

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
КРАМАТОРСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
"ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ"
(для студентов специальности 21.03)

У т в е р ж д е н о
на заседании кафедры
электротехники и
электрооборудования
Протокол № 12 от 20.06.91

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Электротехника, промышленная электроника и электрооборудование". Ч.2 (для студентов неэлектротехнических специальностей) /Сост.: В.Т.Климченков, А.М.Наливайко, И.П.Шеломов. - Краматорск: КИИ, 1992. - 63 с.

Даны указания к выполнению лабораторных работ I...9, программа лабораторных исследований, общие рекомендации и расчетные формулы, приведены принципиальные схемы лабораторных установок и их описание, методика обработки экспериментальных данных, рекомендуемая литература и контрольные вопросы.

Составители:

В.Т.Климченков, доц.
А.М.Наливайко, доц.
И.П.Шеломов, доц.

Отв. за выпуск

И.П.Шеломов, доц.

Лабораторная работа I

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО ТРЕХФАЗНОГО ДВУХОБОМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель - изучение конструкции и принципа действия трансформатора, построение его основных характеристик, определение параметров схемы замещения трансформатора.

Программа лабораторных исследований

1. Ознакомиться с конструкцией и паспортными данными исследуемого трансформатора.
2. Снять характеристики трансформатора в функции вторичного тока при симметричной трехфазной электрической нагрузке.
3. Провести опыт холостого хода.
4. Провести опыт короткого замыкания.

Общие указания

Перед выполнением данной работы необходимо самостоятельно ознакомиться по литературе /1...4/ и конспекту лекций с устройством и принципом действия силового трехфазного трансформатора, с правилами техники безопасности при работе с электроустановками /5, 6/.

Трансформатором называют статический электромагнитный преобразователь электрической энергии. Основное назначение - изменять величину напряжения в цепи переменного тока.

Однофазный трансформатор состоит из замкнутого ферромагнитного сердечника и расположенных на нем двух обмоток, изолированных от сердечника и друг от друга. Одна из обмоток (первичная) подключается к источнику переменного тока, с другой (вторичной) соединяется приемник электрической энергии (электрическая нагрузка). Конструктивная и электрическая схемы однофазного двухобмоточного трансформатора приведены на рис. 1.

При подключении первичной обмотки А-Х и сети с переменным напряжением U_1 в ней возникает переменный ток I_1 , который создает переменный магнитный поток Φ , замыкающийся по сердечнику. Поток индуктирует в обеих обмотках мгновенные ЭДС $e_1 = -W_1 \cdot d\Phi/dt$ и $e_2 = -W_2 \cdot d\Phi/dt$, пропорциональные числу витков каждой обмотки W_1 и W_2 и скорости изменения потока по времени $d\Phi/dt$.

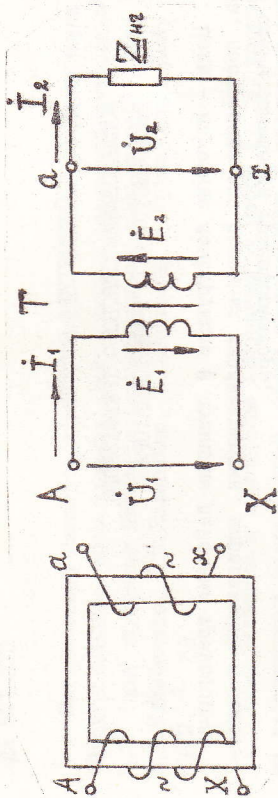


Рис. 1. Конструктивная и электрическая схемы однофазного двухобмоточного трансформатора

Число витков вторичной обмотки определяет величину напряжения U_2 на нагрузке Z_{H2} . Коэффициентом трансформации трансформатора T называют отношение ЭДС первичной обмотки к ЭДС вторичной обмотки:

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

При вычислении коэффициента трансформации за первичную обмотку обычно принимают обмотку высшего напряжения (ВН), чтобы иметь $K > 1$. Определяют (проверяют) коэффициент трансформации в режиме холостого хода с помощью двух вольтметров одновременно, один из которых подключен к обмотке высшего напряжения (ВН), более высокого по величине), а другой - к обмотке низшего напряжения (НН, более низкого по величине).

Для преобразования трехфазной системы переменного тока с одними значениями линейных напряжений и токов в трехфазную систему переменного тока с иными значениями этих же величин применяют силовые трехфазные трансформаторы. Каждый трансформатор имеет табличку, прикрепленную на его корпусе, в которой указаны его паспортные данные (мощность, напряжения, токи и другие).

Ознакомление с конструкцией и паспортными данными трансформатора

Объектом исследований служит силовой трехфазный двухобмоточный трансформатор с естественным охлаждением. Конструктивная схема трансформатора приведена на рис. 2. Сердечник трансформатора с

размещены на нем фазными обмотками помещен в цилиндрический кожух, зажимы фазных обмоток выведены на пульт управления лабораторным стендом. Ток в фазе первичной обмотки трансформатора при номинальной электрической нагрузке $I_{1\text{ ном}}$, необходимый для проведения опыта однофазного короткого замыкания, находим из его паспортных данных:

$$I_{1\text{ ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{3U_{1\text{ ф ном}} [A]},$$

где $S_{\text{ном}}$ - полная номинальная мощность трехфазного трансформатора, В.А;

$U_{1\text{ ф ном}}$ - номинальное напряжение на фазе первичной обмотки, В.

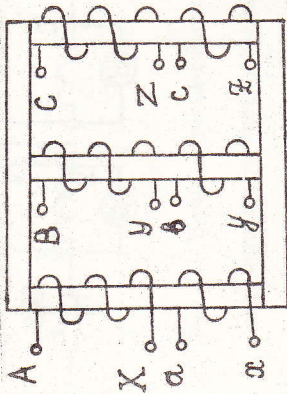


Рис. 2. Конструктивная схема исследуемого трансформатора

Снятие характеристик трансформатора

Для снятия характеристик исследуемого трансформатора собираем схему, приведенную на рис. 3. В качестве трехфазной регулируемой электрической нагрузки (RR1... RR3) используем трехфазный ламповый реостат. В каждой фазе реостата (а-х, б-у, с-з) включено параллельно по четыре лампы накаливания с отдельным выключателем для каждой из них. Результаты измерений и расчетов заносим в табл. 1. Всего произведем пять замеров, один из них при холостом ходе (все лампы отключены) и четыре при увеличении количества ламп в каждой фазе от одной до четырех. По результатам опытов строим следующие характеристики трансформатора: $U_2 = f(I_2), I_1 = f(I_2)$;

$$\cos \varphi_1 = f(I_2); \eta = f(I_2).$$

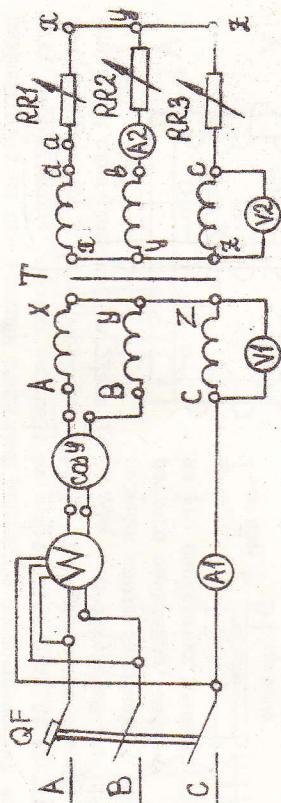


Рис. 3. Схема для снятия характеристик трансформатора

Таблица 1

Номер опыта	P_1, Bm	$\cos \varphi_1$	I_1, A	U_1, B	I_2, A	U_2, B	P_2, Bm	η
1								
2								

Опыт холостого хода

Опыт проводим для одной из фаз трансформатора (например, А-Х). Схема проведения опыта приведена на рис. 4. Используем однофазный ваттметр W . К первичной обмотке А-Х подводим номинальное напряжение ($U_1 = U_{1ном}$), а вторичная обмотка а-х остается разомкнутой (сопротивление электрической нагрузки считается бесконечно большим). Результаты измерений и расчетов заносим в табл. 2.

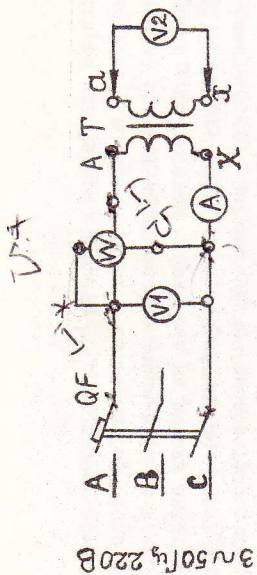


Рис. 4. Схема проведения опыта холостого хода

Таблица 2

U_1, B	I_0, A	P_0, Bm	$\cos \varphi_0$	U_2, B	$Z_0, Ом$	$R_0, Ом$	$X_0, Ом$	K
240.725	15	144						

По результатам проведения опыта можно определить потери мощности в стали сердечника P_0 , величину тока холостого хода I_0 , коэффициент трансформации K , сопротивления намагничивающего контура схемы замещения трансформатора Z_0, R_0, X_0 .

Опыт короткого замыкания

Опыт проводим для одной фазы трансформатора Т. Схема проведения опыта приведена на рис. 5. Первичную обмотку А-Х подключаем к сети переменного тока через лабораторный автотрансформатор (РНО, ЛАТР, АВ).

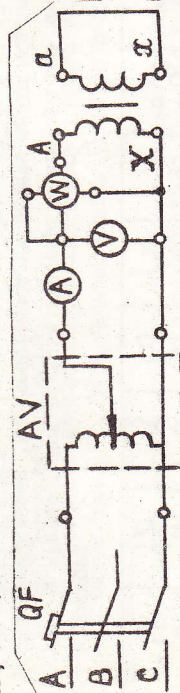


Рис. 5. Схема проведения опыта короткого замыкания

Используем однофазный ваттметр W . Вторичная обмотка $A-X$ пока разомкнута. С помощью маховика автотрансформатора устанавливаем скользкий контакт автотрансформатора в такое крайнее положение на обмотке, при котором напряжение на выходе автотрансформатора равно нулю. Фиксируем отсутствие напряжения по вольтметру V и отключаем схему от сети автоматическим выключателем QF . Теперь вторичную обмотку $A-X$ трансформатора T замыкаем коротко во всем достаточного сечения (с пренебрежением электрической нагрузки считается равным нулю). Подаем напряжение к схеме из сети (включением QF) и поворотом маховика начинаем увеличивать выходное напряжение до тех пор, пока ток в первичной обмотке станет равным номинальному фазному $I_k \approx I_{1 \text{ ном}}$ (по паспортным данным). За ростом напряжения следим по шкале вольтметра V , а величину первичного тока контролируем по шкале амперметра A . Это пониженное напряжение, подведенное к первичной обмотке трансформатора $A-X$, когда вторичная $A-X$ замкнута коротко, а токи в обеих обмотках трансформатора T соответствуют номинальным значениям $I_{1 \text{ ном}}$, $I_{2 \text{ ном}}$, называется напряжением короткого замыкания U_k . Результаты измерений и расчетов заносим в табл. 3.

Таблица 3

U_k, V	I_k, A	$P_k, Вт$	$\cos \varphi_k$	$Z_k, Ом$	$R_k, Ом$	$X_k, Ом$	$U_k, %$
4,2	46	175					

По результатам опыта можно определить потери в меди обеих обмоток трансформатора (в проводниках обмоток), напряжение короткого замыкания в процентах от первичного номинального, параметры схемы замещения трансформатора ($Z_k, R_k, X_k, X'_1, X'_2, R_1, R_2, X_2$, R_2). Параметры схемы замещения трансформатора, необходимые для расчета любых его режимов в условиях эксплуатации, сводим в табл. 4.

Таблица 4

$Z_0, Ом$	$R_0, Ом$	$X_0, Ом$	$R_1, Ом$	$X_1, Ом$	$R_2, Ом$	$X_2, Ом$	$R'_1, Ом$	$X'_1, Ом$	$R'_2, Ом$	$X'_2, Ом$

Обработка результатов исследований

1. В табл. 1 активную мощность трехфазной нагрузки определим из выражения: $P_2 = 3 \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$. Так как лампы накаливания представляют собой чисто активную нагрузку, то принимаем $\cos \varphi_2 = 1$. КПД трансформатора при изменении его нагрузки находим из выражения:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (2)$$

2. В табл. 2 определяем коэффициент мощности из выражения: $\cos \varphi_0 \approx P_0 / (U_{1 \text{ ном}} \cdot I_0)$. Параметры намагничивающего контура: $Z_0 = U_{1 \text{ ном}} / I_0$, $R_0 = P_0 / I_0^2$, $X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$. Для определения коэффициента трансформации по (1) подключаем ко второй обмотке переносной вольтметр V_2 .

3. В табл. 3 определяем: $\cos \varphi_k = P_k / (U_k \cdot I_{1 \text{ ном}})$,

$$Z_k = U_k / I_k, R_k = P_k / I_{1 \text{ ном}}^2, X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2},$$

$$U_k = (U_k / U_{1 \text{ ном}}) \cdot 100\%$$

4. В табл. 4 определяем: $R_k = R_1 + R'_2, R_1 \approx R'_2,$

$$X_k = X_1 + X'_2, X_1 \approx X'_2, R'_2 = K^2 \cdot R_2, X'_2 = K^2 \cdot X_2$$

Содержание отчета

1. Номер и наименование лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Программа исследований.
4. Основные паспортные данные оборудования и приборов.
5. Схемы (рис. 1...5) и таблицы (табл. 1...4) с результатами проведенных исследований.
6. Формулы, необходимые при обработке опытных данных.
7. Графики зависимостей: $U_2 = f(I_2), I_1 = f(I_2), \cos \varphi_1 = f(I_2), \eta = f(I_2)$.

8. Краткие выводы по результатам проведенных исследований и расчетов (отчет по лабораторной работе должен соответствовать БСЖД).

Контрольные вопросы

1. Каковы назначение, устройство и принцип действия однофазного силового трансформатора?
2. Каково условное графическое обозначение трансформаторов на электрических схемах?
3. В чем отличие повышающего и понижающего трансформаторов, одинаковых по мощности и напряжениям?
4. Как получить два вторичных напряжения разной величины при одном первичном?
5. Какую зависимость называют внешней характеристикой трансформатора?
6. Как опытным путем определить величины потерь мощности в меди и стали трансформатора?
7. Как опытным путем определить параметры T-образной схемы замещения трансформатора?
8. Каким образом регулируют величину вторичного напряжения при неизменном первичном напряжении?
9. Какие параметры электрической энергии изменяются в трансформаторе?
10. Что называют напряжением короткого замыкания трансформатора?

11. Что характеризует группа трансформатора?

12. Когда возникает аварийный ток короткого замыкания в трансформаторе?

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель - изучение конструкции и принципа действия трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, ознакомление со способами пуска в ход, механическими и рабочими характеристиками.

Программа лабораторных исследований

1. Ознакомиться с конструкцией и паспортными данными исследуемого электродвигателя.
2. Произвести пуск электродвигателя в ход прямым включением обмотки статора в сеть, осуществить реверс ротора.
3. Произвести пуск электродвигателя по способу переключения обмотки статора со звезды на треугольник.
4. Снять механическую и рабочие характеристики электродвигателя при соединении фазных обмоток статора звездой.
5. Снять механические и рабочие характеристики электродвигателя при соединении фазных обмоток статора треугольником.

Общие указания

Перед выполнением данной работы необходимо самостоятельно ознакомиться по литературе /1...4/ и конспекту лекций с устройством и принципом действия асинхронной электрической машины с короткозамкнутым ротором, режимами её работы, с правилами техники безопасности при работе с электроустановками /5, 6/.

Трехфазный асинхронный электродвигатель - электромеханический преобразователь энергии, преобразует электрическую энергию в механическую, передаваемую на вал для привода различных механизмов. Имеет неподвижную часть - статор и вращающуюся часть - ротор. Статор состоит из станины (корпуса) и цилиндрического полога сердечника (магнитопровода внутри станины), собранного из изолированных снаружи листов электротехнической стали. На внутренней поверхности сердечника в продольных пазах (вдоль оси машины) размещены три фазных обмотки. Начала фазных обмоток статора обозначают - С1, С2, С3, а концы этих обмоток - С4, С5, С6. Начала и концы фазных обмоток статора выведены на шток с захимами. Фазные обмотки статора соединяют между собой по схеме звезда **У** или треугольник **Δ** и подключают к электрической сети трехфазного переменного тока. Ротор - цилиндрический сердечник, собранный из изолированных снаружи листов электротехнической стали и закрепленный на валу электродвигателя. Вал размещен в подшипниковых штахтах корпуса. На внешней поверхности сердечника (магнитопровода) ротора в продольных пазах размещены проводники обмотки ротора, которые по торцам соединены короткозамыкающими проволочными кольцами, образуя короткозамкнутую обмотку ротора.

Трехфазный переменный ток, обтекающая фазные обмотки статора, подключенные к питающей сети, создает в магнитопроводе электродвигателя вращающееся магнитное поле статора. Частота вращения этого поля (об/мин):

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad (3)$$

где f_1 - частота изменения переменного тока в обмотке статора, Гц;
 p - число пар полюсов на статоре электродвигателя.

Вращающееся магнитное поле статора пересекает проводники обмотки ротора и индуцирует в них переменную ЭДС E_2 , в проводниках обмотки статора то же поле индуцирует свою ЭДС E_1 . Так как проводники обмотки ротора замкнуты накоротко короткозамыкающими кольцами, то в них возникает переменный ток I_2 . В результате взаимодействия вращающегося магнитного поля статора Φ_m с током в обмотке ротора I_2 на валу электродвигателя возникает вращающий электромагнитный момент (Н·м):

$$M_{эм} = C_m \cdot \Phi_m \cdot I_2 \cdot \cos \psi_2 \quad (4)$$

где C_m - постоянная (для данного электродвигателя) момента;

Φ_m - максимальный магнитный поток на полюсном делении;

I_2 - действующее значение тока в обмотке ротора;

ψ_2 - угол сдвига по фазе между вектором ЭДС ротора и вектором

тока ротора. Если вращающий момент превышает момент

сопротивления механизма на валу электродвигателя

($M_{эм} > M_c$), то ротор приходит во вращение с частотой

$n_2 = n_1 \cdot (1 - S)$, где S - скольжение. Скольжение

характеризует разницу в частотах вращения магнитного поля статора и самого ротора:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (5)$$

Каждый электродвигатель имеет таблицку, закрепленную на корпусе, в которой указаны его паспортные данные (мощность на валу, напряжение, ток, частоты вращения ротора и другие).

Ознакомление с конструкцией и паспортными данными электродвигателя

Для проведения исследований используем асинхронный электродви-

гатель с короткозамкнутым ротором. Если на лабораторном стенде установлен асинхронный электродвигатель с фазным ротором, то начала фазных обмоток ротора (P_1, P_2, P_3), выведенные из ротора через контактные кольца и графитные щетки на пульт управления стендом, необходимо (закоротить) соединить между собой короткими изолированными снаружи проводами (стенды 3, 4, 7 и 8). В качестве механической нагрузки для электродвигателя на большинстве стендов (стенды 1...4, 7 и 8) использован электромагнитный тормоз (ЭМТ), который имитирует момент сопротивления производственного механизма на валу следующего электродвигателя. ЭМТ состоит из многополюсного электромагнитного и стального круглого диска, жестко связанного через муфту с валом исследуемого электродвигателя и вращающегося между полюсами электромагнита. При взаимодействии магнитного потока полюсов с током в диске возникает тормозящий электромагнитный момент, который воспринимается на валу электродвигателя как момент сопротивления M_c механической нагрузки. Стрелка ЭМТ со шкалой показывает величину этого M_c в кг·м. Обмотка возбуждения электромагнита подключена через выпрямитель и лабораторный автотрансформатор T к сети переменного тока. Плавно регулируя величину постоянного тока в обмотке возбуждения электромагнита, можно плавно изменять величину M_c на валу электродвигателя.

На некоторых лабораторных стендах (стенды 5 и 6) в качестве механической нагрузки к асинхронному электродвигателю использован синхронный генератор, ротор которого приводится в движение асинхронным электродвигателем, а в качестве трехфазной электрической нагрузки для синхронного генератора служит трехфазный ламповый реостат. Увеличивая электрическую нагрузку генератора (число ламп накаливания в каждой фазе), увеличиваем механическую нагрузку M_c асинхронного электродвигателя.

Пуск электродвигателя в ход

Электродвигатель с короткозамкнутым ротором обычно запускают в ход прямым включением обмотки статора в питающую сеть. При этом пусковой ток превышает номинальный в 4-7 раз ($I_n / I_{ном} = 4-7$). Принципиальная схема для проведения испытаний электродвигателя с ЭМТ в качестве механической нагрузки приведена на рис. 6.

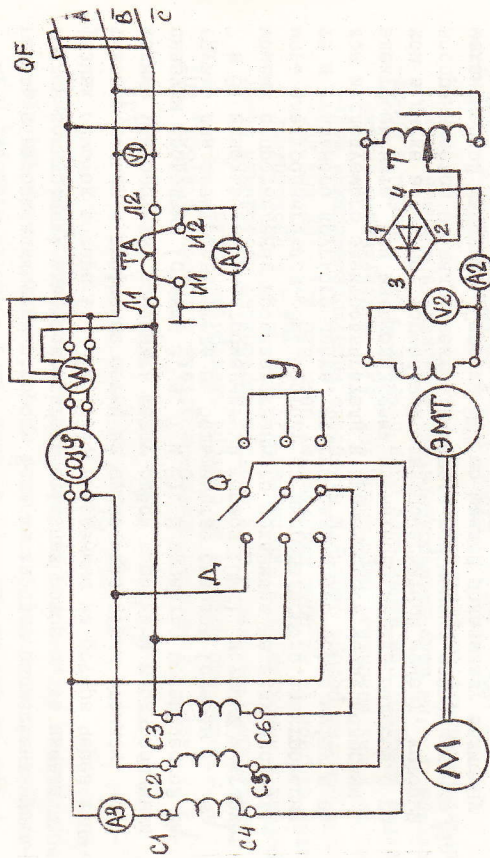


Рис. 6. Схема для исследования асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

Производим пуск электродвигателя в ход прямым включением в сеть при $M_c = 0$. Для этого устанавливаем переключатель Q в положение Y (фазные обмотки статора включены по схеме Y), подвижный контакт автотрансформатора T - в крайнее верхнее положение с помощью маховика (показания V_2 и A_2 равны нулю, $M_c = 0$), включаем автоматический выключатель QF . Фиксируем максимальную величину пускового тока по амперметру A_1 . Устанавливаем линейный ток I_n измерим тем же прибором A_1 . Результаты измерений заносим в табл. 5. Чтобы шкала прибора A_1 была достаточна для измерения пускового тока, его необходимо включить в линейный провод измерительный через трансформатор тока (ТА) при $K = I_2/I_1 < 1$.

Установившийся ток измеряем при $K = 1$ или без ТА. Обороты ротора контролируем по цифровому тахометру η , датчик оборотов установлен на конце вала электродвигателя и соединен с тахометром, тахометр вводится в рабочее положение (тумблером) выключателем.

Производим реверс ротора, т.е. изменение направления вращения ротора. Для этого выключаем QF и меняем местами два провода, идущих после QF к обмотке статора от питающей сети. Необходимо визуально убедиться в изменении направления вращения ротора после включения QF по сравнению с предыдущим направлением вращения.

Для ограничения величины пускового тока и снижения колебаний напряжения питающей сети осуществляют пуск при пониженном напряжении, подводящем к обмотке статора. В электродвигателе, в котором соединение фазных обмоток статора по схеме D является нормальным, при пуске обмотки статора соединяют (переключателем Q) по схеме Y , разгоняют ротор до $n_{2 ном}$ (установившийся режим), а затем переключают фазные обмотки статора на схему D (переключателем Q). Это будет одна из разновидностей пуска при пониженном напряжении на фазной обмотке статора. Осуществляем пуск при схеме Y , а затем пуск при схеме D и результаты для сравнения заносим в табл. 5.

Таблица 5

Схема соединения фазных обмоток статора	I_n , А	$I_n/I_{ном}$	I_n , А	I_{ϕ} , А	$\frac{I_{\phi A}}{I_{\phi Y}}$	$\frac{I_{\phi D}}{I_{\phi Y}}$
Звезда Y						
Треугольник D						

Фазный ток измеряем прибором AB . Анализируем пуск при пониженном напряжении по изменению величины линейного (A_1) и фазного (A_3) токов обмотки статора.

Снятие механической и рабочих характеристик

Рабочие характеристики определяют эксплуатационные свойства электродвигателя при изменении механической нагрузки от холостого хода ($M_c = 0$) до номинальной ($M_c = M_{ном}$) и несколько выше ($M_c = 1,1 - 1,2 M_{ном}$). Строят их только для зоны практически устойчивой работы электродвигателя. Рабочими (электро-механическими) характеристиками называют графические зависимости частоты вращения ротора n_2 , скольжения S , момента на валу $M_{эм}$, линейного тока обмотки статора I_1 , коэффициента полезного действия (КПД) η , коэффициента мощности фазной обмотки статора $\cos \phi_1$, от полезной механической мощности на валу электродвигателя P_2 при $U_1 = const$ и $f_1 = const$. Электродвигатель нагружаем с помощью ЭМТ. Механическая характеристика представляет собой графическую зависимость $n_2 = f(M_{эм})$. Иногда её выражают в виде $M_{эм} = f(n_2)$ или $M_{эм} = f(S)$. Она характеризует пуско-регулирующие свойства электродвигателя.

Переключатель Q (рис. 5) ставим в положение $У$ и постепенно нагружаем электродвигатель с помощью ЭМТ. Проводим 5-6 измерений при изменении нагрузки от холостого хода ($I_2 = 0$) до номинального момента, но ограничивая ток I_2 в обмотке возбуждения ЭМТ до $I_2 = 5-7 A$. Результаты проведенных измерений и расчетов при соединении фазных обмоток статора по схеме $У$ заносим в табл. 6.

Таблица 6

Номер опыта	U_1, I_1, P_1		$\cos \varphi_1$		$I_2, U_2, M_{эм}, N_2$		P_2, S, B_m		η
	В	А	В	А	В	А	В	В	
1									
2									

По результатам исследований строим механические характеристики $N_2 = f(M_{эм})$ и $M_{эм} = f(S)$, а также рабочие характеристики $N_2 = f(P_2)$, $S = f(P_2)$, $M_{эм} = f(P_2)$, $I_1 = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$, $\cos \varphi_1 = f(P_2)$.

Переключатель Q переводим в положение $А$ и снимаем рабочие и механические характеристики при соединении фазных обмоток статора по схеме $А$. Механическую нагрузку создаем с помощью ЭМТ. Результаты измерений и расчетов заносим в табл. 7.

Таблица 7

Номер опыта	U_1, I_1, P_1		$\cos \varphi_1$		$I_2, U_2, M_{эм}, N_2$		P_2, S, B_m		η
	В	А	В	А	В	А	В		
1									
2									

В процессе исследований проводим 5-6 измерений от холостого хода до номинальной нагрузки, ограничивая величину тока I_2 . По результатам исследований строим такие же характеристики, как и при соединении фазных обмоток статора по схеме $У$. Сравниваем характеристики при обеих схемах соединения фазных обмоток статора ($У$ и $А$).

Обработка результатов исследований

1. В табл. 5 для определения линейного тока при пуске электродвигателя используем формулу (1) при заданном коэффициенте трансформации трансформатора тока (ТА) и известном вторичном токе (показание А1).
2. В табл. 6 величину $M_{эм}$ со шкалы ЭМТ переводим в Н.м, используя соотношение $1 \text{ кг} \cdot \text{м} = 9,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Частоту вращения ротора N_2 находим делением показания цифрового тахометра на два. За частоту вращения магнитного поля статора N_1 принимаем ближайшую большую синхронную частоту вращения по отношению к измеренной при холостом ходе частоте вращения ротора N_2 из шкалы синхронных частот, вычисленных по формуле (3) при стандартной $f_1 = 50 \text{ Гц}$ и $P = 1 \dots 6$. Полезную механическую мощность определяем по формуле

$$P_2 = \frac{M_{эм} \cdot N_2}{9,55} \quad (6)$$

КПД определяем в соответствии с выражением (2), скольжение вычисляем из выражения (5).

3. При использовании в качестве механической нагрузки трехфазного синхронного генератора, питаемого трехфазный ламповый реостат, электрическую мощность нагрузки находим из выражения:

$$P_{н2} = \sqrt{3} U_{лн2} \cdot I_{лн2} \cdot \cos \varphi_{н2} = \sqrt{3} U_{л1} I_{л1},$$

так как $\cos \varphi_{н2} = 1$.

Полезная механическая мощность на валу асинхронного электродвигателя:

$$P_2 = P_{н2} / \eta_2,$$

где КПД генератора $\eta_2 = 0,9$.

4. Для построения рабочих и механических характеристик при соединении фазных обмоток статора по схемам $У$ и $А$ используем данные табл. 6 и 7.

Содержание отчета

1. Номер и наименование лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Программа исследований.
4. Основные паспортные данные оборудования и приборов.

Св.Сво

12. В каких пределах изменяются N_2 и S в двигательном режиме работы асинхронного электродвигателя?

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Цель - изучение конструкции и принципа действия трехфазного асинхронного электродвигателя с фазным ротором, ознакомление со способами пуска в ход, рабочими характеристиками, естественными и искусственными механическими характеристиками.

Программа лабораторных исследований

1. Ознакомиться с конструкцией и паспортными данными исследуемого электродвигателя.
2. Произвести реостатный пуск электродвигателя в ход и изменить направление вращения ротора.
3. Снять естественную механическую и рабочие характеристики электродвигателя при соединении фазных обмоток статора по схеме Y .
4. Снять искусственную механическую и рабочие характеристики электродвигателя при соединении фазных обмоток статора по схеме U и введении добавочного сопротивления $R_{дб}$ в каждую фазу обмотки ротора.

Общие указания

Перед выполнением данной работы необходимо самостоятельно ознакомиться по литературе /Г...4/ и конспекту лекций с устройством и принципом действия асинхронной электрической машины с фазным ротором (с контактными кольцами), режимами её работы, правилами техники безопасности при работе с электроустановками /5, 6/.

Трехфазный асинхронный электродвигатель с фазным ротором преобразует электрическую энергию, получаемую из трехфазной питающей сети переменного тока, в механическую энергию, передаваемую через вал производственному механизму. Имеет неподвижную часть - статор и вращающуюся - ротор. Статор устроен так же, как и у трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Начала фазных обмоток статора обозначают - С1, С2, С3. Концы фазных обмоток - С4, С5, С6. Начала и концы фазных обмоток статора выведены на шток с зажимами. Фазные обмотки статора соединяют между собой по

19

5. Схемы (рис. 6) и таблицы (табл. 5...7) с результатами проведенных исследований.

6. Формулы, необходимые при обработке опытных данных.

7. Графики зависимостей $N_2 = f(M_{эм}), M_{эм} = f(S),$

$$N_2 = f(P_2), S = f(P_2), M_{эм} = f(P_2), \eta = f(P_2), \cos \varphi = f(P_2)$$

для соединения фазных обмоток статора по схеме U .

8. Графики по п. 7 для соединения фазных обмоток статора по схеме A .

9. Краткие выводы по результатам проведенных исследований и расчетов (отчет по лабораторной работе должен соответствовать требованиям ЕСКД).

Контрольные вопросы

1. Каковы назначение, устройство и принцип действия асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором?
2. Каковы способы пуска в ход асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором?
3. Как определить частоту вращения магнитного поля статора, если известна номинальная частота вращения ротора?
4. Каким образом можно соединить фазные обмотки статора по схемам U и A в клеммной коробке выводов, где обозначены С1...С6?
5. Как практически осуществить реверс ротора асинхронного электродвигателя?
6. Каким образом можно уменьшить частоту вращения ротора асинхронного электродвигателя до полной остановки (затормозить ротор)?
7. Перечислите шкалу частот вращения магнитного поля статора и самого ротора при $f_1 = 50$ Гц, $P = 1...6, S = 2\%$.
8. Имеется ли внешняя изоляция проводников обмотки ротора от сердечника ротора в пазах?
9. Как изменится линейный ток обмотки статора, мощность и момент при переключении схемы соединения фазных обмоток статора с A на U ?
10. Если питающее напряжение уменьшить в $\sqrt{3}$ раз, то во сколько раз изменится начальный пусковой и критический момент асинхронного электродвигателя?
11. Можно ли вообще и как регулировать частоту вращения ротора асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором?

18

схеме $У$ или $А$ и подключают к электрической сети трехфазного переменного тока. Ротор — цилиндрический сердечник, собранный из изолированных снаружи листов электротехнической стали и закрепленный на валу электродвигателя. Вал размещен в подшипниковых штахтах корпуса. На внешней поверхности сердечника ротора в продольных пазах размещены три фазные обмотки ротора. Начала фазных обмоток ротора обозначают — P_1, P_2, P_3 . Концы фазных обмоток ротора — P_4, P_5, P_6 . Фазные обмотки ротора обычно соединяют по схеме $У$: концы P_4, P_5, P_6 соединяют в одну общую нейтральную точку, начала — P_1, P_2, P_3 соединяют с тремя контактными кольцами, изолированными друг от друга и от вала электродвигателя и насаженными на вал. При помощи неподвижных графитных щеток, скользящих по поверхности контактных колец, в цепь фазных обмоток ротора включается трехфазный пускорегулирующий реостат $R_{\rho\delta}$, расположенный вне электродвигателя.

В асинхронном электродвигателе с фазным ротором, как и в асинхронном электродвигателе с короткозамкнутым ротором, для возникновения тока I_2 в фазных обмотках ротора необходимо замкнуть начала фазных обмоток ротора на трехфазное регулируемое сопротивление ($RR1...RR3$, трехфазный реостат из трех $R_{\rho\delta}$, соединенных по схеме $У$). Если $R_{\rho\delta}$ в цепи фазных обмоток ротора уменьшить до нуля, то фазные обмотки ротора становятся короткозамкнутыми. Поэтому принцип действия электродвигателей с фазным и короткозамкнутым ротором одинаков. Наличие добавочных сопротивлений в цепи фазных обмоток ротора позволяет регулировать величину пускового тока, начального пускового момента, частоты вращения ротора.

Ознакомление с конструкцией и паспортными данными электродвигателя

Для проведения исследований используем асинхронный электродвигатель с фазным ротором (с контактными кольцами). На лабораторных стендах № 3, 4, 5, 6, 7 и 8 установлены именно такие электродвигатели. На пульте управления лабораторным стендом выведены клеммные зажимы фазных обмоток статора ($C1...C6$) и начала фазных обмоток ротора ($P1...P3$). Фазные обмотки ротора соединяем между собой по схеме $У$, а выводы фазных обмоток ротора подключаем к трем реостатам ($RR1...RR3$) с номинальным сопротивлением 100-150 Ом каждый. В качестве механической нагрузки для этих электродвигателей использован ЭМТ, описание действия которого приведено в лабораторной работе 2. ЭМТ позволяет плавно изменять момент сопротивления нагрузки

ки M_c и измерять его величину по шкале. Обороты ротора контролируем по цифровому тахометру.

Реостатный пуск электродвигателя в ход и реверс ротора

Каждому значению $R_{\rho\delta}$ соответствует своя механическая характеристика $M_{эм} = f(S)$ и свой начальный пусковой момент (при $S = 1$). Чем больше кривых $M_{эм} = f(S)$, тем планее может быть осуществлен пуск электродвигателя в ход. Переходом с одной механической характеристики на другую (при другом значении $R_{\rho\delta}$) осуществляется регулирование частоты вращения ротора. При каждом $R_{\rho\delta}$ получаются свои рабочие характеристики.

Собираем схему, приведенную на рис. 7, и производим реостатный пуск и реверс ротора. Вводим полностью добавочные сопротивления $RR1...RR3$ (уменьшаем пусковой ток и увеличиваем начальный пусковой момент). Пуск проводим при $M_c = 0$ (показания $V2$ и $A2$ равны нулю). Включаем QF и наблюдаем по приборам (тахометр, $A1$) за процессом разгона ротора. По мере разгона ротора плавно уменьшаем все три сопротивления пусковых реостатов (одновременно). Когда частота вращения ротора достигает $n_2 ном$, реостаты выводим полностью, фазные обмотки ротора замыкаются при этом накоротко, электродвигатель переходит на работу по естественной механической характеристике ($R_{\rho\delta} = 0$). Для остановки ротора выключаем QF и вводим $R_{\rho\delta}$ полностью для очередного пуска.

Для изменения направления вращения ротора выключаем QF и меняем местами провода A и C , идущие после QF к обмотке статора. Производим реостатный пуск, визуальное убеждаемся в том, что произошел реверс ротора.

Снятие естественной механической и рабочих характеристик

Принципиальная схема испытаний приведена на рис. 7. После проведения реостатного пуска электродвигателя в ход и разгона ротора до номинальной частоты $n_2 ном$ полностью выводим $RR1...RR3$. Механическая характеристика $n_2 = f(M_{эм})$, снятая при $R_{\rho\delta} = 0$, называется естественной. В качестве механической нагрузки электродвигателя применяем ЭМТ. В процессе

Снятие искусственной механической и рабочих характеристик

Естественная механическая характеристика у асинхронного электродвигателя с фазным ротором всего одна (при $R_{г\delta} = 0$), а искусственных несколько. После проведения реостатного пуска (по схеме на рис. 7) плавно вводим добавочные сопротивления $RR1 \dots RR3$ на 1/3 длины реостата (сопротивления реостата). При таком сопротивлении снимаем искусственную механическую характеристику. Проводим 5-6 измерений от холостого хода до номинальной нагрузки, ограничивая величину тока в обмотке возбуждения ЭМТ, который используем в качестве регулируемой механической нагрузки на валу исследуемого электродвигателя. Результаты измерений и расчетов заносим в табл. 9.

Таблица 9

Номер опыта	U_1	I_1	P_1	$\cos \varphi_1$	I_2	U_2	$M_{эм}$	n_2	S	P_2	η
	В	А	Вт		А	В	Н·м	об/мин		Вт	
1											
2											

По результатам исследований строим следующие характеристики:

$$M_{эм} = f(S), n_2 = f(M_{эм}), n_2 = f(P_2), S = f(P_2),$$

$$M_{эм} = f(P_2), I_1 = f(P_2), \eta = f(P_2), \cos \varphi_1 = f(P_2).$$

Обработка результатов исследований

1. В табл. 8 используем формулы (2), (5) и (6). Частоту вращения ротора n_2 находим делением показания цифрового тахометра на два.

2. Для построения естественных и искусственных механических и рабочих характеристик исследуемого электродвигателя используем данные табл. 8 и 9.

Содержание отчета

1. Номер и наименование лабораторной работы.

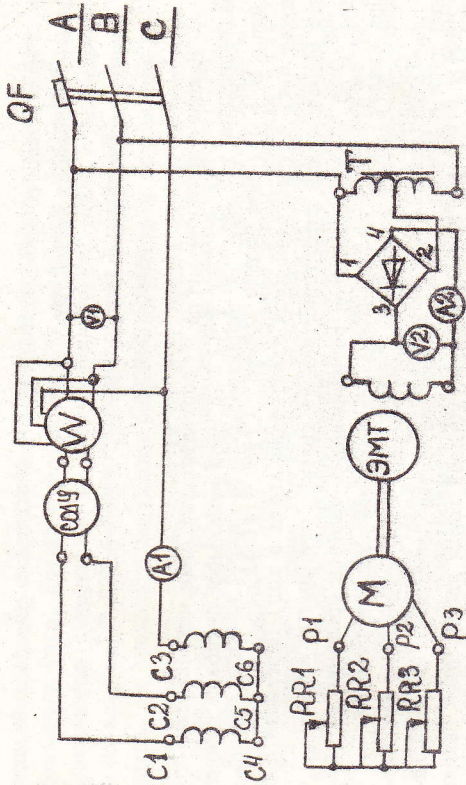


Рис. 7. Схема для исследований асинхронного электродвигателя с фазным ротором

исследований проводим 5-6 измерений при изменении нагрузки от холостого хода ($I_2 = 0$) до номинального момента ($M_c = M_{ном}$), ограничивая ток в обмотке возбуждения ЭМТ до $I_2 = 5 - 7$ А. Результаты измерений и расчетов заносим в табл. 8.

Таблица 8

Номер опыта	U_1	I_1	P_1	$\cos \varphi_1$	I_2	U_2	$M_{эм}$	n_2	S	P_2	η
	В	А	Вт		А	В	Н·м	об/мин		Вт	
1											
2											

По результатам исследований строим естественные механические характеристики: $M_{эм} = f(S)$ и $n_2 = f(M_{эм})$ и рабочие характеристики: $n_2 = f(P_2)$, $S = f(P_2)$, $M_{эм} = f(P_2)$, $I_1 = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$, $\cos \varphi_1 = f(P_2)$.

2. Цель работы.
3. Программа исследований.
4. Основные паспортные данные оборудования и приборов.
5. Схемы (рис. 7) и таблицы (табл. 8 и 9) с результатами проведенных исследований.
6. Формулы, необходимые при обработке опытных данных.
7. Графики зависимости $M_{эм} = f(S)$, $n_2 = f(M_{эм})$,

$$n_2 = f(P_2), S = f(P_2), I_1 = f(P_2), \eta = f(P_2), \cos \varphi_1 = f(P_2),$$

снятые при $R_{гб} = 0$.

8. Графики по п. 7, снятые при $R_{гб} \neq 0$.
9. Краткие выводы по результатам проведенных исследований и расчетов (отчет по лабораторной работе должен соответствовать требованиям ЕСКД).

Контрольные вопросы

1. Каковы назначение, устройство и принцип действия асинхронного электродвигателя с фазным ротором?
2. Каковы способы пуска в ход асинхронного электродвигателя с фазным ротором?
3. Каковы способы торможения асинхронного электродвигателя с фазным ротором?
4. Как выглядит естественная механическая характеристика и несколько искусственных?
5. Как можно регулировать частоту вращения ротора электродвигателя с фазным ротором при неизменном моменте сопротивления на валу?
6. Изменяется ли величина критического момента электродвигателя с изменением $R_{гб}$?
7. Как определить на естественной механической характеристике начальный пусковой момент, критический момент, номинальный момент, момент электродвигателя при $S = 0$?
8. Почему после разгона ротора по n_2 ном добавочные сопротивления в обмотке ротора не нужны?
9. Если ЭДС в фазе обмотки ротора при $S = 1$ равна $E_2 = 100$ В, то какова величина этой ЭДС при критическом скольжении, номинальной нагрузке, холостом ходе и в режиме противовключения?
10. Если $f_1 = 50$ Гц, то какова частота изменения тока в обмотке

ротора в момент пуска электродвигателя, при критическом скольжении, номинальной нагрузке, холостом ходе и в режиме противовключения?

11. Как происходит пуск электродвигателя с фазным ротором по искусственным механическим характеристикам, если заданы пределы изменения момента двигателя в процессе пуска от $1,1 M_{ном}$ до $M_{кр}$?

12. В каких случаях следует применить асинхронный электродвигатель с фазным ротором, а в каких с короткозамкнутым при одинаковой мощности механической нагрузки на валу?

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цель - изучение конструкции и принципа действия генератора постоянного тока; ознакомление с основными характеристиками генераторов и их анализ.

Основные теоретические положения

Генератор постоянного тока состоит из неподвижной части - статора и вращаемой части - якоря.

Статор - полый стальной цилиндр, на внутренней поверхности которого укреплено четное число выступающих главных полюсов, собранных из тонких изолированных друг от друга листов электротехнической стали с обмотками возбуждения постоянного тока, которые соединены так, чтобы полярность полюсов чередовалась. Если обмотки возбуждения питаются от постороннего источника электрической энергии, генератор называют генератором с независимым возбуждением. В тех случаях, когда эти обмотки получают питание от этого же генератора, он называется генератором с самовозбуждением.

Якорь - цилиндр на валу машины из пакетов тонких (0,35 или 0,5 мм), изолированных друг от друга листов электротехнической стали с пазами на наружной поверхности, заполненными обмоткой. Обмотка образует замкнутую цепь и присоединена к коллекторным пластинам, на которые наладывается система щеток. Щетки создают скользящий контакт между обмоткой якоря и внешней цепью с нагрузкой.

Обмотки возбуждения главных полюсов генераторов с самовозбуждением могут соединяться с цепью якоря параллельно или последовательно. Выводы параллельных обмоток с большим числом витков и значительным сопротивлением обозначают Ш1 и Ш2, а выводы последовательных

ввиду того, что ток возбуждения составляет незначительную часть от номинального тока нагрузки ($I_B = (0,02-0,05) I_{ном}$), можно считать, что генератор работает без нагрузки.

При вращении якоря генератора постоянного тока самовозбуждения может не наступить из-за отсутствия остаточной намагниченности главных полюсов, обрыва цепи возбуждения, неправильного присоединения обмотки возбуждения, повышенного сопротивления цепи возбуждения, а также вследствие недостаточной частоты вращения якоря.

Присоединение к генератору нагрузки вызывает в цепи якоря ток I_a , который возбуждает соответствующее магнитное поле якоря. Последнее воздействует на магнитное поле главных полюсов и вызывает ослабление результирующего магнитного потока Φ , вследствие чего ЭДС генератора уменьшается, что снижает напряжение.

Возрастание нагрузки сопровождается увеличением тока якоря I_a и падением напряжения в цепи якоря

$$\Delta U_a = I_a \cdot R_a,$$

что является второй причиной снижения напряжения генератора:

$$U = E_a - I_a \cdot R_a.$$

В генераторе параллельного возбуждения уменьшение напряжения в свою очередь вызывает снижение тока возбуждения

$$I_B = \frac{U}{R_B + R_{p.B}},$$

где R_B - сопротивление параллельной обмотки возбуждения;

$R_{p.B}$ - сопротивление регулировочного реостата, соединенного последовательно с обмоткой возбуждения.

Снижение тока возбуждения приводит к уменьшению магнитного потока Φ , что является причиной снижения напряжения.

Зависимость напряжения U генератора, работающего на переменную нагрузку от тока I_a приемников при неизменном сопротивлении цепи возбуждения $R_B + R_{p.B} = const$ и постоянной частоте вращения якоря $n = const$, представляется графиком $U = f(I)$ и называется внешней характеристикой генератора.

По внешней характеристике судят о процентном изменении напряжения генератора $\Delta U_{ном}$ при переходе от номинальной нагрузки к режиму холостого хода

$$\Delta U_{ном} = \frac{U_x - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\%,$$

где U_x и $U_{ном}$ - напряжения соответственно при холостом ходе и номинальное.

обмоток с малым числом витков и незначительным сопротивлением - С1 и С2. В зависимости от способа подключения обмотки возбуждения различают генераторы параллельного или последовательного возбуждения. При наличии обеих обмоток машина называется генератором смешанного возбуждения.

Для компенсации поперечной реакции якоря и улучшения угловой коммутации в машинах постоянного тока между главными полюсами размещены добавочные полюсы. Обмотки добавочных полюсов имеют небольшое число витков, малое сопротивление и соединяются последовательно с цепью якоря так, чтобы возбужденное или магнитное поле было встречно по отношению к магнитному полю якоря.

При подаче постоянного тока в обмотку возбуждения главных полюсов возникает основной магнитный поток, который замыкается по сердечникам главных полюсов, через воздушный зазор и сердечник якоря, по статору. Этот магнитный поток неподвижен в пространстве, а его величина зависит от величины постоянного тока в обмотке возбуждения.

При вращении якоря в магнитном поле в обмотке якоря индуцируется переменная ЭДС, которая при помощи коллектора и щеток преобразуется в ЭДС постоянного направления:

$$E_a = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a} \cdot n \cdot \Phi, \quad (7)$$

где p - число пар полюсов машины;

n - частота вращения якоря;

N - число активных проводников якоря;

a - число параллельных ветвей обмотки якоря;

Φ - магнитный поток одного главного полюса.

Если обозначить постоянные для данной машины величины через $C_e = p \cdot N / 60 a$, то формулу можно записать так:

$$E_a = C_e \cdot n \cdot \Phi.$$

Из формулы следует, что величина ЭДС, наводимой в обмотке якоря, вращаемого с постоянной частотой, зависит только от значения магнитного потока главных полюсов или от возбуждающего его тока I_B .

Зависимость $E_a = f(I_B)$, снятая при отсутствии тока в цепи якоря и постоянной его частоте вращения, называется характеристикой холостого хода. При самовозбуждении генератора с параллельным возбуждением, строго говоря, генератор работает не вхолостую, одна-

Стабилизация напряжения генератора при переменной нагрузке достигается принудительным изменением тока возбуждения. Зависимость $I_B = f(I)$, показывающая изменение тока возбуждения I_B в связи с изменением тока нагрузки для поддержания неизменного напряжения U на зажимах генератора при постоянной частоте вращения якоря n , называется регулировочной характеристикой генератора.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает в себя следующие элементы:

- генератор постоянного тока;
- ламповый реостат;
- регулируемый реостат $RR1$ сопротивлением 3000 Ом;
- реостат $RR2$ сопротивлением 100 Ом;
- амперметр $PA1$ с пределом измерения 0,5 или 1 А;
- амперметр $PA2$ с пределом измерения 5 А или 10 А;
- амперметр $PA3$ с пределом измерения 20 А;
- амперметр $PA4$ с пределом измерения 5 А;
- вольтметр $PV1$ с пределом измерения 250;
- вольтметр $PV2$ с пределом измерения 250;
- приводной двигатель.

На различных степенях возможны два варианта приводных двигателей: синхронная или асинхронная машины. Неизменяемую скорость ($n = const$) обеспечивает синхронный двигатель, поэтому такой вариант приводного двигателя будем рассматривать как основной и все рабочие схемы будут включать синхронную машину.

Асинхронная машина имеет жесткую механическую характеристику (скорость под нагрузкой изменяется незначительно) и может использоваться в качестве альтернативного варианта приводного двигателя. Схема включения асинхронного двигателя приведена на рис. 8.

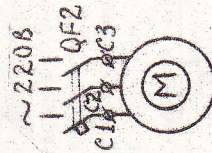


Рис. 8. Схема включения асинхронного двигателя в сеть

Порядок выполнения эксперимента

- I. Генератор с независимым возбуждением.
- I.1. Собрать схему, приведенную на рис. 9.

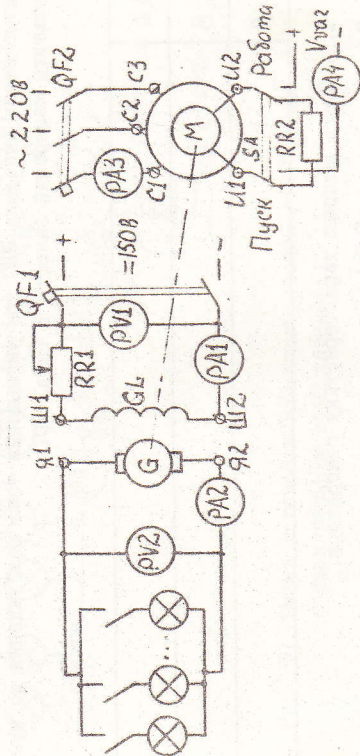


Рис. 9. Схема установки для исследования генератора с независимым возбуждением

- I.2. Пустить приводной двигатель.

Пуск синхронного двигателя проводить в следующем порядке:

- а) обмотку возбуждения ротора с помощью переключателя замкнуть на разрядное сопротивление $RR2$;
- б) ручку регулятора $V_{изз}$ установить в крайнее левое положение;
- в) включить автоматический выключатель $QF2$;
- г) по достижении ротором скорости, близкой к синхронной, переключателем S подключить обмотку возбуждения ротора к $V_{изз}$;
- д) плавно поворачивая регулятор $V_{изз}$, установить в обмотке возбуждения ток 3,5 А ($PA4$);
- е) после окончания пуска ток возбуждения отрегулировать так, чтобы ток в обмотке двигателя был минимальным ($PA3$).

- I.3. Снять характеристику холостого хода.

Первое измерение провести при выключенном ламповом реостате и выключенном $QF1$.

Реостат $RR1$ ввести полностью.

Включить $QF1$ и, уменьшая сопротивление $RR1$, снимать по-

казания приборов $PA1$ и $PV2$. Во избежание влияния гистерезиса ползунок реостата следует передвигать плавно, не спеша, и только в одном направлении. После достижения ЭДС максимального значения (при выведенном $RR1$) по тем же значениям тока возбуждения аналогично снять значения ЭДС при уменьшении тока возбуждения до нуля. Результаты измерений занести в табл. 10.

Таблица 10

$I_{\theta, A}$	
$E_{\theta, B}$	
$E_{\theta, B}$	

1.4. Снять внешнюю характеристику генератора.

Вывести реостат $RR1$.

Нагрузкой генератор ламповым реостатом (подключая лампочки), снимать показания приборов $PV2$ и $PA2$. Результаты измерений записать в табл. 11.

Таблица 11

U, B	
$I_{\theta, A}$	

2. Генератор с параллельным возбуждением

2.1. Собрать схему, приведенную на рис. 10.

2.2. Пустить приводной двигатель как в п. 1.2.

Если генератор не самовозбудился, обеспечить его самовозбуждение. Для этого прежде всего проверить целостность цепи самовозбуждения и вывести реостат $RR1$. Если самовозбуждение не произошло, вероятнее всего, неправильно подсоединена к якорю обмотка возбуждения (поток остаточного намагничивания и поток, создаваемый обмоткой возбуждения, направлены встречно и магнитная цепь машины размагнитилась). Для обеспечения самовозбуждения выключить привод-

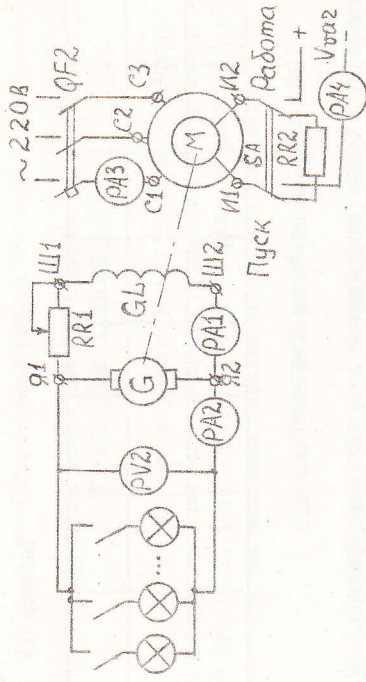


Рис. 10. Схема установки для исследования генератора с параллельным возбуждением

ной двигатель и, после его остановки, кратковременно подключить обмотку возбуждения генератора к источнику постоянного тока, соблюдая порядок подключения зажимов Ш1 и Ш2 (как на рис. 9). Таким образом, создается поток остаточного намагничивания. Поменять порядок подключения обмотки возбуждения к цепи якоря и пустить приводной двигатель.

2.3. Снять характеристику холостого хода как в п. 1.3. Первое измерение провести при полностью введенном реостате $RR1$. Выключатель $QF1$ в схеме отсутствует. Результаты измерений записать в табл. 12.

Таблица 12

$I_{\theta, A}$									
$E_{\theta, B}$									
$E_{\theta, B}$									

2.4. Снять внешнюю характеристику генератора как в п. 1.4. Дополнительно измерять ток возбуждения. Результаты записать в табл. 13.

Таблица 13

U, B							
I_a, A							
I_b, A							

Обработка результатов измерений

1. Вычертить в одной координатной системе характеристики холостого хода генератора с независимым и параллельным возбуждением (табл. 10, 12).
2. Вычертить в одной системе координат внешние характеристики генераторов (табл. 11, 13).
3. Сравнить полученные характеристики и сделать выводы по полученным результатам.

Контрольные вопросы

1. Как устроен генератор постоянного тока и каков принцип его действия?
2. Каково назначение главных и добавочных полюсов, якоря и коллектора в машинах постоянного тока?
3. Начертите принципиальные схемы генераторов с различными способами питания обмотки возбуждения.
4. Каковы условия самовозбуждения генератора и как оно происходит?
5. От чего зависит величина ЭДС генератора постоянного тока?
6. Каким образом можно изменить полярность напряжения на зажимах генератора?
7. Какие причины вызывают снижение напряжения генератора при увеличении нагрузки?
8. В чем сущность явления реакции якоря и как с ним борются?
9. Почему при одном и том же якорном напряжении между шетками генератора с параллельным возбуждением будет ниже, чем при независимом возбуждении генератора?
10. Какие сведения входят в паспортные данные генератора постоянного тока?

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цель — ознакомиться с устройством и принципом действия двигателя постоянного тока параллельного возбуждения; научиться производить его пуск, реверсирование и регулирование скорости; освоить методы получения основных характеристик и их анализа.

Основные теоретические положения

Электродвигатели постоянного тока в конструктивном отношении не отличаются от генераторов постоянного тока, так как электрические машины постоянного тока обратимы и могут работать как в генераторном, так и в двигательном режиме.

При подаче постоянного напряжения к зажимам электрической машины постоянного тока в обмотках возбуждения и якоря возникает ток. В результате взаимодействия тока якоря с магнитным потоком, создаваемым обмоткой возбуждения в магнитопроводе статора, возникает электромагнитный момент электродвигателя, под действием которого якорь приходит во вращение. При этом электромагнитный момент, развиваемый двигателем,

$$M_{эм} = C_m \cdot I_a \cdot \Phi,$$

где $C_m = P \cdot n / 2\pi \cdot a$ — конструктивный коэффициент;
 I_a — магнитный поток одного главного полюса;
 P — ток якоря;
 n — число пар главных полюсов;
 a — число активных проводников якоря;
 a — число параллельных ветвей обмотки якоря.

При вращении якоря в его обмотке в результате пересечения магнитных силовых линий наводится ЭДС, которая при работе машины в режиме двигателя направлена против тока якоря и, также как и при работе машины в режиме генератора, равна

$$E_a = C_e \cdot n \cdot \Phi,$$

где n — частота вращения якоря;
 C_e — конструктивный коэффициент.

Для изменения направления вращения электродвигателя постоянного тока необходимо изменить полярность напряжения, подводимого к якорю или к обмотке возбуждения. В зависимости от способа включения обмотки различают электродвигатели с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением. Принятая система возбуждения определяет свойства двигателя.

При пуске электродвигателей постоянного тока (независимо от способа возбуждения) путем прямого включения в питающую сеть возникают значительные пусковые токи, которые могут привести к выходу двигателя из строя. Для уменьшения пускового тока можно ввести в цепь якоря на период пуска реостата или пустить двигатель путем плавного повышения напряжения, подаваемого на обмотку якоря.

Для электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением в соответствии со вторым законом Кирхгофа для якорной цепи уравнение электрического равновесия имеет вид $E_A = U - I_A \cdot R_A$.

С учетом выражения для ЭДС ($E_A = C_e \cdot n \cdot \Phi$), записав полученную формулу относительно частоты вращения, получаем уравнение частотной (скоростной) характеристики электродвигателя $n = f(I_A)$:

$$n = \frac{U - I_A \cdot R_A}{C_e \cdot \Phi}$$

Из него следует, что в случае обрыва цепи обмотки возбуждения, когда ток возбуждения становится равным нулю, магнитный поток двигателя снижается до значения, равного значению остаточного магнитного потока. При этом двигатель "идет вразнос", развивая частоту вращения, намного больше номинальной, что представляет определенную опасность как для двигателя, так и для обслуживающего персонала.

Выражая в уравнении частотной характеристики ток якоря через электромагнитный момент двигателя $M_{эм} = C_m \cdot I_A \cdot \Phi$, получим уравнение механической характеристики, т.е. зависимости $n = f(M_{эм})$ при $U = const$:

$$n = \frac{U}{C_e \cdot \Phi} - \frac{R_A}{C_e \cdot C_m \cdot \Phi^2} \cdot M_{эм}$$

Важной характеристикой двигателя постоянного тока является механическая характеристика, т.е. зависимость электромагнитного момента от тока якоря двигателя $M_{эм} = f(I_A)$. Для двигателя с параллельным возбуждением эта зависимость определяется выражением

$$M_{эм} = C_m \cdot I_A \cdot \Phi$$

Рабочие характеристики двигателя постоянного тока представляются собой зависимости частоты вращения n , момента $M_{эм}$, тока якоря I_A и КПД η от полезной мощности на валу P_2 электродвигателя, т.е. $n = f(P_2)$, $M_{эм} = f(P_2)$, $I_A = f(P_2)$ и $\eta = f(P_2)$, при неизменном напряжении на его зажимах $U = const$.

Анализ выражения для частотной характеристики показывает, что частоту вращения электродвигателей постоянного тока можно регулировать несколькими способами: включением добавочного сопротивления в цепь якоря, изменением магнитного потока и изменением напряжения, подводимого к двигателю.

Преимущества первого способа заключаются в его относительной простоте и возможности получить плавное изменение частоты вращения в широких пределах (от нуля до номинального значения). К недостаткам следует отнести большие тепловые потери в добавочном сопротивлении, увеличивающиеся с уменьшением частоты вращения. Кроме того, этот способ не позволяет регулировать частоту вращения электродвигателя вверх от ее номинального значения.

Способ регулирования частоты вращения якоря изменением магнитного потока прост и экономичен, однако он позволяет регулировать частоту вращения только вверх от номинального ее значения, что является недостатком данного способа. К недостаткам этого способа следует отнести также относительно небольшой диапазон регулирования вследствие наличия ограничений по механической прочностности и коммутации электродвигателя.

При постоянных магнитном потоке и сопротивлении якорной цепи в результате изменения напряжения на якоре можно получить семейство частотных характеристик. Преимуществом данного способа регулирования является широкий диапазон изменения частоты вращения без увеличения потерь мощности. К недостаткам данного способа следует отнести то, что при этом необходим источник регулируемого питающего напряжения, а это приводит к увеличению массы, габаритов и стоимости установки.

Регулировочные свойства двигателя характеризуются кривыми $n = f(U)$ при $I_b = const$ и $n = f(I_b)$ при $U = const$,

которые снимаются при холостом ходе машины.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает в себя следующие элементы:

- двигатель постоянного тока M ;
- синхронный генератор SG ;
- реостат сопротивлением 250 Ом $RR1$;
- реостат сопротивлением 50 Ом $RR2$;
- ламповый реостат $RR3$;
- амперметр с пределом измерения 0,5 или 1 А $PA1$;
- амперметр с пределом измерения 5 или 10 А $PA2$;
- амперметр с пределом измерения 5 А $PA3$;
- вольтметр с пределом измерения 150 В $PV1$.

В качестве нагрузки на двигатель постоянного тока использовалась синхронная машина, работающая в режиме генератора, отдающая энергию ламповому реостату. На некоторых стендах применен альтернативный вариант нагрузки - электромагнитный тормоз.

Порядок проведения эксперимента

I. Собрать схему, приведенную на рис. II.

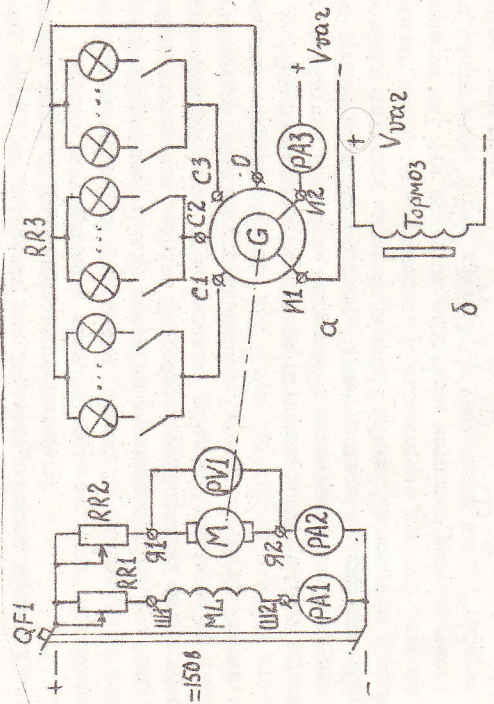


Рис. II. Схема установки для исследования двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением для двух вариантов нагрузки: а - нагрузка синхронным генератором; б - нагрузка электромагнитным тормозом

2. Осуществить пуск двигателя постоянного тока на холостом ходу.

Перед пуском вывести реостат $RR1$ и ввести полностью реостат $RR2$.

Включить $QF1$. Как только якорь придет во вращение, вывести пусковой реостат $RR2$ так, чтобы ток в цепи якоря не превышал при пуске номинальный ток машины более чем на 50-100 %.

3. Снять регулировочные характеристики двигателя $n = f(I_b)$, $n = f(U)$.

3.1. Ввести пусковой реостат $RR2$.

Плавное увеличение сопротивления реостата $RR1$, уменьшить ток возбуждения. Показания приборов записать в табл. I4. Не допускать превышения частоты вращения двигателя более чем на 20 % от номинального значения.

Таблица I4

I_b, A									
$n, \frac{об}{мин}$									

3.2. Ввести реостат $RR1$. Плавное увеличение сопротивления реостата $RR2$, изменить напряжение на якоре двигателя. Показания приборов записать в табл. I5.

Таблица I5

U, B									
$n, \frac{об}{мин}$									

4. Снять механические характеристики двигателя.

Ввести реостаты $RR1$ и $RR2$.

Подать на обмотку возбуждения синхронного генератора ток 3 А. Увеличивая нагрузку генератора (подключая лампочки лампового реостата), снимать показания приборов и записывать в табл. I6.

В случае применения электромагнитного тормоза нагрузка увеличивается плавным повышением от нуля тока через обмотку возбуждения тормоза. Не допускать превышения номинального тока якоря двигателя постоянного тока.

По указанию преподавателя снять 4-8 точек характеристики.
Таблица 16

Номер опыта	Измерено				Вычислено			
	$\frac{n_{об}}{мин}$	I_A	U	P_1	P_2	V_m	$M_{эм}$	M
1		A	V	$Вт$	$Вт$	$Мм$	$Нм$	
2								

Обработка результатов измерений

- По данным табл. 14 и 15 построить регулировочные характеристики: $n = f(I_B)$ и $n = f(U)$.
- В одних осях координат по данному табл. 16 построить механическую характеристику $n = f(M_{эм})$.

Для определения вращающего момента на валу двигателя использовать соотношения:

$$P_1 = U \cdot I_A; P_2 = P_1 / \eta; M_{эм} = 9,55 \frac{P_2}{n}$$

Здесь η - КПД двигателя, принять его постоянным и равным 0,8.

3. По данным табл. 16 в одних осях координат построить рабочие характеристики двигателя:

$$n = f(P_2), I_A = f(P_2), M_{эм} = f(P_2).$$

4. По данным табл. 16 построить моментную характеристику $M_{эм} = f(I_A)$.

5. Сделать выводы по полученным результатам.

Контрольные вопросы

- Объясните устройство и принцип действия двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.
- Каково назначение статора, якоря и коллектора в двигателях постоянного тока?
- Для чего нужен двигателю пусковой реостат и из каких соображений выбирают его сопротивление?
- Какие способы реверсирования двигателя?
- Как можно осуществить регулирование скорости двигателя постоянного тока?
- Докажите, пользуясь соответствующими зависимостями, что

изменение тормозного момента на валу двигателя влечет соответствующее изменение тока якоря.

- Чем объясняется уменьшение скорости двигателя при увеличении нагрузки?
- Какие влияние на работу электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением оказывает обрыв обмотки возбуждения?
- Какие сведения входят в паспортные данные двигателя?
- Назовите преимущества электродвигателей постоянного тока различных способов возбуждения.

Лабораторная работа 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Цель - ознакомиться с устройством трехфазного синхронного генератора, научиться снимать основные характеристики машины.

Основные теоретические положения

Синхронная машина в общем исполнении состоит из неподвижной части - статора, в пазах которого размещены трехфазная обмотка, и вращаемой части - ротора, где располагается обмотка возбуждения. Ротор выполняется или левополусным (с выступающими полюсами) или правополусным (цилиндрический ротор). Быстроходные машины выполняются с неявнополюсным ротором, тихоходные - с явнополюсным ротором. В синхронных генераторах обычного исполнения статор, в обмотке которого наводится ЭДС, называется якорем, а ротор - индуктором. В конструктивном отношении статор и обмотка статора синхронной машины не отличаются от статора и обмотки статора асинхронной машины. Индуктор выполняется с электромагнитами, обмотки которых питаются постоянным током через систему контактных колец и создают необходимое для работы машины вращающееся магнитное поле.

При вращении ротора магнитный поток электромагнитов пересекает проводники обмотки якоря (статора) и в соответствии с законом электромагнитной индукции наводит в них ЭДС

$$e = \nu \cdot e \cdot \nu,$$

где ν - радиальная составляющая магнитной индукции

в воздушном зазоре;

e - активная длина проводника;

ν - скорость движения проводника в магнитном поле.

Контрольные вопросы

1. Объясните устройство и принцип действия синхронного трехфазного двигателя.
2. Как допустить трехфазный синхронный двигатель?
3. Как происходит асинхронный пуск синхронного двигателя?
4. При каких условиях происходит выпадение синхронного двигателя из синхронизма и в чем оно проявляется?
5. От чего зависит частота вращения ротора синхронного двигателя?
6. Как регулируют коэффициент мощности двигателя, работающего с постоянной нагрузкой?
7. Укажите условия, при которых синхронный двигатель работает в режиме синхронного компенсатора.
8. Как изменить направление вращения ротора синхронного двигателя?
9. От каких величин зависит максимальный вращающий момент синхронного двигателя?
10. Перечислите достоинства и недостатки синхронных двигателей.

Лабораторная работа 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Цель - изучение принципа действия и основных характеристик неуправляемых однофазных выпрямителей и простейших сглаживающих фильтров.

Краткие теоретические сведения

Выпрямитель - статическое устройство, служащее для преобразования переменного тока источника электроэнергии (сети) в постоянный. Выпрямитель состоит из трансформатора, вентиляционной группы и сглаживающего фильтра (рис. 14).



Рис. 14. Структурная схема выпрямителя

Трансформатор Тр выполняет несколько функций: изменяет напряжение сети $U_{вх}$ до значения U_1 , необходимого для выпрямления, электрически отделяет нагрузку Н от сети, преобразует число фаз переменного тока. Вентиляционная группа (ВГ) преобразует переменный ток в пульсирующий однонаправленный. Сглаживающий фильтр (СФ) уменьшает пульсации выпрямленного напряжения (тока) до значения, допустимого для работы нагрузки Н. Трансформатор и сглаживающий фильтр не являются обязательными элементами схемы выпрямителя.

Основными параметрами, характеризующими качество работы выпрямителя, являются:

среднее значение выпрямленного (выходного) напряжения $U_{ср}$

и тока $I_{ср}$

$$U_{ср} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{вых} \cdot dt; \quad I_{ср} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{вых} \cdot dt,$$

где T - период изменения выходного напряжения (тока);
частота пульсаций f_n выходного напряжения (тока),

$$f_n = 1/T;$$

коэффициент пульсаций ρ , равный отношению амплитуды напряжения пульсаций $\Delta U_n = U_{max} - U_{min}$ к среднему значению выходного напряжения,

$$\rho = \frac{\Delta U_n}{U_{ср}}$$

Вместо коэффициента пульсаций ρ часто используют коэффициент пульсаций по первой гармонике ρ_1 , равный отношению амплитуды первой гармоники выходного напряжения к его среднему значению:

$$\rho_1 = \frac{U_{m1\text{вых}}}{U_{ср}}$$

Работа вентиляционной группы выпрямителя основана на свойствах вентилей - нелинейных элементов, пропускающих ток преимущественно в одном (прямом) направлении. В качестве вентилей используют обычно полупроводниковые диоды.

Существует однополупериодное и двухполупериодное выпрямление переменного однофазного напряжения. В настоящей работе используются однополупериодный и мостовой двухполупериодный выпрямители.

Схема однополупериодного выпрямителя приведена на рис. 15, а.

$$\begin{array}{r} 10,49 \\ - 1,08 \\ \hline 9,41 \end{array} \quad \begin{array}{r} 535 \\ - 1,08 \\ \hline 4,27/3,16 \end{array}$$

ном направлении. Если считать, что сопротивление закрытого вентиля равно бесконечности, то все напряжение вторичной обмотки трансформатора будет приложено к закрытому вентилю.

Широкое применение нашли двухполупериодные выпрямители, в которых в отличие от однополупериодных выпрямителей используются оба полупериода напряжения сети. Из них наиболее распространение получил мостовой двухполупериодный выпрямитель (рис. 16, а). В один из полупериодов напряжения сети, когда зажим a вторичной обмотки трансформатора имеет положительный потенциал по отношению к зажиму b , диоды $VD1$ и $VD3$ открыты, а диоды $VD2$ и $VD4$ закрыты (рис. 16, б). Ток в этот полупериод имеет направление: зажим a вторичной обмотки трансформатора, диод $VD1$, нагрузочный резистор R_H , диод $VD3$ и зажим b .

В другой полупериод зажим a имеет отрицательный потенциал по отношению к зажиму b . В этот полупериод диоды $VD1$ и $VD3$ закрыты, а диоды $VD2$ и $VD4$ открыты, ток имеет направление от зажима b через диод $VD4$, нагрузочный резистор R_H , диод $VD2$ к зажиму a вторичной обмотки трансформатора. При этом в течение всего периода ток в нагрузочном резисторе R_H имеет одно и то же направление.

Выпрямленное напряжение на нагрузке имеет пульсирующий характер. Для питания большинства электронных устройств напряжение с такими пульсациями не может быть использовано, поэтому пульсации стремятся уменьшить до заданного уровня. Для сглаживания (уменьшения пульсаций) выпрямленного напряжения применяют сглаживающие фильтры. Сглаживающий фильтр включают между вентилями группы и нагрузкой, он содержит (в основном) реактивные элементы, сопротивление которых зависит от частоты протекающего через них тока. При этом для обеспечения фильтрации последовательно с нагрузкой включают элементы, имеющие большое сопротивление на переменной составляющей выпрямленного тока и малое для постоянной, а параллельно нагрузке — элементы, имеющие малое сопротивление для переменной и большое для постоянной составляющей. Последовательно включаемыми элементами могут быть индуктивная катушка с ферромагнитным сердечником (просеель) или параллельный LC-контур, настроенный в резонанс на частоту пульсаций. Элементом, включаемым параллельно нагрузке, может быть конденсатор большой емкости или последовательный LC-контур.

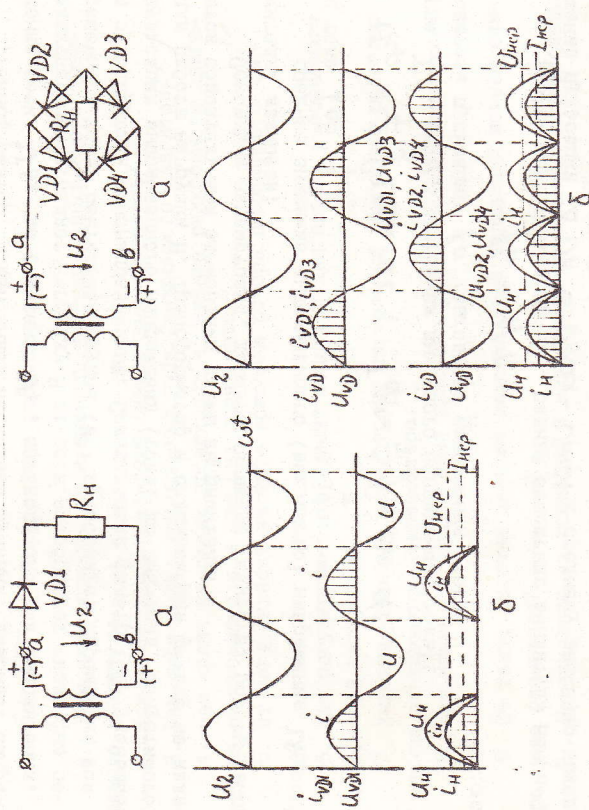


Рис. 15. Схема (а) и временные диаграммы токов и напряжений (б) однополупериодного выпрямителя

Из временных диаграмм (рис. 15, б) видно, что ток I_H в нагрузке имеет пульсирующий характер. В течение первого полупериода напряжения U_2 , когда потенциал точки a положительный по отношению к потенциалу точки b , вентиль открывается и в нагрузке появляется ток. Если считать, что сопротивление вентиля в открытом состоянии близко к нулю, то все напряжение будет приложено к нагрузочному резистору. Во второй полупериод полярность напряжения на вторичной обмотке трансформатора изменится на противоположную, т.е. потенциал точки a становится отрицательным по отношению к потенциалу точки b . При такой полярности вентиль включен в обрат-

Простой фильтр состоит из одного конденсатора или одного дросселя. Более сложные содержат несколько реактивных элементов.

Рассмотрим работу простых фильтров в установившемся режиме, т.е. спустя время после включения напряжения.

На рис. 17, а приведена схема однополупериодного выпрямителя с емкостным фильтром.

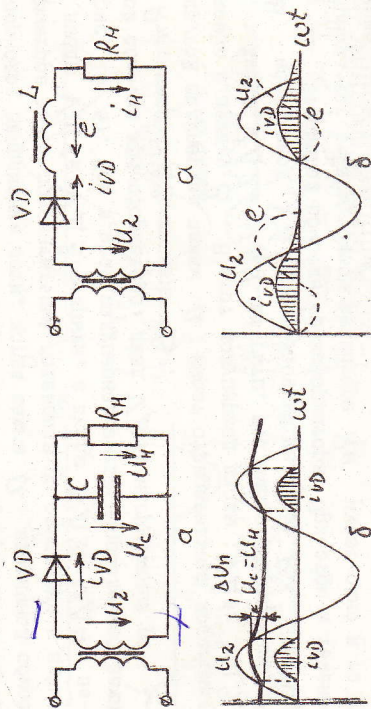


Рис. 17. Схема (а) и временные диаграммы (б) однополупериодного выпрямителя с емкостным фильтром

Ток I_{VD} в диоде VD появляется тогда, когда напряжение на вторичной обмотке трансформатора U_2 больше напряжения на конденсаторе, что соответствует интервалам времени $t_1 - t_2$ и $t_3 - t_4$ (рис. 17, б). В этом время конденсатор C заряжается. С момента времени t_2 напряжение U_2 становится меньше напряжения на конденсаторе U_C , диод VD запирается, а конденсатор разряжается на нагрузочный резистор R_H . К запертому вентилю в это время прикладывается напряжение $U_{обр}$, максимальное значение которого равно почти удвоенному значению U_{2m} .

К моменту времени t_3 напряжение U_2 вновь становится больше U_C , диод VD вновь открывается и ток I_{VD} начинает заряжать конденсатор C и так далее. Таким образом, ток нагрузки I_H , который без фильтра отсутствовал в отрицательные полупериоды

напряжения U_2 , теперь появляется за счет разряда конденсатора C. Это приводит к уменьшению переменной составляющей выпрямленного напряжения (уменьшению пульсаций). Емкость конденсатора выбирается такой, чтобы выполнялось условие $C \gg 1/2\pi \cdot f \cdot R_H$.

Наличие индуктивных элементов в цепи с изменяющимся током приводит к отставанию (по времени) изменения тока от изменения напряжения, что существенно изменяет режим работы выпрямительной схемы. На рис. 18, а изображена схема однополупериодного выпрямителя с индуктивным фильтром.

Во время положительного полупериода по мере роста напряжения U_2 (рис. 18, б) ток в цепи возрастает и магнитный поток дросселя увеличивается. При этом в обмотке дросселя возникает ЭДС самоиндукции E_L , которая по закону Ленца противодействует возрастанию тока, т.е. направлена противоположно приложенному напряжению. До тех пор, пока ток возрастает (что соответствует накоплению энергии магнитного поля в сердечнике дросселя), ЭДС самоиндукции E_L имеет отрицательный знак. Однако, когда ток начинает уменьшаться, ЭДС самоиндукции становится положительной, совпадая по направлению с приложенным напряжением и поддерживая ток в цепи. За счет энергии магнитного поля, которая запасена в сердечнике дросселя, ток в цепи будет протекать и в течение отрицательного полупериода.

Длительность протекания тока через вентиль зависит от величины отношения индуктивного сопротивления к активному и может лежать в пределах от половины периода до целого периода. Форма кривой выпрямленного напряжения повторяет форму кривой тока.

Пульсации выпрямленного напряжения и тока в рассматриваемой схеме уменьшаются по сравнению с пульсациями в схеме, работающей на чисто активную нагрузку.

Описание лабораторных установок

Лабораторная установка собирается на стенде УИИС и включает в себя:

источник переменного напряжения;

полупроводниковые диоды;

цифровой мультиметр Ц4313 - РVI;

осциллограф-мультиметр С1-112 - РV2.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему однополупериодного выпрямителя, приведенную на рис. 19, а.

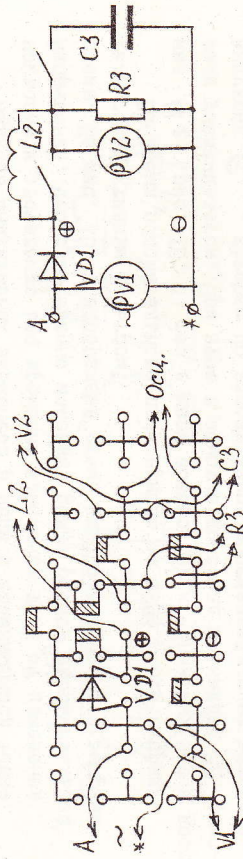


Рис. 19. Монтажная (а) и принципиальная схема (б) установки для исследования однополупериодного выпрямителя

2. Измерить входное напряжение $PV1$ и выходное напряжение $PV2$ выпрямителя без фильтра и с тремя вариантами сглаживающих фильтров. В масштабе зарисовать осциллограммы. Результаты свести в табл. 24.

Таблица 24

Схемы выпрямителя	U_1	U_2	Временные диаграммы	P
1. Без фильтра				
2. $C \sim$ фильтром				
3. $C C$ фильтром				
4. $C LC$ фильтром				

3. Собрать схему двухполупериодного мостового выпрямителя, приведенную на рис. 20, а.

4. Повторить измерения п. 2 для мостовой схемы. Результаты свести в табл. 25.

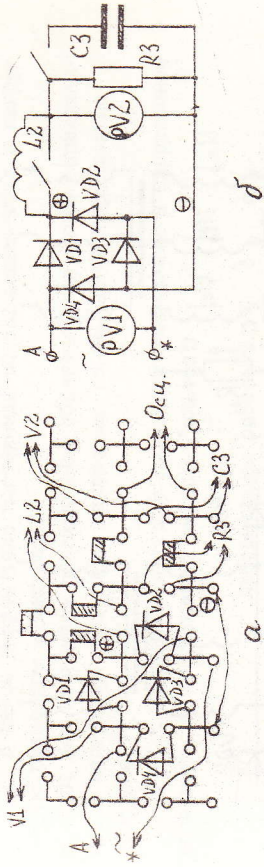


Рис. 20. Монтажная (а) и принципиальная схема (б) установки для исследования двухполупериодного мостового выпрямителя

Таблица 25

Схема выпрямителя	U_1	U_2	Временные диаграммы	P
1. Без фильтра				
2. $C \sim$ фильтром				
3. $C C$ фильтром				
4. $C LC$ фильтром				

Обработка результатов измерений

1. Рассчитать коэффициенты пульсаций P для каждой схемы выпрямителей.

2. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте осциллограммы напряжения на нагрузочном резисторе при одно- и двухполупериодном выпрямлении.

2. Как работает однополупериодный выпрямитель?

3. Как работает двухполупериодный мостовой выпрямитель?

4. Как работает емкостной фильтр?

5. Как работает индуктивный фильтр?

6. Прибором какой системы измеряют постоянную составляющую тока (или напряжения)?

7. В каком выпрямителе постоянная составляющая тока в нагрузочном резисторе наименьшая?

8. Как изменится максимальное обратное напряжение, приложенное к запятому диоду, при подключении конденсатора параллельно нагрузке?

9. Как изменится величина пульсации напряжения в нагрузочном резисторе, если увеличить емкость фильтра?

Лабораторная работа 9

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Цель - изучение принципа действия и основных характеристик управляемых трехфазных выпрямителей.

Краткие теоретические сведения

Трехфазная схема с нулевым выводом приведена на рис. 21, а. Она состоит из трехфазного трансформатора с выведенной нулевой точкой и трех вентилей $VA1$, $VA2$ и $VA3$. Вторичная обмотка трансформатора чаще соединяется по схеме "зигзаг". Трехфазная схема с нулевым выводом представляет собой сочетание трех однополупериодных выпрямителей, питающихся тремя симметричными напряжениями, сдвинутыми по фазе на $1/3$ периода, и работающих на общую нагрузку. Схема является однотактной, так как токи во вторичных обмотках протекают лишь один раз за период.

На рис. 21, б изображены кривые фазных напряжений на зажимах вторичных обмоток трансформатора U_a, U_b, U_c , на рис. 21, в, г, д показаны осциллограммы токов через вентили $VA1, VA2, VA3$. В трехфазном выпрямителе в любой, произвольно выбранный момент времени ток проводит вентиль, анод которого находится под наибольшим положительным потенциалом. Так, например, в течение промежутка времени $t_1 - t_2$ (т.е. в течение $1/3$ периода) анод вентилей $VA1$ находится под наибольшим положительным потенциалом и поэтому ток протекает от точки a (рис. 21, а) через вентиль $VA1$ нагрузку R_n и возвращается к обмотке трансформатора через точку 0. В течение промежутка $t_2 - t_3$ наибольший потенциал будет на аноде вентилей $VA2$ и так далее. Вентили $VA1, VA2, VA3$ работают поочередно, каждый в течение $1/3$ периода. На рис. 21, е, г приведены кривые выпрямленного напряжения и тока U_n, I_n . Так как падения напряжения

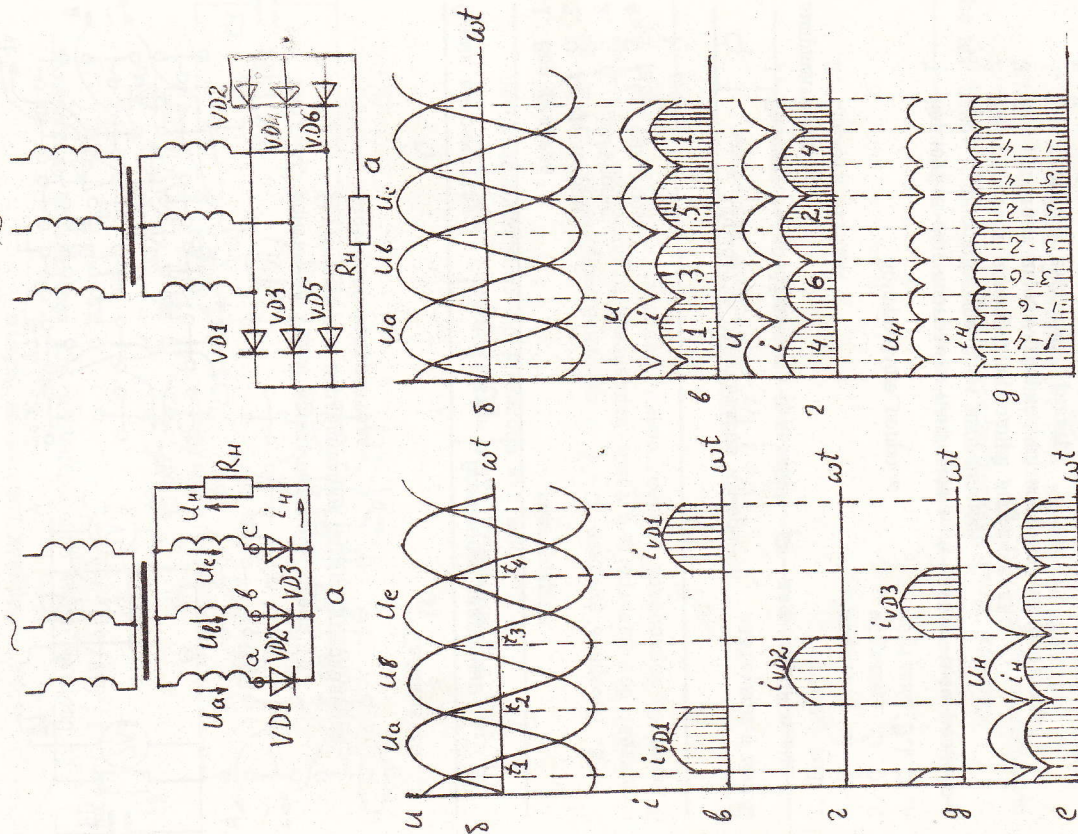


Рис. 22. Схема (а) и временные диаграммы токов и напряжений (б, в, г, д) трехфазного мостового выпрямителя

Рис. 21. Схема (а) и временные диаграммы напряжений и токов (б, в, г, д, е) трехфазного выпрямителя с нулевой точкой