

**Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к лабораторным работам по дисциплине
"Электрические машины"**

для студентов

направления 6.050702 - ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

всех форм обучения

Часть 2

Машины переменного тока

**Севастополь
2010**



Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Электрические машины» для студентов направления 6.050702 – «Электромеханика» всех форм обучения /разраб. А.М. Олейников, Ж.Ю. Слепушкина. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. – Ч.2: Машины переменного тока. - 52 с.

Цель методических указаний: оказать помощь студентам при подготовке и проведении лабораторных работ по курсу «Электрические машины», в частности при изучении машин переменного тока, ознакомить их с приемами эксплуатации судовых электрических машин и проведением опытных исследований. Эта часть методических указаний к лабораторным работам является продолжением уже имеющихся указаний и необходима для освещения второй большей части дисциплины "Электрические машины.

Методические указания утверждены на заседании кафедры "Судовые и промышленные электромеханические системы", протокол № 11 от 29 июня 2010 г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензент: доктор техн. наук, проф. Коноплев К.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие требования к выполнению работы и оформлению	4
отчета по лабораторной работе	
2 Лабораторная работа № 7.....	4
3 Лабораторная работа № 8.....	16
4 Лабораторная работа № 9.....	24
5 Лабораторная работа № 10	35
6 Лабораторная работа № 11	42
7 Лабораторная работа № 12	47
Библиографический список	52

1 Общие требования к выполнению работы и оформлению отчета по лабораторной работе

Проведение лабораторных работ подчиняется тем же требованиям и правилам техники безопасности, которые были рассмотрены в части 1: «**Машины постоянного тока**» методических указаний к лабораторным работам по дисциплине «Электрические машины».

При оформлении отчетов необходимо придерживаться следующих требований:

1) Отчет должен выполняться каждым студентом индивидуально на формате А4 от руки или печатным способом, а электрические схемы и графики аккуратно вычерчиваются с чертежных инструментов с использованием стандартных электротехнических обозначений с соблюдением требований ЕСКД и ДСТУ.

2) Отчет должен содержать программу работы, принципиальную электрическую схему стенда с описанием используемых устройств и обозначений, таблицы экспериментальных данных, графики.

3) В отчете обязательно должны быть приведены все расчетные формулы с подстановкой цифр и результатов расчета для одного из реальных режимов работы схемы. Размер графиков не должен быть меньше 10×10 см.

4) В конце отчета делают выводы по работе, объясняющие полученные результаты.

Внимание! Порядок выполнения работы на стенде выделен **жирным шрифтом!**

2 Лабораторная работа №7

ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию и принцип работы асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (АДкз).

2. Снять и построить рабочие характеристики АДкз - зависимости К.П.Д. (η), потребляемой активной мощности (P_1), тока статора (I_1), скольжения (s), коэффициента мощности ($\cos\varphi$), электромагнитного момента (M) от мощности на валу АДкз (P_2) при неизменном напряжении и частоты сети ($U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$).

3. Снять и построить механическую характеристику АДкз (зависимость угловой частоты (ω) от электромагнитного момента (M) при $U_1=\text{const}$ и $f_1=\text{const}$.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1. Основные сведения о двигателях переменного тока

Асинхронной называют машину, у которой скорость вращения ротора n_2 при заданной частоте сети f_1 отличается от синхронной скорости вращения магнитного поля статора, т.е.

$$n_2 < \frac{60f_1}{p}. \quad (2.1)$$

В судовых электрических системах асинхронные машины (АМ) применяются преимущественно в качестве двигателей и подразделяются на два основных типа — с короткозамкнутым ротором и с фазным ротором.

Асинхронные двигатели (АД) могут быть однофазными, двухфазными и трехфазными, однако наибольшее распространение получили трехфазные двигатели. Они выпускаются промышленностью на номинальные мощности от сотен ватт до тысяч кВт и потребляют более половины всей вырабатываемой электроэнергии.

Асинхронный двигатель состоит из двух основных частей - статора и ротора, имеющих цилиндрическую форму (рисунок 2.1). Статор имеет корпус 1, сердечник 2 и обмотку 3. Корпус выполняют литым из стали, чугуна или немагнитных легких сплавов. Сердечник статора набирают из отдельных листов электротехнической стали, имеющих пазы на внутренней поверхности, прессуют и после укладки в пазы обмотки запрессовывают в корпус. Обмотка тщательно изолируется от сердечника.

Ротор имеет сердечник 4, также набранный из листов электротехнической стали с пазами на наружной поверхности и напрессованный на вал 7. Обмотку ротора 5 преимущественно выполняют в виде короткозамкнутой "беличьей" клетки путем заливки в пазы расплавленного алюминия или его сплавов. Такие роторы дешевы и просты в исполнении.

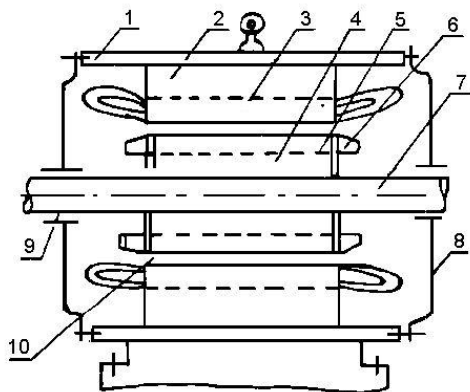


Рисунок 2.1 - Конструктивная схема асинхронного двигателя

В процессе заливки на торцах роторов отливают крылатки радиатора-вентилятора 6 для обеспечения циркуляции воздуха в зоне лобовых частей обмотки статора. В отдельных случаях стержни беличьей клетки выполняют из медных стержней, припаянных на торцах к короткозамыкающим медным кольцам.

В двигателях специального назначения обмотку ротора иногда выполняют также как и обмотку статора из от-

дельных фаз, выводы которых через выточки в валу подсоединяются к контактным кольцам. При пуске или регулировании скорости такого двигателя к кольцам прижимаются щетки, к которым присоединены пусковые или регулировочные реостаты. Такие двигатели называют двигателями с фазным ротором или с контактными кольцами. Подшипниковые щиты 8 служат опорой для ротора, центрируют его в расточке статора и обеспечивают вращение при помощи подшипников 9, напрессованных на вал ротора и размещенных в специальных гнездах подшипниковых щитов.

Электродвижущая сила в обмотке электрической машины индуцируется только при условии изменения потокоцепления магнитного поля с витками катушки, что находит отражение в известном соотношении

$$e = - \frac{d\psi_{\kappa}}{dt} = W_{\kappa} \frac{d\Phi_{\kappa}}{dt}, \quad (2.2)$$

отражающем закон электромагнитной индукции. Потокоцепление может изменяться под действием различных причин. При вращении витка в магнитном поле или при перемещении магнитного поля относительно неподвижного витка индуцируется ЭДС, которую называют ЭДС вращения. При изменении во времени потока, сцепленного с неподвижным витком, в нем индуцируется так называемая трансформаторная ЭДС. Во всех случаях величина и характер изменения индуцируемой ЭДС определяется величиной и характером изменения потокоцепления и также параметрами витка.

В синхронных и асинхронных двигателях уложенные в пазы статора трехфазные обмотки подключаются к трехфазной сети и создают круговое вращающееся магнитное поле, участвующее в преобразовании электрической энергии в механическую.

2. Пуск в ход и реверс асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором

Пуск в ход асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором может быть осуществлен следующими способами:

1. Непосредственным включением на полное напряжение сети,
2. Пуск при пониженном напряжении:
 - а) путем переключения обмотки статора со звезды на треугольник;
 - б) с использованием реактора;
 - в) с помощью автотрансформатора.

ПРЯМОЙ ПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Осуществляется непосредственным включением обмотки статора на полное напряжение сети и рекомендуется во всех случаях, когда это допускает электрическая сеть и конструкции двигателя. Двигатели малой и средней мощности включаются непосредственно в сеть. При этом установившееся

ся значение пускового тока бывает в 4...7 раз больше номинального. Пусковой момент для двигателей с короткозамкнутым ротором обычного исполнения составляет 0,9...1,2 от номинального момента.

ПУСК ПРИ ПОНИЖЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ

Для уменьшения пусковых токов и снижения провалов напряжения сети применяется пуск двигателей при пониженном напряжении, пусковой момент двигателя при этом снижается пропорционально квадрату напряжения. Пуск в ход двигателя с переключением обмотки со звезды на треугольник осуществляется по схеме рисунка 2.2.

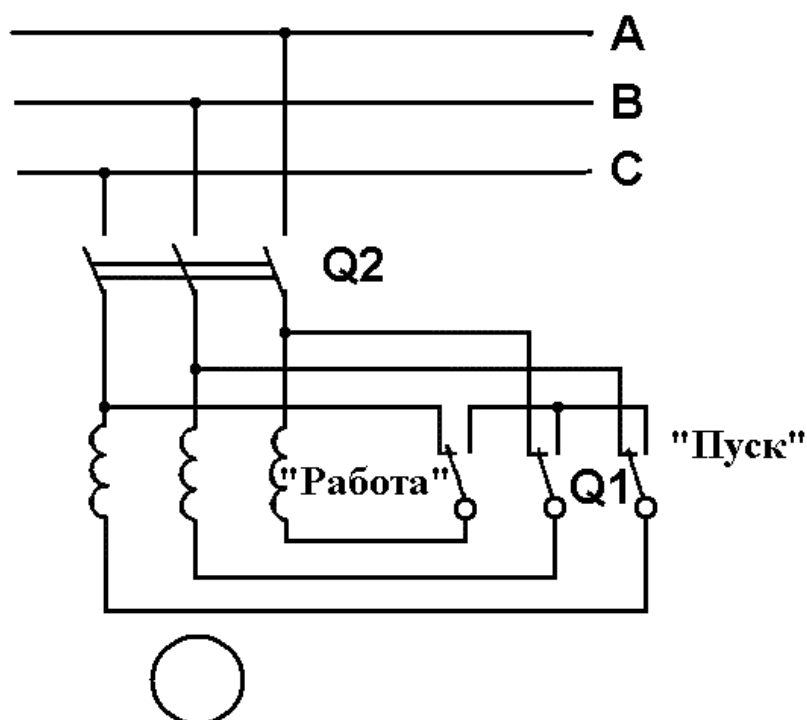


Рисунок 2.2 - Пуск в ход АДкз переключением со звезды на треугольник

Вначале переключатель Q1 ставят в нижнее положение "Пуск" и обмотки статора соединяются в «звезду». Затем включают рубильник Q2. По достижении установившегося значения скорости вращения переключатель Q1 переводят в верхнее положение "Работа", при котором обмотки статора соединяются в «треугольник».

Полагая, что при пуске сопротивление короткого замыкания $Z_K = const$, получим при соединении в звезду

$$I_{n\phi_Y} = I_{nl_Y} = \frac{U_{\phi_Y}}{Z_K} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot Z_K}. \quad (2.3)$$

При соединении в треугольник

$$I_{n\phi_{\Delta}} = \frac{U_{\phi_{\Delta}}}{Z_{\kappa}} = \frac{U_{\text{л}}}{Z_{\kappa}}; \quad I_{n\text{л}_{\Delta}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}}{Z_{\kappa}}. \quad (2.4)$$

Отношения пусковых токов и начальных моментов равны:

$$\frac{I_{n\text{л}_{Y}}}{I_{n\text{л}_{\Delta}}} \approx \frac{1}{3}; \quad \frac{M_{n_Y}}{M_{n_{\Delta}}} \approx \frac{1}{3}, \quad (2.5)$$

где $U_{\text{л}}$ - линейное напряжение сети;

U_{ϕ_Y} и $U_{\phi_{\Delta}}$ - фазные напряжения при соединении в Y и Δ ;

$I_{n\text{л}_Y}$, $I_{n\text{л}_{\Delta}}$ - пусковые линейные токи при соединении в Y и Δ ;

$I_{n\phi_Y}$, $I_{n\phi_{\Delta}}$ - фазные пусковые токи при соединении в Y и Δ ;

M_{n_Y} , $M_{n_{\Delta}}$ - начальные пусковые моменты при соединении в Y и Δ .

При соединении в звезду фазное напряжение снижается в $\sqrt{3}$ раз, одновременно уменьшается насыщение магнитной цепи и начальный пусковой ток и пусковой момент уменьшаются больше, чем в 3 раза.

ПУСК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕАКТОРА

Реакторный пуск осуществляется так: сначала двигатель получает питание через трехфазный реактор (индуктивную катушку), сопротивление которого ограничивает величину пускового тока. По достижении нормальной скорости вращения срабатывает выключатель, который шунтирует реактор, в результате чего на двигатель подается нормальное напряжение сети.

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

ПУСК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОТРАНСФОРМАТОРА

Один из способов пуска АД при пониженном напряжении – пуск с помощью автотрансформатора. Сначала на статор электродвигателя через трехфазный автотрансформатор подается пониженное по сравнению с сетевым напряжение. По достижении двигателем определенной скорости автотрансформатор шунтируется и двигатель начинает получать непосредственно напряжение сети.

В некоторых случаях автотрансформатор может иметь несколько ступеней, которые в процессе пуска переключаются соответствующей аппаратурой.

Недостатком всех указанных способов является значительное уменьшение пускового и максимального моментов АД, которые пропорциональны квадрату приложенного напряжения. Поэтому они могут применяться только при пуске двигателей без нагрузки.

3. Изменение направления вращения двигателя

Реверс двигателя осуществляется изменением порядка присоединения двух фаз обмотки статора к сети (переключением между собой двух любых проводов, питающих обмотку статора). При этом изменяется направление вращения магнитного поля, а, следовательно, и ротора двигателя.

4. Рабочие характеристики

Рабочие характеристики - это зависимости К.П.Д. (η); коэффициента мощности ($\cos \phi$), потребляемой активной мощности (P_1), тока статора (I_1), угловой частоты ротора (ω) от мощности на валу асинхронного двигателя (P_2) снимаются по методу непосредственной нагрузки:

$$\eta, \cos \phi, P_1, I_1, \omega = f(P_2).$$

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В работе исследуется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Нагрузкой в лабораторной работе является либо электромагнитный тормоз (рисунок 2.3), либо генератор постоянного тока с независимым возбуждением, к якору которого подключен реостат R_n , (рисунок 2.5). Изменение нагрузки электромагнитного тормоза осуществляется реостатом R_t , а изменение нагрузки генератора постоянного тока осуществляется реостатом R_n . Размещение оборудования на стендах показано на рисунках 2.4 и 2.6 соответственно.

Схема на рисунке 2.3 предусматривает измерение величин тока, напряжения, частоты вращения, активной мощности асинхронного двигателя, а также тока тормоза и момента на валу двигателя. Схема на рисунке 6.4 позволяет измерять величины тока, напряжения, частоты вращения и активной мощности асинхронного двигателя, а также токов возбуждения и якоря, напряжения якоря генератора постоянного тока.

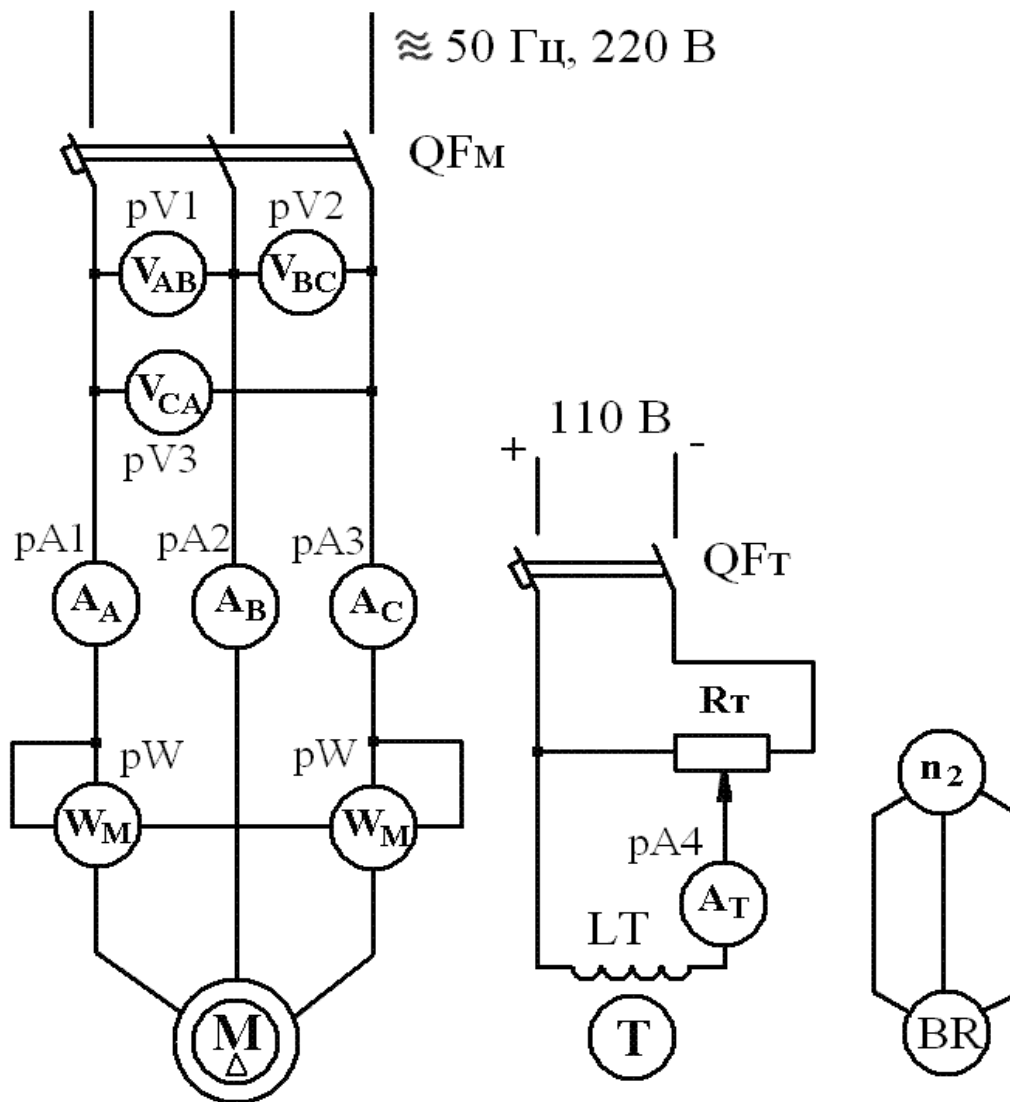


Рисунок 2.3 – Электрическая принципиальная схема стенда с нагрузкой в виде электромагнитного тормоза

Элементы схемы (рис. 2.3):

М - асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором;

Т, LT - диск и обмотка электромагнитного тормоза;

BR, n - таходатчик и тахометр;

QFм, QFт - автоматические выключатели двигателя и тормоза;

R_T - потенциометр;

pW - киловаттметр;

pV1, pV2, pV3 – вольтметры в фазах двигателя;

pA1, pA2, pA3, pA4 – амперметры в фазах двигателя и тормоза.

Размещение оборудования на стенде показано на рисунке 2.4.

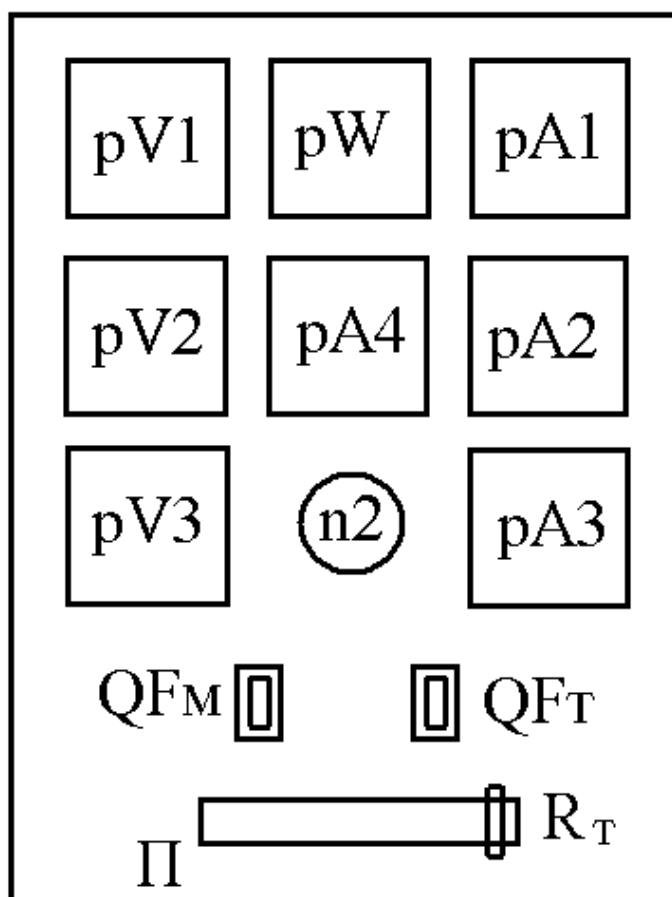


Рисунок 2.4 – Размещение оборудования

Элементы схемы (рис. 2.5):

М - трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (АДкз);

G, GM - генератор постоянного тока (ГПТ) и параллельная обмотка возбуждения ГПТ;

BR, n - таходатчик и тахометр;

QF1, QF2, QF3 - автоматические выключатели в цепях приводного двигателя, возбуждения генератора, нагрузки генератора;

V_М, А_М, W_М - вольтметр, амперметр, ваттметр в цепи питания АДкз;

V_Г, А_Г - вольтметры и амперметры в якорной цепи ГПТ;

V_{ВГ}, А_{ВГ} - вольтметры и амперметры в цепи возбуждения ГПТ;

V_с - вольтметр сетевой;

S1 – переключатель нагрузки;

R_{ВГ} - реостат в цепи возбуждения ГПТ.

Размещение оборудования стенда показано на рисунке 2.6.

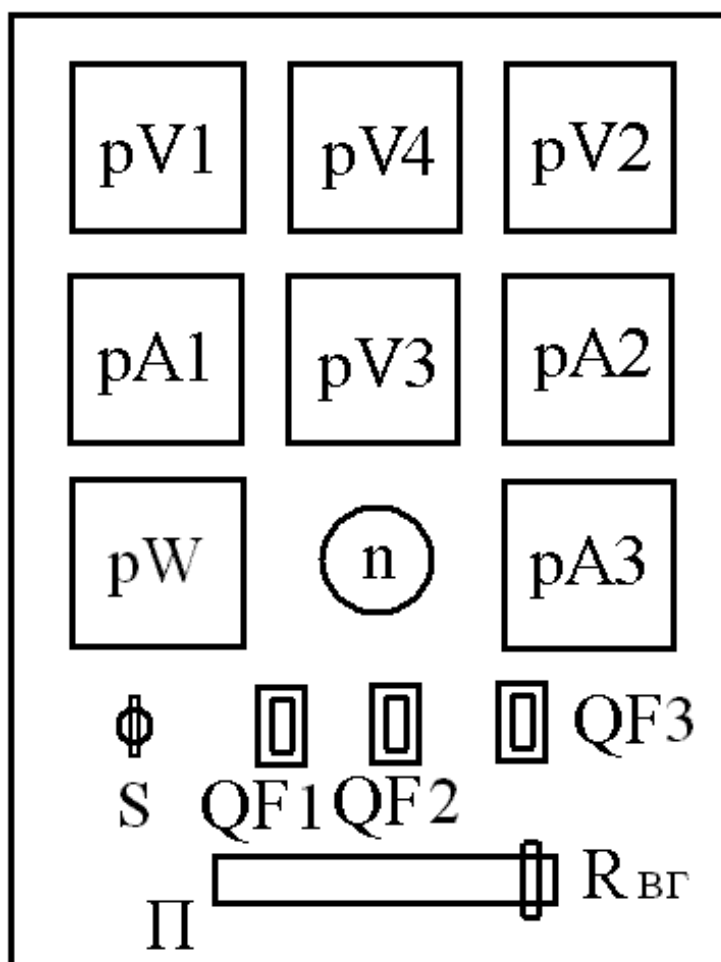


Рисунок 2.6 - Размещение оборудования на стенде

Порядок работы схемы соответствующей рисунку 2.3.

1. Включить автомат QFм. Записать показания приборов при холостом ходе работы машины.
2. Включить QFт. Плавно нагружать АДкз, увеличивая ток в обмотке электромагнитного тормоза LT. Записывать показания приборов.
3. Отключить QFм и QFт. Привести схему в исходное состояние.

Для схемы приведенной на рисунке 2.5:

1. Включить автомат QF1 и произвести измерения при холостом ходе АДкз.
2. Включить QF2 и QF3. Нагружая ГПТ изменением тока возбуждения (реостат RвГ) и изменением тока якоря (переключатель S1), производить измерения напряжения Uг и тока Ig.
3. После окончания работы привести схему в исходное состояние.

Данные опытов и расчета записываются в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Измерения										Расчеты					
U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_A	I_B	I_C	U_{Γ}	I_{Γ}	ω	P_1	$\cos\phi$	P_2	M	s	η	
В	В	В	А	А	А	В	А	рад/с	Вт		Вт	Н·м			

По тахометру частота вращения n снимается в об/мин, для перехода в систему СИ используется формула: $\omega = 0,105n$ [рад/с].

Примерный вид рабочих характеристик (теоретических) приведен на рисунке 2.7.

В работе по рисунку 2.3 мощность P_2 вычисляется следующим образом:

$$P_2 = M_2 [Н \cdot м] \cdot \omega_2 [\text{рад/с}], \quad [Вт], \quad (2.6)$$

где M_2 - значение момента на валу АДкз, снятое со шкалы электромагнитного тормоза.

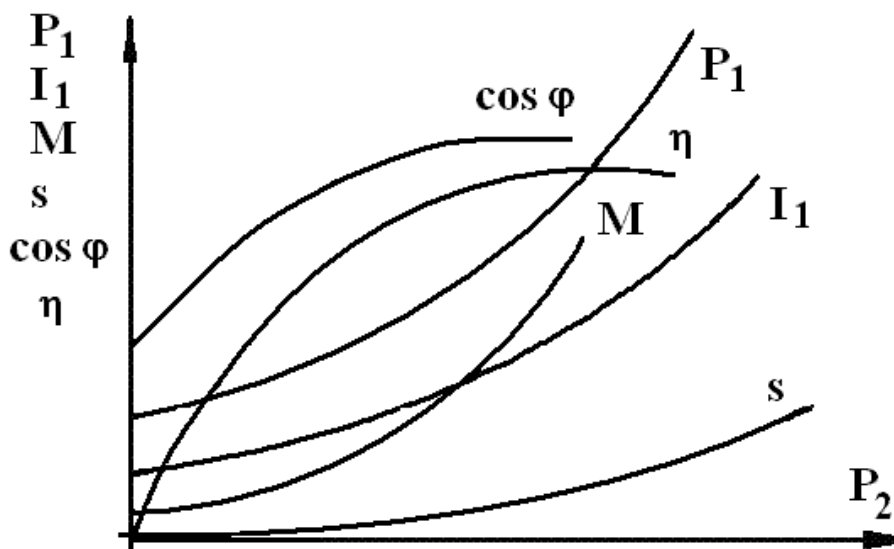


Рисунок 2.7 - Рабочие характеристики асинхронного двигателя

В работе по рисунку 2.5 мощность P_2 находится по формуле:

$$P_2 \approx U_{\Gamma} I_{\Gamma} + \Delta U_{\text{Щ}} I_{\Gamma} + I_{\Gamma}^2 r_{\text{я}} + 0.5 P_{10}, \quad (2.7)$$

где U_{Γ} и I_{Γ} - напряжение, ток якоря ГПТ;

$\Delta U_{\text{Щ}}$ - падение напряжения на щетках ГПТ ($\Delta U_{\text{Щ}} \approx 1В$);

$R_{\text{я}}$ - сопротивление якорной цепи (измеряется методом амперметра и вольтметра), около 1 Ом.

Момент на валу в этой же схеме, Нм

$$M_2 = \frac{P_2 [Вт]}{\omega_2 [\text{рад/с}]} \quad (2.8)$$

Коэффициент мощности находится по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} I_{\text{л}}} \quad (2.9)$$

Скольжение s вычисляется по формуле:

$$s = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} \quad (2.10)$$

К.П.Д.:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.11)$$

Электромагнитный момент АДкз:

$$M = M_0 + M_2, \quad (2.12)$$

где M_0 - момент при холостом ходе АДкз; для схемы рисунок 2.3 снимается по шкале электромагнитного тормоза; для схемы рисунок 2.5 определяется по формуле:

$$M_0 = \frac{0.5 P_{10} [Bm]}{\omega_{20} [rad/c]} = const, \quad (2.13)$$

где P_{10} и ω_{20} – мощность и частота вращения АДкз в режиме холостого хода.

Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Электрическая схема исследуемой установки с перечнем оборудования и приборов, использованных в работе.
3. Таблицы экспериментальных данных и соответствующие им графики.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как устроен асинхронный электродвигатель?
2. Почему рассматриваемый двигатель называется асинхронным?
3. Принцип действия асинхронного двигателя.
4. Какие существуют способы пуска АДкз?
5. В каких случаях применяют прямой пуск двигателя, а когда пуск при пониженном напряжении?
6. Для чего при пуске АДкз обмотки статора переключают со звезды в треугольник?
7. Как осуществляется реверс асинхронных двигателей?
8. Рабочие характеристики АД?
9. Перечислите элементы схем, изображенных на рисунках 2.3 и 2.5?

10. Как в схеме осуществляется изменение нагрузки двигателя?
11. Что такое скольжение?
12. Как определить скорость вращения ротора, зная скольжение и число пар полюсов машины?
13. Как момент АДкз зависит от подводимого к двигателю напряжения?

3 Лабораторная работа № 8

ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию и принцип действия асинхронного двигателя с фазным ротором (АД_ф).
2. Снять и построить рабочие характеристики АД_ф - зависимости К.П.Д. (η), потребляемой активной мощности (P_1), тока статора (I_1), скольжения (s), коэффициента мощности ($\cos\varphi$), электромагнитного момента (M) от мощности на валу АД_ф (P_2) при неизменном напряжении и частоты сети ($U_1=\text{const}$, $f_1=\text{const}$).
3. Снять и построить механическую характеристику АД_ф (зависимость угловой частоты (ω) от электромагнитного момента (M) при включенных и отключенных сопротивлениях в обмотке ротора ($U_1=\text{const}$ и $f_1=\text{const}$)).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1. Общие сведения

Одной из разновидностей асинхронных двигателей являются двигатели с фазным ротором (АД_ф), которые иначе называют двигателями с контактными кольцами. Они имеют конструкцию статора такую же, как и АДкз, ротор же конструктивно сильно отличается.

На статоре расположена трехфазная обмотка (однослойная или двухслойная), которая при подключении к сети трехфазного тока создает вращающееся магнитное поле. Ротор также имеет трехфазную обмотку, с тем же числом полюсов. Обмотка ротора обычно соединяется звездой, три конца которой выводятся к трем контактными кольцам, насаженным на вал машины и вращающимся вместе с ним. С помощью металлографитных щеток, скользящих по контактными кольцам, к обмотке ротора подключается пусковой или пускорегулирующий реостат, т.е. в каждую фазу ротора вводится добавочное активное сопротивление. Для уменьшения износа колец и щеток АД_ф часто снабжаются приспособлениями для подъема щеток и замыкания колец накоротко после выключения реостата.

При исследовании работы асинхронной машины, в том числе и АД_ф, обычно используется эквивалентная схема, изображения на рисунке 3.1.

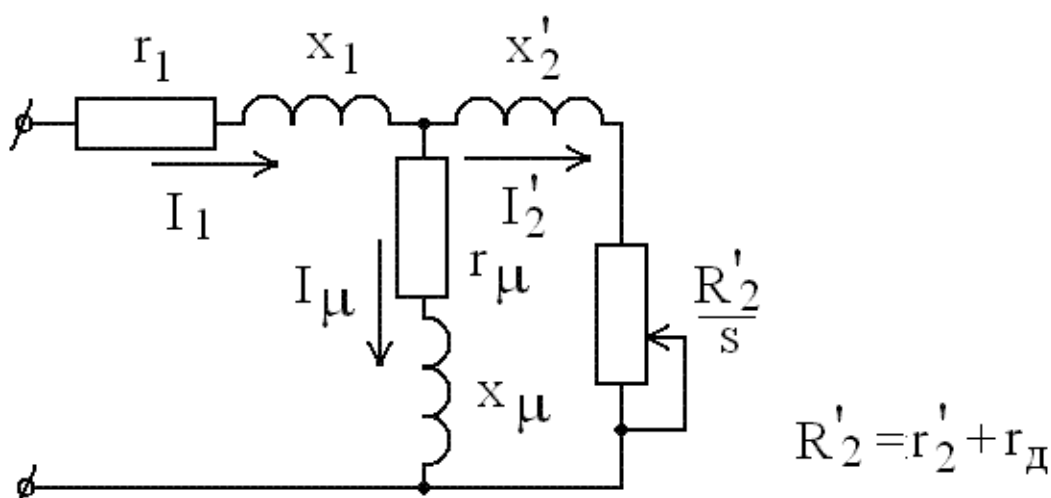


Рисунок 3.1 - Эквивалентная схема АДф

где r_1 , x_1 - активное и реактивное сопротивление фазы обмотки статора;
 r_2' - приведенное активное сопротивление фазы обмотки ротора;
 x_2' - приведенное индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора;
 r_{μ} - приведенное дополнительное сопротивление, включенное в обмотку ротора;
 x_{μ} - реактивное сопротивление намагничивающей цепи;
 r_{μ} - активное сопротивление намагничивающей цепи.

2. Основные соотношения

Мощность, потребляемая двигателем из сети P_1 за вычетом потерь в стали P_c и в меди обмоток статора P_{m1} , передается в виде электромагнитной энергии $P_{эм}$ ротору:

$$P_{эм} = P_1 - (P_c + P_{m1}). \quad (3.1)$$

Электромагнитная мощность расходуется на потери в меди ротора P_{m2} и создание полной механической мощности P_2' :

$$P_2' = P_{эм} - P_{m2}. \quad (3.2)$$

Полезная мощность на валу двигателя P_2 равна полной механической мощности за вычетом механических и вентиляционных потерь:

$$P_2 = P_2' - P_{мех}. \quad (3.3)$$

Вращающий момент двигателя M образуется в результате взаимодействия потока Φ и тока ротора I_2 . Так как поток вращается с частотой ω_c , то, следовательно

$$P_{эм} = M \cdot \omega_c, \text{ Вт}. \quad (3.4)$$

С другой стороны $P_{эм} = P_2 + P_{м2},$ (3.5)

а $P_2 = M \cdot \omega; \quad P_{м2} = 3 \cdot (I'_2)^2 \cdot R'_2, \quad \text{где } R'_2 = r'_2 + r'_D.$

Следовательно $P_{м2} = P_{эм} - P_2 = M \cdot (\omega_c - \omega) = 3 \cdot (I'_2)^2 \cdot R'_2.$ (3.6)

Откуда $M = \frac{3 \cdot (I'_2)^2 \cdot R'_2}{\omega_c - \omega} = \frac{3 \cdot (I'_2)^2 \cdot \frac{R'_2}{s}}{\omega_c}, \quad \text{где } s = \frac{\omega_c - \omega}{\omega_c},$ (3.7)

или, подставляя значения I'_2 из эквивалентной схемы

$$I'_2 = \frac{U}{\sqrt{(r_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + x_k^2}}, \quad \text{где } x_k = x_1 + x'_2, \quad (3.8)$$

получаем
$$M = \frac{3 \cdot U^2 \cdot \frac{R'_2}{s}}{\omega_c \left[\left(r_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + x_k^2 \right]}, \quad [\text{Н} \cdot \text{м}]. \quad (3.9)$$

Полученное выражение показывает зависимость момента асинхронного двигателя от скольжения, т.е. выражает аналитически механическую характеристику двигателя, показанную на рисунке 3.2.

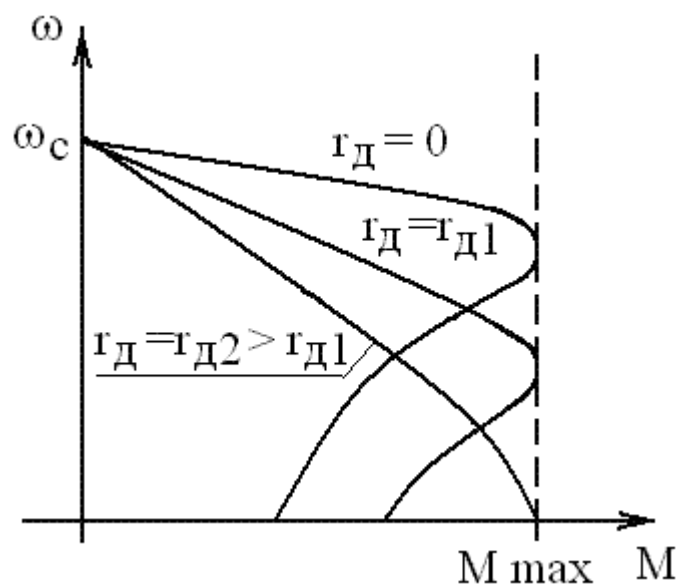


Рисунок 3.2 - Механические характеристики асинхронного двигателя при различных добавочных сопротивлениях

Как видно из рисунка 3.2 механическая характеристика имеет максимальный момент при определенном скольжении, определяемом параметрами машины:

$$s_m = \frac{R'_2}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}} \quad \text{и} \quad M_m = \frac{3 \cdot U^2}{\omega_c \cdot 2 \cdot \left[r_1 \pm \sqrt{r_1^2 + x_k^2} \right]} . \quad (3.10)$$

Величина максимального момента пропорциональна квадрату подводимого напряжения и зависит от активного сопротивления статора и реактивного сопротивления короткого замыкания. Величина максимального момента не зависит от активного сопротивления роторной цепи R_2 , но скольжение, соответствующее максимальному моменту, прямопропорционально активному сопротивлению ротора. Следовательно, изменяя величину дополнительного сопротивления в цепи ротора, можно изменять положение максимального момента, а, следовательно, и величину пускового момента (рисунок 3.2). Одновременно с увеличением пускового момента при введении в ротор дополнительного сопротивления уменьшается и пусковой ток. Поэтому, как правило, асинхронные двигатели с контактными кольцами пускаются с дополнительным сопротивлением в цепи ротора.

3. Рабочие характеристики АДф

Для суждения о свойствах данной электрической машины и рациональности ее применения для работы в той или иной установке, необходимо иметь ее рабочие характеристики.

Для асинхронного двигателя рабочие характеристики – это зависимости КПД (η), коэффициента мощности ($\cos \varphi$), потребляемой активной мощности (P_1), тока статора (I_1), угловой частоты вращения ротора (ω_2), скольжения (s) от мощности на валу (P_2)

$$\eta, \cos \varphi, P_1, I_1, \omega_2, s = f(P_2) .$$

Рабочие характеристики можно получить путем непосредственного испытания машин и измерения всех необходимых величин или косвенным методом из круговой диаграммы, построенной на основании опытов холостого хода и короткого замыкания.

Второй метод, хотя и достаточно прост и требует относительно небольшой затраты времени и малого расхода энергии, не всегда может обеспечить достаточно точные результаты, так как не может учитывать всех особенностей конструкции машины (насыщение стали, провалов в кривой момента за счет некоторой асимметрии обмоток и влияния зубцовых гармоник). Поэтому испытание асинхронных двигателей часто производится непосредственным методом.

В рассматриваемой лабораторной работе применен метод непосредственного испытания, когда все необходимые величины снимаются с приборов лабораторного стенда.

Элементы схемы:

М - асинхронный электродвигатель с фазным ротором;

Т и LT - диск и обмотка электромагнитного тормоза;

BR и n - таходатчик и тахометр;

QF_М, QF_Т, QF_Р - автоматические выключатели;

R_Т, R_Р – реостаты в цепи обмотки тормоза и роторной цепи двигателя;

W_М - киловаттметр;

pV1, pV2, pV3, pV4 - вольтметры;

pA1, pA2, pA3 - амперметры;

ТАа, ТАс - трансформаторы тока.

Размещение оборудования стенда показано на рисунке 3.4

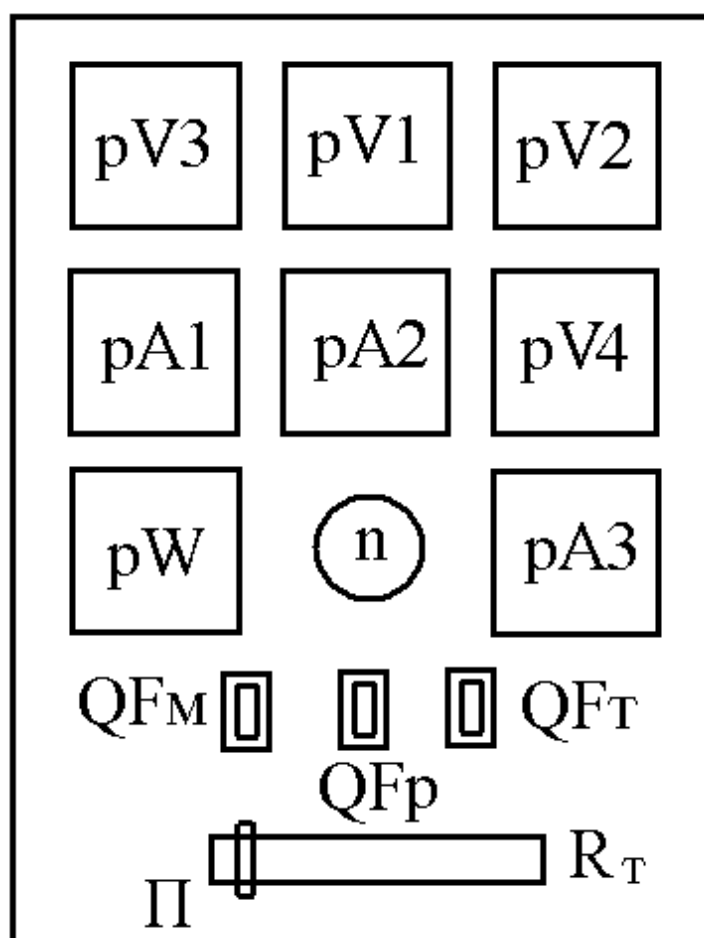


Рисунок 3.4 - Размещение оборудования стенда

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы необходимо изучить конструкцию и принцип действия исследуемой машины, состав и расположение оборудования на стенде.

В исходном состоянии автоматические выключатели QFм, QFр, QFт должны находиться в положении «откл», а потенциометр R_т - в положении «пуск» (П).

А. Снятие рабочих и механической характеристик при закороченном роторе двигателя

Снятие механической и рабочих характеристик в этом случае производится по схеме (рисунок 3.3) с включенным автоматом QFр. Нагрузкой двигателя является электромагнитный тормоз, связанный с двигателем механически. Последовательность действий такова:

1. Включить автоматы QFм, QFр, QFт.
2. Записать показания приборов на холостом ходу двигателя.
3. Нагружать АДф, перемещая ползунок реостата R_т и производя фиксирование показаний приборов.

В данной работе непосредственно измеряются U₁, I₁, P₁, M₂, ω₂. По данным измерений могут быть вычислены:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}; \quad \cos \phi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1}; \quad s = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} \cdot 100;$$

$$M = M_2 + M_0; \quad M_0 [H \cdot m] \cong \frac{0,5 \cdot P_1 [Bm]}{\omega_{20} [rad/c]}, \quad P_2 = M \cdot \omega_2.$$

Значение ω₁ необходимо списать с паспортных данных исследуемой машины.

Результаты наблюдений и расчетов сводятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Измерения							Расчеты				
U _м	I _м	I _т	U _т	ω ₂	P ₁	M ₂	cosφ	P ₂	M	s	η
В	А	А	В	рад/с	Вт	Н·м		Вт	Н·м	%	

По тахометру снимается частота вращения в об/мин, для перехода в систему СИ переводим по формуле: $\omega = 0,105 \cdot n$ [рад/с].

На основании измеренных и полученных величин строятся механическая ω= f(M) и рабочие характеристики двигателя: $M = f(P_2); \quad s = f(P_2); \quad I_1 = f(P_2); \quad P_1 = f(P_2); \quad \cos \varphi = f(P_2); \quad \omega = f(P_2).$

Б. Снятие механической и рабочих характеристик при включении в цепь ротора дополнительного сопротивления

Снятие производится в таком же порядке, как и в случае А, только в фазы ротора вводятся добавочные сопротивления R_p (автомат QFr отключен). Последовательность действий такова:

1. **Включить QFm и QFt .**
2. **Перемещая ползунок R_t , нагружать АДф/**
3. **Фиксировать показания приборов при $R_p > 0$.**

Результаты измерений и расчетов заносятся в таблицу, аналогичную таблице 3.1.

4. Отключить QFm , QFr и QFt . Привести схему в исходное состояние.

Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Электрическую схему исследуемой установки с перечнем используемого оборудования и приборов.
3. Таблицы экспериментальных данных и соответствующие им графики.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как устроен асинхронный двигатель?
2. Каковы особенности конструкции ротора АДф?
3. Принцип действия асинхронного двигателя.
4. Для чего в цепь ротора АДф вводят дополнительные активные сопротивления?
5. Объясните как мощность из питающей сети передается к ротору асинхронной машины? Ответ подкрепить формулами.
6. Что такое рабочие и механические характеристики асинхронного двигателя?
7. Как влияет на механические характеристики АДф введение дополнительного сопротивления в роторную цепь машины?
8. Как можно осуществить реверс двигателя переменного тока?
9. Что такое перегрузочная способность двигателя?
10. Как влияет на момент двигателя величина питающего напряжения?
11. Объясните эквивалентную схему АДф.
12. Какие элементы схемы изображены на рисунке 3.3?
13. Что является нагрузкой в рассматриваемой схеме, как ее менять?
14. Измерение каких параметров предусматриваются схемой? Укажите соответствующие приборы.

4 Лабораторная работа № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию и принцип действия однофазного синхронного генератора (СГ)

2. Снять и построить характеристики синхронного генератора в зависимости от вида нагрузки:

а) холостого хода: $E_0 = f(I_B)$, при $I = 0$, $f = 50 \text{ Гц} = \text{const}$;

б) нагрузочные: $U = f(I_B)$, при $I = \text{const}$, $f = 50 \text{ Гц} = \text{const}$, $\cos \phi = \text{const}$;

в) внешние: $U = f(I)$, при $I_B = \text{const}$, $\cos \phi = \text{const}$, $f = 50 \text{ Гц} = \text{const}$;

г) регулировочные: $I_B = f(I)$, при $U = \text{const}$, $f = 50 \text{ Гц}$, $\cos \phi = \text{const}$.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Синхронной называют машину переменного тока, у которой частота вращения ротора с обмоткой (индуктора) находится в строго постоянном отношении к частоте сети и не зависит от нагрузки, а именно

$$n_2 = \frac{60 f_1}{p}, \quad (4.1)$$

где f_1 - частота сети; p - число пар полюсов ротора.

В судовых электрических системах СМ применяются, главным образом, в качестве генераторов - основных и вспомогательных источников электроэнергии. В промышленности широкое применение находят и синхронные двигатели (СД).

1 Конструктивная схема синхронной машины

В большинстве случаев СМ выполняют с неподвижным якорем, а питание на обмотку возбуждения подводят через щетки с помощью двух колец.

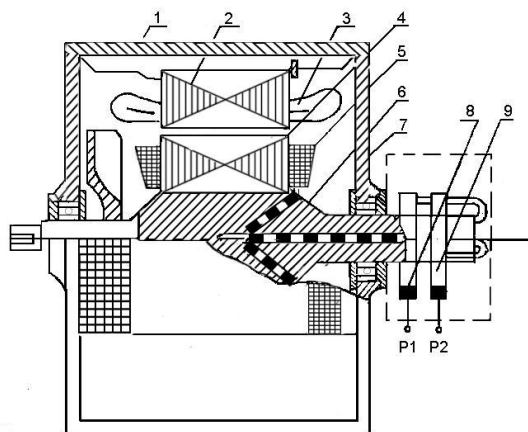


Рисунок 4.1 – Конструктивная схема синхронной машины

На статоре СМ (рисунок 4.1), включающим корпус 1 и сердечник статора 2 расположена трехфазная обмотка 3, подключаемая к сети. Обмотка возбуждения 5 располагается на полюсах 4 ротора 6 и получает питание от источника постоянного тока посредством контактных колец 9 и щеток 8. Вращение ротора 6 обеспечивается в подшипниковых щитах 7, в которые встроены подшипники. Ротор может иметь явно выраженные или неявно выраженные полюса.

Явнополюсный ротор обычно применяют в тихоходных СМ с большим числом полюсов (четыре и более), *неявнополюсный* - в быстроходных машинах (на 3000 об/мин), имеющих на роторе два полюса.

В первом случае обмотку возбуждения 5 выполняют в виде цилиндрических катушек прямоугольного сечения, которые размещают на сердечниках полюсов и укрепляют с помощью полюсных наконечников. В неявнополюсном роторе обмотку возбуждения размещают в пазах сердечника, выполненного в виде массивной стальной поковки, и укрепляют в них при помощи немагнитных клиньев. Лобовые части обмоток, на которые воздействуют большие динамические усилия, крепят с помощью цилиндрических стальных бандажей. В полюсных наконечниках явнополюсных роторов СМ часто размещают демпферную (успокоительную) обмотку, необходимую для улучшения переходных процессов.

Назначение обмотки возбуждения в СМ заключается в создании магнитного поля, синусоидально распределенного на ширине полюса. Для этого полюсным наконечникам в явнополюсных роторах придают такую конфигурацию, чтобы под серединой полюса воздушный зазор между полюсным наконечником и статором был минимальным, а по краям - увеличенным. Эта же цель в неявнополюсном роторе достигается за счет того, что пазы для укладки обмотки возбуждения занимают примерно $2/3$ каждого полюсного деления.

На рисунке 4.2, а показано расположение простейшей трехфазной об-

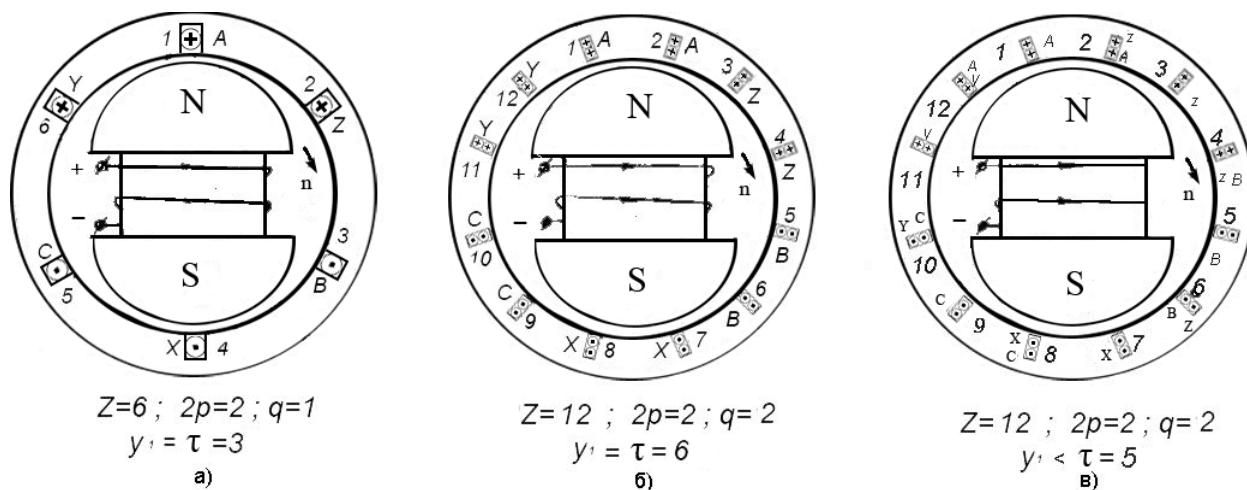


Рисунок 4.2 – Расположение трехфазной обмотки в пазах статора синхронного генератора

мотки, в пазах статора синхронного генератора. Направление ЭДС, индуцируемой в каждой стороне одного витка, определяется по правилу правой руки. При расположении активных частей витка под полосами разной полярности эти ЭДС складываются, что увеличивает эффективность использования барабанных обмоток по сравнению с кольцевыми.

Общая ЭДС фазы определяется как числом витков в отдельной катушке, так и числом последовательно соединенных катушек с учетом их распре-

деления по пазам и симметричности расположения по отношению к полюсам разной полярности. Распределение катушек по пазам, укорочение или удлинение шага катушки по отношению к полюсному делению приводит к уменьшению ЭДС, что учитывается соответствующими коэффициентами.

При выполнении трехфазных обмоток наряду с обеспечением достаточной механической, электрической прочности, нагревостойкости и надежности соблюдают следующие основные условия:

- все фазы должны находиться в одинаковых условиях по отношению к магнитному полю;
- во всех фазах должны наводиться одинаковые ЭДС;
- электродвижущие силы трех фаз должны быть сдвинуты на электрический угол 120° .

2 Электродвижущая сила в обмотках машин переменного тока

Электродвижущая сила в обмотке электрической машины индуцируется только при условии изменения потокосцепления магнитного поля с витками катушки, что находит отражение в известном соотношении

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = W \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.2)$$

отражающем закон электромагнитной индукции. Потокосцепление может изменяться под действием различных причин. При вращении витка в магнитном поле или при перемещении магнитного поля относительно неподвижного витка индуцируется ЭДС, которую называют ЭДС вращения. При изменении во времени потока, сцепленного с неподвижным витком, в нем индуцируется так называемая трансформаторная ЭДС. Во всех случаях величина и характер изменения индуцируемой ЭДС определяется величиной и характером изменения потокосцепления и также параметрами витка.

Определим ЭДС в одной катушке обмотки статора синхронного генератора, имеющей число витков W_k и диаметральный шаг (рисунок 4.2).

Частота индуцируемой в витке ЭДС определяется частотой вращения и числом пар полюсов ротора. Одному повороту двухполюсного ротора соответствует один период изменения ЭДС. Для того чтобы в двухполюсном СГ получить частоту ЭДС 50 Гц, необходимо вращать ротор с частотой 50 оборотов в секунду или 3000 оборотов в минуту. При увеличении числа полюсов частота вращения ротора будет пропорционально уменьшаться. В общем случае, если ротор имеет $2p$ полюсов и вращается с частотой n об/мин, то частота ЭДС равна

$$f = \frac{pn}{60} \quad (4.3)$$

Величину ЭДС вращения удобно определить по соотношению

$$e = BLv \quad (4.4)$$

где B - магнитная индукция, L - длина активного проводника, v - скорость.

Из соотношения (4.4) ясно видна зависимость формы кривой ЭДС от характера распределения магнитной индукции на полюсном делении.

Одно из основных требований, предъявляемых к генераторам переменного тона, заключается в обеспечении синусоидальности изменения во времени ЭДС, индуктируемой в обмотке статора, т.е. в обеспечении зависимости

$$e = E_m \sin \omega t . \quad (4.5)$$

Как отмечалось выше, в СГ это достигается за счет создания в воздушном зазоре между статором и ротором синусоидального (или близкого к синусоидальному) распределения магнитной индукции по ширине полюсного деления. Практически распределение поля в зазоре всегда отличается от синусоидального, что связано как с несинусоидальностью распределения МДС (особенно в неявнополюсном роторе), так и с наличием зубцов на статоре, насыщением и т.д. Следовательно, и ЭДС в обмотках также несинусоидальна.

Практический интерес представляет действующее значение ЭДС первой гармоники

$$E_{np1} = \frac{E_{np1}}{\sqrt{2}} = 2,22 f \Phi_m \quad (4.6)$$

где $E_{np1} = \pi f \Phi_m$.

ЭДС для витка с диаметральной шагом складывается из ЭДС двух проводников, находящихся под полюсами разной полярности

$$E_{\omega 1} = 2 E_{np1} = 4,44 f \Phi_m , \quad (4.7)$$

а ЭДС катушки с диаметральной шагом равна

$$E_{\kappa 1} = 4,44 W_{\kappa} f \Phi_m$$

3 Однофазные синхронные машины

Однофазная синхронная машина может работать как в качестве генератора, так и двигателя. В современных энергетических установках однофазные синхронные машины большой мощности почти не применяются.

Питание однофазных потребителей, как правило, осуществляется от трехфазных сетей. Однако однофазные синхронные машины часто можно встретить в устройствах автоматического управления и специальных установках, где они используются в качестве автономных источников однофазного переменного тока или в качестве синхронных однофазных двигателей.

В однофазной синхронной машине обмотка переменного тока размещается в пазах обычно на $2/3 - 3/4$ окружности статора. Отношение мощностей трехфазной и однофазной машин при одинаковых диаметрах статора и потерях в обмотке будет равно:

$$\frac{P_{\text{э3}}}{P_{\text{эл}}} = \frac{1.73}{1.225} = \sqrt{2} = 1.42. \quad (4.8)$$

Следовательно, мощность однофазной синхронной машины составляет приблизительно 70% от мощности трехфазной при прочих равных условиях.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В работе исследуется однофазный синхронный генератор (СГ) с возбуждением от сети постоянного тока. Приводным двигателем является электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением (ДПТ). Схема (рисунок 4.3) предусматривает изменение токов и напряжения СГ и ДПТ. Измерение частоты напряжения синхронного генератора производится частотомером (Hz). Регулирование напряжения на выходе СГ осуществляется реостатом в цепи возбуждения $R_{\text{ВГ}}$. Нагрузкой СГ является магазин активных R и реактивных (C и L) сопротивлений.

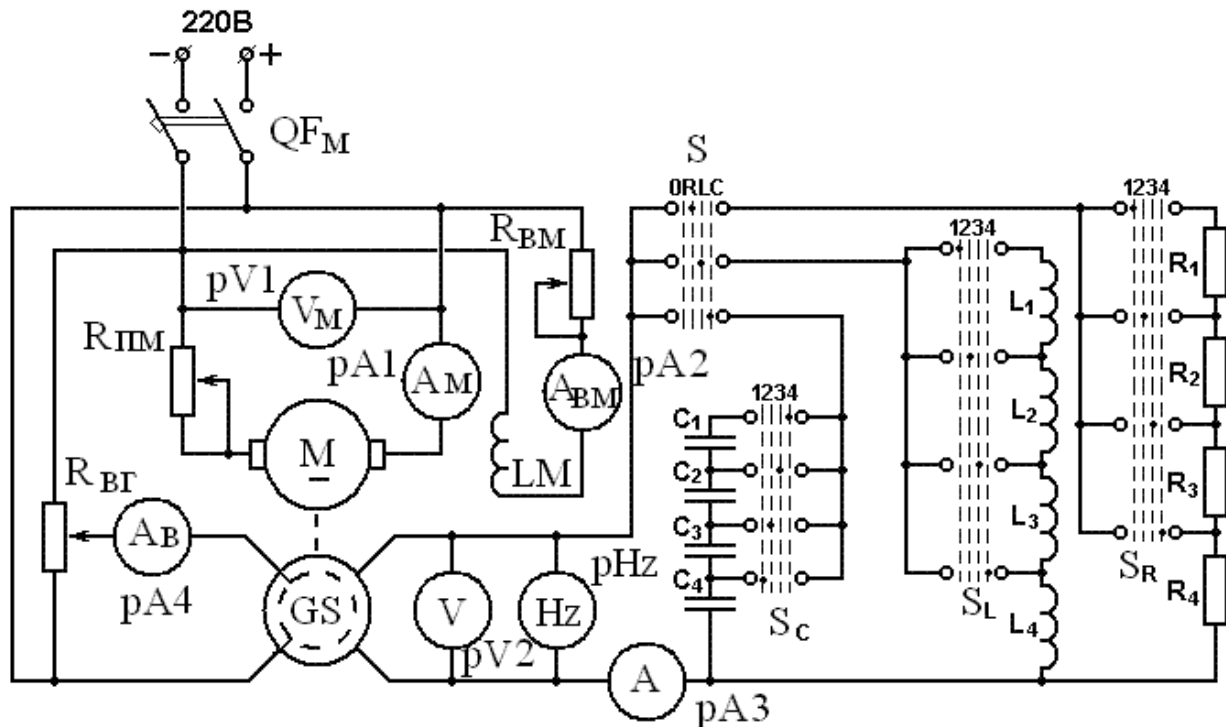


Рисунок 4.3 – Электрическая схема стенда по изучению однофазного СГ

Элементы схемы:

- М - электродвигатель постоянного тока (ДПТ);
- LM - параллельная обмотка возбуждения ДПТ;
- GS - однофазный синхронный генератор;
- QF_M - автоматический выключатель;
- S - переключатель выбора характера нагрузки;
- S_R - переключатель активной нагрузки;
- S_L - переключатель индуктивной нагрузки;
- S_C - переключатель емкостной нагрузки;

$R_1 - R_4$, $L_1 - L_4$, $C_1 - C_4$ - активная, индуктивная и емкостная нагрузки;
 $R_{ПМ}$, $R_{ВМ}$, $R_{ВГ}$ - реостаты;
 $pV1$, $pA1$, $pA2$ - вольтметр и амперметры в цепях ДПТ;
 $pV2$, $pA3$, $pA4$ - вольтметр и амперметры в цепях СГ;
 pHz - частотомер в якорной цепи СГ.

Размещение оборудования стенда показано на рисунке 4.4

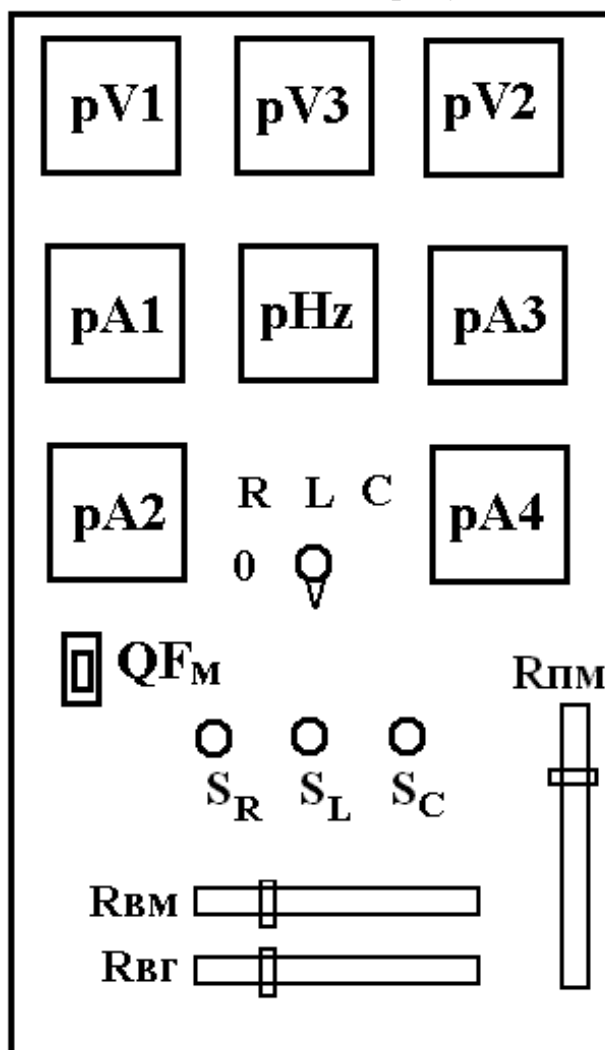


Рисунок 4.4 - Размещение оборудования стенда

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию и принцип действия однофазного синхронного генератора.
2. Исследовать работу СГ при холостом ходе.

В исходном состоянии автоматический выключатель QF_M должен находиться в положении «откл», переключатели S , S_R , S_L , S_C - в положении «0», реостаты $R_{ПМ}$, $R_{ВМ}$, $R_{ВГ}$ в положении «пуск» (П).

Характеристика холостого хода

Характеристика холостого хода представляет зависимость напряжения (Э.Д.С.) обмотки якоря от тока возбуждения при холостом ходе и постоянной скорости вращения: $U=f(I_B)$ или $E_0=f(I_B)$ при $I=0$, $f=50\text{Гц}$ (при холостом ходе $U=E$).

Синхронный генератор приводят во вращение с номинальной скоростью при помощи первичного двигателя (рисунок 4.3). При разомкнутой внешней цепи (цепи нагрузки) возбуждают генератор до значения, при котором $E_0=(1,2\dots 1,3) U_H$. Затем плавно уменьшают ток до нуля, записывают 5-7 значений E_0 и I_B . Изменение тока возбуждения производят плавно и только в одном направлении (в сторону увеличения, а затем в сторону уменьшения).

3. Включить QFм, плавно вывести RПМ и реостатами RПМ и RВМ установить $f=50\text{Гц}$.

4. Изменяя потенциометром RВГ величину тока I_B , снять зависимость $E_0=f(I)$ при $I=0$, $f=50\text{Гц}$.

Опытные данные заносятся в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

E_0 , В		Восходящая ветвь
I_B , А		
E_0 , В		Нисходящая ветвь
I_B , А		

По данным таблицы строится характеристика, общий вид которой показан на рисунке 4.5.

Э.Д.С. E_0 , наведенная остаточным магнитным потоком при $I_B=0$, измеряется вольтметром с пределами измерения $0\dots 10$ (15) В.

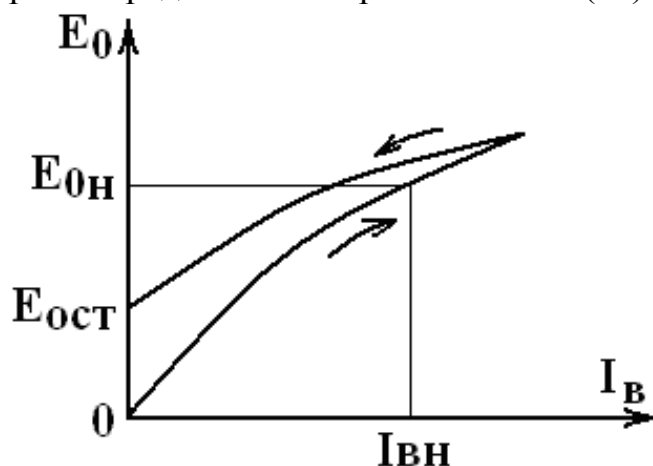


Рисунок 4.5 – Общий вид характеристики холостого хода

Нагрузочные характеристики

Нагрузочная характеристика представляет собой зависимость напряжения на зажимах машины U от тока возбуждения $I_{\text{в}}$ при постоянных значениях тока нагрузки машины $I_{\text{а}} = \text{const}$.

Порядок проведения опыта следующий:

1. Включить QFм.
2. Плавно вывести пусковое сопротивление $R_{\text{ПМ}}$ и реостатами $R_{\text{ПМ}}$ и $R_{\text{ВМ}}$ установить $f=50\text{Гц}$.
3. Поставить переключатель S в положение «R». Далее, поддерживая потенциометром $R_{\text{ВГ}}$ и переключателем S_R $I=4\text{А}$, снять зависимость $U=f(I_{\text{в}})$ при $I=4\text{А}$, $f=50\text{ Гц}$. Измерения повторить при положениях S индуктивная «L» и емкостная «С» нагрузки, но поддерживая при этом $I_{\text{а}}=1\text{А}=\text{const}$.

В таблицу 4.2 записывать значения напряжений и токов возбуждения для 4...5 точек каждой характеристики. Все нагрузочные характеристики строятся на одном графике.

Таблица 4.2

$I_{\text{в}}$	А						
U	В						

Примерный вид нагрузочных характеристик показан на рисунке 4.6.

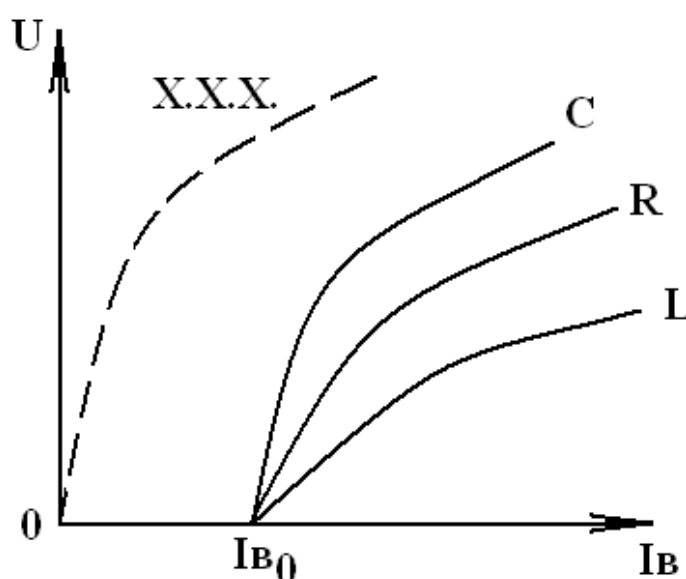


Рисунок 4.6 - Нагрузочные характеристики синхронного генератора при различных типах нагрузки

В зависимости от воздействия реакции якоря при различных $\cos \phi$ нагрузочные характеристики приобретают вид, изображенный на рисунке 4.6. Здесь же приведена характеристика холостого хода (Х.Х.Х.), принадлежащая к семейству нагрузочных характеристик. При активной нагрузке генератора вследствие падения напряжения в обмотке якоря нагрузочная характеристика располагается ниже Х.Х.Х.. При индуктивной нагрузке появляется размагничивающая составляющая реакции якоря, вследствие чего нагрузочная характеристика располагается еще ниже. При достаточно большой емкостной нагрузке вследствие намагничивающей реакции якоря нагрузочная характеристика проходит выше Х.Х.Х.

Внешние характеристики

Внешняя характеристика представляет зависимость напряжения генератора U от тока внешней нагрузки I_a при постоянных значениях тока возбуждения I_e , $\cos \phi$, частоте вращения $n=const$. Необходимо снять внешние характеристики при различных видах нагрузки.

Порядок проведения опыта следующий:

- 1. Включить автомат QF.**
- 2. Плавно вывести пусковое сопротивление $R_{пм}$, реостатами $R_{пм}$ и $R_{вм}$ установить значение частоты $f=50\text{Гц}$.**
- 3. Потенциометром $R_{вг}$ установить $U_0=E_0=100\text{В}$ при $I=0$.**
- 4. Поставить переключатель S в положение «R» и, изменяя переключателем S_R величину тока якоря I_a , снять зависимость $U=f(I_a)$ при $I_B=const$, $f=50\text{Гц}=const$.**
- 5. Измерения повторить при положениях S индуктивная «L» и емкостная «C» нагрузки, но ток якоря I_a при этом изменять переключателями S_L и S_C .**

Данные записываются в таблицу 4.3.

Таблица 4.3

U	B						
I (R)	A						
U	B						
I (L)	A						
U	B						
I (C)	A						

Примерный вид внешних характеристик синхронного генератора показан на рисунке 4.7.

Если генератор включен на чисто активную нагрузку R , то с увеличением тока нагрузки I_a напряжение на зажимах уменьшается вследствие возрастания падения напряжения в активном и индуктивном сопротивлениях якоря. При индуктивной нагрузке L , благодаря действию реакции якоря, внешняя характеристика располагается ниже, а при емкостной нагрузке C - выше.

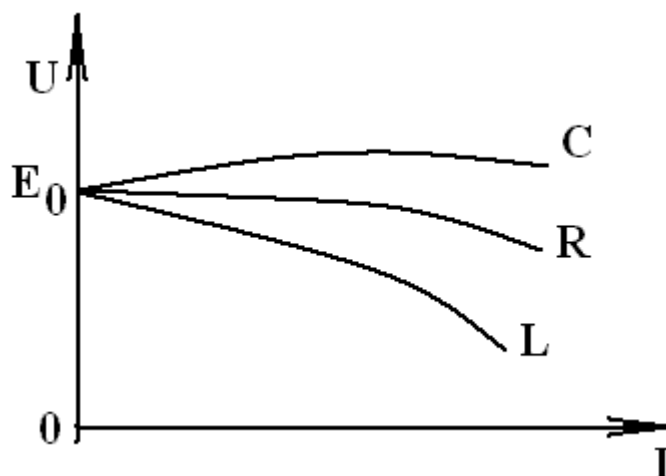


Рисунок 4.7 - Внешняя характеристика синхронного генератора при различных типах нагрузки

Регулировочные характеристики

Регулировочная характеристика представляет зависимость тока возбуждения I_v от тока нагрузки I_a при постоянных значениях $\cos \phi$, частоты вращения n и напряжения U . Эта характеристика показывает, как нужно регулировать ток возбуждения генератора при изменении нагрузки, чтобы напряжение генератора оставалось постоянным.

В данном случае необходимо снять регулировочные характеристики при различных типах нагрузки. Для построения этих характеристик для каждого случая необходимо снять 4...5 точек. Порядок выполнения таков:

1. Включить автомат QFм, вывести реостат $R_{ПМ}$.
2. Реостатами $R_{ПМ}$ и $R_{ВМ}$ установить $f=50$ Гц.
3. Потенциометром $R_{ВГ}$ установить $U_0'=E_0'=50$ В при $I=0$.
4. Поставить переключатель S в положение «R» и, изменяя QF_R величину тока якоря I_a , поддерживая потенциометром $R_{ВГ}$ $U=50$ В, снять зависимость $I_v=f(I_a)$ при $U=50$ В=const, $f=50$ Гц=const.
5. Измерения повторить при положениях переключателя типа нагрузки S индуктивная «L» и емкостная «C», но ток якоря I_a при этом изменять переключателями S_L и S_C .

Данные опыта записывать в таблицу 4.4.

Таблица 4.4

$I_{\text{в}}$	A						
$I_{\text{а}} (R)$	A						
$I_{\text{в}}$	A						
$I_{\text{а}} (L)$	A						
$I_{\text{в}}$	A						
$I_{\text{а}} (C)$	A						

Примерный вид регулировочных характеристик СГ показан на рисунке 4.8.

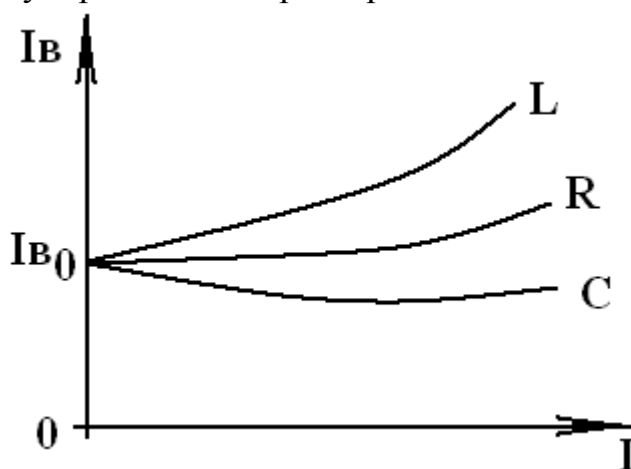


Рисунок 4.8- Регулировочные характеристики СГ при различных характерах нагрузки

При активной нагрузке с увеличением $I_{\text{а}}$ напряжение на зажимах генератора уменьшается, поэтому для поддержания напряжения постоянным ($U=U_{\text{Н}}$) ток возбуждения $I_{\text{в}}$ следует повышать. Индуктивная нагрузка вызывает более резкое понижение напряжения, поэтому ток возбуждения для поддержания следует еще более повышать. При емкостной нагрузке реакция якоря, подмагничивая машину, способствует повышению напряжения, поэтому ток возбуждения следует уменьшить.

По окончании работы стенд привести в исходное состояние.

Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Электрическую схему исследуемой установки с перечнем используемого оборудования и приборов.
3. Таблицы экспериментальных данных и соответствующие им графики.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как устроена синхронная машина?
2. Каковы особенности конструкции однофазного синхронного генератора?
3. Принцип действия синхронного генератора.
4. Чем регулируются величины напряжения и частоты генератора?
5. Чем отличается однофазный синхронный генератор от трехфазного?
6. Какие типы нагрузок используются в лабораторной работе?
7. Что такое реакция якоря, как она проявляется при работе машины?
8. Какие виды реакции якоря известны? Объясните их причины.
9. Какие характеристики необходимо снять в лабораторной работе? Перечислите условия при которых их снимают.
10. Характеристика холостого хода: условия и порядок снятия.
11. Нагрузочная характеристика: условия и порядок снятия.
12. Внешняя характеристика: условия и порядок снятия.
13. Регулировочная характеристика: условия и порядок снятия.
14. Перечислить элементы схемы лабораторного стенда (рисунок 4.3).
15. Как обозначена на схеме обмотка возбуждения СГ?
16. Зачем нужен ДПТ в схеме?

5 Лабораторная работа № 10

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРЕХФАЗНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ С СЕТЬЮ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию и принцип действия синхронной машины (СМ).
2. Изучить условия необходимые для включения синхронной машины на работу параллельно с сетью.
3. Изучить возможные режимы работы синхронной машины при работе с сетью (режимы синхронного генератора, синхронного двигателя, синхронного компенсатора).
4. Снять и построить U-образные характеристики при работе синхронной машины (СМ) параллельно с сетью в режиме синхронного генератора (СГ), синхронного двигателя (СД), синхронного компенсатора (СК).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Основные сведения

Обычно на электростанциях устанавливается несколько синхронных генераторов для параллельной работы на общую электрическую сеть. Это повышает надежность энергоснабжения потребителей и позволяет лучше организовать обслуживание агрегатов.

Для синхронной машины, установленной на электрической станции, типичным является режим работы на сеть большой мощности, по сравнению

с которой мощность рассматриваемого генератора является очень малой. В этом случае с большой степенью точности можно принять, что генератор работает параллельно с сетью бесконечно большой мощности, т.е. что напряжение U_c и ее частота f_c являются постоянными, не зависящими от нагрузки данного генератора. Для подключения СМ на параллельную работу с сетью требуется в момент включения выполнить ряд условий (**условий синхронизации**):

1. Равенство величины и формы кривой Э.Д.С. генератора и сети;
2. Равенство частот подключаемого генератора и сети;
3. Совпадение фаз Э.Д.С. генератора и сети (по отношению к нагрузке);
4. Одинаковое чередование фаз генератора и сети.

Выполнение первого требования контролируется вольтметром.

Выполнение 2,3 и 4 требований контролируется в данной работе стрелочным синхроскопом, нулевым вольтметром и частотомером.

При правильной синхронизации в момент включения никакого тока в якоре генератора не будет, т. к. в каждый момент времени Э.Д.С. генератора будет уравниваться напряжением сети согласно векторной диаграмме (рисунок 5.1).

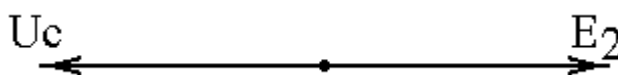


Рисунок 5.1

Ток в обмотке якоря генератора, работающего параллельно сети, можно вызвать двумя способами:

- а) изменением тока возбуждения (изменением величины Э.Д.С.),
- б) изменением момента вращения приводного двигателя, вращающего генератор.

Если в машине, подключенной к сети и работающей в режиме холостого хода, изменять ток возбуждения, то изменяется Э.Д.С. машины, а по обмотке якоря будет проходить ток I_a , величина которого определяется только индуктивным сопротивлением машины (значит, ток имеет только реактивную составляющую). Следовательно, нагрузить генератор увеличением возбуждения нельзя. Векторная диаграмма, иллюстрирующая данный случай показана на рисунке 5.2.

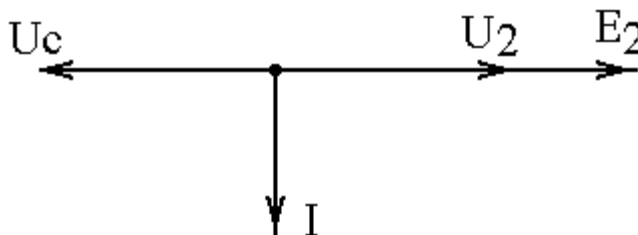


Рисунок 5.2

Для нагрузки генератора необходимо увеличить момент двигателя, вращающего генератор.

Если приложить к валу генератора внешний момент, больший момента, необходимого для компенсации потерь мощности в стали и механических потерь, то ротор приобретает некоторое ускорение. Вследствие этого вектор Э.Д.С. смещается относительно вектора напряжения U_2 на некоторый угол в сторону вращения векторов. При этом генератор отдает в сеть активную мощность. Векторная диаграмма в этом случае будет иметь вид, показанный на рисунке 5.3.

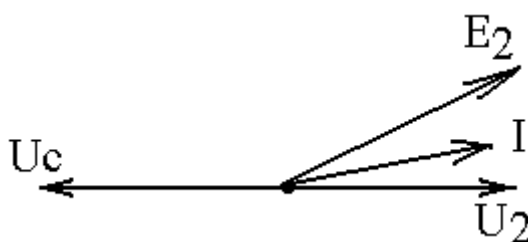


Рисунок 5.3

Если приложить к валу ротора внешний тормозной момент, то вектор Э.Д.С. будет отставать от напряжения генератора. Следовательно, в этом режиме активная мощность забирается из сети, и машина работает двигателем. Таким образом, для увеличения нагрузки генератора необходимо увеличивать приложенный к его валу внешний момент (вращающий момент первичного двигателя), а для уменьшения нагрузки – уменьшать этот момент. При изменении направления внешнего момента, если вал не вращать, а тормозить, машина автоматически переходит из генераторного в двигательный режим.

Зависимость тока в обмотке якоря от тока возбуждения $I_a = f(I_v)$ при постоянных напряжении сети $U_c = const$ и нагрузке $P_2 = P_{эм} = const$ может быть получена опытным путем и носит название **U-образных характеристик**. Примерный вид U-образных характеристик приведен на рис. 5.4. Эти характеристики показывают, при каких значениях тока возбуждения генератор работает с опережающим и при каких с отстающим током якоря, т.е. когда он отдает и когда потребляет реактивную мощность.

Из рисунка 5.4 видно, что для каждой мощности существует такое возбуждение, при котором ток в обмотке якоря будет минимальным (самая нижняя точка каждой характеристики). Эти точки соответствуют случаю, когда ток якоря имеет только активную составляющую ($\varphi = 0$, где φ - угол между током и напряжением). Пунктирная линия $\varphi = 0$ отклоняется вправо, т.к. при увеличении тока статора увеличивается поток реакции якоря и поток рассеяния, для их компенсации при увеличении нагрузки необходимо увеличивать поток полюсов.

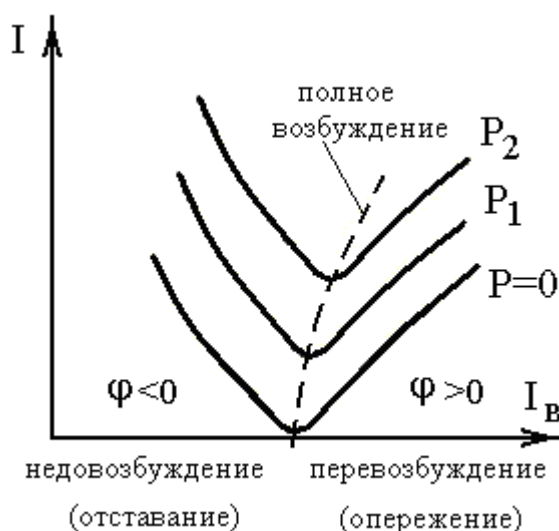


Рисунок 5.4

Синхронная машина, работающая параллельно с сетью автоматически переходит в двигательный режим, если к валу ротора приложен тормозной момент. При этом машина начинает потреблять из сети активную мощность и возникает электромагнитный вращающий момент. Частота вращения ротора остается неизменной, жестко связанной с частотой сети соотношением

$$n_2 = n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}, \text{ что является важнейшим эксплуатационным отличием}$$

синхронных двигателей.

Синхронный компенсатор предназначен для улучшения коэффициента мощности системы и представляет собой синхронный двигатель, который не несет механической нагрузки. Синхронный компенсатор может работать в режиме улучшения $\cos \varphi$ или в режиме стабилизатора напряжения. Так как наиболее распространенными потребителями энергии являются асинхронные двигатели, загружающие генераторы и линии передачи отстающим реактивным током, то синхронный компенсатор должен работать перевозбужденным и реактивный ток должен быть опережающим. При работе в режиме стабилизатора напряжения ток возбуждения синхронного компенсатора устанавливается постоянным такой величины, чтобы Э.Д.С. компенсатора была равна номинальному напряжению сети. Если напряжение сети в точке подключения синхронного компенсатора несколько понизится по сравнению с номинальным значением из-за возрастания тока нагрузки, то синхронный компенсатор начнет забирать из сети реактивный опережающий ток.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В работе необходимо подключить СМ параллельно с сетью и исследовать работу машины в режимах СГ, СД и СК.

В работе используется стенд, схема которого представлена на рисунке 5.5. Размещение оборудования стенда показано на рисунке 5.6

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы необходимо изучить конструкцию и принцип действия СМ, режимы работы и условия включения на параллельную работу с сетью.

Включение трехфазного синхронного генератора для работы параллельно с сетью

1 В исходном состоянии все автоматические выключатели должны находиться в положении «выкл.», а реостаты в положении «Пуск» (П).

2 Установить переключатель S в положение «СГ», автоматы QF_c и QF_p в положение «вкл», реостаты $R_{ПМ}$, $R_{ВМ}$, $R_{ВСМ}$ в положение «пуск» (П).

3 Плавнo вывести пусковой реостат $R_{ПМ}$ и реостатами $R_{ВМ}$ и $R_{ВСМ}$ установить напряжение и частоту СГ близкими к напряжению и частоте сети.

4 В момент, когда стрелка нулевого вольтметра pV_0 проходит через нуль, а стрелка синхроскопа pS встала на нейтральное положение, включить автомат параллельной работы $QF_{см}$.

Снятие и построение U-образных кривых в режиме генератора

Опыт снятия U-образных кривых производится при включении генератора по схеме (рисунок 5.5) для трех значений нагрузки:

$$P = 0; \quad P = 0,25P_N; \quad P = 0,5P_N.$$

Для проведения опыта генератор включается на параллельную работу с сетью и, возбуждение генератора поднимается реостатом $R_{ВСМ}$ до величины, при которой ток в якоре достигает номинального значения. Это будет первая точка отсчета по приборам. Затем производится постепенное уменьшение тока возбуждения, при этом производится регистрация тока якоря и тока возбуждения, снижение тока возбуждения производится до тех пор, пока ток якоря не упадет до минимального и снова достигает номинального значения.

Во время опыта необходимо снять 8...10 точек. Особенно тщательно нужно снимать точки в зоне минимального тока якоря. Снятие кривых при $P=0,25P_N$; $P=0,5P_N$ производится аналогичным образом, только после подключения генератора к сети, он нагружается соответствующей нагрузкой путем регулирования (снижения) тока возбуждения двигателя.

Результаты наблюдений заносятся в таблицу 5.1.

$R_{ПМ}$, $R_{ВМ}$, $R_{ВСМ}$ – реостаты пусковой, возбуждения приводного двигателя возбуждения синхронной машины соответственно;

$V_{СМ}$, $V_{С}$, V_0 - вольтметры;

$A_{СМ}$, $A_{В}$ - амперметры;

$H_{zС}$, $H_{zСМ}$ – частотомеры сети и синхронной машины соответственно;

$W_{СМ}$ - ваттметр;

$QF_{с}$, $QF_{сМ}$, $QF_{м}$, $QF_{р}$ - автоматические выключатели;

$S1, S2$ – вместе составляют универсальный переключатель;

pS – прибор синхроскоп.

Таблица 5.1

$P = 0$		$P = \frac{1}{4} P_0$			$P = \frac{1}{2} P_0$		
I, A	$I_{В}$, A	I, A	$I_{В}$, A	$\cos \varphi$	I, A	$I_{В}$, A	$\cos \varphi$

По данным таблицы 5.1 строятся U-образные кривые $I=f(I_{В})$, а для второго и третьего опыта строятся также кривые $\cos \varphi = f(I_{В})$. На полученном графике указываются зоны работы генератора с опережающим и отстающим токами.

Работа синхронной машины в режиме двигателя и компенсатора

После снятия U-образных кривых при работе в режиме генератора отключить рубильник $QF_{р}$ (рисунок 5.5), при этом СМ работает в режиме синхронного двигателя.

1 Работа СМ в режиме синхронного компенсатора.

После выполнения пункта 1, установить $P_2=\text{const}$ и, изменяя ток возбуждения реостатом $R_{ВСМ}$ снять зависимость $I=f(I_{В})$ при $U=\text{const}$, $f=\text{const}$, $P_2=0$.

2 Работа СМ в режиме синхронного двигателя.

2.1 Выполнить пункт 1.1, установить при этом переключатель УП в положение «СД».

2.2 Повторить пункты 1.2 и 1.3 После вхождения СМ в синхронизм отключить автомат АВр.

2.3 Изменяя ток возбуждения реостатом $R_{ВСМ}$, снять зависимость $I=f(I_{В})$ при $U=\text{const}$, $f=\text{const}$, $P_2=0$.

Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.

2. Электрическую схему исследуемой установки с перечнем используемого оборудования и приборов.
3. Таблицы экспериментальных данных и соответствующие им графики.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как устроена синхронная машина?
2. Принцип действия синхронной машины.
3. Почему рассматриваемая в лабораторной работе машина называется синхронной?
4. Для чего СГ включают на параллельную работу с сетью?
5. Что такое синхронизация?
6. Каковы условия включения СГ на параллельную работу с сетью?
7. Какими приборами контролируется выполнение условий синхронизации?
8. В каком случае синхронная машина является генератором, двигателем?
9. Какие способы пуска синхронного двигателя известны?
10. Когда применяются синхронные компенсаторы? Принцип работы.
11. Что показывают U-образные характеристики?

6 Лабораторная работа № 11

ОДНОЯКОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию и принцип действия одноякорного преобразователя (ОП)
2. Снять и построить зависимости потребляемого постоянного тока от переменного тока нагрузки $I_{\text{п}} = f(I_{\text{н}})$ при $f = 50 \text{ Гц}$ и $\cos \phi_{\text{H}} = 1$.
3. Экспериментально определить зависимость потребляемой активной мощности (P_1) и К.П.Д. (η) от активной мощности, отдаваемой одноякорным преобразователем (P_2) (рассчитать и построить зависимость мощности постоянного тока от мощности переменного тока $P_{\text{п}} = f(P_{\text{н}})$, зависимость коэффициента полезного действия от мощности нагрузки $\eta = f(P_{\text{н}})$ при $f = 50 \text{ Гц}$ и $\cos \phi_{\text{H}} = 1$).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Основные сведения

Одноякорным преобразователем (ОП) называется электрическая машина с одной якорной обмоткой, преобразовывающая энергию постоянного тока в энергию переменного тока или наоборот.

ОП имеет одну обмотку на якоре и по устройству отличается от машины постоянного тока наличием контактных колец, расположенных обычно со стороны, противоположной коллектору, и соединенными с определенными точками обмотки якоря (рисунок 6.1).

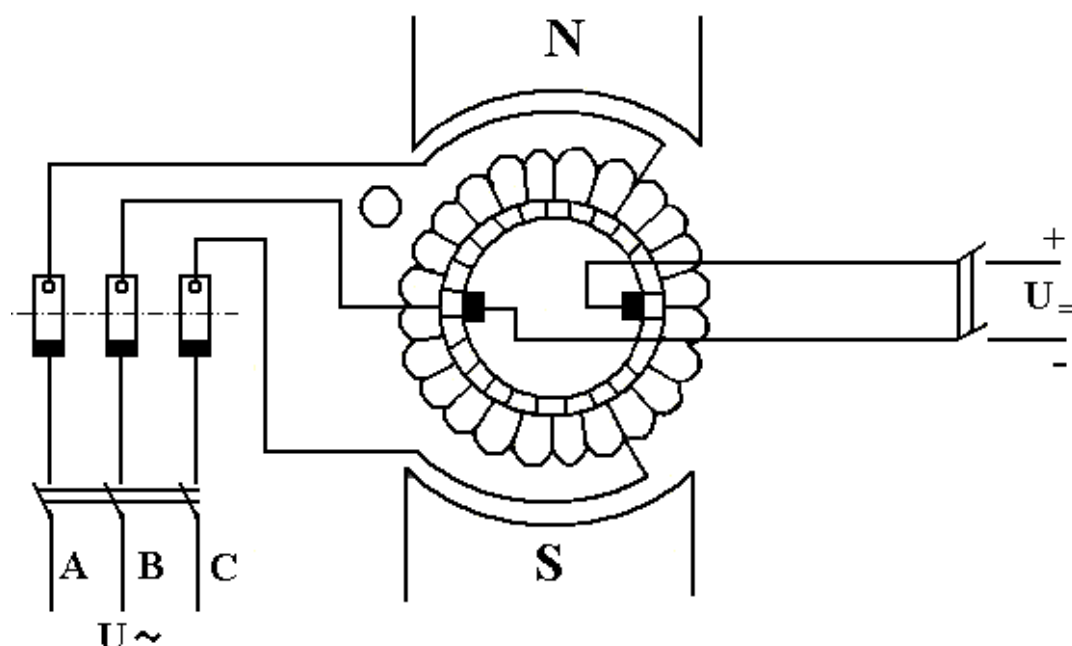


Рисунок 6.1 – Схематичное устройство одноякорного преобразователя

Принцип действия ОП основан на свойстве замкнутой обмотки; при ее вращении в неподвижном магнитном поле, давать одновременно на коллекторе постоянное напряжение, а на кольцах - переменное напряжение. В качестве обмотки якоря обычно принимается петлевая обмотка. Если машина однофазного тока, то она имеет два контактных кольца, к которым подводятся выводы от двух диаметрально противоположных точек якорной обмотки; если трехфазного переменного тока, то к трем контактным кольцам подводятся выводы от трех точек якорной обмотки, смещенных по окружности относительно друг друга на 120 электрических градусов.

ОП может работать в режиме преобразования переменного тока в постоянный и в режиме преобразования постоянного тока в переменный. При преобразовании переменного тока в постоянный преобразователь получает переменный ток со стороны колец и отдает постоянный ток со стороны коллектора. Со стороны колец он работает как синхронный двигатель, а со стороны коллектора – как генератор постоянного тока, обычно с параллельным возбуждением. В этом режиме к обмотке якоря через кольца подводится переменный ток, который взаимодействует с потоком возбуждения, приводит якорь во вращение с угловой частотой

$$\omega_1 = \frac{2\pi f}{p} \quad (6.1)$$

У синхронного двигателя поток возбуждения и поток якоря не должны иметь относительного движения. Так как у ОП поток возбуждения неподви-

жен, то и поток якоря должен быть в пространстве неподвижен. Вследствие этого якорь преобразователя вращается навстречу потоку якоря, а так как их скорости равны, то поток якоря оказывается неподвижным в пространстве.

При преобразовании постоянного тока в переменный машина со стороны коллектора работает как двигатель постоянного тока, а со стороны колец - как синхронный генератор (в работе исследуется этот режим). При подключении обмотки возбуждения и обмотки якоря к источнику постоянного тока будет происходить взаимодействие проводников с током и магнитного поля, в результате чего якорь будет вращаться с частотой ω в направлении, определяемом по правилу левой руки (рисунок 6.1).

При пересечении обмоткой якоря магнитных силовых линий в ней будет наводиться переменная по величине и знаку Э.Д.С., так как секции обмотки поочередно проходят то под северным (N), то под южным (S) полюсом при различной интенсивности поля. Поэтому, выведя на контактные кольца диаметрально противоположные точки обмотки якоря, получим на щетках синхронного генератора переменную синусоидальную Э.Д.С.

Преимуществом ОП является то, что электрические потери в обмотке якоря меньше, чем они были бы, если бы использовались две отдельные машины: двигатель и генератор.

При работе преобразователя Э.Д.С. со стороны контактных колец и коллектора связаны определенным соотношением:

Э.Д.С. постоянного тока равна максимальной Э.Д.С. однофазного тока

$$E_{\text{пт}} = E_{1\text{м}} = \sqrt{2}E_1, \quad (6.2)$$

следовательно

$$\frac{E_1}{E_{\text{пт}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707,$$

где $E_{\text{пт}}$ - Э.Д.С. постоянного тока;

$E_{1\text{м}}$ - Э.Д.С. однофазного тока (амплитуда).

Пренебрегая всеми потерями в преобразователе, мощность со стороны переменного тока можно приравнять мощности постоянного тока, а отношение Э.Д.С. заменить отношением напряжений:

$$m \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = U_{\text{пт}} I_{\text{пт}} \quad \text{и} \quad \frac{E}{E_{\text{пт}}} = \frac{U}{U_{\text{пт}}}, \quad (6.3)$$

где $I_{\text{пт}}$ - постоянный ток; m - число фаз (для ОП $m=2$).

Соотношение токов:

$$\frac{I}{I_{\text{пт}}} = \frac{2\sqrt{2}}{m \cdot \cos \varphi}, \quad (6.4)$$

где I - переменный ток.

Регулирование напряжения на выходе одноякорного преобразователя может быть осуществлено только изменением напряжения на входе.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В работе необходимо определить зависимость потребляемого постоянного тока от переменного тока нагрузки, мощности постоянного тока от мощности переменного тока, К.П.Д. от мощности нагрузки при $f = 50\text{ Гц}$ и $\cos \phi_H = 1$. Для определения этих зависимостей используется схема на рисунке 6.2.

Запуск ДПТ осуществляется при помощи пускового сопротивления R_{Π} , для регулирования напряжения со стороны входа (постоянный ток) применен ЛАТР (на схеме он не указан). Для регулирования частоты напряжения на выходе необходимо с помощью R_B регулировать ток в обмотке возбуждения ОП.

Элементы схемы (рис.6.2):

ОП – одноякорный преобразователь;

$L_{оп}$ - параллельная обмотка возбуждения одноякорного преобразователя;

$QF_{оп}$ - автоматический выключатель;

R_H - нагрузки;

R_{Π} , R_B – реостаты пусковой и в цепи возбуждения;

$pV1$, $pA1$, $pA3$ - вольтметр и амперметры в цепях ДПТ;

$pV2$, $pA2$ - вольтметр и амперметры в цепях СГ;

pHz - частотомер в якорной цепи СГ.

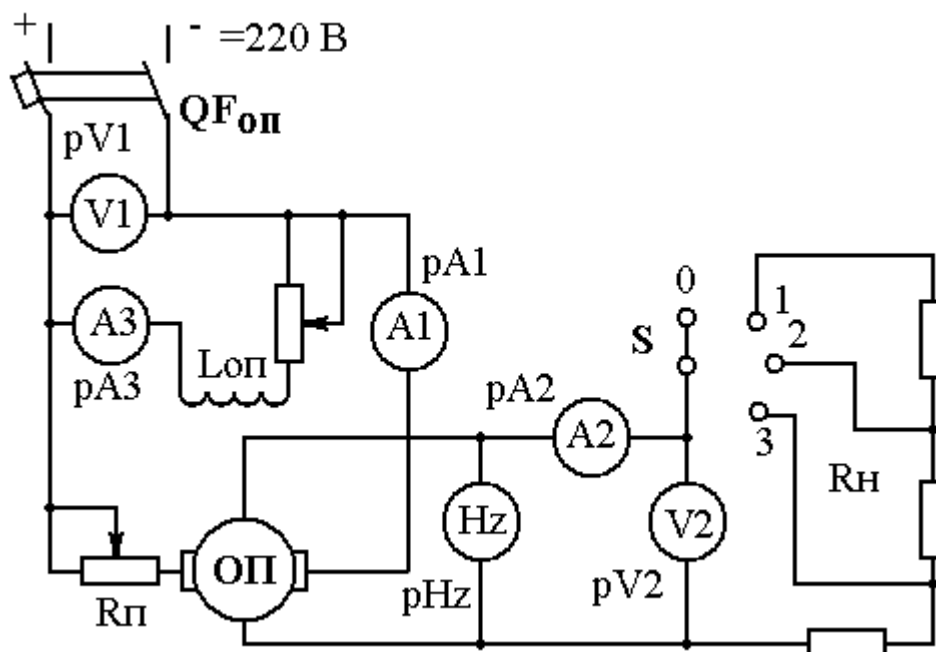


Рисунок 6.2 – Электрическая схема стенда по изучению одноякорного преобразователя

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В исходном состоянии автомат QFоп должен находиться в положении «откл», переключатель S - в крайнем левом положении, движки реостатов R_П и R_В - в крайнем верхнем положении.

1. Изучить конструкцию и принцип действия одноякорного преобразователя.
2. **Включить автомат QFоп.**
3. **Вывести пусковой реостат R_П, поставив его движок в крайнее нижнее положение.**
4. **Реостатом в цепи возбуждения R_В установить частоту тока $f=50\text{Гц}$.**
5. **Переключателем S изменять величину сопротивления нагрузки; поддерживая реостатом R_В частоту тока $f=50\text{Гц}$ при этом производить измерения напряжения U_1 , тока возбуждения $I_В$, тока якоря I_1 напряжения U_2 и тока нагрузки I_2 .**
6. **После окончания работы привести схему в исходное состояние.**

Экспериментальные данные сводят в таблицу 6.1.

Таблица 11.1

Измерения				Вычисления		
I_-, A	$U_-, \text{В}$	I_-, A	$U_-, \text{В}$	$P_-, \text{Вт}$	$P_-, \text{Вт}$	$\eta, \%$

Коэффициент полезного действия подсчитывается по формуле:

$$\eta = \frac{P_-}{P_+}. \quad (6.5)$$

По результатам опыта и расчетов построить зависимости:

$$I_- = f(I_+); \quad P_- = f(P_+); \quad \eta = f(P_+)$$

Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Электрическую схему исследуемой установки с перечнем используемого оборудования и приборов.
3. Таблицы экспериментальных данных и соответствующие им графики.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как устроен одноякорный преобразователь?
2. Почему машина называется одноякорный преобразователь?
3. Для чего предназначен одноякорный преобразователь?

4. Принцип действия одноякорного преобразователя.
5. Чем регулируется частота и величина выходного напряжения преобразователя?
6. Какие режимы работы существуют у одноякорного преобразователя?
7. Какие типы нагрузок используются в лабораторной работе?
8. Какие характеристики необходимо снять? Перечислите условия при которых их снимают.
9. Перечислить элементы схемы стенда (рисунок 6.2).
10. Как обозначена на схеме обмотка возбуждения ОП?

7 Лабораторная работа № 12

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Закрепить теоретические знания, полученные при изучении конструкции и принципа действия машины постоянного тока и двигателя переменного тока (АД).
2. Изучить порядок и правила разборки и сборки электрических машин.
3. Получить практические навыки разборки - сборки, нахождения и устранения неполадок электрических машин в соответствии с инструкциями по технической эксплуатации.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Техническая эксплуатация электрооборудования (ЭО) включает совокупность организационных мер по приведению и поддержанию электрооборудования в рабочем состоянии и использованию по назначению с требуемой эффективностью.

Срок службы и надежность работы ЭО во многом зависит от грамотной технической эксплуатации. Она включает в себя:

- периодическое обслуживание, обеспечивающее готовность ЭО к работе по назначению, а также операции, связанные с пуском, остановкой, и изменением режима работы;
- техническое обслуживание, обеспечивающее исправное состояние и стабильность технико-эксплуатационных характеристик ЭО в период эксплуатации между заводскими ремонтами: ремонт с целью восстановления частично или полностью утраченных технико-эксплуатационных характеристик ЭО.

Судовое ЭО работает в условиях качки, вибрации, ударных сотрясений, значительной влажности и т.п., поэтому к нему предъявляются повы-

шенные требования. Вахтенное, техническое обслуживание и своевременный ремонт судового ЭО должны обеспечить:

- Исправное состояние, бесперебойную работу судовой электростанции, электроприводов судовых механизмов и другого ЭО во всех режимах работы судна;
- Безопасность плавания пассажиров и членов судового экипажа, пожарную безопасность, продление срока службы ЭО.

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

Для успешного проведения данного занятия необходимо предварительно серьезно подготовиться к нему. Для этого нужно изучить:

- основные элементы конструкции машин, их назначение,
- конструктивные особенности машин, которые влияют на пусковые и рабочие свойства машин, внешний вид их рабочих и других характеристик,
- принцип действия рассматриваемых машин,
- основные признаки неисправностей обмоток и других частей электрических машин,
- последовательность технического обслуживания электрических машин.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Обслуживание электрического оборудования постоянного и переменного тока всегда включает в себя определенные действия, связанные с его разборкой и сборкой. Поэтому необходимо знать общую последовательность этих действий. Далее будут приведены последовательности разборки-сборки машин постоянного и переменного тока.

Разборка машины постоянного тока

1. Отсоединить от зажимов машины все ведущие к ней кабели, предварительно прикрепив к ним бирки с обозначением тех зажимов, к которым они были присоединены;
2. Отсоединить машину от сопряженного оборудования;
3. Если машину нужно передвинуть, то необходимо отдалить болты, крепящие машину к фундаментальной раме;
4. Отсоединить от зажимов в клеммной коробке выводы машины;
5. Отдалить с обеих сторон болты, крепящие капсулы подшипников к подшипниковым щитам;
6. Отдалить болты, крепящие подшипниковые щиты к станине;
7. **ОСТОРОЖНО**, без перекосов, снять подшипниковые щиты;

Порядок сборки-разборки судового асинхронного двигателя

1. Произвести внешний осмотр двигателя, ознакомиться с номинальными данными.

2. Вскрыть клеммную коробку, измерить сопротивление изоляции фаз обмоток относительно корпуса и между собой.
3. Произвести неполную разборку двигателя.
4. Изучить конструкцию магнитной системы и всех частей двигателя.
5. Определить особенности магнитной системы, тип и шаг обмотки статора, число пазов, число катушек и катушечных групп, число полюсов и синхронную скорость вращения.
6. Изучить систему вентиляции машины.
7. Изучить устройство подшипниковых узлов.
8. Познакомиться с порядком и правилами замены смазки подшипников судовых АД.
9. Произвести сборку двигателя.
10. Провернуть двигатель вручную и замерить сопротивление изоляции обмотки.
11. По возможности собрать схему и произвести пробный пуск машины, определить время выбега двигателя.

Разборка машины переменного тока (АД)

Разборка и сборка двигателей производится в соответствии с заводской инструкцией. При этом запрещается пользоваться нештатным инструментом, а также резко ударять по обрабатываемым поверхностям. На занятии производится неполная разборка двигателя в следующей последовательности:

1. Нанести или проверить наличие рисок на сопрягаемых поверхностях, снять крышку выводной коробки;
2. Снять кожух вентилятора, для чего отвернуть четыре крепящих болта;
3. Отвернуть четыре гайки, крепящие подшипниковую крышку переднего (со стороны свободного конца вала) подшипникового щита;
4. Снять подшипниковую крышку, используя отжимные болты из выводного устройства;
5. Снять маслоуловитель при помощи двух отверток, расположив их диаметрально противоположно с упором в ступицу подшипникового щита, затем диафрагму, прижимную шайбу и кольцо;
6. Отвернуть гайки и снять шпильки крепления подшипниковых щитов;
7. Снять передний подшипниковый щит, ударя молотком через деревянный брусок по диаметрально расположенным ушкам подшипникового щита;
8. Принимая меры предосторожности против повреждения окраски лобовых частей обмотки статора, извлечь ротор с оставшимся подшипником и подшипниковым щитом;
9. Извлечь при помощи отвертки специальную пружину из подшипникового щита.

После разборки выполняют следующие операции:

1. Очищаются все узлы и детали от загрязнения;
2. Подшипники (если они сняты или заменены) заполняются смазкой и разогреваются в термостате до 100°C ;
3. Подшипниковые щиты нагреваются до температуры $80-90^{\circ}\text{C}$;
4. Поверхность замков подшипниковых щитов, плоскости прилегания щитов к подшипниковым крышкам, резьбы покрываются тонким слоем смазки;
5. При сборке контрольные риски на сопрягаемых деталях должны совпадать.

Порядок сборки машины переменного тока (АД)

1. Поставить ротор в вертикальное положение основными выступающими концами вала вверх; установить подшипниковую крышку, маслоуловитель до упора на валу, диафрагму, пружину волнистую кольцевую (если снимался передний подшипник);
2. Надеть подшипник. Вставить ротор со щитом в статор, совместить риски на подшипниковом щите и корпусе двигателя.
3. Установить шпонку.
4. Надеть передний подшипниковый щит так, чтобы болты подшипниковой крышки проходили в соответствующие отверстия щита, а карман для выхода смазки в подшипниковой крышке совпадал с соответствующим пазом в подшипниковом щите.
5. Установить шайбу, пружины кольцевые волнистые, диафрагму.
6. Посадить маслоуловитель до упора в подшипниках, совместив при этом паз маслоуловителя со шпонкой.
7. Надеть и закрепить подшипниковую крышку гайками.
8. Установить и закрепить винтами кожух вентилятора.

Собранный двигатель необходимо проверить следующим образом:

- а) повернуть вал от руки, убедиться в отсутствии затиров,
- б) измерить величину сопротивления изоляции мегомметром на 500В,
- в) прокрутить двигатель на холостом ходу в течении 2-3 минуты,
- г) закрепить крышку выводной коробки.

Для грамотной работы электромеханика необходимы также сведения о том, какими средствами производится чистка машин, как часто проводятся профилактические осмотры, ремонты, как правильно пополняется смазка подшипников у двигателей разных типов, какова методика определения времени выбега, измерения сопротивления изоляции и многое другое. Все эти моменты обязательно освещаются в условиях и инструкциях по технической эксплуатации оборудования. Далее приведены методики по определению времени выбега АД и измерения сопротивления изоляции.

Методика определения времени выбега

Время выбега - это время от момента отключения двигателя от сети до полной остановки вращающихся частей.

Время выбега определяется по секундомеру; для этого двигатель отключается от сети и одновременно включается секундомер. При полной остановке двигателя секундомер отключается.

В процессе эксплуатации результаты измерения времени выбега сравниваются с предыдущими измерениями; резкое уменьшение выбега служит признаком ухудшения работы подшипниковых узлов или смазки двигателя, а после сборки - ее качество.

Методика измерения сопротивления изоляции

Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между собой производится в холодном состоянии с помощью мегомметра на 500В в следующей последовательности:

1. Двигатель отключается от сети;
2. Двигатель отсоединяется от питающего кабеля;
3. Зажимы мегомметра присоединяются к зачищенной от загрязнения и краски поверхности корпуса двигателя и к выводу на клеммной колодке;
4. Ручка мегомметра вращается со скоростью около 120 об/мин;
5. По отклонению стрелки мегомметра по соответствующей шкале определяется сопротивление изоляции.

Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Конструктивную схему исследуемой машины.
3. Описание проделанной работы
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Каковы цели лабораторной работы №12?
2. Что включает в себя техническая эксплуатация электрооборудования?
3. Назначение и основные элементы конструкции двигателя постоянного тока.
4. Назначение и основные элементы конструкции асинхронного двигателя.
5. Какие существуют особенности в конструкциях машин и условиях их работы при эксплуатации на судне?
6. В чем состоит принцип действия асинхронного двигателя?
7. В чем состоит принцип действия двигателя постоянного тока?
8. Рассказать порядок разборки и сборки двигателя постоянного тока.
9. Рассказать порядок разборки асинхронного двигателя.

10. Какие операции осуществляются после разборки машин постоянного и переменного тока?
11. Рассказать порядок сборки асинхронного двигателя
12. Каким образом надо проверить собранный двигатель, чтобы убедиться, что он в рабочем состоянии?
13. Что такое время выбега и какова методика его определения?
14. Для чего производят измерение сопротивления изоляции? Методика измерения сопротивления изоляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берков К.И. Справочник электромеханика по судовым электрическим машинам/ К.И. Берков, К.П. Котриков, В.Н. Васильев.- Одесса: Маяк, 1979. – 239 с.
2. Гольденберг О.Д. Испытание электрических машин: учеб. для вузов по спец «Электромеханика»/ О.Д. Гольденберг. – М.: Высш.шк., 1990. – 255 с.
3. Гольденберг О.Д. Проектирование электрических машин/ О.Д.Гольденберг, Я.С. Гурин, И.С. Свириденко; под ред. О.Д.Гольденберга. – М.: Высш.шк., 2001. – 431 с.
4. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: учеб. для вузов/ А.В. Иванов-Смоленский. – М.: Энергия, 1980. – 320 с.
5. Коварский Е.М. Испытания электрических машин/ Е.М Коварский, Ю.И. Янко. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
6. Копылов И.П. Электрические машины: учеб. для вузов/ И.П.Копылов. - М.: Энергоатомиздат, 1986.–360 с.
7. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: учеб. для вузов/ И.П. Копылов. - М.: Высш. шк., 2001. – 327с.
8. Мезин Е.К. Судовые электрические машины: учебник/ Е.К. Мезин. – Л.: Судостроение, 1985. – 320 с.
9. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования: учеб. пособие для вузов/ О.Д.Гольденберг. – М.: Высш.шк., 2001. – 512 с.
10. Проектирование электрических машин: учеб. пособие для вузов/ И.П.Копылов, Ф.А. Горяйнов, Б.К. Клоков, Б.К. Клоков; под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.

Заказ №_____от «_____» _____20__г. Тираж _____экз.

Изд-во СевНТУ