт наличия чисто продольной нагрузки имеет только продольную составляющую. Точка А (рис. 1.) соответствует установившемуся короткому замыканию при $I = I_n$. В случае ёмкостной нагрузки реакция якоря производит намагничивающее действие, и нагрузочные характеристики идут выше характеристики холостого хода (рис.3.1, кривая 4).

Внешней характеристикой называется зависимость напряжения на выводах генератора от тока якоря $U = f(I)$ при постоянных токе возбуждения, частоте вращения и угле нагрузки ($I_f = \text{const}$, $n = \text{const}$, $\varphi = \text{const}$). Она показывает, как изменяется напряжение на выводах генератора при увеличении тока нагрузки, если ток возбуждения и характер нагрузки постоянны. Вид внешней характеристики при разных характерах нагрузки показан на рис.3.2.

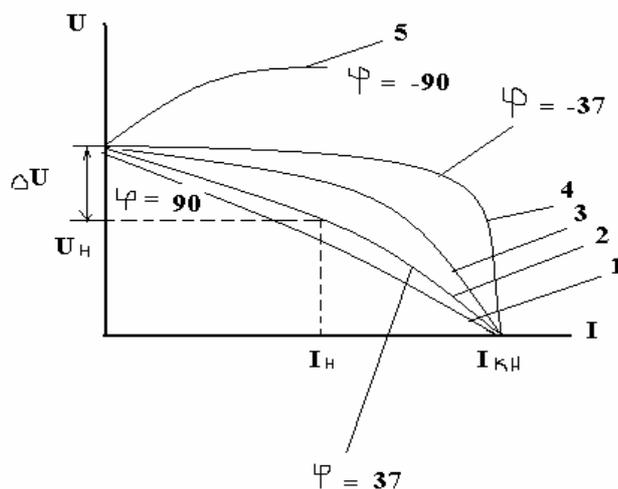


Рис. 3.2. Внешние характеристики

При активно – индуктивной нагрузке $0 < \varphi < 90^\circ$ реакция якоря и падение напряжения вызывает уменьшение напряжения, поэтому внешняя характеристика имеет резко падающий характер (кривые 1 и 2), причём при увеличении φ возрастает падение напряжение. Аналогичный характер имеет внешняя характеристика и при чисто активной нагрузке $\varphi = 0$ (кривая 3).

При активно – ёмкостной нагрузке $0 > \varphi > -90^\circ$ указанные факторы действуют в сторону повышения напряжения. При $U = 0$ имеем короткое замыкание; все характеристики пересекаются в одной точке, соответствующей току короткого замыкания $I_{кз}$. При холостом ходе $Z = \infty$ напря-

жение на зажимах делается равным $U_0 = E_{fn}$. По величине эдс E_{fn} можно определить номинальное изменение напряжения генератора ΔU при сбросе нагрузки (рис.3.2.).

Регулировочной характеристикой генератора называется зависимость тока возбуждения от тока якоря $I_f = f(I)$ при постоянных напряжений, частоте вращения и угле нагрузки ($U = \text{const}$, $n = \text{const}$, $\varphi = \text{const}$). Она показывает, как нужно регулировать ток возбуждения, чтобы при изменении величины нагрузки Z_n напряжение U оставалось постоянным. Для поддержания $U = \text{const}$ при возрастании индуктивной нагрузки требуется увеличение тока I_f , а при ёмкостной нагрузке – уменьшение тока I_f (это следует из рассмотрения характера внешних характеристик). Поэтому регулировочные характеристики для различных значений $\varphi = \text{const}$ имеют следующий вид (рис.3.3).

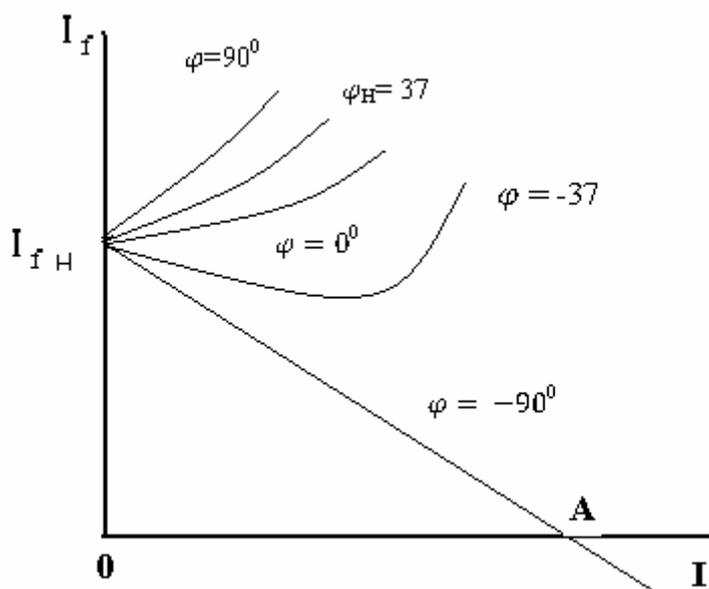


Рис. 3.3. Регулировочные характеристики.

В случае чисто ёмкостной нагрузки ($\varphi = -90^\circ$) ток I_f нужно уменьшать наиболее резко по линейному закону. В точке A , соответствующей резонансу напряжений, имеем $I_f = 0$, при этом на выходе генератора имеется напряжение. Это явление называется самовозбуждением. Поле в этом режиме возбуждается продольным намагничивающим током в обмотке якоря, и возбуждения со стороны ротора не требуется.

Характеристикой короткого замыкания называется зависимость тока от тока возбуждения $I_k = f(I_f)$ при $U_0 = \text{const}$, $n = \text{const}$. В режиме короткого замыкания поле возбуждения сильно ослаблено из-за размагничивающего действия продольной мдс якоря, т.к. сопротивление цепи

якоря будет практически чисто индуктивным. Так как результирующий поток создаёт в этом режиме только небольшую эдс, покрывающую падение напряжения в якорной цепи, то магнитная цепь машины будет ненасыщенна. Поэтому характеристики короткого замыкания носят прямолинейный характер (изгиб будет иметь место только при токах, значительно превышающих номинальный ток).

Характеристики короткого замыкания при двухфазном и однофазном замыкании (соответственно $I_{к2} = f(I_f)$ и $I_{к1} = f(I_f)$) носят также прямолинейный характер, но вследствие уменьшения реакции якоря характеристика $I_{к2} = f(I_f)$ проходит выше характеристики трёхфазного короткого замыкания $I_{к3} = f(I_f)$ а характеристика $I_{к1} = f(I_f)$ проходит выше характеристики $I_{к2} = f(I_f)$. рис. 3.4.

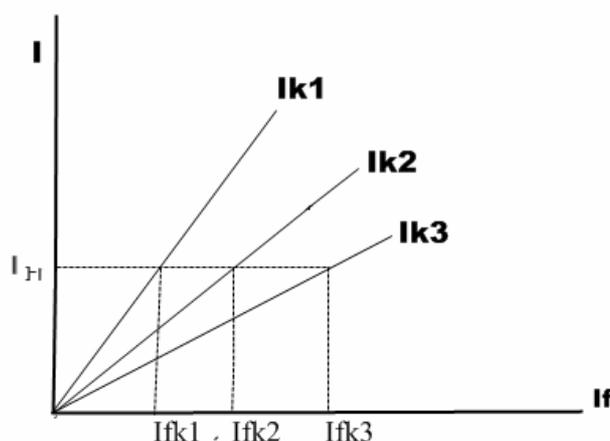


Рис.3.4. Характеристика короткого замыкания

Описание лабораторной установки.

Стенд подключается к сети $\approx 220В$ при помощи двухполюсного выключателя F2 с автоматическим возвратом, который обеспечивает защиту стенда по максимальному току и максимальной температуре (рис.3.4). Наличие напряжения на стенде контролируется, по сигнальной лампе Н.

К стенду подводится также постоянное напряжение = 220В включением двухполюсного выключателя F1 с автоматическим возвратом. Обмотка возбуждения испытуемого синхронного генератора Г подключается через однофазный мостовой выпрямитель, содержащий четыре диода V1... V4, к сети при помощи двухполюсного выключателя S1. Регулирование подводимого напряжения производится при помощи автотрансформатора Т2, а величина тока возбуждения I_f измеряется амперметром РА8. Обмотка якоря генератора подключается к нагрузке.

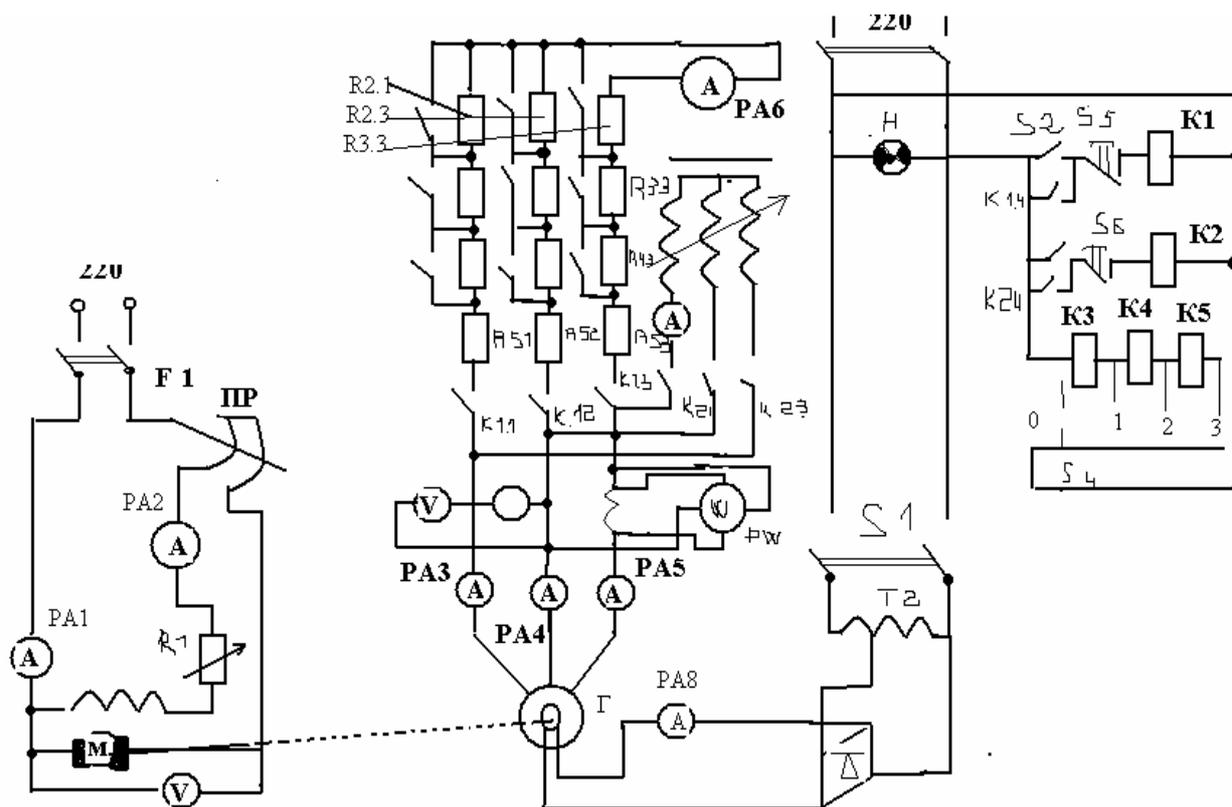


Рис. 3.4. Лабораторная установка.

В качестве нагрузки используют резисторы $R2 \div R5$ (активная нагрузка) и трёхфазный автотрансформатор с магнитопроводом, работающий в качестве регулируемой индуктивности L (индуктивная нагрузка). Подключение активной нагрузки производится при помощи первого магнитного пускателя, питание на катушку $K1$, которого подаётся при нажатии нажимного кнопочного выключателя $S2$ с замыкающим контактом. Пускатель при этом срабатывает, и его силовые замыкающие контакты $K1.1$, $K1.2$ и $K1.3$ замыкаются. Одновременно замыкается блок – контакт $K1.4$ пускателя и шунтирует кнопочный выключатель $S2$, за счёт чего питание на катушку $K1$ подаётся независимо от того, нажат или нет выключатель $S2$. Для отключения катушки $K1$ пускателя и отключение таким образом активной нагрузки необходимо нажать нажимной кнопочный выключатель $S5$ с размыкающим контактом. Величину активной нагрузки изменяют при помощи многопозиционного переключателя $S4$, посредством которого подаётся напряжение на катушки $K3$, $K4$ и $K5$ соответственно третьего, четвёртого и пятого пускателей. Последние своими силовыми замыкающими контактами шунтируют резисторы $R2$, $R3$ и $R4$. При установке переключателя $S4$ в положение «0» в цепь якоря генератора включены все резисторы, и ток якоря I будет минимальным. При установке переключателя в по-

ложение «1» подаётся напряжение на катушку К3. При этом замыкаются силовые замыкающие контакты К3.1, К3.2 и К3.3. За счёт этого величина суммарного сопротивления в цепи якоря уменьшается, а ток якоря I увеличивается. Аналогичные процессы протекают при установке переключателя в положение «2» и «3».

Подключение индуктивной нагрузки L производится при помощи второго магнитного пускателя, питание на катушку К2 которого подаётся при нажатии нажимного кнопочного выключателя S3 с замыкающим контактом. Пускатель при этом срабатывает и его силовые замыкающие контакты К2.1, К2.2 и К2.3 подключают индуктивную нагрузку к обмотке якоря генератора. Величину индуктивной нагрузки изменяют путём вращения регулировочной рукоятки, находящейся на трёхфазном автотрансформаторе и кинематически связанной с его подвижными контактами.

Ротор синхронного генератора механически соединён с якорем приводного двигателя М постоянного тока с параллельной обмоткой возбуждения ОВМ. Подключение питания производится при помощи двухполюсного выключателя F1. Для уменьшения пускового тока двигателя М последовательно в цепь его якоря подключается пусковой реостат ПР. При пуске он должен находиться в положении «Стоп», а по мере разгона двигателя он ступенчато выводится из цепи якоря. Ток возбуждения в обмотке ОВМ регулируется при помощи реостата R1, а его величина регистрируется амперметром PA2. Потребляемый ток двигателя измеряется амперметром PA1, подводимое напряжение – вольтметром PV1.

Величина тока I якоря синхронного генератора измеряется амперметрами ПА3, ПА4 и ПА5, величина активной мощности P – однофазным ваттметром PW, подключенным через трансформатор тока Т1; величина выходного напряжения измеряется вольтметром PV2, а его частота частотомером PH_z. Величина тока в активной нагрузке измеряется амперметром PA6, а величина тока I_p в индуктивной нагрузке – амперметром PA7.

Порядок выполнения работы.

1. Ознакомиться с конструкцией синхронного генератора и схемой испытательного стенда. Записать паспортные данные синхронного генератора и приводного двигателя.

2. Снять и построить характеристику холостого хода: $U_0 = E_f = f(I_f)$ при $I = 0$, $n = n_n = \text{const}$. Сравнить полученную характеристику с нормальной характеристикой холостого хода.

3. Снять и построить индуктивную нагрузочную характеристику; $U = f(I_f)$ при $I = \text{const}$, $n = n_n = \text{const}$, $\cos \varphi = 0$.

4. Снять и построить внешние характеристики; $U = f(I)$ при $I_{H0} = \text{const}$, $n = n_n = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$:

- а. при активной нагрузке $\cos \varphi = 1$;
 - б. при активной – индуктивной нагрузке $\cos \varphi = 0,707$;
 - в. при индуктивной нагрузке $\cos \varphi = 0$.
5. Снять и построить регулировочные характеристики: $I_f = f(I)$ при $U = \text{const}$, $n = n_n = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$:
- а. при активной нагрузке $\cos \varphi = 1$;
 - б. при активной – индуктивной нагрузке $\cos \varphi = 0,707$;
6. Снять и построить характеристики короткого замыкания; $I_k = f(I_f)$ при $U = 0$, $n = n_n = \text{const}$;
- а. при трёхфазном коротком замыкании;
 - б. при двухфазном коротком замыкании;
1. Ознакомиться с конструкцией синхронного генератора и схемой испытательного стенда. Записать паспортные данные синхронного генератора и приводного двигателя.
2. При выполнении второго пункта запускают приводной двигатель. Для этого ставят ручку пускового реостата ПР в положение «Стоп» и включают выключатель F1. Плавно вращая ручку ПР, переводят её в положение «Ход». Затем движок реостата R1 ставят в положение, соответствующее синхронной частоте вращения n_n . Для контроля величины n_n используется частотомер РН_З, для чего необходимо включить выключатели F2 и S1. Устанавливаем при помощи автотрансформатора Т2 такой ток возбуждения, чтобы при вращении в одном направлении характеристика следовала по заданной кривой. Если требуется изменить направление вращения, то в процессе опыта необходимо поддерживать $n = n_n = \text{const}$ равномерно. В при помощи изменения тока возбуждения приводного двигателя.
3. При выполнении третьего пункта устанавливаем номинальную частоту вращения генератора и подключаем индуктивную нагрузку нажатием кнопочного выключателя S3. Изменяя величину индуктивного сопротивления X_L и регулируя ток возбуждения I_f , устанавливаем ток якоря $I = I_n$ при напряжении $U = I \cdot U_n$ и $n = n_n$ и производим первый отсчёт. Затем уменьшаем ток I_f , уменьшая тем самым U . При этом ток нагрузки I поддерживают постоянным, путём регулирования величины X_L . При определении нагрузочной характеристики следует измерять ток возбуждения I_f , напряжение U , частоту f и ток якоря I . В процессе опыта необходимо поддерживать $n = n_n = \text{const}$ т.е. $f = \text{const}$.
4. Выполняется следующим образом. Включают приводной двигатель М, устанавливают синхронную частоту вращения и поддерживают её постоянной в течении всего опыта. Для снятия внешней характеристики при активной нагрузке предварительно на холостом ходу устанавливают такой ток возбуждения I_{f0} , при котором получается $U = U_n$. В дальнейшем в

течении всего опыта эта величина $I_{\text{фн0}}$, поддерживается постоянной. Затем подключают активную нагрузку путём нажатия кнопочного выключателя S2. Изменяя при помощи переключателя S4 величину активного сопротивления, измеряют напряжения U , ток якоря I , частоту f и ток возбуждения $I_{\text{ф}}$. Для снятия внешней характеристики при активно – индуктивной нагрузке необходимо, не отключая активную нагрузку, нажать кнопочный выключатель S3, подключив тем самым индуктивную нагрузку L . Характеристика снимается при $\cos \varphi = 0,707$ т.е. при $\varphi = 45^\circ$, когда активный и реактивный ток равны между собой. Автотрансформатором T2 устанавливают ток возбуждения генератора, равный $I_{\text{фн0}}$, и поддерживают его постоянным в течении всего опыта. Устанавливают переключатель S4 в положение «0» и изменяют величину индуктивного сопротивления X_L так, чтобы активный ток I_a был равен реактивному I_r , т.е. чтобы показания амперметров PA6 и PA7 совпадали, что обеспечивает необходимое значение $\cos \varphi = 0,707$. После этого производят необходимые измерения. Затем устанавливают переключатель S4 в положение «I», производят необходимое регулирование величины X_L до значения, при котором ток $I_a = I_r$, и регистрирует следующую точку характеристики. Аналогично снимаются остальные точки данной характеристики. Методика снятия внешней характеристики, при индуктивной нагрузке ($\cos \varphi = 0$), аналогична выше описанной, при этом перед началом опыта подключают только индуктивную нагрузку.

5. Включить приводной двигатель, устанавливают синхронную частоту вращения и поддерживают её постоянной в течении всего опыта. При холостом ходе генератора, когда $I = 0$, устанавливают такой ток возбуждения $I_{\text{фн0}}$, при котором получается $U = U_{\text{н}}$, и производят первый отсчёт по приборам, регистрируя напряжение U , ток якоря I , ток возбуждения $I_{\text{ф}}$ и частоту f . Затем выключателем S2 подключают активную нагрузку при установке переключателя S4 в положение «0». Увеличивая ток возбуждения $I_{\text{ф}}$ до такой величины, при которой будет $U = U_{\text{н}}$, производят следующий отсчёт. Аналогично снимают остальные точки регулировочной характеристики при активной нагрузке. Для снятия характеристик при активно – индуктивной нагрузке необходимо предварительно поставить переключатель S4 в положение «0», а затем нажатием выключателя S3 подключить параллельно с активной нагрузкой индуктивную нагрузку L . Регулируя величину индуктивного сопротивления X_L , добиваются равенства показаний амперметров PA6 и PA7. Регулируя ток возбуждения $I_{\text{ф}}$, добиваются $U = U_{\text{н}}$ и производят первый расчёт по приборам. Затем устанавливают S4 в

положение «I», изменением XL добиваются равенства показаний амперметров РА6 и РА7, изменением If добиваются $U = U_n$ и производят следующий отсчёт. Аналогично снимают остальные токи характеристики.

6. Необходимо предварительно установить ток возбуждения $I_f = 0$. Затем отключить стенд от питания и соединить между собой точки А, В и С, обеспечивая тем самым трёхфазное короткое замыкание. Закоротка выполняется непосредственно на клеммах трёхфазного автотрансформатора, работающего в качестве регулируемой индуктивной нагрузки L. Включают приводной двигатель и устанавливают $n = n_n$. Далее включают обмотку возбуждения и устанавливают такой ток I_f , при котором $I = 1,2I_n$. Производят первый отсчёт, измеряя токи I_f и I. Затем через приблизительно одинаковые интервалы тока I снимают остальные точки характеристики, включая точку $I_f = 0$, при этом один из отсчётов должен быть, произведён при $I = I_n$. После этого отключают приводной двигатель и весь стенд от питания и закорачивают между собой две любые фазы, получая тем самым двухфазное короткое замыкание.

Таблица.1. характеристика холостого хода

№ отсчётов	U_o	I_f	U_{of}	I_f	
1.					$\Delta I_f =$
2.					
3.					$U_{ост}$
4.					

Таблица.2. Индукционная нагрузочная характеристика

№ отсчётов	U В	I_f А	Примечание
1.			$I =$
2.			$\cos \varphi = 0$
3.			
4.			

Таблица.3. Внешние характеристики

№ отсчётов	U В	I_f А	Примечание

1. 2.			$\cos \varphi = 1$ $I_{\text{fHO}} = , \Delta U_{\text{H}} =$
1. 2.			$\cos \varphi = 0,707$ $I_{\text{fHO}} = , \Delta U_{\text{H}} =$
1. 2.			$\cos \varphi = 0$ $I_{\text{fHO}} = , \Delta U_{\text{H}} =$

Таблица.4. Характеристика короткого замыкания

№ отсчётов	Трёхфазное		Двухфазное		Примечание
	Iк, А	If, А	Iк, А	If, А	
1. 2. 3. 4.					Kс =

Контрольные вопросы:

1. Основные виды синхронных машин и области их применения?
2. Объяснить вид характеристик холостого хода?
3. Чем объясняется изменения напряжения синхронного генератора при изменении величины и характера нагрузки?

Лабораторная работа № 4

Тема: Трёхфазный синхронный двигатель.

Цель работы: Ознакомиться с характеристикой, конструкцией и принципом действия трёхфазного синхронного двигателя, и с основными способами пуска и их характеристиками.

Оформление отчёта.

Отчёт должен содержать:

- 1) Схему стенда;
- 2) Паспортные данные синхронного двигателя;
- 3) Краткий конспект работы;
- 4) Таблицы с данными 1 и 2 характеристик.
- 5) Графики.

Основные сведения.

К основным характеристикам синхронных двигателей относятся U – образные и рабочие характеристики.

U – образными характеристиками называются зависимости $I = f(I_f)$ и $\cos \varphi = f(I_f)$ при $U_c = \text{const}$ и $P_1 = \text{const}$. Они показывают влияние тока возбуждения I_f на реактивную мощность, развиваемую двигателем при постоянной активной мощности P_1 , и повторяют U – образные характеристики в режиме генератора. Следовательно, синхронный двигатель можно рассматривать в качестве генератора реактивного тока: индуктивного по отношению к напряжению сети U_c при недовозбуждении и ёмкостного при его перевозбуждении. Это свойство широко используется: параллельно с асинхронными двигателями, которые работают с отстающими $\cos \varphi$, устанавливают перевозбужденные синхронные двигатели для компенсации отстающей составляющей тока.

Рабочие характеристики синхронного двигателя представляют собой зависимости потребляемой мощности P_1 , тока статора I , КПД η , коэффициента мощности $\cos \varphi$ и момента M на валу от полезной мощности P_2 при $U = \text{const}$ и $I_f = \text{const}$. Они позволяют определить выходные параметры машины при различной по величине нагрузке и имеют следующий вид, показанный на (рис.4.1).

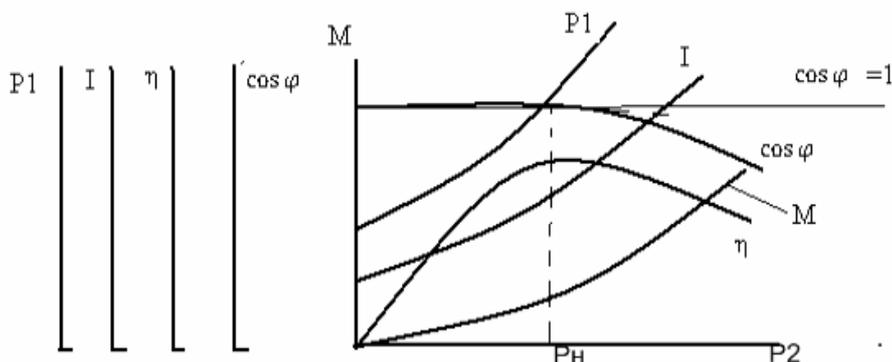


Рис.4.1. Рабочие характеристики синхронного двигателя

При увеличении нагрузки величина $\cos \varphi$ падает, а ток делается отстающим. Если ток возбуждения I_f выбран так, чтобы при $P_2 = P_{2н}$ был $\cos \varphi = 1$, то при увеличении нагрузки $\cos \varphi$ сначала возрастает в связи с уменьшением опережающей реактивной составляющей, становится равным единице, а затем снова уменьшается из – за появления отстающей реактивной составляющей тока. Графически это показано на рис.4.2, где кривая 1 соответствует $\cos \varphi = 1$ при холостом ходе, кривая 2 – $\cos \varphi = 1$ при $P_2 = 0,5 P_{2н}$ и кривая 3 – $\cos \varphi = 1$ при $P_2 = P_{2н}$. Следовательно, путём изменения величины I_f можно добиться, чтобы синхронный двигатель имел $\cos \varphi = 1$ при желаемой нагрузке: чем больше I_f , тем при большей нагрузке достигается $\cos \varphi = 1$.

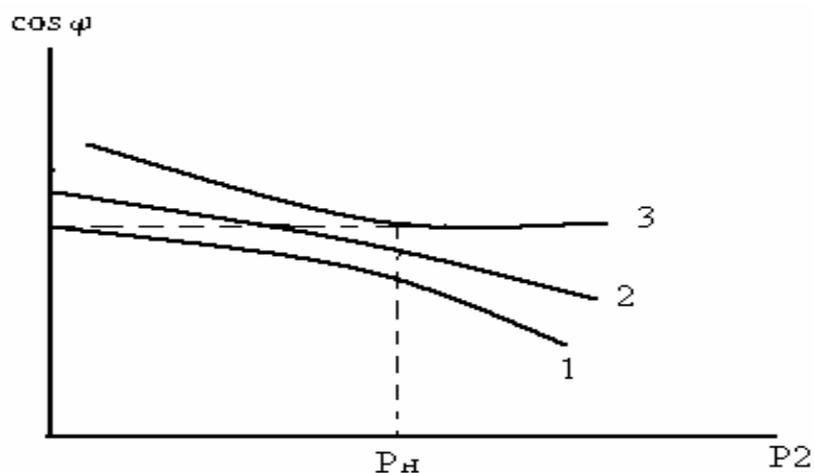


Рис.4.2. Кривые $\cos \varphi = f(P_2)$ при различных I_f

Описание лабораторной установки.

Стенд подключается к сети $\sim 380\text{В}$ при помощи трёхполюсного выключателя F1 с автоматическим возвратом, который обеспечивает защиту стенда по максимальному току и максимальной температуре (рис.4.3).

Наличие напряжения на стенде контролируется, по сигнальной лампе Н. К стенду, подводится также постоянное напряжение 220В включением двухполюсного выключателя F2 с автоматическим возвратом.

Испытуемый синхронный двигатель СМ подсоединяется к сети через потенциал – регулятор Т1, подключение которого к питанию осуществляется при помощи первого магнитного пускателя. Напряжение на катушку К1 последнего подаётся при нажатии нажимного кнопочного выключателя S3 с замыкающим контактом. Пускатель срабатывает и его силовые замыкающие контакты К1.1, К1.2 и К1.3 замыкаются. Регулирование напряжения, подводимого к испытуемому двигателю СМ, осуществляется вручную при помощи рукоятки, соединённой червячной передачей с ротором потенциал – регулятора, а величина этого напряжения измеряется вольтметром PV1.

K1, K2 и K3 необходимо нажать соответственно нажимной кнопочный выключатель S6, S7 и S8.

Обмотка возбуждения синхронного двигателя подключается к источнику питания при помощи двухполюсного выключателя S2. Ток возбуждения I_f регулируется при помощи реостата R1, а величина тока I_f измеряется амперметрами PA4. В качестве механической нагрузки применяется электромагнитный тормоз ЭМТ, состоящий из электромагнита, обмотка которого подключается к источнику питания при помощи выключателя S1, и стального диска Д, закреплённого на валу синхронного двигателя. Величину тормозного момента изменяют путём регулирования реостатом R2 тока в обмотке электромагнита; для контроля этого тока служит амперметр PA5. Величину тормозного момента измеряют по отклонению стрелки, установленной на электромагните. Ток статора I испытуемого двигателя регистрируется амперметрами PA1, PA2 и PA3, частота – частотомером РПЗ, подводимое напряжение U – вольтметром PV2 и потребляемая мощность P – 1 - ф ваттметром PW, подключённым через трансформатор тока T2. Стрелочный синхроскоп PS служит для определения момента включения испытуемого двигателя в сеть. Величина напряжения, подводимого к разгонному асинхронному двигателю M, измеряется вольтметром PV4.

Лабораторное задание:

1. Ознакомиться с конструкцией испытуемого синхронного двигателя и схемой испытательного стенда. Записать тип и номинальные данные.

2. Осуществить пуск синхронного двигателя при помощи вспомогательного разгонного двигателя.

3. Снять и построить U – образные характеристики:

$I = f(I_f)$, $\cos \varphi = f(I_f)$ при $U = \text{const}$, $P1 = \text{const}$ для трёх значений P1: в режиме холостого хода; при $P1 = 0,5 P_n$; $P1 = 1,0 P_n$.

4. Снять и построить рабочие характеристики:

$P1$, I , η , $\cos \varphi$, $M = (P2)$ при $U = \text{const}$, $I_f = \text{const}$.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с конструкцией испытуемого синхронного двигателя и схемой испытательного стенда. Записать тип и номинальные данные.

2. Включить двигатели F1 и F2. Нажимают кнопочный выключатель S3 и устанавливают на выходе потенциала – регулятора T1 по вольтметру PV1 напряжение, равное номинальному напряжению испытуемого двигателя. Производят запуск разгонного двигателя M путём нажатия кнопоч-

ного выключателя S4. После разгона ротора включают обмотку возбуждения синхронного двигателя выключателем S2. По вольтметру PV2 устанавливают номинальное напряжение. При этом стрелка синхроскопа PS начинает вращаться. При положении стрелки вертикально вверх нажимают кнопочный выключатель S5. При этом синхронный двигатель включается в сеть. После того, как он втянется в синхронизм (регистрируется по частотомеру PH), отключают разгонный двигатель от сети нажатием кнопочного выключателя S7.

3. После того, как он втянется в синхронизм, не выключая выключатель S1, увеличивают ток возбуждения I_f при котором RI до тех пор, пока ток статора не станет равным $I=(1,1 \div 1,2)I_n$. Производят первый отсчёт по приборам, измеряя ток I, напряжение U, мощность P_1 и частоту f в цепи статора и ток возбуждения I_f . Затем уменьшают ток I_f и снимают U – образную характеристику как в режиме перевозбуждения, так и в режиме недо возбуждения двигателя в работе.

Для снятия U – образных характеристик при $P_1 = 0,5 P_{1н}$ и $P_1 = 1,0 P_{1н}$ необходимо предварительно нагрузить двигатель до соответствующей мощности. Для этого включают S1 и, регулируя ток в обмотке ЭМТ, обеспечивают соответствующую нагрузку. Методика снятия характеристик аналогична описанной. При изменении I_f изменяется так же и P_1 , необходимо реостатом R2 поддерживать P_1 постоянной.

Для снятия рабочих характеристик синхронный двигатель включают в сеть и нагружают при помощи электромагнитного тормоза ЭМТ. Производят 6-7 отсчётов по приборам примерно через равные интервалы тока I, включая точки $I = 0$ и $I = I_n$. При каждом отсчёте необходимо изменить ток возбуждения I_f и установить его таким, чтобы обеспечить $\cos \varphi = 1$, т.е. установить такой I_f при данном нагрузочном моменте M, при котором ток I статора получается минимальным. В каждой точке отсчёта измеряют токи I и I_f , мощность P_1 , момент M, частоту f, напряжение U, а также частоту вращения ротора при помощи строботометра.

$$P_2 = \frac{Mn}{60}, \text{ где } n - \text{ синхронная частота вращения двигателя, об/мин;}$$

$$M = \text{ момент на валу, Нм.}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \text{ где } P_1 - \text{ мощность одной фазы, отсчитываемая по одно-}$$

$$\text{фазному ваттметру, Вт.}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}UI}$$

Табл. 1. U – образные характеристики

№ - отсчётов	$P_1 = P_0$		$P_1 = 0,5P_{1H}$			$P_1 = 1,0P_{1H}$			Примечание
	I А	I_f А	I А	I_f А	$\cos \varphi$,	I А	I_f А	$\cos \varphi$	
1. 2. 3. 4.									U =

Табл. 2. Рабочие характеристики.

№ - отсчётов	Опытные данные					Расчётные данные			Примечание
	P_1 Вт	I А	M А	I_f Нм	n Об/ми н	P_2 Вт	η %	$\cos \varphi$	
1. 2. 3. 4.									U =

Контрольные вопросы:

1. Конструкция и принцип действия синхронного двигателя?
2. Способы пуска синхронных двигателей?
3. Преимущества и недостатки синхронного двигателя по сравнению с асинхронным?
4. Конструкция и принцип действия ЭМТ?

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вольдек А.И. Электрические машины. – М.: Энергия, 1978.
2. Иванов – Смоленский А.В. Электрические машины. – М., 1980.
3. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. – М., 1973.
4. ГОСТ 10169 – 77 Машины электрические трёхфазные синхронные. Методы испытания 1977г.
5. Костенко, М.П. Электрические машины. Ч. 1. Машины постоянного тока. Трансформаторы /М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский. – Л.: Энергия, 1972. – 543 с.
6. Кононенко, Е.В. Электрические машины (спец. курс): Учебное пособие для вузов /Е.В. Кононенко. – М.: Высшая школа, 1975. – 279 с.
7. Петров, Г.Н. Электрические машины. Ч. 1. - М.: Энергия, 1974.
8. Винокуров, В.А. Электрические машины железнодорожного транспорта: Учебник для вузов /В.А. Винокуров, Д.А. Попов. – М.: Транспорт, 1986. – 511 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1	
Трёхфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором.....	3
Лабораторная работа №2	
Трёхфазный асинхронный электродвигатель с фазным ротором....	12
Лабораторная работа № 3	
Трёхфазный синхронный генератор.....	18
Лабораторная работа № 4	
Трёхфазный синхронный двигатель.....	28
Литература.....	34

З.В. Докомбаев

**Методическое руководство к лабораторным работам по курсу:
«Электрические машины»**

*Тех. редактор: Жакыпова Ч.А.
Компьютерная верстка: Ысманова Н.К.*

*Отпечатано в полиграфическом комплексе
ИГУ им. К.Тыныстановы
Заказ 358 Тираж 25.
Тел.: (03922) 52696*