

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Колледж радиоэлектроники имени П.Н. Яблочкова

СОГЛАСОВАНО
Председатель ЦК

Вид В.А. Стекольников
«10» апреля 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ
Председатель методсовета
колледжа

И.И. Чернова
«11» апреля 2020 г.



Лабораторные работы

МДК 01.01. «Электрические машины и аппараты»

13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)

Профиль подготовки
технологический
Квалификация выпускника
техник
Форма обучения
очная

Саратов
2020

Перечень лабораторных работ МДК 01.01 «Электрические машины и аппараты»

Лабораторная работа 1 Исследование характеристик генератора постоянного тока независимого возбуждения
Лабораторная работа 2 Исследование характеристик генератора постоянного тока параллельного возбуждения
Лабораторная работа 3 Исследование двигателя постоянного тока параллельного возбуждения
Лабораторная работа 4 Исследование двигателя постоянного тока последовательного возбуждения
Лабораторная работа 5 Исследование исполнительного двигателя постоянного тока
Лабораторная работа 6 Исследование трехфазного асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки
Лабораторная работа 7 Опытное изучение способов пуска трехфазного асинхронного двигателя
Лабораторная работа 8 Опытное изучение реверсивной схемы включения трехфазного асинхронного двигателя
Лабораторная работа 9 Исследование трехфазного асинхронного двигателя в однофазном и конденсаторном режимах
Лабораторная работа 10 Определение экспериментальным путем механических характеристик конденсаторного двигателя
Лабораторная работа 11 Исследование рабочих характеристик однофазного синхронного двигателя
Лабораторная работа 12 Исследование работы тахогенератора
Лабораторная работа 13 Снятие характеристики электромагнита постоянного тока
Лабораторная работа 14 Исследование работы контактора постоянного тока.
Лабораторная работа 15 Исследование работы магнитного пускателя.
Лабораторная работа 16 Исследование работы электромагнитного реле тока и напряжения.
Лабораторная работа 17 Исследование работы реле времени.

Лабораторная работа 18 Изучение работы автоматических выключателей. Измерения времени срабатывания.
Лабораторная работа 19 Изучение работы усилителя.
Лабораторная работа 20 Изучение работы бесконтактного коммутационного устройства
Лабораторная работа 21 Измерение электрических величин при исследовании однофазного двухобмоточного силового трансформатора.
Лабораторная работа 22 Трехфазный трансформатор
Лабораторная работа 23 Исследование параллельной работы трехфазных двух обмоточных силовых трансформаторов
Лабораторная работа 24 Исследование однофазного автотрансформатора при разных коэффициентах трансформации
Лабораторная работа 25 Изучение регулировочных свойств электропривода с двигателем постоянного тока
Лабораторная работа 26 Исследование механической характеристики асинхронного электродвигателя в различных режимах
Лабораторная работа 27 Изучение регулированных свойств асинхронного двигателя
Лабораторная работа 28 Изучение разомкнутой системы электропривода
Лабораторная работа 29 Изучение замкнутой системы электропривода
Лабораторная работа 30 Тиристорные преобразователи

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

Исследование генератора постоянного тока независимого возбуждения

Цель работы. Изучить конструкцию генератора постоянного тока независимого возбуждения и приобрести практические навыки в сборке схем и опытном исследовании генератора при снятии показаний и построении основных характеристик; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о генераторах постоянного тока независимого возбуждения.

Программа работы

- 1.1. Ознакомиться с конструкцией генератора и приводного двигателя; записать паспортные данные генератора, двигателя, измерительных приборов и регулирующих устройств.
- 1.2. Собрать схему по рисунку 1.1 и после проверки ее преподавателем произвести пробный пуск генератора; проверить возможность регулирования напряжения и нагрузки генератора.
- 1.3. Снять данные и построить характеристику холостого хода генератора; определить коэффициент магнитного насыщения.
- 1.4. Снять данные и построить нагрузочную характеристику генератора при номинальном токе нагрузки; построить характеристический треугольник при номинальном напряжении генератора и установить величину тока возбуждения, которая идет на компенсацию размагничивающего действия реакции якоря.
- 1.5. Снять показания и построить внешнюю характеристику генератора, определить номинальное изменение напряжения при сбросе нагрузки.
- 1.6. Снять данные и построить регулировочную характеристику генератора.
- 1.7. Составить отчет и сделать заключение о параллельной работе.

Подготовка к работе

- 1.1. Повторить теоретический материал реакция якоря машины постоянного тока; учет размагничивающего действия реакции якоря; процесс работы и основные характеристики генератора независимого возбуждения — нагрузочная, внешняя, регулировочная и холостого хода.
- 1.2. Подготовить в рабочей тетради таблицы для занесения результатов опытов и координатные сетки для построения графиков.

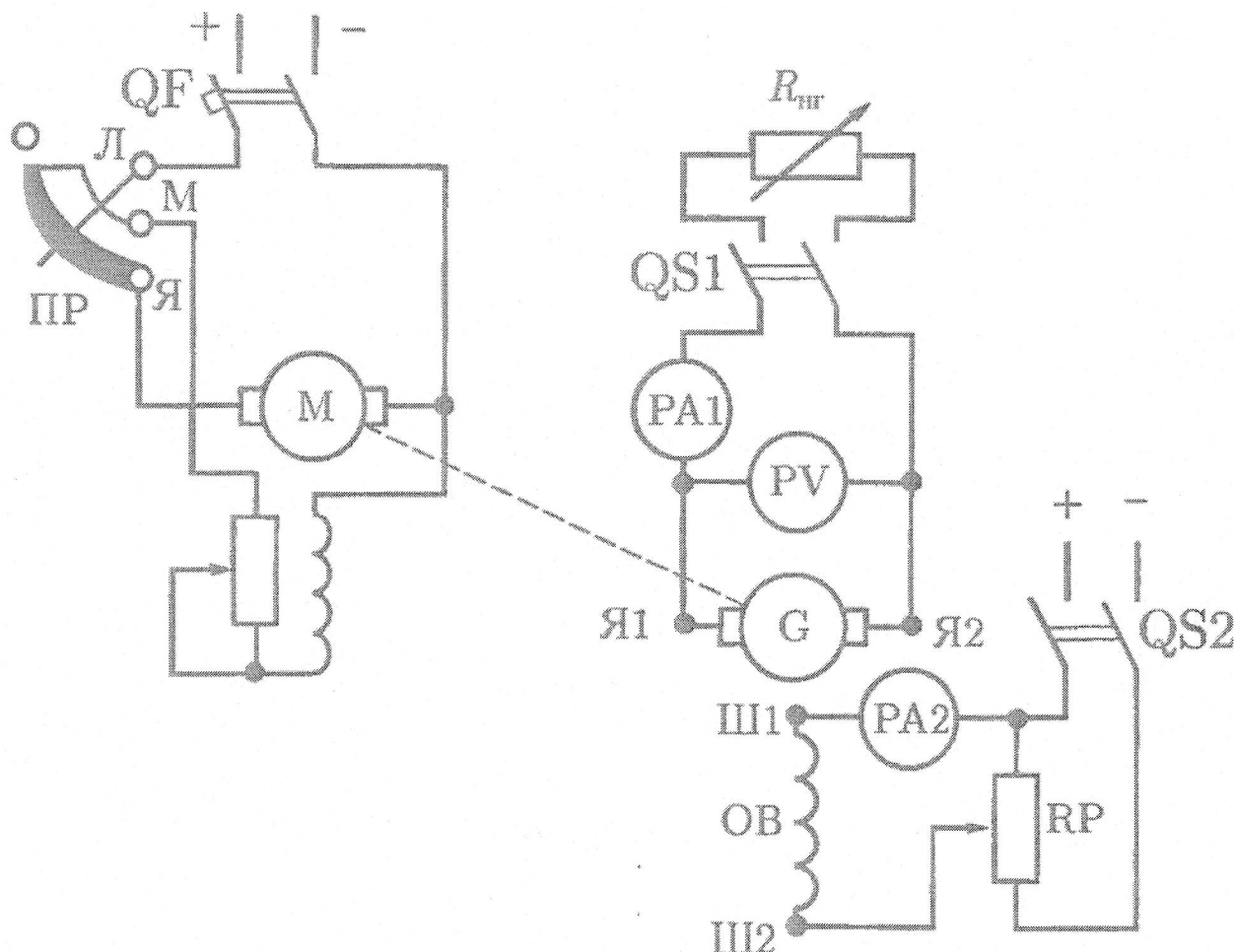


Рисунок 1.1 Схема включения генератора постоянного тока независимого возбуждения.

Порядок выполнения работы

Схема соединений. В качестве приводного двигателя в схеме (рисунок 1.1) применен двигатель постоянного тока параллельного возбуждения М. Порядок действий при пуске и регулировке частоты вращения этого двигателя изложен в лабораторной работе №11. Генератор постоянного тока G имеет независимое возбуждение, т.е. его обмотка возбуждения ОВ электрически не соединена с обмоткой якоря и подключена к отдельному источнику постоянного тока через потенциометр RP.

Собрав схему по рисунку 1.1, после проверки ее преподавателем, включением автомата QF пускают в ход приводной двигатель М. При этом рубильники QS1 и QS2 должны быть разомкнуты. Затем, установив номинальную частоту вращения приводного двигателя, замыкают QS2 и потенциометром RP устанавливают такую величину тока возбуждения I_b при которой напряжение на выходе генератора равно номинальному значению. После этого замыкают QS1 и проверяют возможность нагрузки генератора.

Характеристика холостого хода представляет собой зависимость ЭДС генератора в режиме холостого хода E_0 от тока возбуждения I_b при номинальной частоте вращения $n_{ном}$. Данные для построения этой характеристики получают следующим образом. При разомкнутых QS1 и QS2 устанавливают номинальную частоту вращения якоря генератора и в течение всего опыта поддерживают ее неизменной. Затем измеряют ЭДС генератора $E_{ост}$ (ЭДС остаточного магнетизма) и, включив QS2, потенциометром RP постепенно увеличивают ток возбуждения генератора до величины, при которой ЭДС генератора достигнет значения $E_0 = 1,15 U_{ном}$. При этом

Таблица 1.1

Намагничивание			Размагничивание		
Номер измерения		4 А	Номер измерения	E_{ih} В	4 А

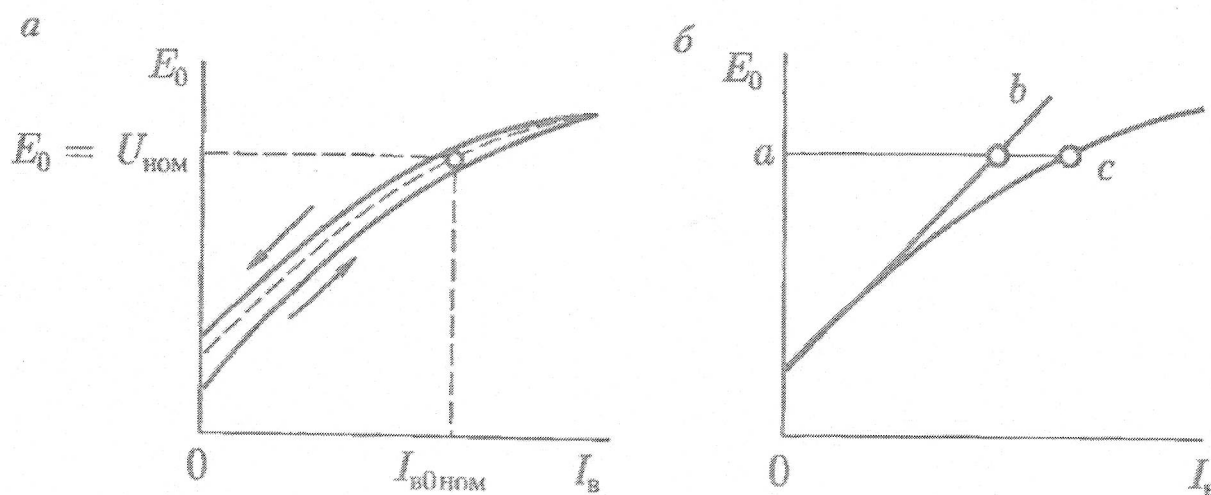


Рисунок 1.2. Характеристика холостого хода генератора постоянного тока независимого возбуждения

через приблизительно одинаковые интервалы ЭДС E_0 снимают показания вольтметра PV и амперметра PA2 и заносят их в табл. 15.1. Так получают данные для построения восходящей (намагничивающей) ветви характеристики холостого хода. При этом необходимо следить за тем, чтобы

изменения тока возбуждения происходили только в направлении его нарастания. Затем потенциометром RP постепенно уменьшают ток возбуждения I_b до нуля и вновь снимают показания вольтметра PV и амперметра PA2 и заносят их в таблицу. Так получают данные нисходящей (размагничивающей) ветви характеристики холостого хода. В этом случае также необходимо, чтобы изменения тока возбуждения происходили только в направлении его уменьшения. Построив обе ветви характеристики холостого хода, проводят между ними среднюю линию, которую и принимают за характеристику холостого хода (рис. 15.2, а). Затем к характеристике холостого хода проводят касательную, а из точки а (рис. 15.2, б), соответствующей номинальному напряжению ($E_0 = U_{ном}$) проводят прямую ас, параллельную оси абсцисс. Коэффициент магнитного насыщения

$$k_\mu = ac/ab.$$

Для машин постоянного тока $k_\mu = 1,20—1,75$.

Нагрузочная характеристика представляет собой зависимость напряжения генератора U от тока возбуждения I_b при неизменных значениях тока нагрузки I_a и частоты вращения $n = n_{ном} = const$. Данные нагрузочной характеристики снимают при номинальной нагрузке генератора. Установив номинальную частоту вращения, возбуждают и нагружают генератор (рубильники QS1 и QS2 замкнуты) таким образом, чтобы при напряжении $U = U_{ном}$ ток нагрузки имел номинальное значение. Далее потенциометром RP уменьшают ток возбуждения до такого минимального значения, при котором ток нагрузки сохраняет номинальное значение (при $n = n_{ном}$).

Таблица 1.2

$U/U_{ном}$	1,15	1,0	0,85	0,75	0,5
$U, В$					
$I_a=I_{ном}, А$					
$I_a, А$					

Приблизительно через равные интервалы тока возбуждения снимают показания вольтметра PV и амперметра PA2, заносят их в табл. 1.2. Затем строят нагрузочную характеристику. При снятии данных этой характеристики допускается изменять величину тока возбуждения только в направлении убывания.

Анализ результатов лабораторной работы

Обобщив результаты лабораторной работы, следует проанализировать вид полученных графиков, сопровождая это необходимыми пояснениями и основываясь на физической сущности явлений, происходящих в рассматриваемом генераторе. Так, рассматривая характеристику холостого хода, следует объяснить причину расхождения ветвей этой характеристики при намагничивании и размагничивании генератора. Это же относится и к регулировочной характеристике.

При анализе внешней характеристики необходимо указать причины, вызывающие уменьшение напряжения на выходе генератора при увеличении нагрузки.

В заключение следует отметить, соответствуют ли номинальные параметры генератора, полученные опытным путем, его паспортным данным.

Контрольные вопросы

1. Какие способы возбуждения применяют в генераторах постоянного тока?
2. Дайте определение основным характеристикам генератора: холостого хода, нагрузочной, внешней и регулировочной. При каких условиях снимают данные для построения каждой из них?
3. Какими исходными данными необходимо располагать для построения характеристического треугольника?
4. Почему нагрузочная характеристика располагается ниже характеристики холостого хода?
5. Почему ветви регулировочной характеристики, снятые при намагничивании и размагничивании генератора, не совпадают? Какая из них располагается выше?

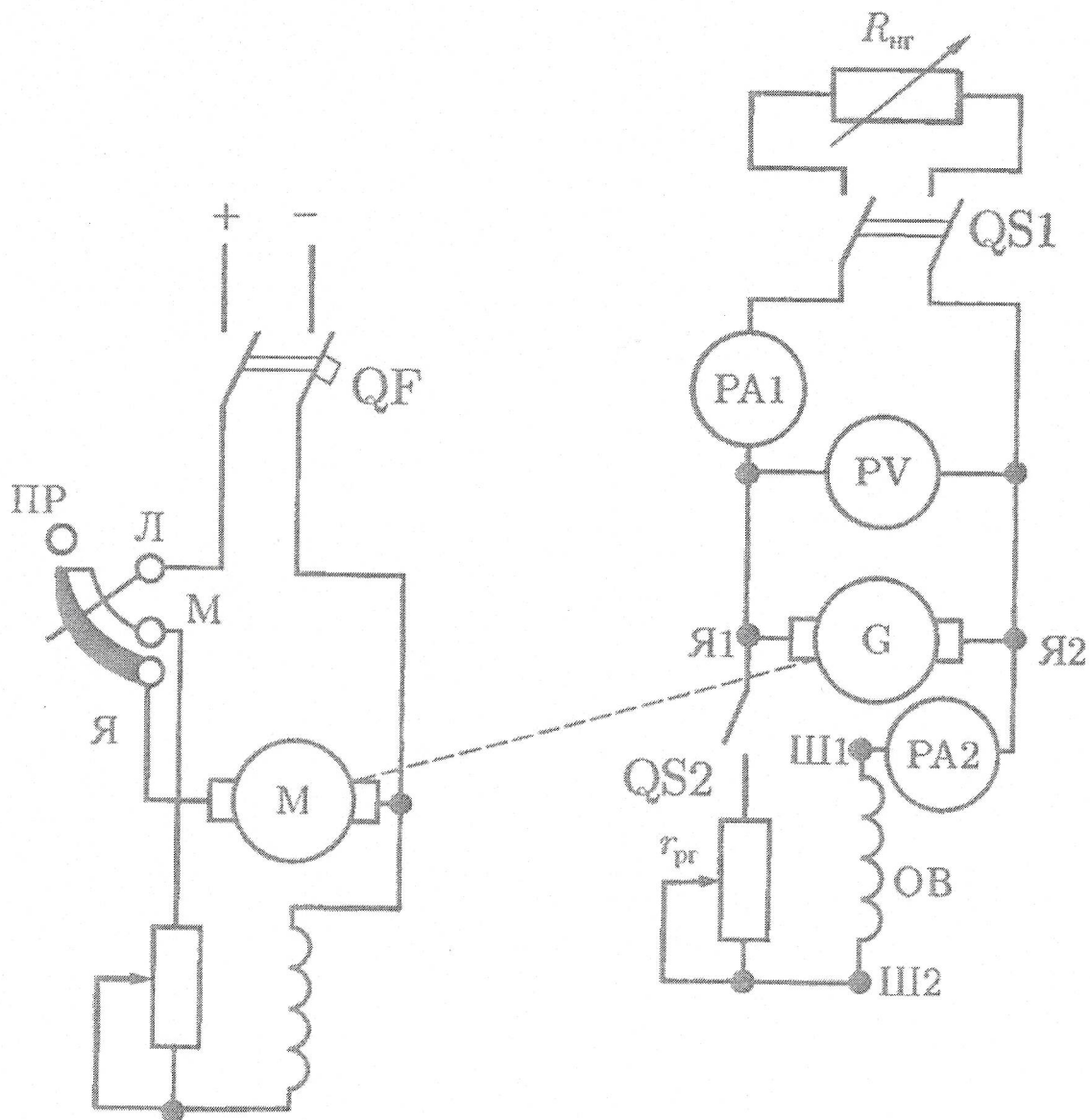
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

Исследование генератора постоянного тока параллельного возбуждения

Цель работы. Изучить устройство генератора постоянного тока[^] параллельного возбуждения и приобрести практические навыки в сборке схемы и опытном исследовании генератора по определению его основных характеристик; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах генераторов постоянного тока параллельного возбуждения.

Программа работы

- 2.1. Ознакомиться с конструкцией генератора и приводного двигателя; записать их паспортные данные и данные измерительных приборов.



- 2.2.Собрать схему по рис. 16.1 и после проверки ее преподавателем выполнить пробный пуск генератора; проверить соблюдение
- 2.3.условия самовозбуждения, возможность регулировки и нагрузки генератора.
- 2.4.Снять данные и построить характеристику самовозбуждения генератора.
- 2.5.Снять данные и построить внешнюю характеристику генератора и определить номинальное изменение напряжения при сбросе нагрузки.
- 2.6.Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Подготовка к работе

- 2.1.Повторить теоретический материал условия самовозбуждения генераторов постоянного тока; генератор параллельного возбуждения — схема соединений, основные характеристики (самовозбуждения, внешняя, регулировочная).
- 2.2.Подготовить в рабочей тетради таблицы для занесения результатов опытов и координатные сетки для построения графиков.

Порядок выполнения работы

Схема соединений и условия самовозбуждения. Представленная на рис. 16.1 схема соединений предусматривает применение двигателя постоянного тока параллельно возбуждения в качестве приводного двигателя. Порядок операций при пуске и регулировке частоты вращения этого двигателя изложен в лабораторной работе №11.

Обмотка возбуждения исследуемого генератора включена параллельно обмотке якоря, а для регулировки тока возбуждения в цепи этой обмотки имеется регулировочный реостат $r_{рг}$. Работа генератора основана на принципе самовозбуждения.

После сборки схемы и проверки ее преподавателем автоматом QF включают приводной двигатель и устанавливают номинальную частоту вращения. Затем приступают к проверке условий самовозбуждения. При разомкнутых рубильнике QS1 и ключе QS2 вольтметром PV измеряют напряжение на выходе генератора. Если вольтметр PV показывает небольшое напряжение, созданное электродвижущей силой остаточного магнетизма, то это свидетельствует о соблюдении первого условия самовозбуждения — магнитная система генератора обладает остаточным магнетизмом. Если же магнитная система размагнитилась, то ее можно намагнитить, подключив обмотку возбуждения на некоторое время к

источнику постоянного тока.

Затем устанавливают на реостате R_{p1} наибольшее сопротивление, замыкают ключ QS2 и, постепенно уменьшая сопротивление R_{p1} , наблюдают за показаниями вольтметра PV. При этом возможны три случая: а) напряжение генератора остается неизменным, что свидетельствует об обрыве цепи при котором МДС обмотки возбуждения действует встречно машинному потоку остаточного магнетизма и размагничивает машину; этот дефект можно устранить, изменив направление тока в обмотке возбуждения, т.е. поменять местами провода, подключенные к зажимам обмотки Ш1 и Ш2; в) напряжение генератора увеличивается — начинается процесс самовозбуждения

Анализ результатов лабораторной работы

Анализируя результаты лабораторной работы, устанавливают соответствие номинальных данных генератора, полученных опытным путем, его паспортным. При анализе характеристики самовозбуждения необходимо указать полученное значение критической частоты вращения. Для внешней характеристики генератора нужно перечислить причины, вызывающие уменьшение напряжения на выходе генератора при увеличении его нагрузки.

Контрольные вопросы

- 2.1. Каковы условия, необходимые для процесса самовозбуждения генератора постоянного тока?
- 2.2. Какое условие самовозбуждения нарушено, если при замыкании цепи возбуждения ЭДС генератора уменьшается до нуля?
- 2.3. Что представляет собой характеристика самовозбуждения?
- 2.4. Почему внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения имеет более падающий вид, чем внешняя характеристика генератора независимого возбуждения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

Исследование двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Цель работы. Изучить устройство двигателя постоянного тока параллельного возбуждения и приобрести практические навыки в сборке схемы при опытном исследовании двигателя для получения данных для построения его основных характеристик; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах двигателей постоянного тока параллельного возбуждения.

Программа работы

- 3.1. Ознакомиться с конструкцией двигателя и нагрузочного устройства; записать паспортные данные двигателя и измерительных приборов.
- 3.2. Собрать схему по рисунку 3.1 и после проверки ее преподавателем произвести пробный пуск двигателя; проверить возможность регулировки частоты вращения и реверсирования.
- 3.3. Снять данные и построить регулировочную характеристику двигателя в режиме холостого хода.
- 3.4. Снять данные и построить рабочие характеристики двигателя.
- 3.5. Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Подготовка к работе

- 3.1. Повторить теоретический материал [5]: принцип действия и устройство двигателя постоянного тока, уравнение моментов для двигателя, частота

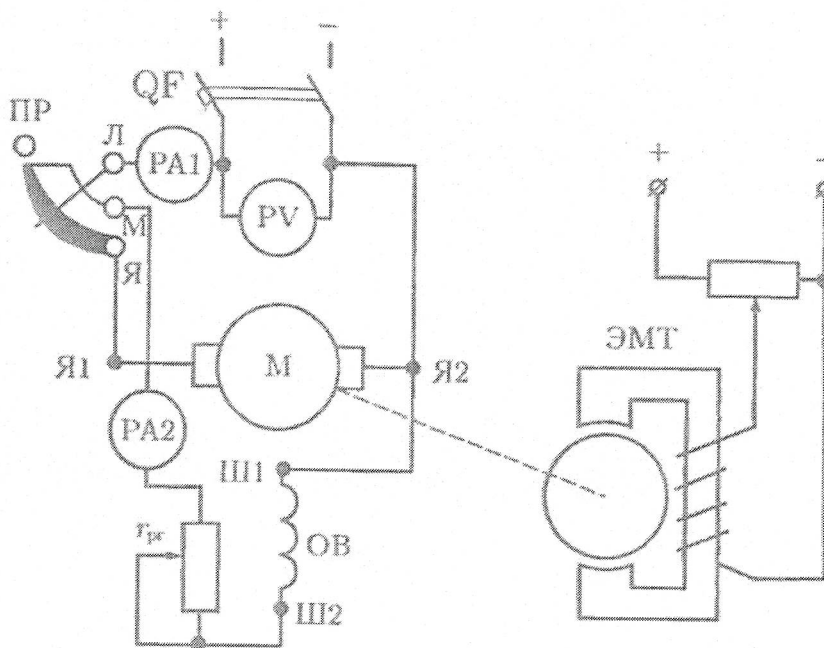


Рисунок 3.1. Схема включения двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

вращения двигателя постоянного тока и способы ее регулировки; пуск

двигателей постоянного тока; двигатель постоянного тока параллельного возбуждения — принципиальная схема.

3.2. Подготовить в рабочей тетради таблицы для занесения результатов опытов и координатные сетки для построения графиков.

Порядок выполнения работы

Схема соединений и пробный пуск двигателя. Схема соединений (рис. 18.1) включает вольтметр PV для контроля за напряжением в сети и два амперметра: $PA1$ — для измерения рабочего тока I , потребляемого двигателем из сети, и $PA2$ для измерения тока в обмотке возбуждения I_B . Кроме того, в схеме имеется два реостата: $ПР$ — пусковой реостат для ограничения пускового тока и $r_{рr}$ — регулировочный реостат для регулирования тока в обмотке возбуждения B в качестве нагрузочного устройства предусмотрен электромагнитный тормоз ЭМТ. Возможно применение и других видов нагрузочных устройств для создания на валу двигателя тормозного момента M_2 (см. В.4).

Прежде чем включить двигатель в сеть, необходимо поставить рычаг пускового реостата $ПР$ в положение «Пуск», соответствующее наибольшему сопротивлению реостата (см. В.3), а движок (рычаг) регулировочного реостата $r_{рr}$ поставить в положение минимального сопротивления (в этом случае ток возбуждения, а следовательно, и магнитный поток окажутся наибольшими, что будет способствовать увеличению пускового момента двигателя).

После включения автомата QF рычаг $ПР$ переводят на первую ступень и якорь двигателя приходит во вращение. Постепенно рычаг реостата переводят в положение «Работа», а затем с помощью регулировочного реостата $r_{рr}$ устанавливают требуемую частоту вращения.

При сборке схемы необходимо обратить особое внимание на надежность всех соединений в цепи обмотки возбуждения, а при работе двигателя и его регулировке следует следить, чтобы эти соединения не нарушались. Такая предосторожность вызвана опасностью «разноса» двигателя при обрыве в цепи возбуждения.

Для реверсирования (изменения направления вращения) двигателя необходимо изменить направление тока либо в обмотке возбуждения, либо в обмотке якоря. Если же одновременно изменить направление тока в обеих обмотках, то реверсирования не произойдет. В этом можно убедиться, поменяв местами провода, присоединенные к автомату QF .

Регулировочная характеристика двигателя постоянного тока параллельного возбуждения представляет собой зависимость частоты вращения n от тока в обмотке возбуждения I_B при неизменных напряжении питания U и нагрузке M_2 .

В данной работе регулировочную характеристику снимают в режиме холостого хода, т.е. при $M_2 = 0$.

После пуска двигателя при сопротивлении реостата $r_{рr} = 0$ двигатель работает без какой-либо нагрузки. Затем постепенно увеличивают сопротивление $r_{рr}$ до значения, при котором $n = 1,2n_{ном}$. При этом через приблизительно одинаковые интервалы частоты вращения снимают показания измерителя частоты вращения двигателя, например тахогенератора и амперметра РА2. и заносят их в таблице 3.1.

Рабочие характеристики представляют собой зависимость частоты вращения n , потребляемого тока I , полезного (нагрузочного) момента M_2 и КПД (η) от полезной мощности P_2 при неизменных значениях напряжения питания двигателя U и тока возбуждения I_b .

Для получения данных, необходимых для построения рабочих характеристик, включают двигатель и нагружают его до номинального тока нагрузки при номинальной частоте вращения. При этом снимают показания амперметров РА1 и РА2, вольтметра PV и электромагнитного тормоза ЭМТ. Затем постепенно разгружают двигатель до холостого хода и через приблизительно одинаковые интервалы

Таблица 3.1

$n/n_{ном}$	0,6	0,8	1,0	1.1	1.2
n , об/мин					
$I_b < A$					

Таблица 3.2

Номер измерения и	Измерения					Вычисления		
	U, B	I, A	I_b, A	n , об/мин	$M_2, H\cdot m$	P_2 Вт	P_b Вт	$\eta, \%$

тока нагрузки /снимают показания перечисленных приборов и заносят их в таблице 3.2. Снимают не менее пяти показаний. Рассчитав значения потребляемой мощности (Вт)

Анализ результатов лабораторной работы

При анализе результатов лабораторной работы следует объяснить криволинейный вид регулировочной характеристики двигателя, а также форму рабочих характеристик двигателя. При анализе скоростной характеристики необходимо дать количественную оценку этой характеристике, рассчитав номинальное изменение частоты вращения двигателя при сбросе нагрузки (%):

Определив номинальные данные двигателя по его рабочим характеристикам, их следует сравнить с паспортными данными двигателя и сделать вывод об их соответствии.

Контрольные вопросы

- 3.1. С какой целью при пуске двигателя параллельного возбуждения регулировочный реостат в цепи обмотки возбуждения выводят полностью?
- 3.2. Какие способы регулировки частоты вращения возможны в двигателях параллельного возбуждения?
- 3.3. Почему регулировочная характеристика двигателя параллельного возбуждения криволинейна?
- 3.4. Какие характеристики двигателя параллельного возбуждения называют рабочими?
- 3.5. Почему при увеличении нагрузки на вал двигателя параллельного возбуждения уменьшается частота вращения?
- 3.6. Как будет изменяться частота вращения двигателя постоянного тока при уменьшении напряжения питания?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

Исследование двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

Цель работы. Изучить устройство двигателя постоянного тока последовательного возбуждения и приобрести практические навыки в сборке схемы соединений, включении и регулировке двигателя, а также в опытном исследовании двигателя для получения данных его основных характеристик; экспериментально подтвердить теоретические сведения о свойствах двигателей постоянного тока последовательного возбуждения.

Программа работы

- 4.1. Ознакомиться с конструкцией двигателя и нагрузочного устройства; записать паспортные данные двигателя и измерительных приборов.
- 4.2. Собрать схему по рисунку 4.1 и после проверки ее преподавателем произвести пробный пуск двигателя, предварительно создав нагрузку на его валу.

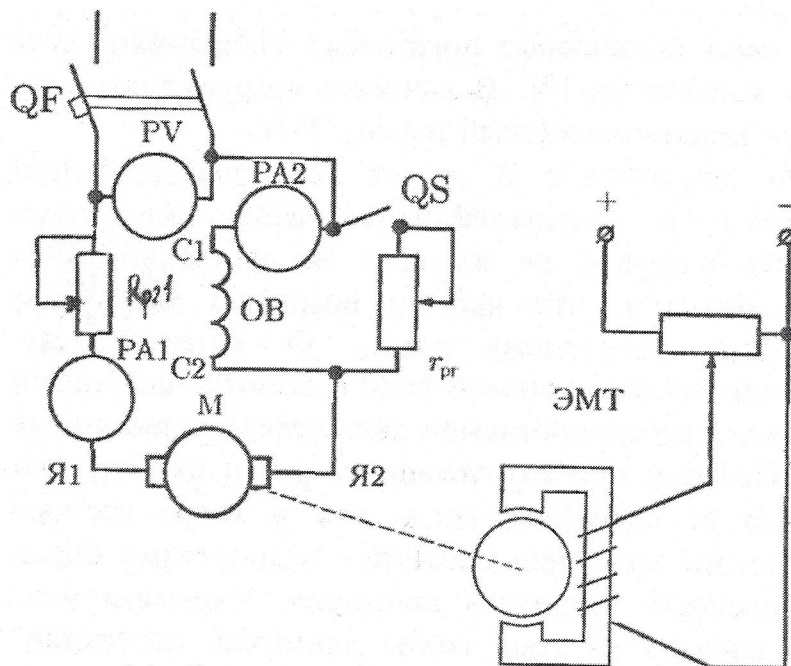


Рисунок 4.1. Схема включения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

- 4.3. При разомкнутом ключе QS снять показания приборов и построить рабочие характеристики двигателя.
- 4.4. При замкнутом ключе QS (шунтирующем обмотку возбуждения) снять данные и построить график зависимости частоты вращения n от тока в обмотке возбуждения I_B .

4.5. Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Подготовка к работе

- 4.1. Повторить теоретический материал : двигатели постоянного тока последовательного возбуждения — принципиальная схема, электромагнитный момент и частота вращения, рабочие характеристики, сравнение с двигателями параллельного возбуждения.
- 4.2. Подготовить в рабочей тетради таблицы для занесения результатов опытов и координатные сетки для построения графиков.

Порядок проведения работы

Схема соединений и пробный пуск двигателя. Схема соединений двигателя последовательного возбуждения (рисунок 4.1) включает двухзажимный пусковой реостат ПР, регулировочный реостат r_{rg} , шунтирующий обмотку возбуждения (подключается к обмотке возбуждения ключом QS), и два амперметра: PA1 — для измерения тока якоря I_a и PA2 — для измерения тока в обмотке возбуждения I_b (при разомкнутом ключе QS оба амперметра дают одинаковые показания). Напряжение сети контролируют посредством вольтметра PV. В качестве нагрузочного устройства в схеме предусмотрен электромагнитный тормоз ЭМТ.

Возможно применение и других нагрузочных устройств. Особенностью пуска двигателей последовательного возбуждения является необходимость нагрузки на их валу не менее 25 % от номинальной. Объясняется это тем, что частота вращения якоря двигателя обратно пропорциональна магнитному потоку Φ , который при ненасыщенной магнитной цепи пропорционален току в обмотке возбуждения I_b , т. е. току якоря I_a так как в рассматриваемом двигателе (при разомкнутом QS) эти токи одинаковы. Поэтому при отсутствии нагрузки на валу двигателя или при недостаточном ее значении, когда ток в якоре составляет небольшую величину, частота вращения достигает недопустимо больших значений и возникает опасность «разноса» двигателя. Учитывая это обстоятельство, необходимо следить за тем, чтобы двигатель постоянно находился под нагрузкой не менее 25 % от номинальной.

Создав нагрузку на двигатель, включают автомат QF и постепенно выводят сопротивление ПР (ключ QS при этом должен быть разомкнут). Затем, установив на регулировочном реостате r_{rg} максимальное сопротивление,

Таблица 4.1

Номер измерения	U, В	I, А	n, об/мин	M ₂ , Нм	P, Вт

закрывают ключ QS и медленно перемещают движок (рычаг) r_{rg} , наблюдая за изменением частоты вращения двигателя.

Рабочие характеристики двигателя представляют собой зависимость частоты вращения n , момента M_2 на валу и полезной мощности P_2 от тока в обмотке якоря (тока нагрузки) I_a при номинальном напряжении питания $U = U_{ном}$ при разомкнутом ключе QS. Включив двигатель, увеличивают нагрузку на его валу до значения, при котором ток якоря $I_a = 1,2I_{ном}$. Затем двигатель постепенно разгружают до значения тока нагрузки $I_a = 0,25I_{ном}$. При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока I_a снимают показания приборов (не менее пяти показаний) и заносят их в таблицу. Затем определяют полезную мощность двигателя.

По данным таблицы 4.1 строят рабочие характеристики двигателя в одних осях координат.

Характеристика $n - I(I_a)$. После пуска двигателя увеличивают нагрузку на его валу до значения, при котором ток якоря $I_a = 0,75I_{ном}$. Измерив частоту вращения, закрывают ключ QS, предварительно установив на r_{rg} наибольшее сопротивление. Затем постепенно уменьшают сопротивление r_{rg} до тех пор, пока ток в обмотке возбуждения не достигнет значения $I_b = 0,5I_{ном}$, что соответствует коэффициенту регулирования. После этого, не меняя сопротивление r_{rg} , постепенно разгружают двигатель. При этом измеряют частоту вращения и ток возбуждения и заносят их значения в таблицу 4.2.

Таблица 4.1

Параметр	Номер измерения				
	1	2	3	4	5
n , об/мин					
I_b , А					

Анализируя результаты лабораторной работы, необходимо в первую очередь установить соответствие номинальных данных исследуемого двигателя, полученных опытным путем, его паспортным параметрам. Далее следует проанализировать рабочие характеристики двигателя. Необходимо отметить наиболее

целесообразную область применения двигателей постоянного тока последовательного возбуждения, исходя из их рабочих свойств.

Контрольные вопросы

- 4.1. Почему не допускается включение двигателя последовательного возбуждения с нагрузкой менее 25 % от номинальной?
- 4.2. Что представляют собой рабочие характеристики двигателя последовательного возбуждения?
- 4.3. Какие способы регулирования частоты вращения возможны в двигателях последовательного возбуждения?
- 4.4. Чем объясняются особые свойства двигателей последовательного возбуждения по сравнению с двигателями параллельного возбуждения?
- 4.5. Для привода каких механизмов в основном применяют двигатели последовательного возбуждения?

Лабораторная работа 5

Тема: Исследование исполнительного двигателя постоянного тока

Цель работы: Приобрести практические навыки в сборке схемы и регулировке скорости исполнительного двигателя постоянного тока при якорном способе управления; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах исполнительных двигателей постоянного тока.

Программа работы:

- 5.1. Ознакомиться с конструкцией исполнительного двигателя и нагрузочного устройства; записать паспортные данные двигателя и данные измерительных приборов.
- 5.2. Собрать схему и после проверки её преподавателем выполнить пробный пуск двигателя, проверить возможность регулировки двигателя; определить напряжение трогания двигателя при якорном управлении.
- 5.3. Снять данные и построить механическую характеристику двигателя при якорном управлении.
- 5.4. Снять данные и построить регулировочную характеристику двигателя при якорном управлении.
- 5.5. Используя данные двигателя, полученные в пункте 3, рассчитать параметры и построить график зависимости полезной мощности двигателя от частоты вращения.
- 5.6. Составить отчёт и сделать заключение о проделанной работе.

Подготовка к работе

- 5.1. Повторить теоретический материал: назначение и особенности устройства исполнительных двигателей постоянного тока; якорное и полюсные способы управления, механические и регулировочные характеристики двигателей, зависимость полезной мощности от частоты вращения.
- 5.2. Подготовить в рабочей тетради таблицы для занесения результатов опытов координатные сетки для построения графиков.

Порядок выполнения работы:

Схема включения и пробный пуск двигателя. Схема включения исполнительного двигателя содержит два регулятора напряжения для создания на обмотке возбуждения номинального напряжения $U_{в\text{ ном}}$ для изменения

напряжения на обмотке якоря (напряжения управления) U_y в диапазоне от 0 до номинального значения

Для измерения указанных напряжений в схеме предусмотрены два вольтметра: вольтметр VI для измерения напряжения возбуждения U_B и вольтметр V2 для измерения напряжения управления U_y .

Собирают схему Рисунок 1 и после проверки ее преподавателем выполняют пробный пуск двигателя. С этой целью регуляторы нагрузки ставят в положение, соответствующее минимальному напряжению. Затем регулятором устанавливают в цепи обмотки возбуждения номинальное напряжение. При этом если якорь двигателя остается неподвижным, то это свидетельствует об отсутствии в двигателе самохода, т.е. соблюдении одного из основных требований, предъявляемых к исполнительным двигателям.

Постепенно повышают напряжение U_y до номинального значения и наблюдают за нарастающей частотой вращения двигателя. Затем напряжение U_y уменьшают до нуля, после чего очень медленно его повышают до такого небольшого значения, при котором начинается вращение якоря. Измеренное при этом напряжение управления представляет собой напряжение трогания $U_{yтр}$. Напряжение возбуждения при этом, как и при всех последующих опытах, должно сохраняться номинальным. При выполнении этого опыта по определению напряжения трогания в качестве вольтметра U2 следует применить вольтметр с небольшим пределом измерения - 0,2. Для получения более точного результата опыт повторяют три раза и получают три значения напряжения трогания, а затем определяют значение напряжения трогания (В)

$$U_{y.тр.ср} = (U_{y.тр1} + U_{y.тр2} + U_{y.тр3})/3$$

Механические характеристики.

Механическая характеристика исполнительного двигателя представляет собой зависимость сигнала, например, при номинальном напряжении сигнала. Данные для построения механической характеристики получают следующим образом. Регуляторами устанавливают номинальное напряжение возбуждения $U_{в10мИ}$ управления и с помощью тормозного устройства затормаживают якорь двигателя. При этом измеряют начальный пусковой момент M_n при $n=0$. Постепенно уменьшая нагрузку на вал двигателя в плоть до х.х. ($M_2 = 0$), через приблизительно одинаковые интервалы этого момента измеряют частоту вращения двигателя. Делают не менее 5-и замеров, в результаты заносят в Таблицу 5.1 Полученные значения момента и частоты вращения пересчитывают в относительные единицы :

Таблица 5.1

Номер измерения	M_2 , Н-м	n , об/мин	m	V

В этих выражениях начальный пусковой момент M_p (при $p=0$) и частота вращения в режиме х.х. ω_0 (при $M_2=0$) приняты за базовые величины.

Полученные относительные значения момента m и частоты вращения ν , соответствующее коэффициенту сигнала $a = U_y / U_{B \cdot \text{ном}} = U_{y \cdot \text{ном}} / U_{B \cdot \text{ном}} = 1$, заносят в Таблицу 5.1 и строят механическую характеристику исполнительного двигателя постоянного тока $m = f(\nu)$. Затем определяют нелинейность этой характеристики

Таблица 5.1

Номер измерения	$U_y, В$	n , об/мин	a	V

Регулировочная характеристика. Регулировочная характеристика исполнительного двигателя представляет собой зависимость частоты вращения от напряжения управления или же, переходя к относительным величинам, зависимость относительной частоты вращения ν от коэффициента сигнала $a = U_y / U_{B \cdot \text{ном}}$. Данные для построения регулировочной характеристики снимают при неизменной нагрузке на валу двигателя. В данной работе эти данные снимают в режиме х.х. ($M_2=0$).

Поставив соответствующее $U_y = 0$, а $U_B = U_{B \cdot \text{ном}}$, постепенно повышают напряжение управления до номинального значения. При этом через приблизительно одинаковые интервалы этого напряжения измеряют частоту вращения двигателя. Всего делают не менее пяти замеров и заносят показания в Таблицу №2, а затем рассчитывают относительные значения измеренных величин напряжения управления - коэффициент сигнала.

и относительную частоту вращения ν , где за базовую величину принимают частоту вращения в режиме х.х. при $a = 1$, т.е. при $U_y / U_{B \cdot \text{ном}}$

Результаты вычислений заносят в Таблицу 2, строят регулировочную характеристику исполнительного двигателя постоянного тока при якорном управлении $\nu = f(a)$ и определяют ее нелинейность (%).

$$A_v = (DB / AB) \cdot 100\%$$

Зависимость полезной механической мощности двигателя от частоты вращения. Используя данные, приведенные в Таблице 1.2, определяют полезную механическую мощность двигателя (Вт).

Таблица 5.3

V					
P ₂ , Вт					

По результатам вычислений строят графики $P_2 = f(v)$ при якорном способе управления исполнительным двигателем постоянного тока.

Анализ результатов лабораторной работы.

При анализе результатов лабораторной работы дают заключение о форму полученных графиков механической и регулировочной характеристик.

Весьма важный параметр исполнительного двигателя- напряжение трогания. Для того чтобы можно было сравнивать напряжение трогания исполнительного двигателя постоянного тока со значениями напряжений трогания асинхронного исполнительного двигателя при амплитудном и амплитудно-фазовом способах управления, необходимо выразить эти напряжения в процентах от номинального значения напряжения управления.

Контрольные вопросы:

- 5.1. Делая вывод о достоинствах и недостатках исполнительных двигателей постоянного тока и асинхронных, необходимо иметь в виду специфические свойства двигателя, определяемые их конструкцией, например недостатки, обусловленные наличием коллектора в исполнительных двигателях постоянного тока.
- 5.2. Какие способы управления применяются в исполнительных двигателях постоянного тока? Укажите достоинства и недостатки этих способов.
- 5.3. Каковы особенности конструкции исполнительных двигателей постоянного тока по сравнению с обычными коллекторными двигателями постоянного тока?
- 5.4. Что такое механическая и регулировочная характеристики, и при каких условиях их снимают?
- 5.5. Какие величины принимаются за базовые при расчете относительных величин момента, частоты и коэффициента сигнала?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

Исследование трехфазного асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки

Цель работы. Изучить конструкцию трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, усвоить приемы опытной проверки обозначений выводов обмотки статора и экспериментального исследования асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки.

Программа работы

- 6.1. Ознакомиться с конструкцией двигателя и устройством для его нагрузки; записать паспортные данные двигателя и данные измерительных приборов и регулировочных устройств.

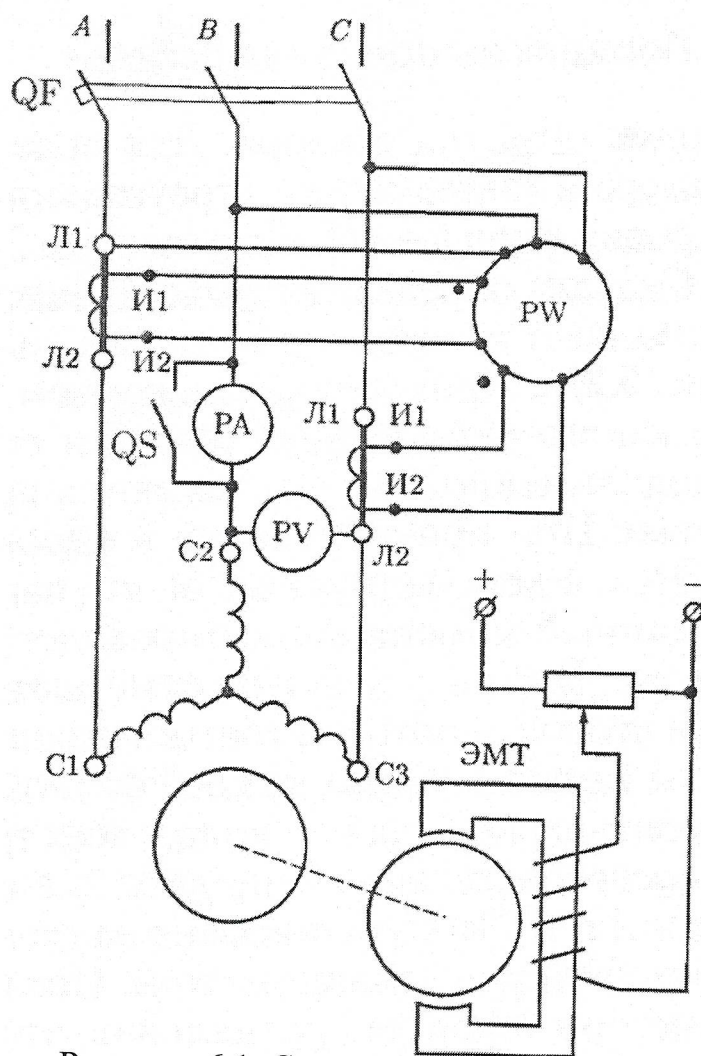


Рисунок 6.1. Схема включения трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

- 6.2. Экспериментально проверить обозначение выводов обмотки статора.
- 6.3. Собрать схему по рисунку 6.1 и после проверки ее преподавателем произвести пробный пуск и реверсирование двигателя.
- 6.4. Снять данные и построить рабочие характеристики двигателя.
- 6.5. Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Подготовка к работе

- 6.1. Повторить теоретический материал [5]; принцип действия и устройство трехфазного асинхронного двигателя; понятие о скольжении; электромагнитный момент асинхронного двигателя; зависимость момента от скольжения; перегрузочная способность асинхронного двигателя; рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя.
- 6.2. Подготовить в рабочей тетради таблицу для занесения результатов опыта и координатную сетку для построения рабочих характеристик.

Порядок выполнения работы

Проверка выводов обмотки статора. Для правильного соединения обмотки статора в «звезду» или «треугольник» необходимо точно знать маркировку выводов обмотки статора. Это делают следующим образом. Сначала определяют выводы каждой фазной обмотки статора с помощью «сигнальной» лампы, включенной, как это показано на рисунке 6.2, Прикоснувшись концом одного из проводов этой лампы какого-либо вывода обмотки статора, концом другого провода, подключенного к сети, касаются поочередно других выводов обмотки. При прикосновении к одному из выводов лампа загорается. Это свидетельствует о том, что пара выводов, которых касаются в данный момент концы проводов, принадлежит одной фазной обмотке. Эту пару выводов отмечают и переходят к отысканию выводов второй, а потом и третьей фазных обмоток.

Затем определяют начала и концы каждой фазной обмотки. Для этого, обозначив произвольно начала и концы всех трехфазных обмоток, соединяют последовательно какие-либо две из них (например, фазные обмотки А и В), как это показано на схеме рис. 5.2, и подключают их к источнику переменного тока. Последовательно в цепь включают резистор r такого сопротивления, чтобы ток в цепи этих обмоток не превысил номинального значения. К оставшейся третьей фазной обмотке подключают вольтметр (можно восполь-

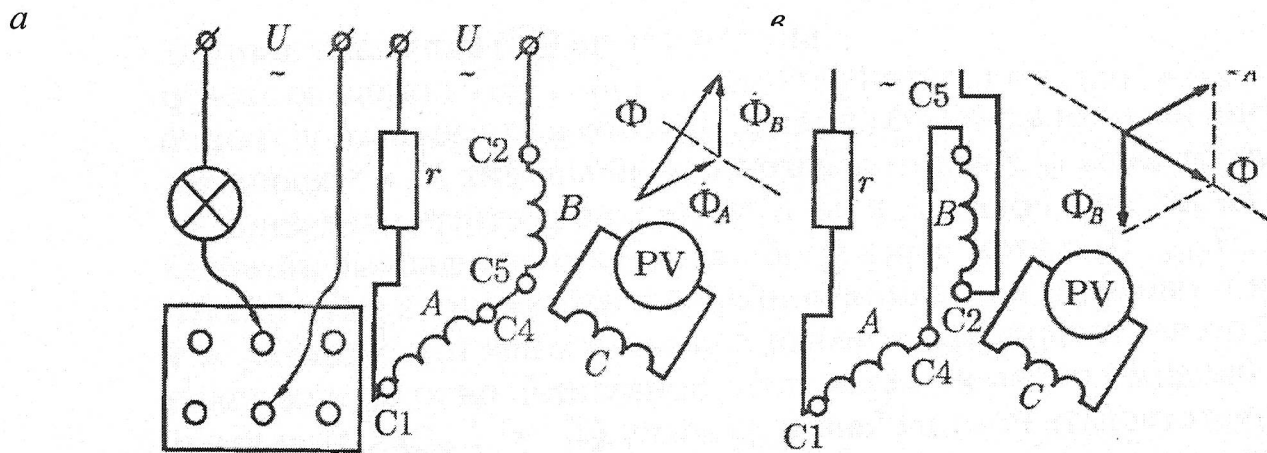


Рис. 5.2. Схемы для определения и маркировки выводов фазных обмоток статора

зоваться «сигнальной» лампой). Если предварительная маркировка выводов обмоток А и В была пр, то вольтметр, подключенный к выводам фазы С, не покажет напряжения (лампа не загорится). Объясняется это тем, что ось результирующего потока фазных обмоток—А и В $\Phi = \Phi_A + \Phi_B$ направлена под углом 90° к оси

фазной обмотки С_и поэтому не наводит в ней ЭДС.

Если же предварительная маркировка выводов одной из обмоток, например обмотки В, оказалась неправильной и схема имела вид, представленный на рис. 5.2, в, то ось результирующего потока обмоток А и В совпадает с осью фазной обмотки С и наводит в этой обмотке некоторую ЭДС, при этом вольтметр на выводах обмотки С покажет напряжение (лампа загорится).

Схема включения и пробный пуск двигателя. Схема включения двигателя содержит двухэлементный ваттметр РW, предназначенный для измерения активной мощности, потребляемой двигателем из сети. Токовые катушки этого ваттметра включены в сеть через измерительные трансформаторы тока.

После проверки схемы преподавателем осуществляют пробный пуск двигателя включением автомата QF. Предварительно следует замкнуть ключ QS, шунтирующий амперметр РА с целью предохранения его от чрезмерно большого пускового тока двигателя. Затем двигатель отключают от сети и меняют местами любую пару проводов, соединяющих обмотку статора с сетью. В этом случае- вращающееся поле статора при включении обмотки статора в сеть будет вращаться в направлении, противоположном тому, какое было до переключения проводов. Другими словами, произойдет реверсирование двигателя, т. е. его ротор будет вращаться в другую сторону.

Снятие данных и построение рабочих характеристик. Посредством автомата QF (при замкнутом ключе QS) включают двигатель в сеть. Затем размыкают ключ QS с помощью электромагнитного тормоза (ЭМТ) либо другого нагрузочного устройства создают на валу двигателя нагрузочный момент M_2 и увеличивают его до тех пор, пока ток в цепи статора не достигнет значения $D = 1,2 / I_{ном}$. При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока I , снимают показания приборов и заносят их в таблице 6.1. Первый отсчет по приборам делают в режиме холостого хода.

Необходимо снять не менее пяти показаний, одно из них должно соответствовать номинальному режиму ($D / I_{ном}$). Затем выполняют расчеты:

подводимая к двигателю мощность (Вт)

Таблица 6.1

Номер измерения	Измерения					Вычисления				
	U, В	I, А	P дел.	n_2 , об/мин	$M_2 H \cdot м$	P, Вт	P_2 , Вт	η , %	$\cos \varphi$	s

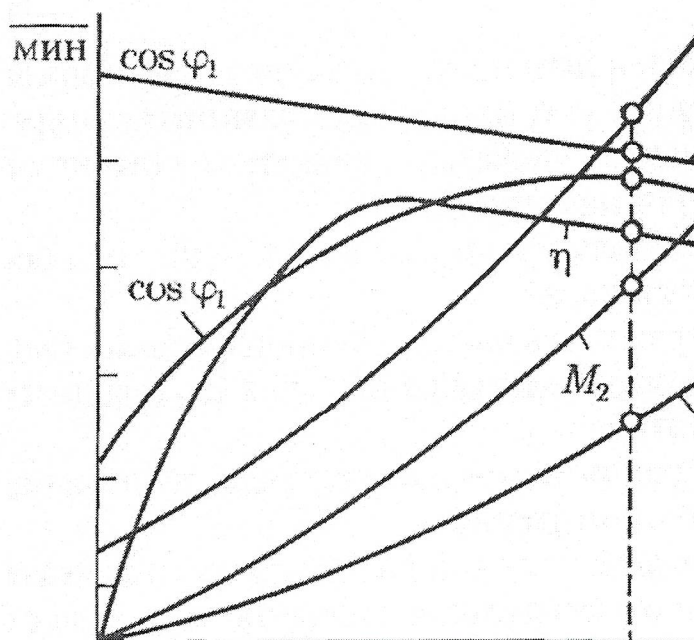


Рисунок 6.3. Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя

Анализ результатов лабораторной работы

При анализе результатов лабораторной работы в первую очередь следует сделать заключение о соответствии данных номинального режима исследуемого двигателя, полученных экспериментально, его паспортным данным. Затем, анализируя рабочие характеристики, нужно объяснить вид полученных графиков. Например, график тока h не выходит из начала координат, так как в режиме холостого хода двигатель потребляет из сети ток холостого хода, обусловленный потерями холостого хода.

Характеристика частоты вращения имеет падающий вид, т.е. с ростом нагрузки частота вращения ротора уменьшается. При этом чем больше активное сопротивление обмотки ротора r_2 , тем больше наклон этой характеристики к оси абсцисс, так как увеличение этого сопротивления вызывает возрастание электрических потерь в цепи ротора, а следовательно, и скольжения, значение которого пропорционально электрическим потерям в роторе.

Небольшое значение коэффициента мощности в зоне малых нагрузок двигателя объясняется тем, что в режиме холостого хода и при небольшой нагрузке двигателя ток статора меньше номинального и в значительной части является намагничивающим током, имеющим фазовый сдвиг относительно напряжения сети, близкий к 90° . Значительная величина намагничивающего тока в асинхронных двигателях обусловлена наличием воздушного зазора между статором и ротором. С повышением нагрузки двигателя ток I_{1y} потребляемый двигателем из сети, увеличивается в основном за счет активной составляющей, что и способствует росту коэффициента мощности.

Контрольные вопросы

- 6.1. На чем основан принцип действия асинхронного двигателя?
- 6.2. Объясните устройство трехфазного асинхронного двигателя.
- 6.3. Что такое скольжение и каким оно обычно бывает у асинхронных двигателей общего назначения?
- 6.4. С какой целью у асинхронного двигателя обычно делают шесть выводов обмотки статора?
- 6.5. Как определить начало и конец фазной обмотки статора?
- 6.6. Что такое реверсирование и как его осуществить в трехфазном асинхронном двигателе?
- 6.7. В чем сущность метода непосредственной нагрузки при исследовании асинхронного двигателя?
- 6.8. Какие характеристики асинхронного двигателя называют рабочими?
- 6.9. Почему относительное значение тока холостого хода у асинхронного двигателя больше, чем у трансформатора такой же мощности?
- 6.10. Как изменится вращающий момент асинхронного двигателя, если напряжение на его выводах обмотки статора уменьшить в $\sqrt{3}$ раз?
- 6.11. Что такое перегрузочная способность асинхронного двигателя и какова ее зависимость от напряжения питания двигателя?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

Исследование способов пуска трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором

Цель работы. Получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о пусковых свойствах трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, а также приобрести практические навыки в сборке схем и пуске этих двигателей.

Программа работы

- 7.1. Ознакомиться с конструкцией двигателя, реакторов и переключающих устройств; записать их паспортные данные, а также данные измерительных приборов.
- 7.2. Собрать схему по рисунку 7.1 и после проверки ее преподавателем осуществить пуск двигателя прямым включением в сеть.
- 7.3. Используя схему рисунок 7.1, произвести пуск двигателя с переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник».
- 7.4. Собрать схему по рисунку 7.2 и после проверки ее преподавателем выполнить реакторный пуск двигателя.
- 7.5. Собрать схему по рисунку 7.3 и после проверки ее преподавателем снять данные и построить график зависимости пускового момента двигателя от напряжения питания.
- 7.6. Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

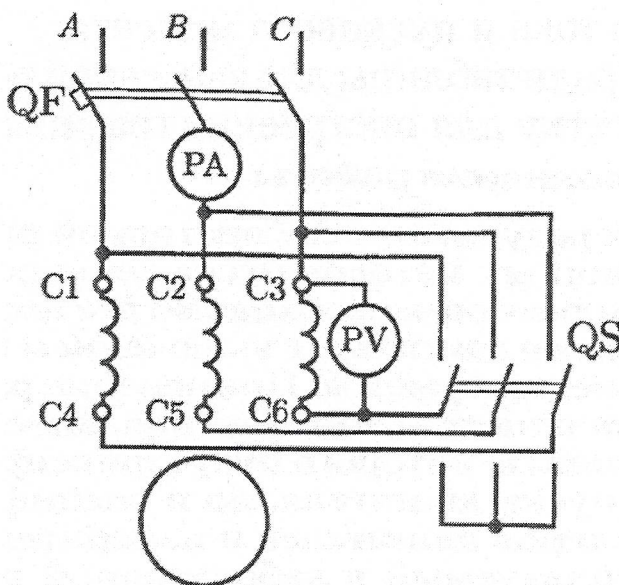


Рисунок 7.1. Схема включения трехфазного асинхронного двигателя при пуске переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник»

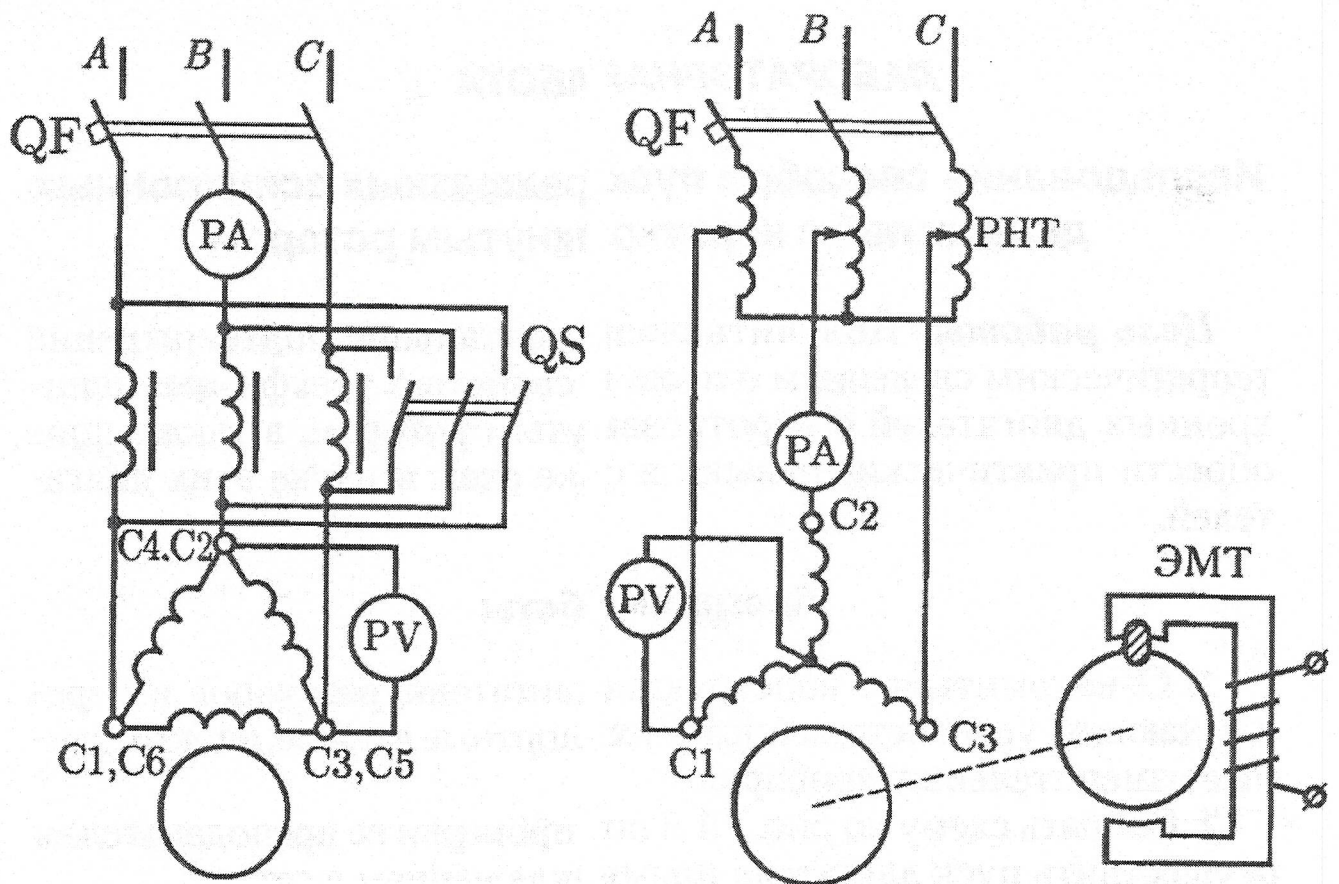


Рис. 7.1. Схема включения двигателя при реакторном пуске для определения зависимости пускового момента от напряжения

Подготовка к работе

- 7.1. Повторить теоретический материал [5]: пусковые свойства трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором; способы пуска при пониженном напряжении; влияние напряжения питания на значение пускового тока и пускового момента.
- 7.2. Подготовить в рабочей тетради таблицы для занесения результатов опытов и координатную сетку для построения графика.

Порядок выполнения работы

Для получения объективных результатов лабораторной работы, пригодных для сравнения различных методов пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, необходимо все эксперименты выполнять на одном и том же двигателе с включением в цепь обмотки статора одного и того же амперметра. Применение разных двигателей и амперметров, даже одного и того же типа, внесет погрешность в эксперимент, результаты которого будут фиксировать не только особенности метода пуска двигателя, но и специфические свойства различных экземпляров двигателей и измерительных механизмов амперметров. Используемый в лабораторной работе двигатель должен нормально

работать при соединении обмотки статора в «треугольник»

Пуск двигателя непосредственным включением в сеть. Этот метод пуска отличается простотой, однако в момент подключения двигателя к сети в цепи статора возникает значительный пусковой ток, в 5 — 7 раз превышающий номинальный ток двигателя.

После сборки схемы по рисунку 7.1 и проверки ее преподавателем следует поставить переключатель QS в положение «треугольник» и включить автомат QF. В момент включения стрелка амперметра отклонится, показывая значение начального пускового тока это показание заносят в таблице 7.1. Пуск двигателя повторяют три раза, а затем определяют среднее значение начального пускового тока (А)

Перед каждым пуском двигателя необходимо убедиться в полной остановке ротора. Далее следует определить кратность пускового тока

Пуск двигателя переключением обмотки статора со звезды на «треугольник». Схема соединений остается прежней. Пуск производят в следующем порядке. Поставив переключатель QS в нейтральное положение, включают автомат QF; затем переключатель QS переводят в положение «звезда» и фиксируют значения начального пускового тока и пускового напряжения U_n . После разгона ротора переключатель быстро переводят в положение «треугольник». При этом обращают внимание на то, что «бросок» тока при переключении обмотки статора со «звезды» на «треугольник» намного меньше начального пускового тока. Пуск включением обмотки на «звезду» следует повторить три раза и определить среднее значение начального пускового тока и его кратность. Результаты измерений и вычислений заносят в таблице 7.2.

Реакторный пуск двигателя. При реакторном пуске двигателя напряжение понижается за счет падения напряжения на индуктивном сопротивлении реакторов x_p . При этом напряжение на выводах обмотки статора (В)

Пуск двигателя выполняют следующим образом: при разомкнутом рубильнике QS включают автомат QF и на двигателе подают пониженное напряжение U'_n (7.2), при этом фиксируют по касаниям амперметра и вольтметра; после разгона ротора включают рубильник QS, которым шунтируются реакторы, и двигатель оказывается под полным напряжением сети. Пуск при разомкнутом рубильнике QS повторяют три раза при неподвижном роторе. Значения начального пускового тока и пускового (пониженного) напряжения на фазной обмотке статора, а затем определяют среднее значение пускового тока и его кратность.

Зависимость пускового момента от напряжения. Собирают схему по рисунку 7.3

Таблица 7.3

Параметр	Номер измерения					
	1	2	3	4	5	6
U_{κ} В						
M_{κ} Н-м						

и после проверки ее преподавателем устанавливаю: минимальное напряжение на выходе РНТ, вставляют в специальное отверстие диска электромагнитного тормоза (моментомера ЭМТ шпильку, зацепляющую диск с полюсом электромагнита. После этого включают автомат QF и плавно повышают напряжение на обмотке статора U_{IK} до значения, при котором ток в обмотке статора достигнет значения

мотки на «звезду» следует повторить три раза и определить среднее значение начального пускового тока (7.1) и его кратность $1'_{\text{пхр}}$ / Результаты измерений и вычислений заносят в табл. 7.2.

Реакторный пуск двигателя. При реакторном пуске двигателя напряжение понижается за счет падения напряжения на индуктивном сопротивлении реакторов x_p . При этом напряжение на выводах обмотки статора (В)

Пуск двигателя выполняют следующим образом: при разомкнутом рубильнике QS (рис. 7.2) включают автомат QF и на двигателе подают пониженное напряжение U'_n (7.2), при этом фиксируют показания амперметра и вольтметра; после разгона ротора включают рубильник QS, которым шунтируются реакторы, и двигатель оказывается под полным напряжением сети. Пуск при разомкнутом рубильнике QS повторяют три раза при неподвижном роторе. Значения начального пускового тока $I_{\text{н}}$, и пускового (пониженного) напряжения на фазной обмотке статора $U'_{\text{н}}$, заносят в табл. 7.2, а затем определяют: среднее значение пускового тока и его кратность. Собирают схему по рис. 7.3 и после проверки ее преподавателем устанавливаю: минимальное напряжение на выходе РНТ, вставляют в специальное отверстие диска электромагнитного тормоза (моментомера ЭМТ шпильку, зацепляющую диск с полюсом электромагнита. После этого включают автомат QF и плавно повышают напряжение на обмотке статора до значения, при котором ток в обмотке статора достигнет значения

При этом через приблизительно одинаковые интервалы пускового момента

Таблица 7.3

Параметр	Номер измерения					
	1	2	3	4	5	6
$U_{\text{к}}, \text{В}$						
$M, \text{Н-м}$						

$M_{\text{п}}$ снимают не менее пяти показаний вольтметра и моментомера ЭМТ и заносят их в таблице 7.3. Измерения при значениях тока следует проводить по возможности быстро, не допуская чрезмерного перегрева двигателя.

По полученным данным на координатную сетку наносят точки и по лекалу через эти точки проводят плавную кривую, продолжив ее за пределы экспериментально найденных точек, т.е. экстраполируют график на участке АВ до номинального (фазного) напряжения $U_{\text{НОМ}}$ асинхронного двигателя. Из теории известно, что пусковой момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату фазного напряжения. Используя это положение, вычисляют значение пускового момента $M_{\text{п}}$, соответствующее номинальному напряжению на обмотке статора:

где $U_{\text{тА}}$ — напряжение, соответствующее пусковому моменту M т. е. наибольшему значению момента, полученному экспериментально (точка А на рис. 7.4).

Рассчитанное по (7.3) значение номинального момента должно быть равно или мало отличаться от значения момента $M_{\text{пВ}}$ ж $M_{\text{пНОМ}}$, т.е. момента, полученного экстраполяцией графика (точка В на рис. 7.4), что будет свидетельствовать о правильно выполненной экстраполяции. Этот график используют для определения пусковых моментов при различных методах пуска двигателя:

а) при пуске двигателя непосредственным включением в сеть — момент $M_{\text{п}}$, соответствующий номинальному фазному напряжению на обмотке статора;

б) при методах пуска двигателя с применением пониженного напряжения сети (переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник» и с включением реакторов в цепь статора) — момент M' . Затем для каждого метода пуска определяют кратность пускового момента $M_{\text{п}}/M_{2\text{НОМ}}$, где

$M_{\text{п}}$ — номинальное значение момента на валу двигателя, Н-м; $P_{\text{НОМ}}$ — номинальная мощность двигателя, Вт; $n_{\text{НОМ}}$ — номинальная частота вращения, об/мин.

НО Рис. 7.4. График зависимости пускового момента асинхронного двигателя M от напряжения питания

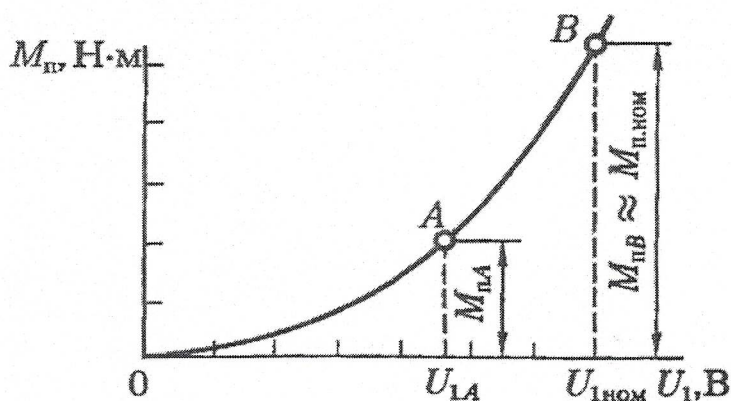


Рисунок 7.4. График зависимости пускового момента асинхронного двигателя от напряжения питания

Полученные значения величин пускового момента и его кратности для метода пуска двигателя непосредственным включением в сеть заносят в табл. 7.1, а для методов пуска при пониженном напряжении — в таблице 7.2.

Анализ результатов лабораторной работы

Необходимо дать сравнительную оценку пусковым свойствам асинхронного двигателя при различных методах пуска. При этом следует иметь в виду основные пусковые параметры двигателя — начальные пусковой ток и пусковой момент, полученные в результате экспериментов. При сравнении удобно воспользоваться отношениями начальные значения пускового тока и пускового момента при пуске двигателя непосредственным включением в сеть. Вполне очевидно, что для метода пуска непосредственным включением двигателя в сеть эти отношения равны единице, а для специальных методов пуска они меньше единицы.

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

Контрольные вопросы

- 7.1. Какие показатели определяют пусковые свойства асинхронных двигателей?
- 7.2. Назовите достоинства и недостатки метода пуска асинхронных двигателей непосредственным включением в сеть.
- 7.3. На чем основаны методы уменьшения пускового тока асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором? Перечислите эти методы.
- 7.4. Какой общий недостаток методов пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении?
- 7.5. На сколько уменьшается пусковой ток асинхронного двигателя при его пуске методом переключения обмотки статора со «звезды» на «треугольник»? Как при этом изменяется пусковой момент?
- 7.6. Как зависит пусковой момент асинхронного двигателя от напряжения, подводимого к обмотке статора?

Лабораторная работа 8

Опытное изучение реверсивной схему включения асинхронного двигателя.

Цель работы: Освоить методику сборки реверсивной схемы управления в конденсаторном асинхронном двигателе.

Порядок выполнения:

8.1. Ознакомится с оборудованием.

8.2. Собрать схему рисунок 3.1

8.3. Осуществить пробный пуск.

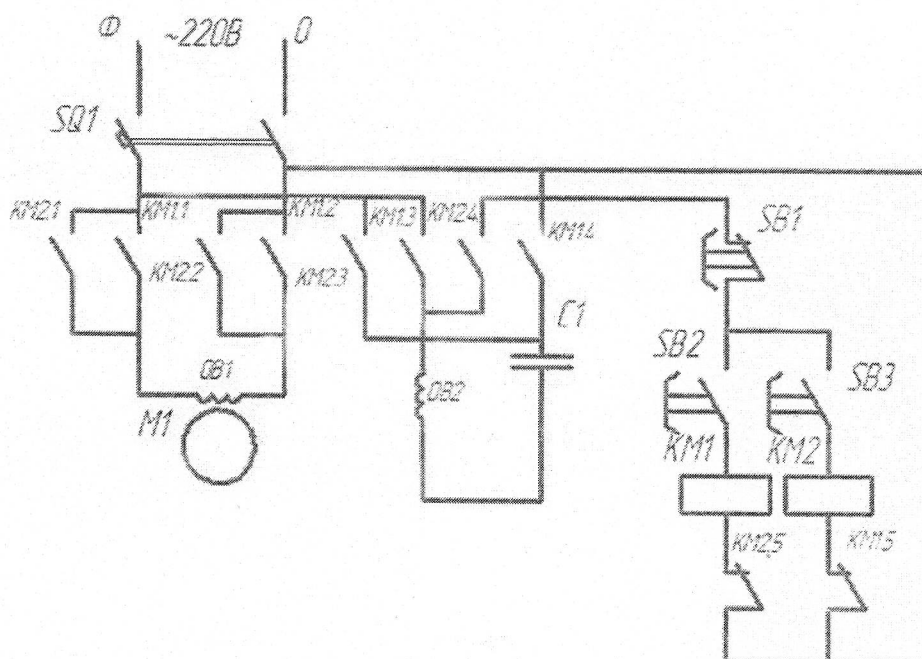


Рисунок 8.1 Реверсивная схема управления в конденсаторном асинхронном двигателе.

Принцип действия схемы: При включении автоматического выключателя SQ1 питание сети поступает на схему управления. При нажатии SB2 «ПУСК 2» поступает напряжение на обмотку контактора KM1, в котором срабатывает и его контакты (KM 1.1, KM 1.2, KM 1.3, KM 1.4) замыкаются, подводя питание OB1 и размыкается контакт KM 1.5. Двигатель начинает работать, т.е. ротор начинает вращаться. Для реверсирования (изменения направления вращения ротора) нажимаем кнопку SB3. Срабатывает KM2 и замыкаются контакты (KM2.1,

КМ2.2, КМ2.3, КМ2.4) и размыкается контакт КМ2.5. Питание на обмотку двигателя подается на ОВ1 в такой же позировке, а на ОВ2 Ф и 0 меняются местами. За счет этого магнитное поле изменит направление вращения, т.е. ротор вращаться в другую сторону.

Контрольные вопросы:

- 8.1. Назначение контактов в схеме КМ1.5 и КМ2.5.
- 8.2. Как осуществляется реверсирование электрического двигателя.
- 8.3. Назначение конденсатора С1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

Исследование трехфазного асинхронного двигателя в однофазном и конденсаторном режимах

Цель работы. Приобрести практические навыки в сборке схем включения трехфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть; получить экспериментальное подтверждение сведений о свойствах трехфазного асинхронного двигателя, работающего в однофазном и конденсаторном режимах.

Программа работы

- 9.1. Ознакомиться с конструкцией трехфазного асинхронного двигателя, записать его паспортные данные, а также данные измерительных приборов и фазосдвигающей емкости.
- 9.2. Собрать схему по рис. 8.1 и после проверки ее преподавателем снять данные для построения рабочих характеристик двигателя при его работе от трехфазной сети.
- 9.3. Снять данные для построения рабочих характеристик двигателя при его работе в однофазном режиме.
- 9.4. Снять данные для построения рабочих характеристик двигателя при его работе в конденсаторном режиме.
- 9.5. Построить рабочие характеристики двигателя для трех режимов его работы.
- 9.6. Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Подготовка к работе

- 9.1. Повторить теоретический материал принцип действия однофазного асинхронного двигателя; пуск однофазного асинхронного
- 9.2. двигателя, сравнение свойств фазосдвигающих элементов; конденсаторные асинхронные двигатели; рабочая и пусковая емкости; использование трехфазного асинхронного двигателя для работы от однофазной сети.
- 9.3. Подготовить в рабочей тетради таблицу для занесения результатов опытов и координатные сетки для построения графиков рабочих характеристик.

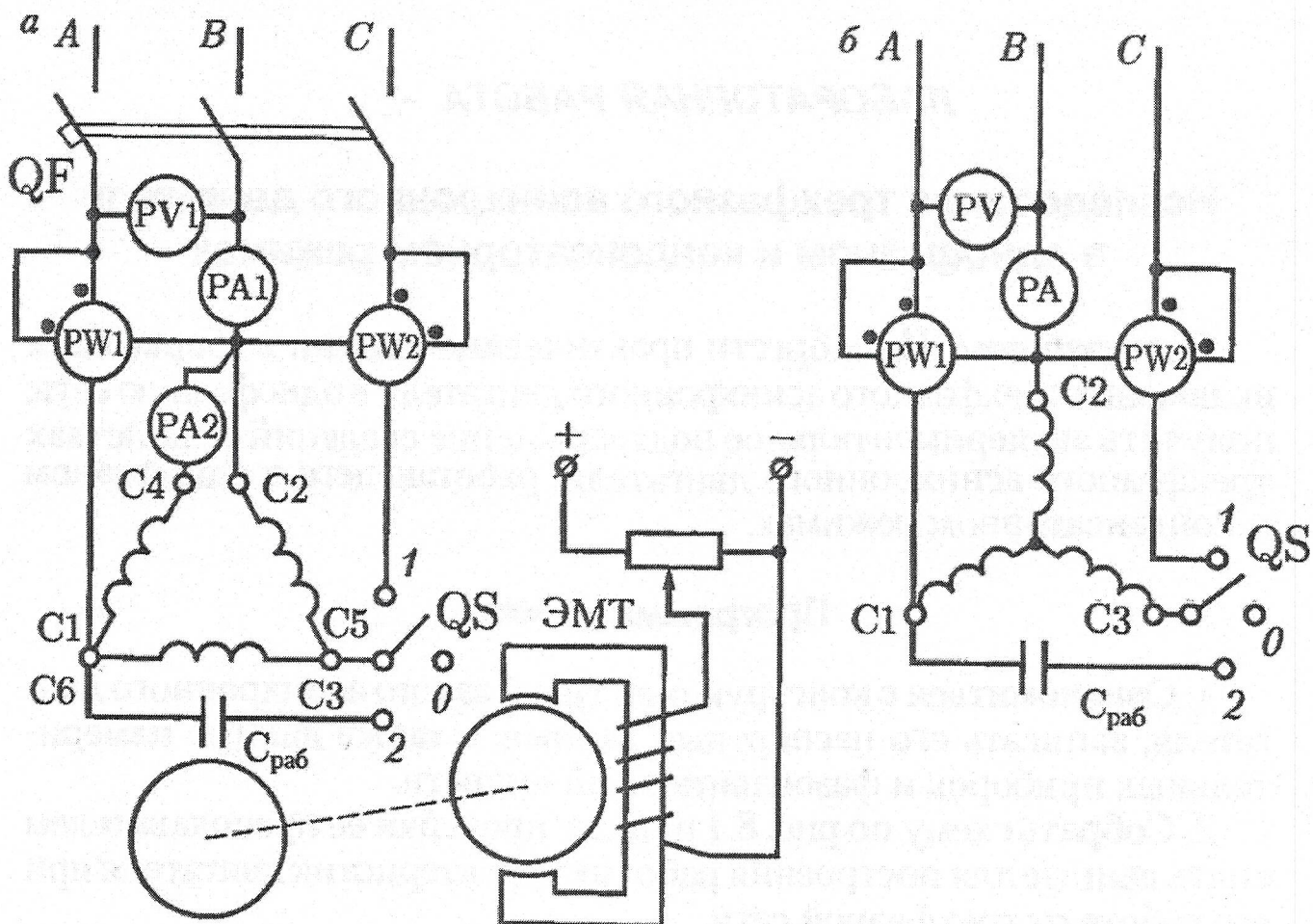


Рисунок 9.1. Схемы включения трехфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть

Порядок выполнения работы

Для исследования асинхронного двигателя во всех трех режимах используют трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором общепромышленного назначения мощностью не более 600 Вт. Это целесообразно, во первых, потому, что на практике обычно возникает потребность применения трехфазного двигателя в однофазном или конденсаторном режиме именно такой мощности, во-вторых, при небольшой мощности двигателя емкость рабочего конденсатора невелика и обычно составляет 5 — 20 мкф (в зависимости от мощности двигателя и напряжения питания) и, наконец, в-третьих, при такой мощности двигателя схема соединений не усложняется измерительными трансформаторами тока.

Если в трехфазном режиме работы обмотки статора двигателя должны соединяться в «треугольник», то следует воспользоваться схемой, представленной на рисунке 9.1. Здесь для измерения активной мощности P_x потребляемой двигателем, служат два одноэлементных ваттметра PW1 и PW2. В трехфазном режиме потребляемая двигателем мощность P равна сумме показаний ваттметров. В однофазном и конденсаторном режимах ваттметр PW2 оказывается отключенным и мощность P_x определяется показанием ваттметра PW1. В рассматриваемой схеме применены два амперметра: PA1 для измерения линейного тока I_l и PA2 для измерения тока в фазной обмотке двигателя.

Если же в трехфазном режиме двигателя обмотки статора должны соединяться «звездой», то применяется схема соединений, представленная на

рисунке 9.1, б, в которой использован такой же комплект измерительных приборов, как и в схеме, показанной на рис. 8.1, а, но с одним амперметром.

Исследование двигателя в трехфазном режиме. Собирают схему соединений по рисунку 9.1, и после проверки ее преподавателем ставят переключатель QS в положение 1, при котором двигатель становится трехфазным, и включают автомат QF, подключающий двигатель к сети. После этого, постепенно нагружая двигатель электромагнитным тормозом ЭМТ, доводят нагрузочный момент до значения, при котором ток в фазной обмотке двигателя достигнет номинальное значение фазного тока двигателя. При этом через примерно одинаковые интервалы

Однофазный и конденсаторный режимы двигателя. Для исследования двигателя в однофазном режиме необходимо поставить переключатель QS в положение 2, включить двигатель в сеть и по окончании процесса пуска перевести переключатель QS в нейтральное положение. При этом двигатель будет работать как однофазный.

Для получения данных, необходимых для построения рабочих характеристик, двигатель нагружают посредством ЭМТ до тока нагрузки в фазной обмотке. При этом через определенные интервалы тока снимают показания приборов, делают необходимые вычисления и полученные значения величин заносят в табл. 8.1. При этом коэффициент мощности двигателя Затем выполняют расчеты: коэффициент мощности

Анализ результатов лабораторной работы

Сначала сравнивают номинальные значения полезной мощности, коэффициента мощности и КПД двигателя в трехфазном режиме с его паспортными данными и делают заключение о соответствии результатов исследования этим данным.

Затем сравнивают одноименные рабочие характеристики двигателя во всех трех режимах работы и дают объяснение причинам, вызвавшим расхождение этих характеристик; определяют относительную величину того или иного параметра двигателя в однофазном и конденсаторном режимах по сравнению с соответствующим параметром в трехфазном режиме работы двигателя. Например, определяют активную мощность в однофазном и конденсаторном режимах двигателя в процентном отношении к номинальной мощности

Контрольные вопросы

- 9.1. Объясните принцип работы однофазного асинхронного двигателя.
- 9.2. Почему в однофазном двигателе пусковой момент равен нулю?
- 9.3. Каковы условия возникновения вращающегося магнитного поля статора в двигателе с двухфазной обмоткой на статоре?
- 9.4. В каких случаях вращающееся поле статора является круговым, а в каких — эллиптическим?
- 9.5. Когда в качестве фазосдвигающего элемента используют активное сопротивление, а когда емкость?
- 9.6. В чем конструктивная разница между однофазным и конденсаторным двигателями?
- 9.7. Для какого режима нагрузки конденсаторного двигателя подбирают рабочую емкость? Изменяются ли рабочие свойства этого двигателя* если он будет работать в другом режиме нагрузки?
- 9.8. С какой целью в цепь конденсаторного двигателя включают пусковую емкость и как ее включают?
- 9.9. В каком из режимов, однофазном или конденсаторном, лучше рабочие свойства асинхронного двигателя?
- 9.10. Какие схемы включения трехфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть получили наибольшее применение?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10

Исследование синхронного реактивного конденсаторного двигателя

Цель работы. Изучить устройство синхронного реактивного конденсаторного двигателя и приобрести практические навыки в сборке схем соединения и опытным исследованием двигателя для определения его основных параметров; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах реактивных синхронных двигателей.

Программа работы

- 10.1. Ознакомиться с конструкцией двигателя и нагрузочного устройства, записать паспортные данные двигателя, данные измерительных приборов и регулятора напряжения
- 10.2. Собрать схему по рис. 14.1 и после проверки ее преподавателем снять данные и построить рабочие характеристики двигателя.
- 10.3. Определить моменты входа двигателя в синхронизм и выхода из синхронизма при напряжениях $U_{УЮМ}$; $1,15 U_{НОМ}$ и $0,85 U_{НОМ}$.
- 10.4. Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Подготовка к работе

- 10.1. Повторить теоретический материал [7]: устройство и принцип действия синхронного реактивного двигателя; реактивный момент и угловая характеристика двигателя; момент входа в синхронизм и момент выхода из синхронизма; конденсаторные двигатели.
- 10.2. Подготовить в рабочей тетради таблицы для занесения результатов опытов и координатную сетку для построения рабочих характеристик.

Порядок проведения работы

Схема соединений. Синхронный реактивный двигатель в отличие от обычного синхронного двигателя не имеет на роторе обмотки возбуждения. Его ротор представляет собой шихтованную конструкцию из тонколистовой электротехнической стали с короткозамкнутой пусковой клеткой.

Исследуемый двигатель является конденсаторным, т. е. на его статоре имеются две однофазные обмотки А и В, оси которых сдвинуты

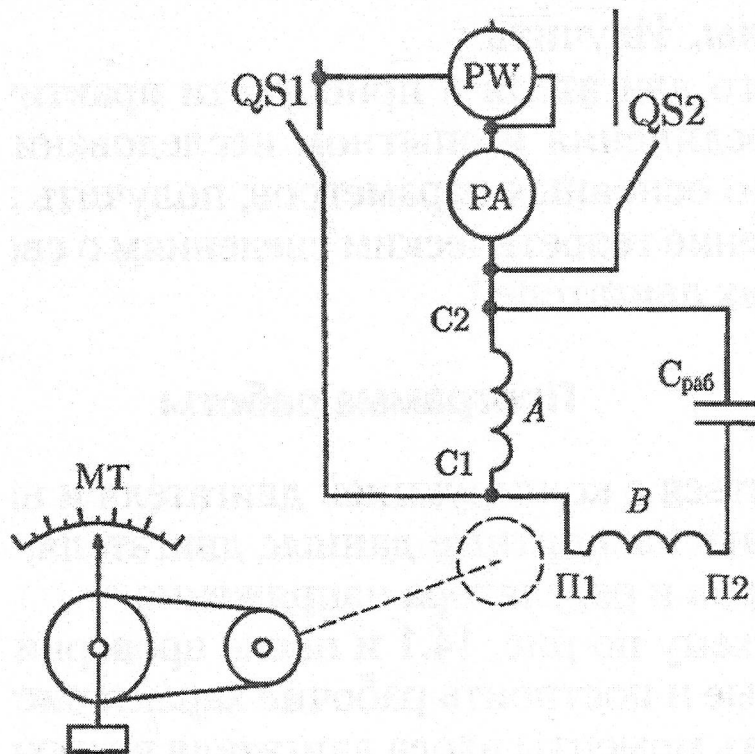


Рисунок 10.1. Схема включения синхронного реактивного конденсаторного двигателя

в пространстве относительно друг друга на 90 эл. град. В цепь обмотки В включен фазосдвигающий элемент — конденсатор $C_{раб}$. Емкость этого конденсатора выбрана таким образом, чтобы обеспечить в двигателе круговое вращающееся поле при номинальной нагрузке.

Для измерения активной мощности, потребляемой двигателем из сети, в схеме применен однофазный ваттметр. Для предохранения амперметра РА и последовательной катушки ваттметра РW от повреждения большим пусковым током в схему включен ключ QS2, шунтирующий эти приборы. Подводимое к двигателю напряжение регулируют с помощью автотрансформатора РНО.

Предполагается, что исследуемый двигатель имеет небольшую мощность (не более 50 Вт) и для его нагрузки используют ленточный тормоз маятникового типа МТ.

Для контроля за синхронной частотой вращения ротора двигателя на его шкиве, установленном на валу двигателя, нанесены стробоскопические метки.

Пуск двигателя выполняют следующим образом. Собирают схему по рисунок 10.1 и после проверки ее преподавателем, замкнув ключ QS2 при разомкнутом ключе QS1, включают автомат QF и регулятором напряжения РНО устанавливают номинальное напряжение на входе двигателя. Затем, замкнув ключ QS1, запускают двигатель. Окончание процесса пуска и вхождение двигателя в синхронизм фиксируются по стробоскопическим меткам на шкиве двигателя, которые при синхронной частоте вращения кажутся неподвижными. После этого ключ QS2 размыкают.

Анализ результатов лабораторной работы

Анализ результатов лабораторной работы начинают с определения соответствия паспортных данных двигателя номинальным параметрам, полученным опытным путем.

Анализируя форму графиков рабочих характеристик, необходимо иметь в виду, что исследуемый двигатель относится к категории микродвигателей и поэтому некоторые из его графиков имеют нетрадиционную форму. Например, ток двигателя в режиме холостого хода незначительно отличается от тока в режиме номинальной нагрузки, а КПД двигателя весьма небольшой. Одной из причин, объясняющих это, является значительный намагничивающий ток двигателя, обусловленный отсутствием на роторе обмотки возбуждения и сравнительно большим средним размером воздушного зазора.

Анализируя результаты по определению моментов входа и выхода из синхронизма, удобно пользоваться для сравнения кратностями этих моментов. Следует указать, какое из отношений моментов представляет собой перегрузочную способность синхронного реактивного двигателя. Обобщая данные, необходимо сделать вывод о характере влияния напряжения сети на величину рассматриваемых моментов

Контрольные вопросы

- 10.1. Какова физическая сущность возникновения реактивного момента?
- 10.2. Какие применяются конструкции роторов в синхронных реактивных двигателях?
- 10.3. Чем объясняется значительная величина тока холостого хода у реактивного двигателя?
- 10.4. Что такое момент входа в синхронизм и момент выхода из синхронизма?
- 10.5. От каких параметров зависит величина этих моментов?
- 10.6. Что такое перегрузочная способность реактивного двигателя и как ее определить экспериментально?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11

Исследование трехфазного синхронного двигателя

Цель работы. Изучить устройство синхронного двигателя и приобрести практические навыки в сборке схемы, пуске и снятии данных для построения характеристик двигателя; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах трехфазных синхронных двигателей.

Программа работы

- 11.1. Ознакомиться с конструкцией синхронного двигателя и устройством для его нагрузки; записать паспортные данные двигателя и измерительных приборов.

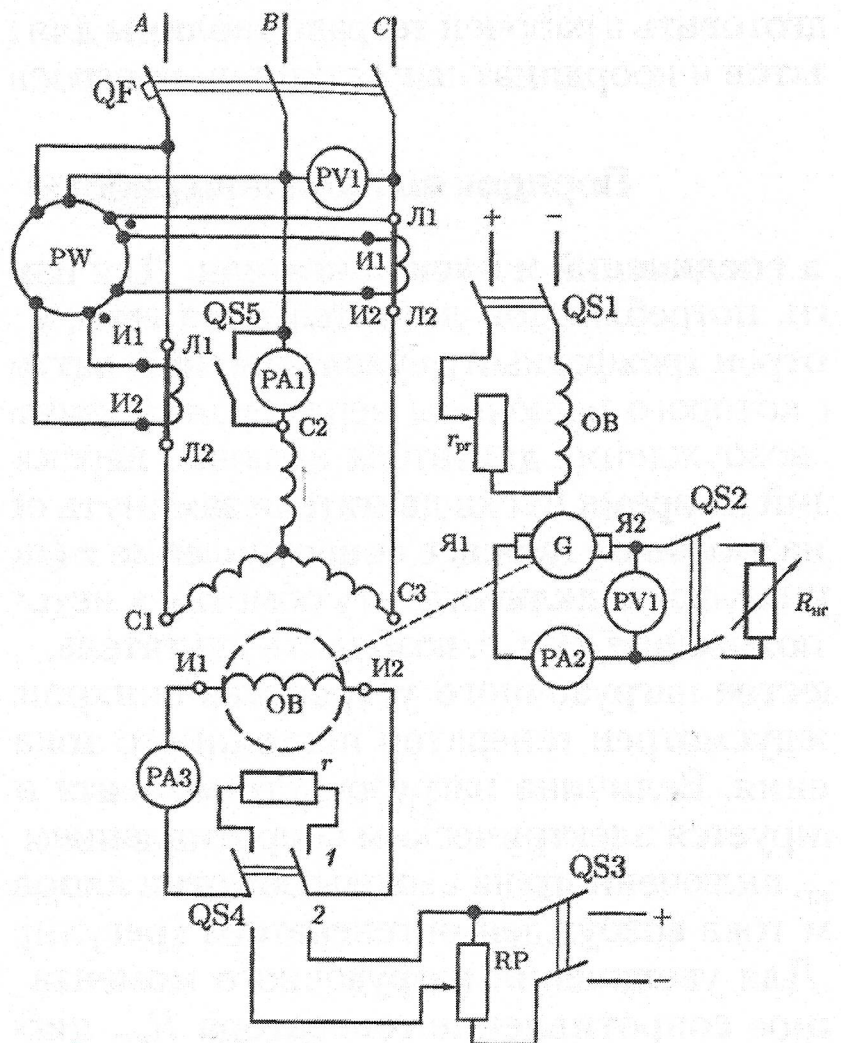


Рисунок 11.1. Схема включения трехфазного синхронного двигателя

- 11.2. Собрать схему по рисунок 11.1 и после проверки ее преподавателем произвести пуск двигателя.
- 11.3. Снять данные и построить U-образную характеристику при нормальной нагрузке двигателя.
- 11.4. Снять данные и построить рабочие характеристики двигателя при $\cos I$.
- 11.5. Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Подготовка к работе

- 11.1. Повторить теоретический материал принцип работы синхронного двигателя; конструктивные особенности синхронного двигателя и способы его пуска; электромагнитная мощность и электромагнитный момент синхронного двигателя, угловая характеристика; работа синхронного двигателя при изменениях тока возбуждения и нагрузочного момента на валу; перегрузочная способность и рабочие характеристики синхронного двигателя.
- 11.2. Подготовить в рабочей тетради таблицы для занесения результатов опытов и координатные сетки для построения графиков.

Порядок выполнения работы

- 11.1. Схема соединений и пуск двигателя. Для измерения активной мощности, потребляемой двигателем из сети, в схеме предусмотрен трехфазный двухэлементный ваттметр PW, токовые катушки которого включены через трансформаторы тока. В цепь обмотки возбуждения двигателя включен переключатель QS4, позволяющий на время пуска двигателя замкнуть обмотку возбуждения ОВ на активное гасящее сопротивление r (положение 1), а по окончании пуска, подключить эту обмотку к источнику постоянного тока (положение 2), т. е. возбудить двигатель.
В качестве нагрузочного устройства синхронного двигателя в схеме предусмотрен генератор постоянного тока G независимого возбуждения. Величина нагрузочного момента на валу двигателя M_2 регулируется электрическим сопротивлением нагрузочного реостата $r_{нг}$, включенного на выводы обмотки якоря генератора, и изменением тока возбуждения генератора (регулирующим реостатом $r_{рг}$). Для увеличения нагрузочного момента уменьшают либо нагрузочное сопротивление генератора либо сопротивление реостата $r_{рг}$ в цепи возбуждения генератора.
- 11.2. Нагрузочный момент на валу двигателя (Н·м)

- 11.3. Собрать схему по рисунку 11.1 и после проверки ее преподавателем произвести пуск двигателя.
- 11.4. Снять данные и построить U-образную характеристику при нормальной нагрузке двигателя.
- 11.5. Снять данные и построить рабочие характеристики двигателя
- 11.6. Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Подготовка к работе

- 11.1. Повторить теоретический материал принцип работы синхронного двигателя; конструктивные особенности синхронного двигателя и способы его пуска; электромагнитная мощность и электромагнитный момент синхронного двигателя, угловая характеристика; работа синхронного двигателя при изменениях тока возбуждения и нагрузочного момента на валу; перегрузочная способность и рабочие характеристики синхронного двигателя.
- 11.2. Подготовить в рабочей тетради таблицы для занесения результатов опытов и координатные сетки для построения графиков.

Порядок выполнения работы

Схема соединений и пуск двигателя. Для измерения активной мощности, потребляемой двигателем из сети, в схеме (рисунок 11.1) предусмотрен трехфазный двухэлементный ваттметр PW, токовые катушки которого включены через трансформаторы тока. В цепь обмотки возбуждения двигателя включен переключатель QS4, позволяющий на время пуска двигателя замкнуть обмотку возбуждения ОВ на активное гасящее сопротивление γ (положение 1), а по окончании пуска, подключить эту обмотку к источнику постоянного тока (положение 2), т. е. возбудить двигатель.

В качестве нагрузочного устройства синхронного двигателя в схеме предусмотрен генератор постоянного тока G независимого возбуждения. Величина нагрузочного момента на валу двигателя M_2 регулируется электрическим сопротивлением нагрузочного реостата $\gamma_{нг}$, включенного на выводы обмотки якоря генератора, и изменением тока возбуждения генератора (регулирующим реостатом $\gamma_{рг}$). Для увеличения нагрузочного момента уменьшают либо нагрузочное сопротивление генератора R_m , либо сопротивление реостата $\gamma_{рг}$ в цепи возбуждения генератора.

Нагрузочный момент на валу двигателя ($H \cdot m$)

Рабочие характеристики синхронного двигателя представляют собой зависимость тока статора I , потребляемой мощности P_h нагрузочного момента M_2 и КПД η от полезной мощности двигателя при токе возбуждения, соответствующем

После пуска двигателя устанавливают ток возбуждения, соответствующий $\cos \Phi_1 = 1$. Затем замыкают QS1 и QS2 и нагружают генератор G, постепенно доводя ток статора синхронного двигателя до значения $I_{ном}$. Приблизительно через одинаковые интервалы этого тока снимают показания приборов.

Так как рабочие характеристики синхронного двигателя соответствуют 1, то при каждом снятии показаний приборов следует установить величину тока возбуждения двигателя, соответствующую минимальному значению тока статора I при данном нагрузочном моменте M_2 , а следовательно, коэффициенту мощности

Затем выполняют расчеты: подводимая к двигателю мощность по мощности на выходе генератора по момент на валу двигателя по коэффициенту мощности двигателя полезная мощность двигателя (Вт)

Анализ результатов лабораторной работы

Анализируя результаты лабораторной работы, в первую очередь устанавливают соответствие номинальных параметров двигателя, полученных опытным путем, его паспортным данным. Затем, известно, что частота вращения ротора синхронного двигателя при изменениях нагрузки остается неизменно равной синхронной частоте вращения. Однако при перегрузке двигателя или при резком уменьшении напряжения в сети возможно «выпадение» двигателя из синхронизма. Поэтому при выполнении экспериментов необходимо контролировать синхронную частоту вращения двигателя. Это удобнее всего делать стробоскопическим способом: либо с помощью строботактометра либо с помощью стробоскопических меток, нанесенных в виде чередующихся черных и белых полос на поверхность муфты, соединяющей валы двигателя и нагрузочного устройства. Число этих полос должно быть равно числу полюсов $2p$ двигателя. Так, при частоте тока 50 Гц, если $2p = 2$ ($n = 3000$ об/мин), то должна быть одна белая и одна черная полосы, а если $2p = 4$ ($n = 1500$ об/мин), то должны быть две белые и две черные чередующиеся полосы и т. д.

Вращающаяся поверхность с нанесенными полосами должна освещаться

лампой, включенной в сеть переменного тока (50 Гц). Если в процессе работы двигателя полосы кажутся неподвижными, то это свидетельствует о синхронной частоте вращения ротора, если же эти полосы кажутся вращающимися в сторону, противоположную фактическому вращению муфты, то это свидетельствует о «выпадении» двигателя из синхронизма.

Анализируя рабочие характеристики двигателя, необходимо дать заключение о соответствии формы полученных графиков типовым, приведенным в учебнике.

Контрольные вопросы

- 11.1. Объясните принцип работы синхронного двигателя.
- 11.2. Какие существуют способы пуска синхронных двигателей?
- 11.3. С какой целью при асинхронном пуске синхронного двигателя обмотку возбуждения замыкают на активное сопротивление?
- 11.4. Почему при регулировке тока возбуждения меняется значение тока статора синхронного двигателя?
- 11.5. При каких условиях синхронный двигатель работает с отстающим током статора, а при каких с опережающим?
- 11.6. Что такое выпадение синхронного двигателя из синхронизма и при каких условиях оно происходит?

Лабораторная работа 12

Исследование работы тахогенератора

Цель работы: Проверка линейности выходных характеристик и определение их кривизны.

Порядок работы:

- 12.1. Ознакомиться с конструкцией стенда, с оборудованием и приборами, установленными на стенде. Записать номинальные данные измерительных приборов.
- 12.2. Начертить схему для снятия выходных характеристик.
- 12.3. Подготовить таблицы для записи замеров и кратко описать порядок снятия выходных характеристик.

Последовательность выполнения работы:

- 12.1. Собрать схему и предъявить для проверки преподавателю.
- 12.2. Включить схему и снять данные выходной характеристики при холостом ходе тахогенератора.
- 12.3. Снять данные выходной характеристики при различных нагрузках на тахогенератор.
- 12.4. По полученным данным начертить выходные характеристики.
- 12.5. Сделать выводы о линейности и крутизне выходных характеристик. Вычислить крутизну выходной характеристики.

Таблица 12.1 Результаты измерения при холостом ходе.

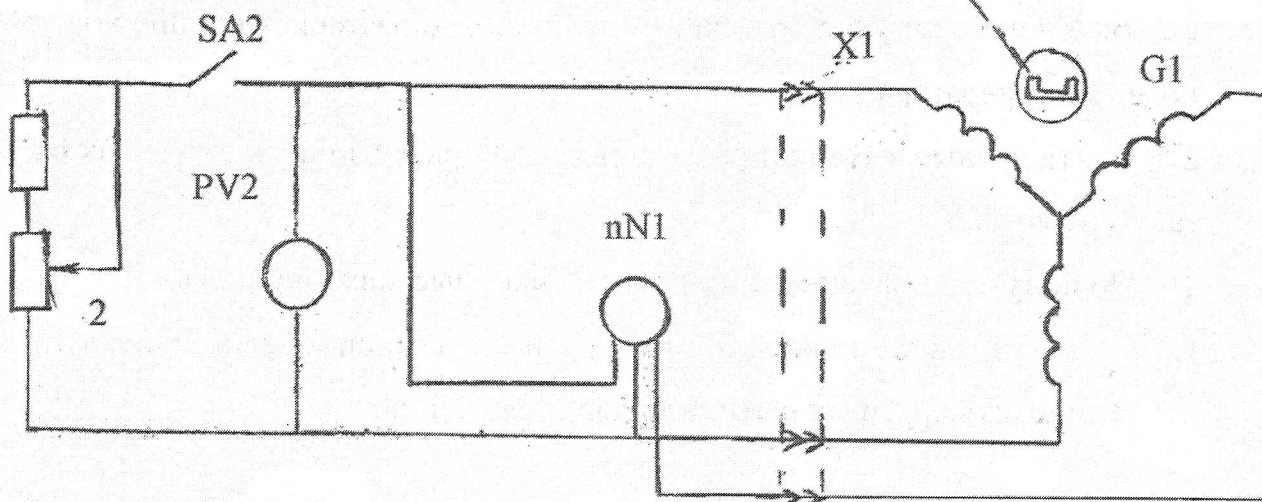
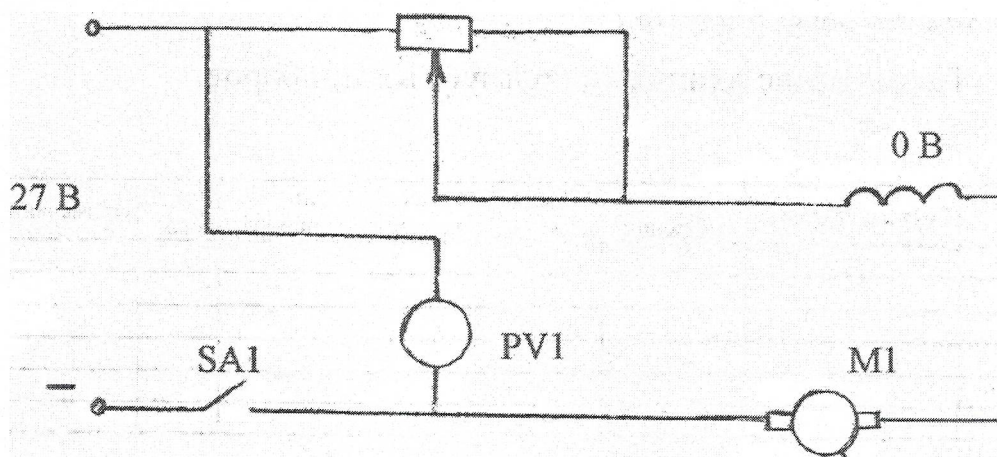
Величины	№ замеров							
	1	2	3	4	5	6	7	8
п, об/мин								
и, в								

Таблица 12.2 Результаты измерений при сопротивлении нагрузки R 2=

Величины	№ замеров							
	1	2	3	4	5	6	7	8
п, об/мин								
U3								

Таблица 12.3 Результаты измерений при сопротивлении нагрузки R 2=

Величины	№ замеров							
	1	2	3	4	5	6	7	8
п, об/мин								
U3								



Лабораторная работа 13

Тема работы «Электрические машины, аппараты и электропривод» Снятие тяговой характеристики электромагнита постоянного тока

Цель работы:

Снять и построить семейство нагрузочных характеристик электромагнита; построить тяговые характеристики электромагнита.

Перечень приборов и оборудования (из расчета на одно рабочее место): установка для снятия тяговой характеристики электромагнита; миллиамперметр постоянного тока с пределом измерения 100 мА; вольтметр постоянного тока с пределом измерения 150 В; комплект соединительных проводов.

Порядок выполнения работы

1.1. Ознакомиться с установкой для выполнения лабораторной работы и обмоточными данными катушки электромагнита. Установка собрана на базе контактора постоянного тока и приведена на рисунке 13.1

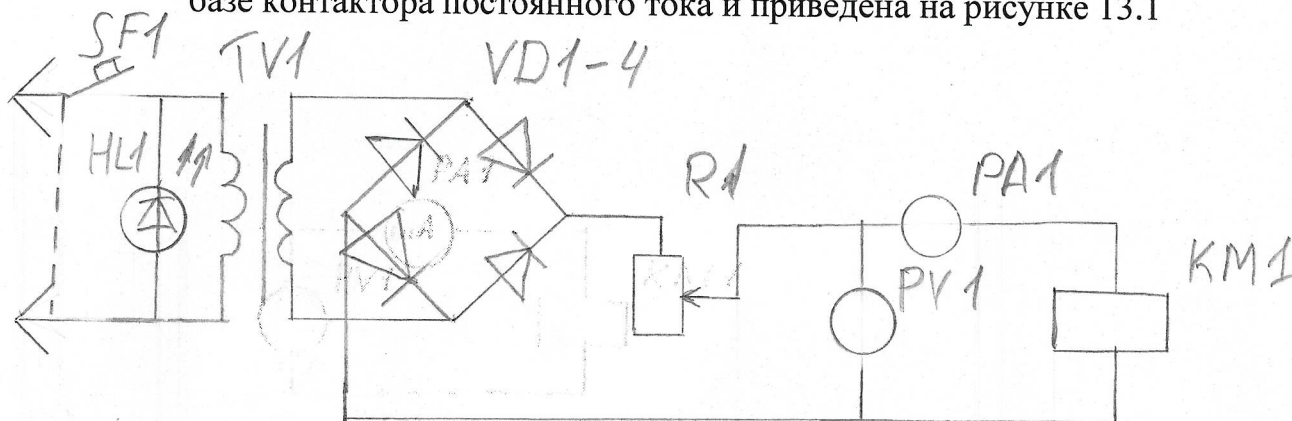


Рисунок 13.1 Установка для снятия тяговой характеристики электромагнита:

1 - регулировочный винт; 2 - шкала углов поворота в градусах;
3 - крючок для подвешивания грузов; 4 - катушка электромагнита Воздушный зазор между якорем и сердечником изменяется регулировочным винтом 1 и определяется по шкале 2. Крючок для подвешивания грузов расположен на расстоянии 1 от оси вращения якоря

Собрать схему, представленную на рисунок 13.1

Рисунок 13.1 Схема включения электромагнита Снять семейство нагрузочных характеристик $M = f(P)$ при четырех значениях угла поворота

якоря: 4, 8, 10 и 14°. Для этого установить заданный угол поворота якоря винтом 1, на крючок 3 повесить

груз и, плавно увеличивая напряжение на обмотке электромагнита, определить ток и напряжение, при которых якорь притягивается к сердечнику (параметры срабатывания). В этот момент электромагнитная сила равна противодействующей, которая создается грузом. Затем нужно увеличить груз при том же угле поворота якоря, определить параметры срабатывания электромагнита. Груз можно увеличивать до тех пор, пока напряжение срабатывания не будет равно номинальному.

Вычислить электромагнитный момент:

Вычислить магнитодвижущую силу (МДС) катушки:

По полученным данным построить семейство нагрузочных характеристик.

На семействе нагрузочных характеристик построить вертикальные линии при вычисленных МДС и определить графически величины электромагнитных моментов при заданных углах поворота якоря. Результаты записать в табл. 4.2 и построить тяговые характеристики.

Данные для построения тяговой характеристики электромагнита

Лабораторная работа 14

«Электрические машины, аппараты и электропривод»

Исследование работы контакторов постоянного и переменного тока

Цель работы

Изучить конструкции, принцип действия контакторов постоянного и переменного тока. Исследовать схемы включения контакторов и снять их параметры.

Общие сведения

Контакторы это аппараты дистанционного действия, предназначенные для частых включений и отключений силовых электрических цепей до 1000В в нормальных режимах работы. В зависимости от рода привода контактной системы различают контакторы:

- электромагнитные, контактная система которых приводится в действие при помощи электромагнита;
- пневматические, контактная система которых приводится в действие при помощи сжатого воздуха;
- гидравлические, контактная система которых приводится в действие при помощи жидкости.

Электромагнитные контакторы получили наибольшее распространение и являются основными силовыми аппаратами современных схем автоматизированного электропривода. Они предназначены для работы в сетях:

- постоянного тока силовые и ускорения;
- переменного тока промышленной частоты (50-60 Гц);
- переменного тока повышенной частоты (до 10000 Гц).

Магнитная система (привод) контактора может по роду тока отличаться от сети (главных контактов). Например, она может быть постоянного тока у контакторов переменного тока, переменного тока промышленной частоты или постоянного тока у контакторов на повышенную частоту.

По характеру размыкания цепи различают контакторы линейные, которые осуществляют замыкание и размыкание различных элементов цепей, и контакторы ускорения, которые служат для переключения ступеней пускового сопротивления.

Контакторы состоят из системы главных контактов, дугогасительной и электромагнитной систем (привода) и вспомогательных контактов. В контакторах ускорения с выдержкой времени имеется еще устройство для создания этой выдержки.

Главные контакты осуществляют замыкание и размыкание силовой цепи. Они

должны быть рассчитаны на длительное протекание номинального тока и на большое число включений и отключений при большой частоте.

В зависимости от нормального положения главных контакторов контакторы различают с замыкающими, размыкающими и смешанными контакторами. Нормальным считают положение контактов, когда втягивающая катушка контактора не возбуждена и освобождены все имеющиеся механические защелки.

Главные контакты могут выполняться рычажного или мостикового типа. Рычажные контакты предполагают поворотную подвижную систему, мостиковые т - прямоходовую. Дугогасительная система обеспечивает гашение электрической дуги, возникающей при размыкании главных контактов. Способы гашения дуги и конструкции дугогасительных систем рассматриваются ниже.

Гашение дуги в контакторах постоянного тока

Наибольшее распространение для гашения дуги в контакторах получил способ магнитного дутья. Сущность способа магнитного дутья заключается в следующем. Электрическая дуга, возникающая между размыкающими контактами и представляющая собой поток заряженных частиц, перемещается под действием магнитного поля, создаваемого электромагнитной дугогасительной катушкой, питаемой отключаемым током. Опорные точки дуги быстро перемещаются на скобу, соединенную с неподвижным контактом, и на защитный рог подвижного контакта. В результате увеличения длины дуги и интенсивного охлаждения ее за счет быстрого движения в воздухе сопротивление дуги резко возрастает, что ведет к быстрой деионизации дугового промежутка и гашению дуги.

В значительной степени гашению дуги способствует обдувание и, как следствие, охлаждение потоками воздуха, возникающими в дугогасительной камере под действием высокой температуры дуги.

Гашение дуги в контакторах переменного тока

Для гашения дуги переменного тока используются следующие системы:

Магнитное гашение дуги с помощью катушки тока и дугогасительной камеры с продольной или лабиринтной щелью.

- Дугогасительная камера с деионной решеткой из стальных пластин.

В первом случае как и в контакторах постоянного тока, гашение дуги происходит из-за растягивания дуги, увеличения ее сопротивления, охлаждения ее воздухом. Недостатками этого метода гашения дуги являются: увеличение потерь в контакторе из-за потерь в стали магнитной системы дугогашения, что ведет к повышению температуры контактов, расположенных вблизи дугогасительного устройства, и возникновению больших перенапряжений из-за принудительного обрыва тока. Система гашения дуги магнитным дутьем получила распространение в контакторах, работающих в тяжелых режимах (при большой частоте включений).

Широкое распространение получила дугогасительная камера с деионной решеткой из стальных пластин. Дуга, возникающая после расхождения контактов, втягивается в клиновидный паз параллельно расположенных стальных пластин. В верхней части дуга пересекается пластинами и разбивается на ряд коротких дуг. При вхождении дуги в решетку возникают силы, тормозящие движение дуги. Для уменьшения этих сил дуга, смещенная относительно середины решетки, вначале пересекает пластины с нечетными номерами, а потом уже с четными. После того как дуга втянется в решетку и разобьется на ряд коротких дуг, в цепи возникает дополнительное падение напряжения на каждой паре электродов. Это падение напряжения составляет 20...30В, что приводит к уменьшению восстанавливающегося напряжения. Для того, чтобы пластины решетки не подвергались коррозии, они покрываются тонким слоем меди или цинка. При частых включениях и отключениях пластины сильно нагреваются и возможно даже их прогорание. Поэтому число включений и отключений для таких контакторов ограничивается до 600 в час.

В новых контакторах для повышения их отключающей способности наряду с магнитным дутьем и деионной решеткой применяется двухкратный (иногда больше) разрыв на фазу. Такие способы дают возможность обеспечить надежную работу контакторов переменного тока на напряжении 660В.

План выполнения работы:

- Внимательно прочитать инструкцию по работе, изучить назначение и принцип действия контакторов постоянного и переменного тока.

- Ознакомиться с устройством и конструкцией контакторов постоянного и переменного тока, представленных на лабораторном стенде. Записать их типы и основные технические характеристики.

-Собрать схему рисунок 14.1 и определить следующие параметры контактора постоянного тока:

$U_{ср}$ - напряжение срабатывания контактора, т.е. то минимальное напряжение, которое будучи подано на втягивающую катушку контактора, вызывает его срабатывание;

$I_{ср}$ - ток срабатывания контактора;

$I_{ср.н}$ - номинальный ток срабатывания контактора при номинальном напряжении;

I_H ~ номинальный ток втягивающей катушки;

S_H - мощность, потребляемую катушкой при номинальном напряжении;

U_B - напряжение возврата, то максимальное напряжение, при котором контактор размыкает свои силовые контакты, т.е. возвращается в исходное положение;

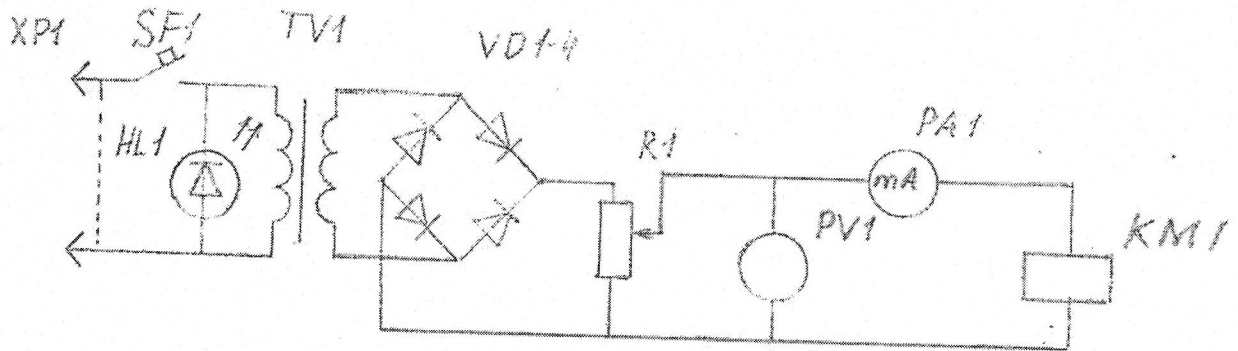


Рисунок. 14.1 Схема для исследования контактора постоянного тока.

Установить разницу между I_n и $I_{ср.н}$, найти их кратность $K = I_{ср.н} / I_n$

- Собрать схему рисунок Л 4.2 и определить параметры контактора переменного тока: $U_{ср}$ - напряжение срабатывания;

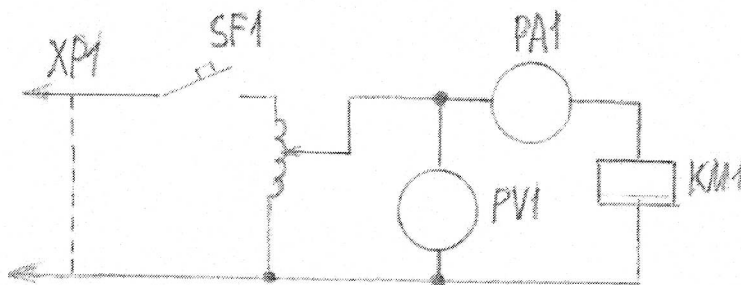


Рисунок 14.2. Схема для исследования контактора переменного тока.

- Установить разницу между I_n и $I_{ср.н}$, найти их кратность $K = I_{ср.н} / I_n$.
 ПРИМЕЧАНИЕ: $I_{ср.н}$ определять при неподвижных контактах.

Содержание отчета:

- Назначение и принцип действия контакторов постоянного и переменного тока.
- Основные способы гашения дуги в контакторах.
- Схемы включения контакторов.
- Результаты измерений и расчетов.
- Вывод.

Лабораторная работа 15
по МДК 01.01
«Электрические машины, аппараты и электропривод»
Исследование работы магнитных пускателей

Цель работы

Изучить конструкцию, принцип действия, схему включения нереверсивных и реверсивных магнитных пускателей и исследовать тепловое реле.

Общие сведения

Магнитные пускатели предназначены главным образом для дистанционного пуска непосредственным подключением сети, останова (отключения) и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором мощностью до 75кВт при напряжении до 660В, частотой 50 и 60Гц.

Пускатели представляют собой сочетание контакторов и тепловых реле. Контактторы и тепловые реле могут устанавливаться независимо один от другого или совместно на отдельной плате открыто или в общей оболочке.

При наличии тепловых реле пускатели также осуществляют защиту управляемых ими электродвигателей от перегрузок. Бесперебойная работа асинхронных двигателей в значительной степени зависит от надежности пускателей. Поэтому к ним предъявляются высокие требования в отношении износостойкости, коммутационной способности, четкости срабатывания, надежности защиты двигателей от перегрузок минимального потребления мощности.

Контакторы магнитных пускателей состоят из корпуса, в котором размещены магнитная система, служащая для дистанционного управления пускателями, контактная система силовая и блок-контакты, включаемые в цепи управления.

Магнитная система пускателей переменного тока шихтованная. На стоповых поверхностях ярма магнитной системы устанавливаются один или два короткозамкнутых витка для уменьшения пульсации электромагнитных сил.

Величина пускового тока катушек контакторов в 5.. 15 раз больше, чем во включенном состоянии. Контакты пускателей изготавливаются из серебра или металлокерамических композиций: серебро - окись кадмия, серебро - никель.

Контакты и блок-контакты выполняются мостикового типа, с двукратным разрывом в каждой фазе.

В малых контакторах применяется пластмассовые междуфазовые перегородки, отделяющие одну фазу от другой, в больших дугогасительные камеры закрытого или открытого типа с металлическими накладками или деионными решетками.

Нормальная последовательность работы контактов при включении следующая: размыкание размыкающихся блок-контактов, замыкание главных контактов и далее замыкающихся блок-контактов; при отключении процесс происходит в обратной последовательности, сначала размыкаются размыкающихся блок-контакты.

Реверсивные магнитные пускатели представляют собой два контактора, укрепленных на общем основании и сблокированных механически как по силовой цепи, так и цепи управления для предотвращения одновременного включения контакторов. Реверсивные пускатели должны всегда иметь электрическую блокировку (через размыкающиеся (блок-контакты)). Электрическая блокировка предназначена для устранения возможности одновременной подачи напряжения на втягивающие катушки, для предотвращения возможного короткого замыкания в главных цепях реверсивных контакторов. Механическая блокировка не должна исключать применения электрической блокировки.

Схемы включения пускателей

Простая схема управления короткозамкнутым двигателем с помощью магнитного пускателя приведена на рисунке 15.1

Работает она следующим образом. Включением вводного выключателя подается напряжение на силовую и вспомогательные цепи управления. Кнопкой SB 1 «Пуск» замыкается цепь питания катушки контактора КМ1. При этом контактор замыкает свои рабочие контакты КМ1.1, КМ1.2, КМ1.3 в силовой цепи питания двигателя и одновременно блок-контакт КМ1.4, шунтирующий кнопку «Пуск». Дальнейшее удержание кнопки «Пуск» после этого не требуется. Для остановки двигателя нажимаем кнопку SB2 «Стоп», которая размыкает цепь катушки контактора КМ1, и контактор отключается. Схема приходит в исходное состояние. Рисунок. 15.1. Схема управления электродвигателем.

На рисунке 15.2 изображена схема управления короткозамкнутым двигателем с помощью реверсивного пускателя. Такой пускатель имеет два контактора: КМ1 и КМ2 «Вперед» и «Назад». В схеме включены контакты КМ1.5 и КМ2.5 благодаря чему исключается одновременное включение контакторов. Кнопка SB1 «Стоп» и контакты теплового реле КК1.1 действуют на любой включенный контактор. В остальном схема рисунок 15.2 работает так же, как и предыдущая (рисунок 15.1).

Рисунок.15.2 Схема реверсивного управления электродвигателем.
План выполнения работы

Внимательно прочитать инструкцию по работе, изучить назначение и принцип действия магнитных пускателей реверсивных и нереверсивных.

- Ознакомиться с устройством и конструкцией магнитных пускателей, предоставленных на лабораторном стенде.
- Собрать схему, представленную на стенде, для запуска асинхронного двигателя и осуществить пуск его в работу и отключение.
- Собрать схему, для реверсивного управления электродвигателем и проконтролировать работу двигателя вперед-назад, для контроля направления вращения двигателя на ось ротора надет диск с радиальными красно-белыми полосами.

Содержание отчета:

- Назначение и принцип действия магнитных пускателей нереверсивных и реверсивных;
- Схемы включения магнитных пускателей;
- Результаты измерений.

Вывод

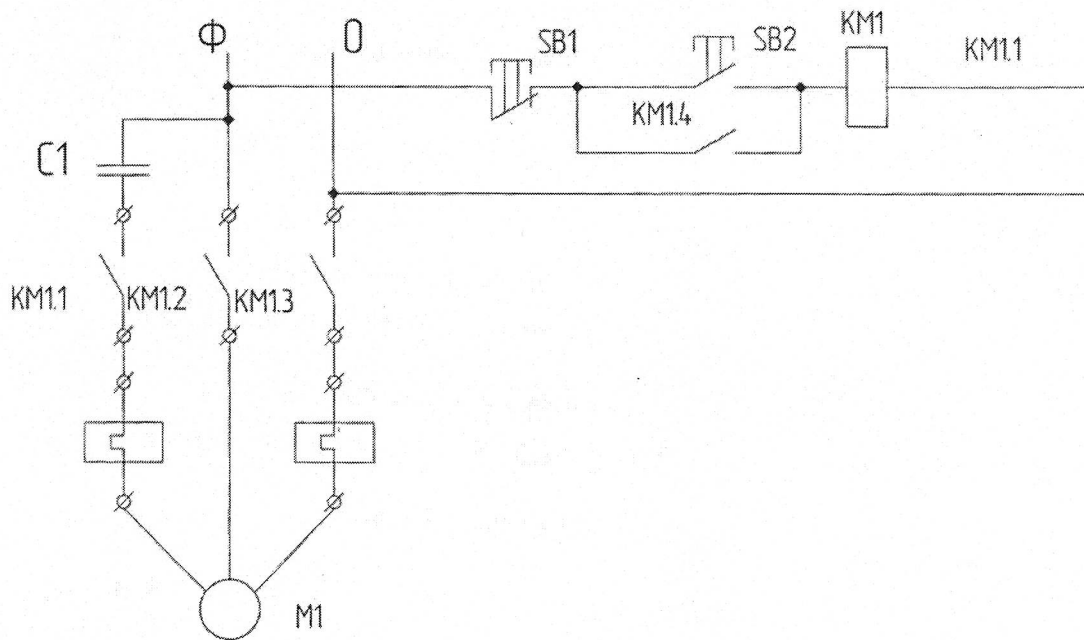


Рисунок 15.1. Схема управления КЗ ЭД с помощью магнитного пускателя

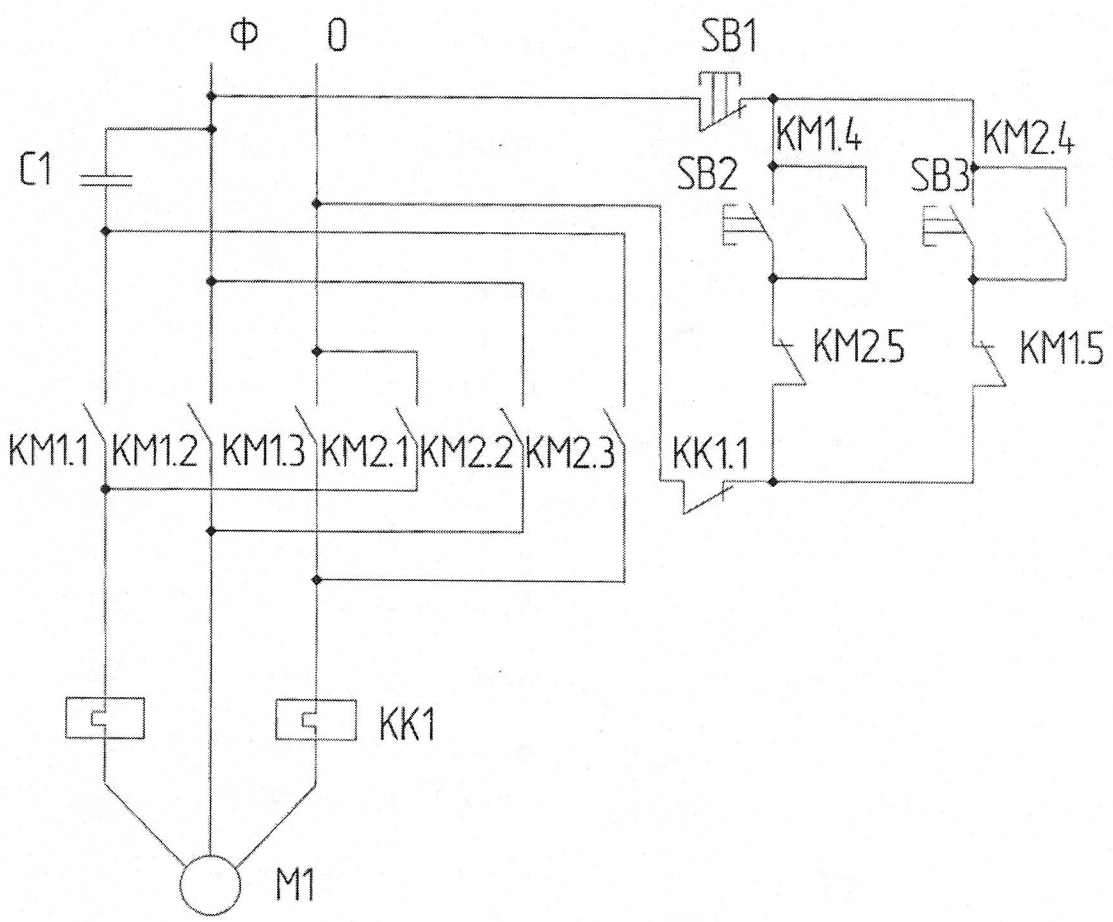


Рисунок 15.2. Схема управления КЗ ЭД с помощью реверсивного пускателя

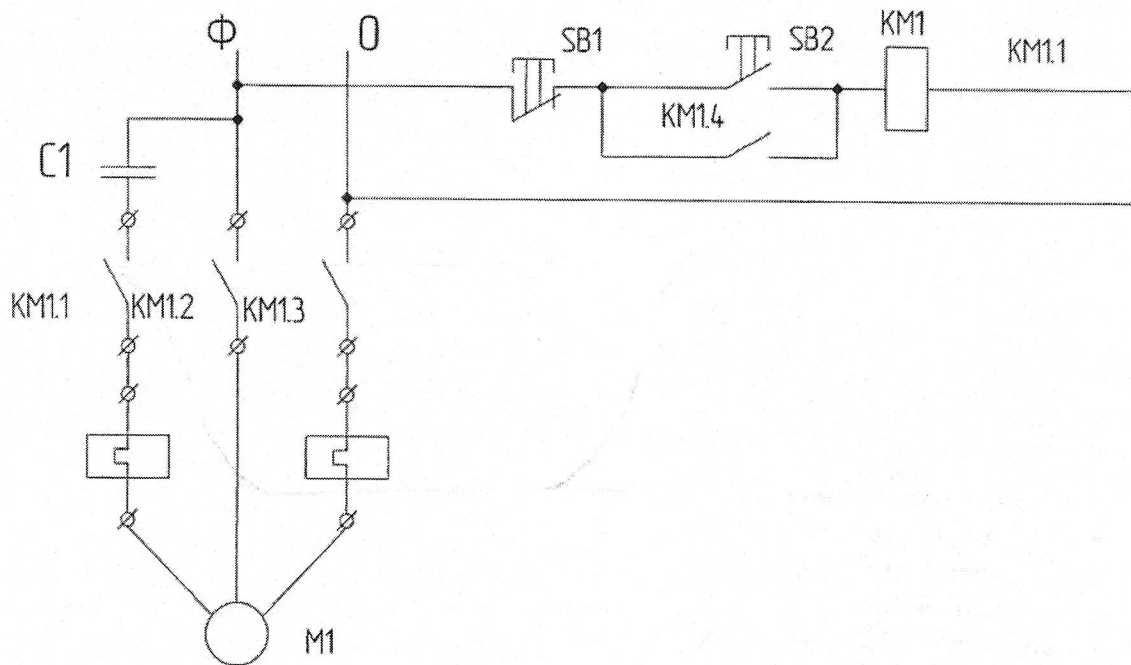


Рисунок 15.1. Схема управления КЗ ЭД с помощью магнитного пускателя
 Φ 0 SB1

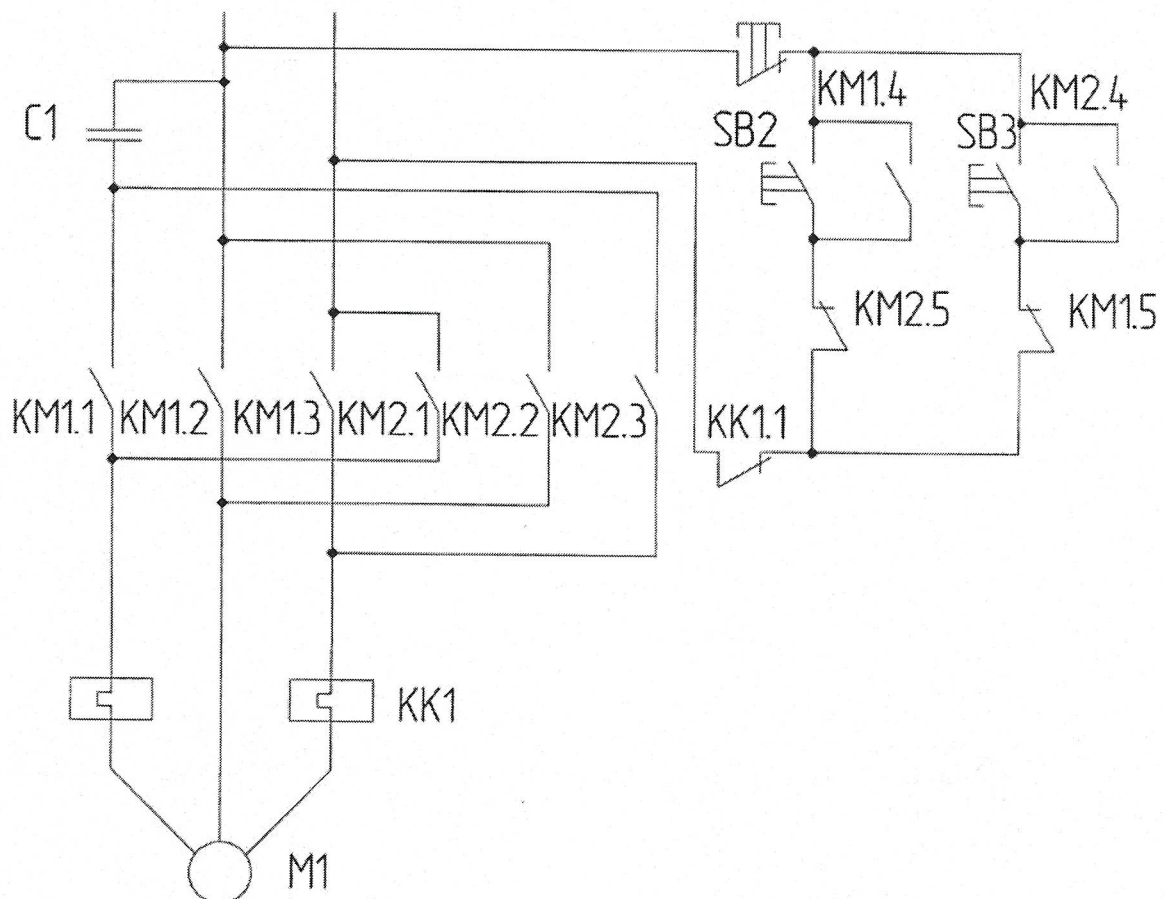


Рисунок 15.2. Схема управления КЗ ЭД с помощью реверсивного
 пускателя

Лабораторная работа 16.

Исследование работы электромагнитного реле тока.

Цель работы: Изучить принцип действия и конструкцию реле РТК - ХМ.

Порядок выполнения:

- 16.1. Ознакомится со схемой внутренних соединений, техническими данными и назначением реле.
- 16.2. Собрать схему.
- 16.3. Определить ток срабатывания и напряжение срабатывания. Определение параметров производить при плавном изменении тока, срабатывание и возврат реле контролировать по состоянию сигнальной лампочки. Оценку результатов проводить по среднему арифметическому из трех измерений.

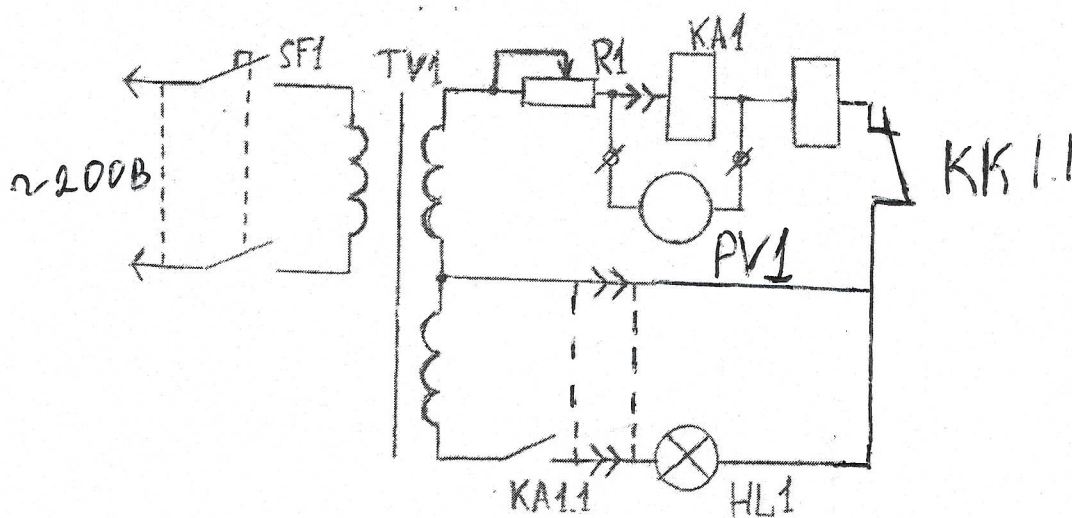


Рисунок 16.1 Схема лабораторного стенда.

Контрольные вопросы:

- 16.1. Из каких основных элементов состоит реле тока РТК - ХМ.
- 16.2. Как подключается электромагнитная обмотка реле по отношению к нагрузке R1.
- 16.3. Назначение теплового реле КК

Лабораторная работа 17

«Электрические машины, аппараты и электропривод»
Изучение различных типов автоматов. Измерения времени срабатывания.

Общие сведения

Автоматический воздушный выключатель (автомат) - аппарат, предназначенный для автоматического размыкания электрических цепей. Воздушным он называется потому, что электрическая дуга гасится в среде окружающего воздуха в отличие от выключателей, в которых дуга гасится в масле или другой среде.

Автоматы изготавливаются на номинальные токи до 6000А, а отдельные серии до 20000 ... 30000А и на номинальные напряжения до 660В переменного тока 50Гц и до 440В постоянного тока. Быстродействующие автоматические выключатели изготавливаются на номинальное напряжение до 3300В постоянного тока. Отключающая способность современных автоматических выключателей достигает 200 ... 300кА.

По числу полюсов автоматы выполняются одно-, двух-, трехполюсными.

Как правило, автоматические выключатели выполняет также и функции защиты при коротких замыканиях, перегрузках, снижении или исчезновении напряжения, изменении направления передачи мощности или тока и т.п. При этом, независимо от выполняемых функций, их можно подразделить по собственному времени срабатывания на нормальные, селективные и быстродействующие, т.к. конструктивные особенности определяются, главным образом, данным параметром. В отдельную группу следует выделить автоматы гашения магнитного поля.

Различают следующие виды автоматов.

Нормальные автоматы - собственное время срабатывания, в зависимости от величины номинального тока и конструкции, лежит в пределах 0,02... 0,1с.

Селективные автоматы - после получения импульса на срабатывание могут осуществлять выдержку времени до 1с.

Они нужны для селективной защиты, т.е. такой защиты, при которой отключается ближайший к месту аварии участок.

Быстродействующие автоматы - время срабатывания их не должно превосходить 0,005с. В отдельных конструкциях достигнуто время срабатывания порядка 0,001с. Эти автоматы обладают токоограничивающим эффектом, а потому могут применяться для защиты цепей с любыми, практически возможными, токами короткого замыкания.

Быстродействующие автоматы применяются во всех выпрямительных установках для защиты анодных цепей при обратном зажигании на

электрифицированных железных дорогах, линиях метрополитена и трамваях, а также во многих других мощных установках.

Автоматы гашения поля - применяются в цепях возбуждения крупных машин. Если в результате нарушения изоляции внутри машины возникло короткое замыкание, то единственным способом, позволяющим ограничить размеры аварии, является быстрое сведение к нулю, т.е. гашение магнитного поля обмотки возбуждения. Эту задачу и выполняют автоматы гашения поля.

Устройство автоматов

Независимо от назначения, автоматы состоят из следующих основных элементов: контактной системы, дугогасительной системы, привода, механизма сводного расцепления, расцепителей и коммутатора с блок контактами.

Контактная система автоматов должна находиться под током не отключаясь весьма длительное время и быть способной выключать большие токи короткого замыкания. Для удовлетворения возникающих в указанных условиях противоречивых требований, широкое распространение получили двух- (главные и дугогасительные) и трехступенчатые (главные, промежуточные, дугогасительные) контактные системы. В автоматах на малые и средние токи до 600А применяются одноступенчатые контактные системы.

В выключателях на большие номинальные токи применяют несколько параллельных контактных систем на полюс.

Дугогасительная система должна обеспечивать отключение больших токов короткого замыкания в ограниченном объеме пространства. Под воздействием возникающих электродинамических сил дуга быстро растягивается и гаснет, но ее пламя занимает очень большое пространство. Задача дугогасительного устройства заключается в том, чтобы ограничить размеры дуги и обеспечить ее гашение в малом объеме.

Распространение получили камеры с широкими щелями (одной или несколькими параллельными) и камеры с дугогасительными решетками. В последние годы применяются камеры с узкими щелями и даже полностью закрытые камеры. Комбинированные дугогасительные устройства:

- камеры с узкими щелями в сочетании с пламегасительной решеткой;
- способны обеспечить гашение дуги в ограниченном объеме при весьма больших токах (30... 40кА). Однако в ряде случаев при токах свыше 40... 50кА электродинамических сил только контура тока оказывается недостаточно, чтобы загнать дугу в камеру. Поэтому используется дополнительная сила, которая может быть создана либо внешним магнитным полем (магнитное дутье), либо воздушным дутьем.

Повышение отключающей способности автоматов может быть получено также применением ряда параллельных контактных систем. В этом случае размыкание параллельно включенных контактов происходит не

одновременно, и дуга возникает на тех контактах, которые размыкаются последними. Можно, однако, создать такие условия, при которых дуга возникнет и будет одновременно существовать на всех параллельных контактах. В таком случае отключающая способность автомата повысится пропорционально числу параллельно включенных дугогасительных контактов.

Привод служит для включения автомата по команде оператора. Автоматы выполняются:

- с ручным приводом непосредственного действия;
- с дистанционным приводом (ручным, соленоидным, моторным, пневматическим). Отключение автоматов осуществляется отключающими пружинами.

Механизм свободного расцепления предназначен:

- исключить возможность удерживать контакты автомата включенном положении (рукояткой, дистанционным приводом) при наличии ненормального режима работы защищаемой цепи;
- обеспечить моментальное отключение, т.е. не зависящую от оператора, рода и массы привода скорость расхождения контактов.

Механизм представляет собой систему шарнирно-связанных рычагов* соединяющих привод включения с системой подвижных контактов, которые связаны с отключающей пружиной. Механизм свободного расцепления позволяет автомату отключаться в любой момент времени, в том числе и в процессе включения, когда включающая сила воздействует на подвижную систему автомата. Так, например, если при соприкосновении контактов включающего автомата по цепи пройдет ток короткого замыкания, то расцепитель сработает и переведет рычаги механизма свободного расцепления вверх за мертвую точку. Автомат отключится и больше не включится, так как механическая связь между включающей силой и подвижной системой автомата нарушена. Если бы не было механизма свободного расцепления, то после автоматического отключения автомата последовало бы его немедленное повторное включения автомата последовало бы его немедленное повторное включение под воздействием включающей силы, которая к этому времени могла оказаться не снятой. Произошли бы быстро следующие друг за другом многократные отключения и включения автомата в тяжелом режиме короткого замыкания, что могло бы привести к его разрушению;

При отключении автомата первыми размыкаются главные контакты и весь ток перейдет в параллельную цепь дугогасительных контактов с накладками из дугостойкого материала. На главных контактах дуга не должна возникать, чтобы они не обгорели. Дугогасительные контакты размыкаются, когда главные контакты расходятся на значительное расстояние. На них возникает электрическая дуга, которая выдувается вверх и гасится в дугогасительной камере.

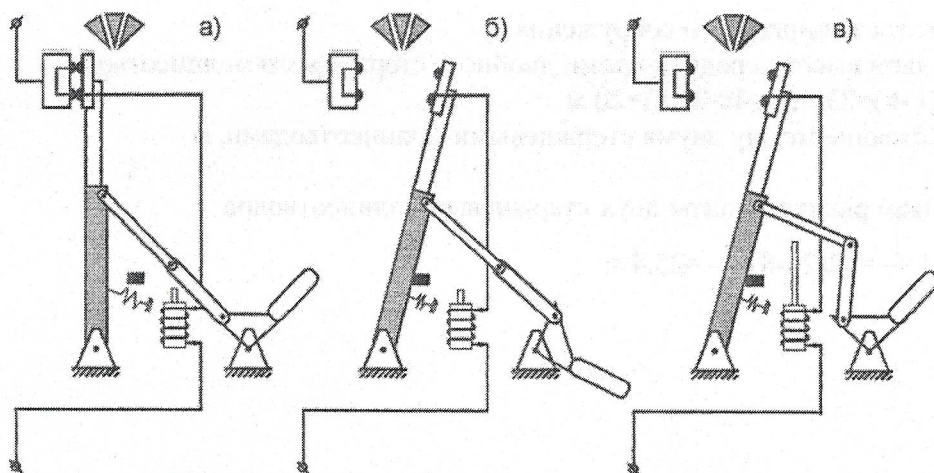


Рисунок 17.1. Принцип работы автомата и его механизма свободного расцепления.

Расцепители - элементы, контролирующие заданный параметр цепи и воздействующие через механизм свободного расцепления на отключение автомата при отклонении заданного параметра за установленные пределы.

В зависимости от выполняемых функций защиты расцепители бывают:

- токовый максимальный мгновенного или замедленного действия (используется как расцепитель перегрузки или селективный);
 - напряжения - минимальный, для отключения автомата при снижении напряжения ниже определенного уровня;
 - обратного тока — срабатывает при изменении направления тока;
 - тепловой - работает в зависимости от величины тока и времени его протекания (принимается обычно для защиты от перегрузок);
- комбинированные - срабатывают при сочетании ряда факторов;

Схема автомата с расцепителем токовым максимальным мгновенного действия показана на рисунке 17.2а. . Когда ток станет выше определенного значения, тяговое усилие электромагнита превысит усилие пружины, якорь притянется, механизм свободного расцепления освободится и выключатель отключится.

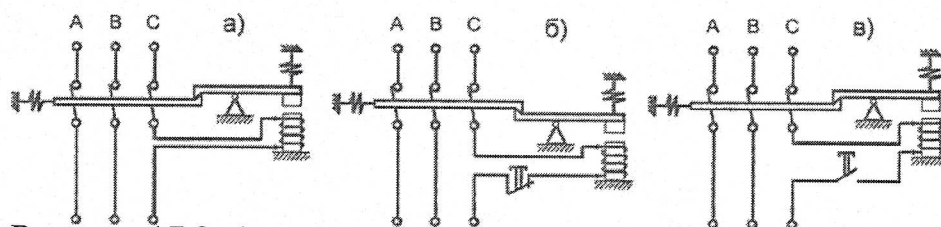


Рисунок 17.2. Автоматы с различного рода расцепителями.

Схема автомата с расцепителем минимального напряжения показана на рисунке 17.2. При нормальных режимах работы якорь катушки, включенной на контролируемое напряжение, притянут. При снижении контролируемого напряжения ниже определенной величины (установки) якорь под действием отключающей пружины отпадает, механизм свободного расцепления

отключает выключатель.

Расцепитель напряжения отключающий представляет собой электромагнит, который притягивает свой якорь при включении катушки на соответствующее напряжение. Своим концом якорь воздействует на механизм свободного расцепления и отключает выключатель.

Блок-контакты служат для производства переключений в цепях управления, блокировки, сигнализации в зависимости от коммутационного положения автомата. Блок-контакты выполняются нормально-открытыми и нормально-закрытыми.

План выполнения работы:

- Внимательно прочитать инструкцию по работе, изучить назначение и принцип действия основных элементов автоматов.
- Ознакомиться с устройством и конструкцией автоматов, представленных на лабораторном стенде. Записать их типы и основные технические характеристики.
- Собрать схему для испытания действия теплового расцепителя автомата АП-50 (схема приведена на стенде). Величина тока задается преподавателем.
- Собрать схему для испытания действия теплового и электромагнитного расцепителя автомата АП-50 (схема приведена на рисунке 17.3). Величины токов задаются преподавателем

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 18. ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО РЕЛЕ ВРЕМЕНИ.

Цель работы:

Изучить принцип действия и конструкцию одного из полупроводниковых реле времени.

Определить основные технические параметры реле.

Общие сведения. Реле времени и различные элементы, создающие выдержку времени, широко применяются в промышленности. Они различаются по точности и диапазону установок. В полупроводниковых реле времени с выдержкой до 20 с широко используется заряд, разряд и перезаряд конденсатора до заданного порогового напряжения.

При заряде конденсатора от источника напряжения через активное сопротивление напряжение на нем изменяется по закону

Через время t после начала заряда напряжение на конденсаторе становится равным? напряжению срабатывания порогового элемента (рисунок 17.52 в). Выдержка времени до момента срабатывания порогового элемента определяется выражением

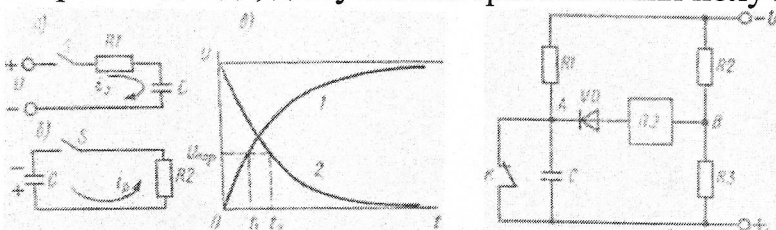
Как видно, выдержка времени зависит от напряжения питания, напряжения срабатывания порогового элемента, емкости конденсатора и сопротивления зарядного (разрядного) резистора. Регулировка выдержки обычно осуществляется путем изменения постоянной времени времязадающей цепи RC.

На рисунке приведена мостовая схема реле времени. В диагональ моста, образованного времязадающей цепью: R1—C и делителем напряжения на резисторах R3 и R2, включен пороговый элемент ПЭ, фиксирующий уровень напряжения на заряжаемой емкости. Пусковая часть реле показана в виде контакта К-

В начальном состоянии, когда контакт К замкнут, он шунтирует конденсатор. При этом потенциал точки А равен нулю; к диоду VD приложено обратное напряжение и он закрыт; при этом пороговый элемент не работает.

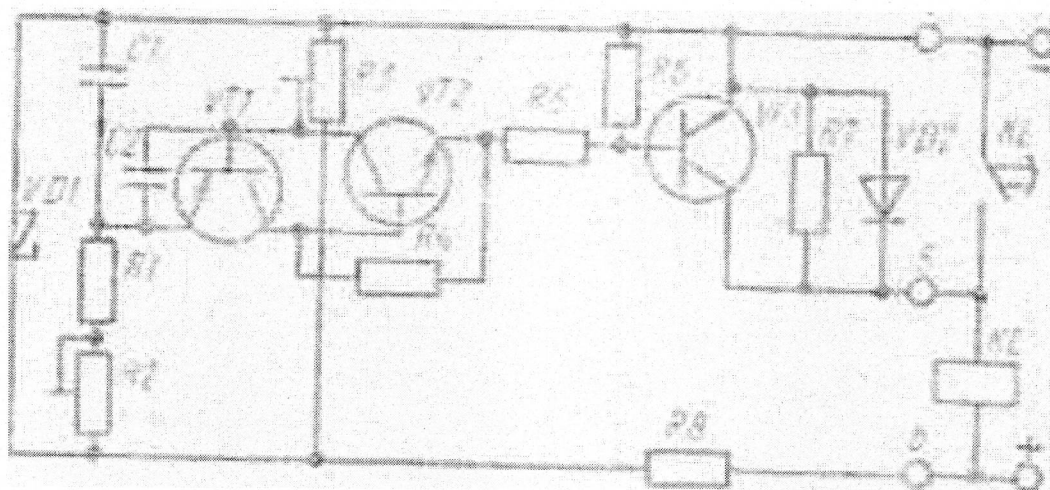
При подаче сигнала на пусковую часть контакт размыкается и конденсатор начинает заряжаться. Напряжение на нем увеличивается в соответствии с (17.41). Как только оно сравнивается с напряжением на резисторе делителя, диод VD откроется и сработает пороговый элемент. •

Пренебрегая напряжением срабатывания порогового элемента и падением напряжения на открытом диоде, для условий срабатывания получаем



Погрешности в выдержке времени в основном определяются нестабильностью емкости конденсатора, зарядного резистора и параметров порогового элемента, наличием токов утечки схемы, возможностью подпитки конденсатора в процессе заряда помимо зарядной цепи. Для обеспечения необходимой точности работы реле используются стабильные

резисторы и конденсаторы, имеющие хорошую, термостабильность и малый ток утечки. Промежуточные реле с выдержкой времени серии РП-18. Промежуточные реле серии РП-18 предназначены для применения в схемах защиты и автоматики в тех случаях, когда требуется создание выдержки времени при подаче или снятии напряжения питания. Реле серии РП-18 способны полностью заменить электромагнитные реле серии РП-250. Выдержка времени в реле серии РП-18 создаётся специальной схемой, в которой применяются полупроводниковые приборы. В качестве выходного реле используется малогабаритное электромагнитное реле постоянного тока. приведена принципиальная схема реле на номинальное напряжение 220 В постоянного тока с выдержкой времени при включении реле РГТ18-1. Схема содержит времязадающую



часть, которая состоит из конденсатора C1 и резисторов R1, R2 \ делитель напряжения на резисторе R31 пороговый элемент- на транзисторах VT1, VT2 и исполнительную часть на транзисторе VT3, в цепь коллектора которого включена обмотка электромагнитного реле /C/.. Напряжение на зарядной цепи стабилизировано стабилитроном VD1. Диод VD2 и резистор R7 защищают транзистор VT3 от перенапряжений. Управление работой реле осуществляется подачей (снятием) напряжения питания.

При подаче напряжения питания начинает, заряжаться конденсатор C; через резисторы R8, R2, R1. При этом транзисторы VT1, VT2, VT3 закрыты. Когда напряжение на конденсаторе несколько превысит напряжение, снимаемое с 'движка потенциометра R3, открываются транзисторы VT1, VT2 порогового элемента п но 'резисторам K5и 2?<5проходит ток. Это, в свою очередь, приводит к открыванию транзистора VT3. В цепи кол-, лектора транзистора VT3 появляется ток и выходное реле KL срабатывает, завершая отсчет выдержки времени. Регулировка выдержки времени осуществляется плавно путем изменения сопротивления резистора R2. Потенциометром R3 ' обеспечивается регулировка порога срабатывания порогового элемента при настройке реле, у

После срабатывания реле его замыкающий контакт шунтирует транзистор VT3, что повышает надежность работы схемы. При отключении напряжения питания реле KL возвращается в исходное состояние, а конденсатор C1 разряжается через открытые транзисторы и через резисторы-£?7, R2, R3. Реле готово к следующему срабатыванию.

На рисунок 1/.55 приведена принципиальная схема реле РП18-5 постоянного тока с замедлением при отключении на. номинальное напряжение 220 В. В качестве выходного реле используется электромагнитное реле RL с магнитной «памятью». Питание реле осуществляется через выпрямительный мост UZ для исключения влияния полярности* подведенного напряжения на работу реле.

Схема реле содержит времязадающую цепочку, состоящую из конденсатора C2 и резистора R5-, конденсатор памяти C1, связанный через разделительный диод VD2 с делителем стабилизированного напряжения на резисторах R1—R3-, пороговый "элемент На -транзисторах VT1 ц VT2. Обмотка выходного реле KI- подключается к напряжению питания через накопительный конденсатор C4. Параллельно: обмотке реле и конденсатору C4 включен ключ на транзисторе VT3.

При подаче на вход реле напряжения питания срабатывает выходное реле KL за счет тока, проходящего по диоду VD5, обмотке KL я замкнутому контакту реле. После срабатывания реле KL размыкается его контакт и напряжение на обмотке исчезает, но реле остается во включенном состоянии за счет остаточной намагниченности сердечника (магнитной памяти). Одновременно с этим заряжаются, конденсаторы C1, C2, C4. Конденсатор C1 заряжается через

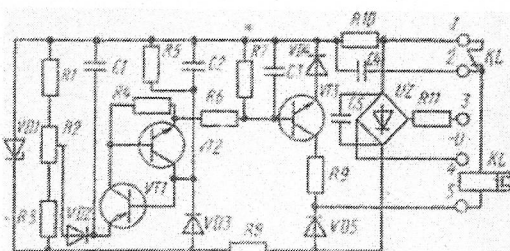


рисунок 17.55. Принципиальная схема реле РП118-5 с выдержкой времени при отключении

резисторы R8, R3, R2, открытый диод VD2 до напряжения, определяемого положением движка

потенциометра R2. Конденсатор C2 заряжается через резистор R8 и диод VD3 до напряжения стабилизации стабилитрона VL1. Конденсатор C4 заряжается через диод VD5, обмотку КХ, резистор R10. Транзисторы VT1, VT2, VT3 при этом закрыты.

При отключении напряжения питания конденсатор C2 разряжается через резистор R5, а конденсатор C1 сохраняет практически неизменный уровень напряжения, так как диод VD2 и транзисторы VT1, VT2 закрыты. Когда напряжение на конденсаторе C2 станет несколько меньше напряжения на конденсаторе C1, открываются транзисторы VT1 и VT2 порогового элемента. При этом также отбывается транзистор VT3. Накопительный конденсатор C4 разряжается через обмотку реле KL, резистор R9 и открытый транзистор VT3. Разрядный ток конденсатора C4 имеет противоположное направление по сравнению с током, вызвавшим срабатывание реле и размагничивает его магнитопровод. Реле KL возвращается в исходное состояние, завершая отсчет выдержки времени. Оставшееся напряжение на конденсаторе C4 разряжается через резистор R10 к замкнутый контакт реле. Реле готово к следующему срабатыванию.

Реле смонтировано в корпусе, состоящем из пластмассового цоколя и кожуха. На цоколе крепятся выходное реле и печатная плата с полупроводниковыми и другими малогабаритными элементами.

Технические данные реле серии РП-18

Реле выпускаются на номинальные напряжения, 24, 48, 110, 220 В.

Напряжение срабатывания реле не более $(0,8U_{ном})$,

Напряжение возврата не менее $0,05U_{ном}$.

Время срабатывания реле РП18-1 находится в пределах 0,05—0,25 с, а реле РП 18-5 — не более 0,05 с.

Время отключения реле РП18-5 находится в пределах 0,15—0,5 с, а реле РП18-1 не более 0,05 с.

Потребляемая мощность реле при номинальном напряжении не более 5 Вт.

Наибольшее отклонение напряжения срабатывания находится в пределах от +20% до —30% при изменении температуры от +40 до —55°C,

Наибольшее отклонение времени замедления составляет ±20% при изменении температуры от +40 до —35°C.

При изменении напряжения питания от $0,8U_{ном}$ до $1,1U_{ном}$ выдержка времени может измениться в пределах от +10 до —20%.

Реле допускают работу в продолжительном и повторно-кратковременных режимах с частотой до 1200 включений в час и относительной продолжительностью включения 40%.

Коммутационная способность контактов реле в цепях переменного тока 500 В с коэффициентом мощности не менее 0,5, а в цепях постоянного тока 100 В с постоянной времени не более 0,02 с и токе до

Механическая износостойкость 100 тыс. циклов, а коммутационная износостойкость 20 тыс. циклов.

Изоляция реле выдерживает: испытательное напряжение 2000 В частотой 50 Гц в течение 1 мин между гальванически не связанными токоведущими частями реле, а также между ними и металлическими деталями корпуса и 500 В между разобщающимися в процессе работы контактами.

Реле времени типа РВ-01. Реле времени типа РВ-01 предназначены для использования в схемах устройств релейной защиты и системной автоматики. Для селекции управляющих

сигналов по длительности либо, для передачи их в контролируемые электрические цепи с установленной выдержкой времени.

Реле типа РВ-01 могут использоваться вместо электромагнитных реле времени с часовым механизмом. По сравнению с ними реле РВ-01 обладает меньшей массой, потребляемой мощностью, занимает меньшую площадь на панели, имеют более широкий диапазон уставок и обладают более высокой точностью и значительно большим механическим и коммутационным ресурсом, устойчивы к механическим воздействиям.

На рисунок 17.56 приведена принципиальная схема реле времени РВ-01 на напряжения 48, 60, 110, 220 В постоянного тока с максимальной выдержкой времени 10 с. Схема содержит время задающую часть, которая состоит из конденсатора С1 и резисторов R1—R33 пороговый элемент, собранный на транзисторах VT1 и VT2, и исполнительную часть на транзисторе VT3, в цепь коллектора которого включено электромагнитное реле КЛ. Для получения временной задержки в реле используется принцип заряда конденсатора от фиксированного начального уровня до уровня срабатывания пороговой схемы. Управление работой реле осуществляется подачей (снятием) напряжения питания.

Для исключения влияния колебаний напряжения питания на величины выдержек, времени напряжение на зарядной цепи стабилизировано стабилитронами VD1—VD3 и защищено от импульсных помех конденсатором С3.

При пуске реле происходит быстрый заряд конденсатора С1 до начального напряжения, приблизительно равного напряжению на стабилитроне VD1. Зарядный ток конденсатора при этом проходит по трем цепям: через резистор R1 и диод VD5 (диод VD4 закрыт), через резисторы R8, R5, R2, диод VD7, конденсатор С2

(кратковременно) и через резисторы R15—R33. В момент, когда напряжения на конденсаторе С1 и стабилитроне VD1 открываются диод VD4, а диод VD5 закрывается и прекращается заряд

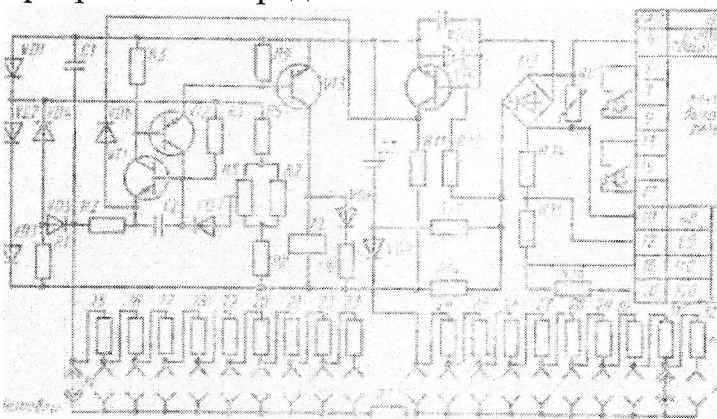


Рисунок 17.56. Принципиальная схема реле времени РВ-01

конденсатора через R1. Дальнейший заряд С1 происходит только через резисторы R15—R33. Как только напряжение на конденсаторе достигает напряжения срабатывания пороговой схемы, открываются транзисторы VT1 и VT2, а следовательно, и VT3. Это приводит к выработке выходного реле ЛХЛ

После срабатывания реле конденсатор С1 начинает разряжаться — и ей через резистор R2 и открытые транзисторы VT1, VT2, VT3. Когда напряжение на С1 уменьшается до напряжения на стабилитроне VD1, диод VD5 открывается и ток резистора R1 идет через цепь транзистора VT1, благодаря чему, транзисторы VT1, VT2) VT3 остаются в насыщенном

состоянии.

Постоянное напряжение питания . подается на схему через выпрямительный мост UZ, чтобы обеспечить независимость работы;)еле от полярности подведённого напряжения.

Для-защиты от импульсных помех на постоянном токе используется активно емкостный фильтр R13, RJ4, СЗ.

Резисторы в цепи питания выбираются по условиям нормально- ГО (функционирования, статической части схемы и обеспечения напряжения на обмотке реле KL, превышающего напряжение возврата. Необходимая для срабатывания реле KL кратность напряжения обеспечивается за счет энергии, накопленной конденсаторам СЗ. Наличие конденсаторов в схеме реле времени приводит к тому, что (При снятии, напряжения питания, напряжение на элементах схемы уменьшается постепенно это явление увеличивает время 'подготовки реле к последующему срабатыванию.

Для сокращения времени подготовки реле в схему введен специальный каскад на транзисторе VT4, обеспечивающий быстрый разряд конденсаторов схемы после снятия напряжения питания.

При наличии питающего напряжения транзистор. VT4 закрыт за счет падения напряжения на диоде VD10, включенного в цепь питания схемы. При .снятии , напряжения питания транзистор VT4 открывается и переходит в режим насыщения за счет открывающего тока через резистор к 12., При этом конденсатор СЗ разряжается через резистор R11 и открытый транзистор VT4. Одновременно разряжается конденсатор С1 через R2, VD6 и открытый транзистор УТ4 и происходит запираение транзисторов пороговой схемы.

Конденсатор С2 обеспечивает-гибкую отрицательную обратную связь в схеме порогового элемента, замедляя его срабатывание для отстройки от помех. Диод VD7 компенсирует “температурную стабильность падения напряжения на переходе, эмиттер — база транзистора VT1. С помощью потенциометра R5 обеспечивается калибровка шкалы реле. Диод VD8 и резистор Rif) ограничивают перенапряжения на коллекторе транзистора VT3 при возврате реле KL. Резисторы R34—RJ6 в цепи питания определяют значение

Лабораторная работа 19

«Электрические машины, аппараты и электропривод»

Изучение и снятие нагрузочных характеристик магнитных усилителей

Цель работы

Изучить назначение, конструкцию, принцип действия магнитного усилителя (МУ). Снять нагрузочные характеристики $I_H = f(I_y)$ (I_H - ток нагрузки; I_y - ток управления):

- при отсутствии обратных связей (ОС);
- с внешней параллельной ОС (ОС по напряжению);
- с внутренней ОС (МУ с самонасыщением);
- определить коэффициент усиления по мощности и коэффициент кратности тока.

Общие сведения

Простейший МУ на одном сердечнике.

МУ являются ферромагнитными устройствами, предназначенными для увеличения мощности нагрузки при относительно малой мощности управления. МУ отличаются от других типов электрических усилителей своей надежностью, большой механической прочностью, простотой конструкции, удобством эксплуатации и практически неограниченным сроком службы. Благодаря своим положительным качествам МУ получили широкое распространение в приборах и устройствах автоматики, телемеханики и вычислительной техники. Особое значение МУ имеют при использовании в бортовых устройствах летательных аппаратов и кораблей.

В отличие от электронных усилителей, у которых управляемыми элементами служат электровакуумные или полупроводниковые приборы, в МУ роль управляемых элементов выполняют катушки индуктивности с ферромагнитными сердечниками (ω_p). Изменение индуктивности катушки зависит от величины подмагничивающего тока, создаваемого управляющим сигналом.

Схема простейшего МУ (дроссель с подмагничиванием) показана на рисунке 19.1а. Здесь на ферромагнитном сердечнике имеются две обмотки; - управляющая обмотка; ω_p - рабочая обмотка или обмотка переменного тока.

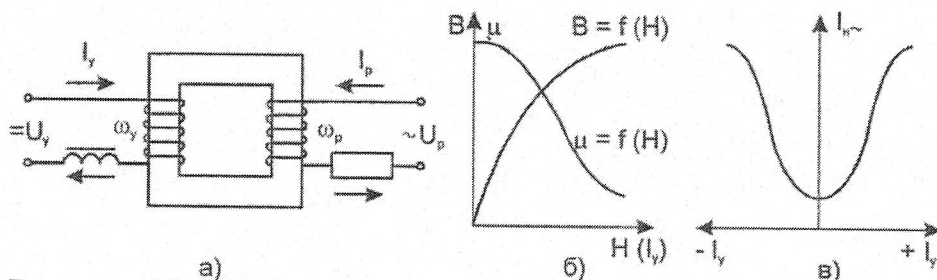


Рисунок 19.1. Принцип действия магнитного усилителя.

На co_y подается управляющий сигнал I_p , подлежащий усилению. Последовательно с co_p включена нагрузка (R_H), которая является выходом МУ - напряжение нагрузки (U_H). co_p питается от источника напряжения переменного тока, например, 50 Гц, 400 Гц. Дроссель (L_y) с большим индуктивным сопротивлением, включенный последовательно с co_y для устранения переменного тока от ЭДС, трансформируемой в co_y из co_p .

Ток в рабочей цепи (цепи нагрузки): обмотки (co_{p1} и 0) p_2) должны быть соединены так, чтобы создаваемые ими магнитные потоки Φ_{p1} и Φ_{p2} были направлены встречно в сердечнике, охватываемом в каждом полупериоде.

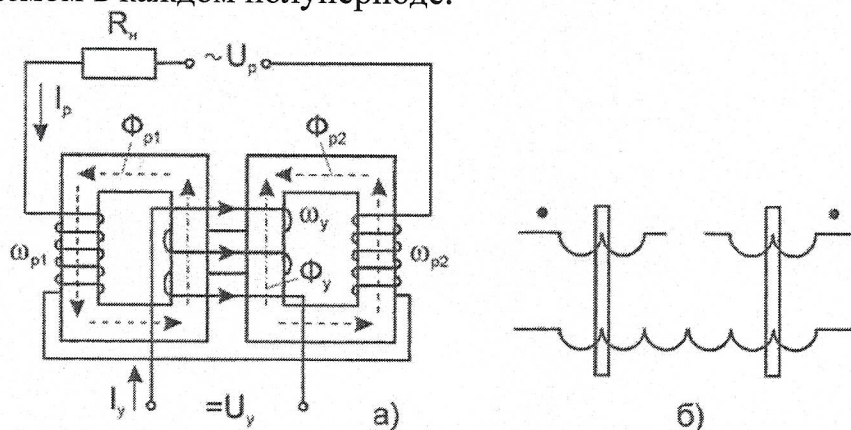


Рисунок 19.2 Схема МУ на двух сердечниках: а) Φ_{p1} и Φ_{p2} , создаваемые co_{p1} и co_{p2} на стержне показаны для одного полупериода; б) схема МУ в ЕСКД.

МУ конструктивно могут выполняться в различных вариантах, например, рабочие обмотки включают параллельно (при большой величине нагрузочного сопротивления) или последовательно-встречно, а обмотки управления - согласно. В ряде случаев применяются МУ, выполненные на трехстержневом Ш-образном сердечнике с утолщенным средним стержнем.

В этом случае co_y расположена на среднем стержне, одна половина намотана на одном крайнем стержне сердечника, другая - на другом. Переменный магнитный поток Φ_{\sim} , создаваемый переменным магнитным полем, проходит по наружному контуру, почти не заходя в средний стержень, который поэтому не подвергается систематическому перемагничиванию. После снятия управляющего сигнала I_y в среднем стержне остается остаточный магнетизм, создающий некоторый постоянный магнитный поток, и, следовательно, ток в нагрузке имеет минимальное значение, но несколько превышает ток холостого хода $I_{H(XH)}$ (завышенный ток холостого хода).

Если необходимо питать нагрузку постоянным током, то в нагрузочную цепь (на месте R_H рисунок 19.2) МУ вводят мостовой выпрямитель, нагрузка включается в

диагональ выпрямительного моста.

Промышленная серия МУ.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются МУ серии ТУМ и УМ. Серия ТУМ (тороидальный) предназначена для работы в системах автоматического регулирования в качестве входных усилителей, обеспечивающих усиление и суммирование нескольких управляющих сигналов. Суммирование сигналов осуществляется с помощью семи управляющих обмоток (1н-1к, 2н-2к, ... 7н-7к). (на рис. 2 показана одна оо_у). ТУМ могут применяться также в качестве бесконтактных реле и выходных каскадов для питания маломощных серводвигателей. МУ серии ТУММУ серии ТУМ выпускаются на четыре напряжения переменного тока 36, 100, 127, 220 В.

Усилители серии УМ предназначены для использования в качестве силовых МУ в различных схемах автоматического электропривода. Диапазон мощностей УМ (0,07...25кВт) и подразделяются на однофазные (УМ-1П) и трехфазные (УМ-3П). Выпускаются на три основных напряжения 127, 220 и 380В, а также на напряжение 63, 110 и 190В.

МУ с обратной связью (ОС).

Для увеличения коэффициентов по току мощности при малом входной сигнале, поданном в обмотку управления относительно небольшим числом витков, в МУ применяются обратные связи. Обратная связь может быть внешней и внутренней.

Для осуществления внешней ОС применяются обмотки ОС (со_{ос}), которая так же как обмотка управления - ю_у, охватывает оба сердечника; по ней протекает выпрямленный ток нагрузки. Внешняя обратная связь может осуществляться по току (последовательная) или по напряжению (параллельная).

Последовательная ОС заключается в том, что в нагрузочную цепь последовательно с нагрузкой включают со_{ос}. В этом случае весь нагрузочный ток будет проходить через со_{ос}.

Параллельная ОС (ОС по напряжению) заключается в том, что щ_{ос} подключают параллельно сопротивлению нагрузки. В этом случае $I_{ос}$ и I_n будут распределяться обратно пропорционально сопротивлениям R_n и $R_{ос}$.

Ток нагрузки в со_{ос} создает дополнительный магнитный поток обратной связи $\Phi_{ос}$. Направление $\Phi_{ос}$ постоянно и определяется полярностью (о_{ос} (подключением ее к источнику постоянного тока)).

Если Φ_y действует согласно с $\Phi_{ос}$, то ОС называется положительной. Если же потоки действуют навстречу друг другу, то МУ имеет отрицательную ОС. Переход от положительной ОС к отрицательной происходит при изменении полярности I_y . При наличии нагрузки на переменном токе ее включают до выпрямителя, который служит для осуществления ОС путем подачи в ю_{ос} только выпрямленного $I_{ос}$.

Внутренняя ОС в МУ (рисунок 19.3) осуществляется путем включения в цепь $с_{ор}$ диода Д, благодаря которому в рабочей цепи будет протекать пульсирующий ток. Этот ток состоит из переменной и постоянной составляющих. Изменение управляющего тока приводит к изменению $I_{н}$, а, следовательно, и постоянной составляющей, преходящей по $с_{ор}$. Постоянная составляющая создает в сердечнике подмагничивание. Такую схему называют МУ с внутренней ОС или МУ с самонасыщением. Это название происходит от того, что даже при отсутствии I_y на входе МУ постоянная составляющая в $с_{ор}$ стремится насытить сердечник, и ток на выходе МУ достигает близкого к максимальному значения.

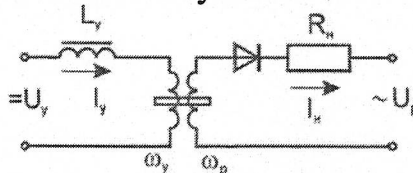


Рисунок 19.3. Схема простейшего МУ с внутренней ОС.

Рассматриваемая схема МУ (рисунок 19.3) является однополупериодной, так как в ней через нагрузку проходит пульсирующий однополупериодный ток. В моменты, когда ток через диод не проходит, нагрузка как бы отключается от питающего напряжения.

Действительно, в нерабочих полупериодах диод заперт, и изменение магнитного состояния сердечника происходит только лишь под влиянием напряжения U_y , действующего в цепи управления МУ.

Обычно эти полупериоды называют управляющими в отличие от рабочих полупериодов, когда напряжение питания LL приложено к $ю_p$ (в течение этого полупериода диод открыт). Именно в рабочие полупериоды в $с_{ор}$ и в нагрузке проходит один и тот же ток. Рассмотренная схема является основной для построения более сложных схем МУ.

Характеристики и основные параметры МУ

Зависимость тока в цепи нагрузки от тока управления $I_n = f(I_y)$ называется нагрузочной характеристикой МУ.

Нагрузочная характеристика МУ без ОС симметрична относительно оси координат, т.е. такой МУ нечувствителен к направлению тока в $с_{ор}$ (рис. 1в).

МУ с ОС чувствителен к полярности I_y , т.к. при одном направлении тока в $с_{ор}$ его поле будет совпадать с полем ОС, а при другом направлении поля будут противоположны. Нагрузочная характеристика МУ с ОС несимметрична относительно оси ординат (рисунок 19. 4). Рабочий участок характеристики МУ должен быть прямолинейным.

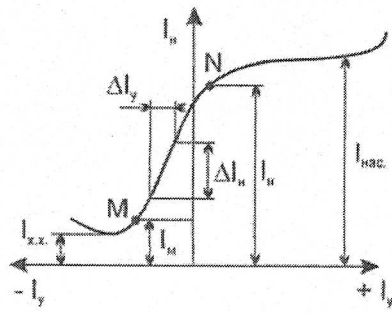


Рисунок 19.4. Зависимость $I_H = f(I_y)$ для МУ с внутренней ОС. Таев И.С.

Лабораторная работа 20.

Изучение работы бесконтактного коммутационного устройства.

Цель работы: Изучить назначение элементов схемы и принцип действия.

Порядок выполнения:

1. Ознакомится с электрической схемой и её назначением.
2. Включить схему и провести управление нагрузкой.

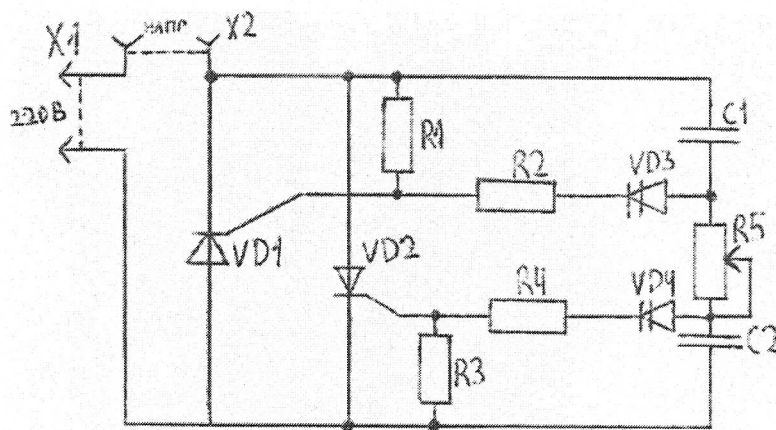


Рисунок 20.1 Электрическая схема бесконтактного коммутационного устройства.

Принцип действия схему: Работа регулятора когда на верхнем штыре разъема XI положительный полупериод напряжения, заряжаются конденсаторы C1 и C2 через резистор R5, но если только на одном из них будет такая полярность напряжения то откроется денистор (при определенном напряжении между контактами конденсатора). Речь идет о конденсаторе C2 и денисторе VD4. В цепи управляющего электрода теристора VD2 потечет импульс тока разряда конденсатора, теристор откроется, подаст напряжение на нагрузку и одновременно разрядет конденсатор C1.

Контрольные вопросы:

- 20.1. Назначение теристора VD1, VD2.
- 20.2. Назначение конденсаторов C1, C2.
- 20.3. За счет чего происходит открытие и закрытие теристоров.

Лабораторная работа 21

Исследование работы однофазного трансформатора.

Цель работы: Усвоить практические приемы лабораторного исследования трансформатора методом холостого хода и короткого замыкания.

1.Содержание работы:

- 21.1. Измерить потери в стали трансформатора.
- 21.2. Измерить электрические потери в трансформаторе.
- 21.3. Определить К.П.Д. трансформатора при номинальном режиме работы.
- 21.4. 1А Определить коэффициент трансформации трансформатора.
- 21.5. Вычислить напряжение короткого замыкания трансформатора в процентах от номинального.

2. Последовательность выполнения работы:

- 21.1. Ознакомиться с оборудованием и приборами.
- 21.2. Собрать схему согласно рисунок 1 для осуществления опыта холостого хода и представить её на проверку преподавателю.
- 21.3. Включить выключатель SA2 и изменяя сопротивление нагрузки снять 6-7 замеров, увеличивая нагрузку от минимального значения до номинального .
- 21.4. Включить схему, при помощи ЛАТРА довести напряжение , подводимое к
- 21.5. первичной обмотке, до номинального и снять замеры тока и подводимой мощности.
- 21.6. Собрать схему согласно рисунку 2 для осуществления опыта короткого замыкания и представить её на проверку преподавателю.
- 21.7. Включить схему, опыт к.З и снять замеры подводимого напряжения и мощности, потребляемой первичной обмоткой.

Таблица 2. Результаты измерений и вычислений:

Режим работы	Измеренная величина				
	U_i В	I_i А	P_i B_x	14 в	h А
Холостой ход					
Опыт короткого					

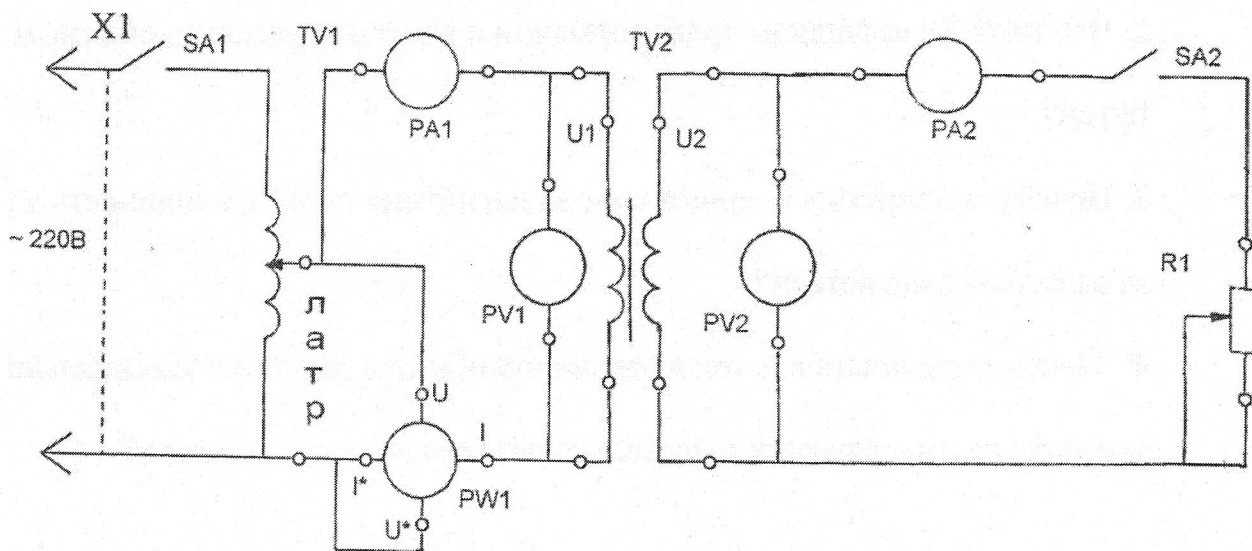


Рисунок 1. Схема для снятия показаний однофазного трансформатора для снятия опытов х.х. и под нагрузкой.

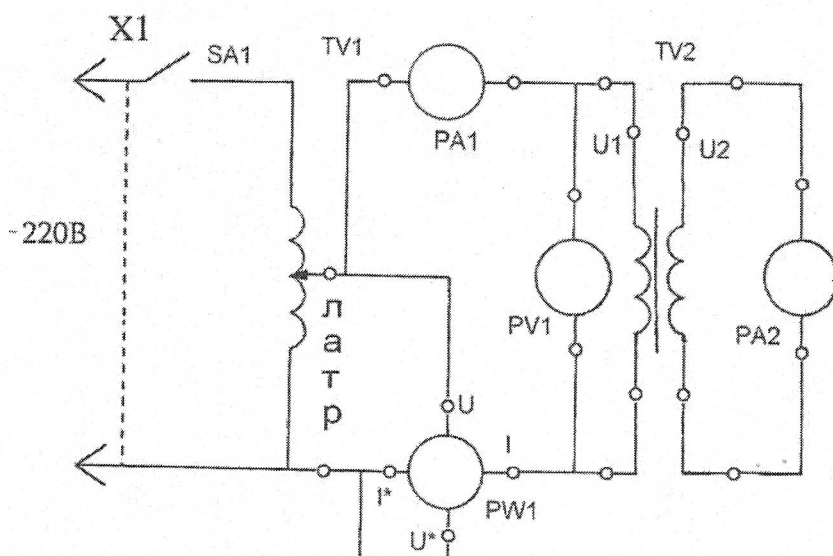


Рисунок 2. Схема для снятия показаний однофазного трансформатора при

Контрольные вопросы:

Контрольные вопросы:

- 21.1. Объясните устройство и принцип действия трансформатора.
- 21.2. Что такое коэффициент трансформации и как его определить опытным путем?
- 21.3. Почему мощность х.х. принимают за магнитные потери, а мощность к.з.- за электрические потери?
- 21.4. Почему при опыте к.з. ток в первичной обмотке достигает номинальное значение при напряжении в несколько раз меньше номинального?

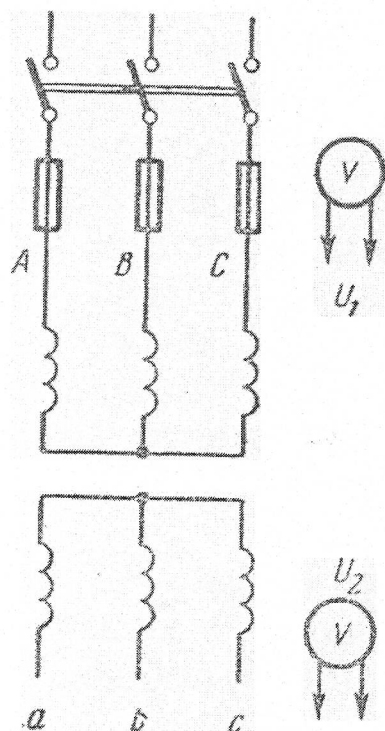
Лабораторная работа 22

План работы

- 22.1. Ознакомиться с трансформатором и записать данные щитка и измерительной аппаратуры.
- 22.2. Определить коэффициент трансформации.
- 22.3. Произвести опыт холостого хода и построить зависимости: тока холостого хода от напряжения на первичных зажимах, и мощности при холостом ходе от первичного напряжения, т. е. $P_x = f(U_i)$.
- 22.4. Найти значения тока холостого хода и потери холостого хода P_x при номинальном напряжении U_n , соотношение между активной и реактивной составляющими тока холостого хода. Определить отношения
- 22.5. Произвести опыт короткого замыкания.
- 22.6. Определить напряжение короткого замыкания трансформатора и построить зависимость процентного изменения напряжения трансформатора:
 - 22.7. а) от тока нагрузки б)
- 22.8. Построить кривую зависимости к. п. д. трансформатора от полезной мощности .
- 22.9. Определить нагрузку трансформатора, при которой наступает максимум к. п. д.
- 22.10. Главные выводы и заключение.

Описание работы

1. Для выполнения опытов холостого хода и короткого замыкания требуется устройство для понижения напряжения, подводимого к трансформатору, и плавного



регулирования его.

В данном случае предполагается, что это будет поворотный автотрансформатор, с которым необходимо ознакомиться и установить то положение ротора, при котором напряжение на выходных зажимах наименьшее. Следует также выяснить пределы регулирования напряжения.

2. Схема для определения коэффициента трансформации показана на рис. 2-27. К зажимам одной из обмоток, лучше высшего напряжения А, В, С, подводится напряжение при разомкнутой вторичной обмотке. Вольтметром измеряются напряжения на зажимах обеих обмоток и результаты опыта записывают в табл. 2-22.

Здесь

$$k_c = U_c / U_{ca}$$

значение коэффициента трансформации

Рис. 2-27. Схема определения коэффициента трансформации трансформатора.

с»

3. Для опыта холостого хода собирают схему по рис. 2-28. Для регулирования первичного напряжения на схеме показан поворотный автотрансформатор ПА,

Напряжения короткого замыкания трансформаторов находятся в пределах 3—15%

По этому, установив ротор поворотного автотрансформатора так, чтобы получалось напряжение, равное наименьшему из указанных, подключают трансформатор и замыкают рубильник 1. Увеличивая напряжение, устанавливают ток, равный номинальному, и измеряют мощность и напряжение. Опыт следует производить с возможной быстротой, так как обмотка трансформатора быстро нагревается. Данные опыта записывают в табл. 2-24.

включать через трансформатор тока, как показано на рис. 2-29-для опыта короткого замыкания.

Установив ротор поворотного автотрансформатора так, чтобы получить наименьшее напряжение на его зажимах, включают рубильник 1. Повысив напряжение, производят измерение тока, мощности и напряжения в одной фазе при напряжениях от $j7i = 0,5t_{iH}$ до $=1,2 U_{1a}$.

Таким же образом производят измерения в двух других фазах, переключая измерительные приборы в соответствующие фазы. Результаты измерений записывают в табл. 2-23.

Если в процессе измерения оказывается, что разница между измеряемыми напряжениями U_a, U_b, U_c невелика, то для экономии времени можно измерять одно напряжение.

к которому присоединяются зажимы а, б и с обмотки низшего напряжения (НН). Обмотка высшего напряжения (ВН) оставляется разомкнутой. Амперметр, ваттметр, вольтметр включаются так, что они измеряют ток, мощность и напряжение одной

фазы. Амперметр подбирается на ток, составляющий 10% более I_{H} , так как ток холостого хода $I_{X} \sim (10 \text{ к } 2,5\%) / I_{H}$. Если по не-

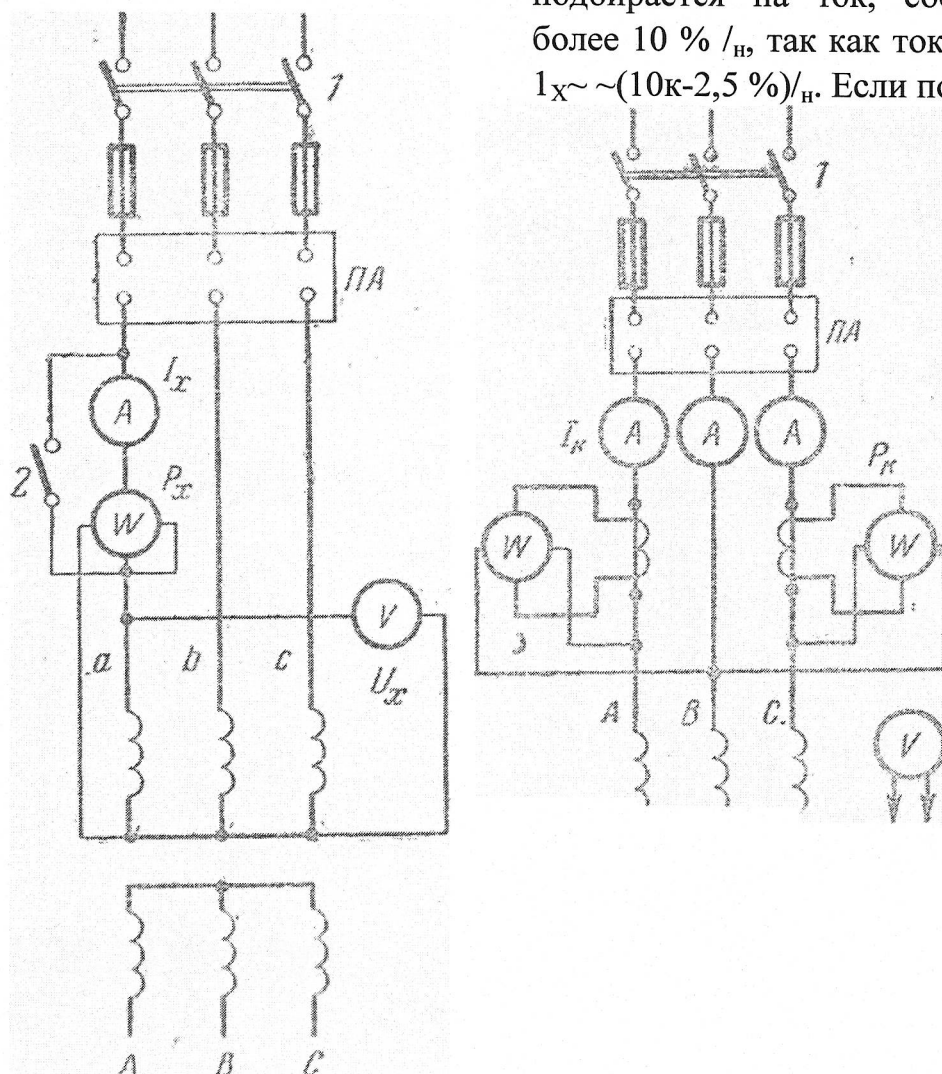


Рис. 2-28. Схема опыта холостого хода трансформатора.

досмотру включить рубильник I при положении ротора ■поворотном автотрансформатора, дающем наибольшее напряжение, то амперметр и ваттметр могут быть повреждены броском тока, который может иметь значение, равное $(6ч-8)/н$. I избежание этого перед включением рубильника / приборы следует зашунтировать рубильником 2, который размыкают, когда производят измерения.

лельная работа производится при равных напряжениях короткого замыкания.

В качестве нагрузки применяется реостат 5, подключаемый рубильником 4.

2. Для нормальной параллельной работы трансформаторов должны быть соблюдены следующие условия.

а) Первичные и вторичные номинальные напряжения должны быть

соответственно равны.

б) Трансформаторы должны принадлежать к одной группе соединения.

в) Напряжения короткого замыкания не должны отличаться друг от друга более чем на $\pm 10\%$ их среднего

$$u_{\text{зна}} \text{ чен } u_{1(2)}$$

ия, т. е.

$$0,1 \frac{I_n}{V_{к1} \sim p \wedge H 2} \frac{2}{2}$$

Включение на параллельную работу производят следующим образом. В первую очередь убеждаются, что все напряжения на вторичных зажимах равны. Для этого при разомкнутых рубильниках 3 и 4 и замкнутом 7 включают рубильники 1, 2 и с вольтметром

проверяют и напряжения. Далее проверяют, что трансформаторы принадлежат к одной группе. Для этого, перемкнув проводом

Если при измерении напряжений между зажимами б,

в 1 и а, «1 вольтметр показывает некоторое напряжение, то это может происходить от неправильного присоединения вторичных зажимов обмоток к рубильнику 3 или первичных зажимов к рубильникам 1, 2. В этих случаях следует поменять местами присоединение зажимов к рубильникам.

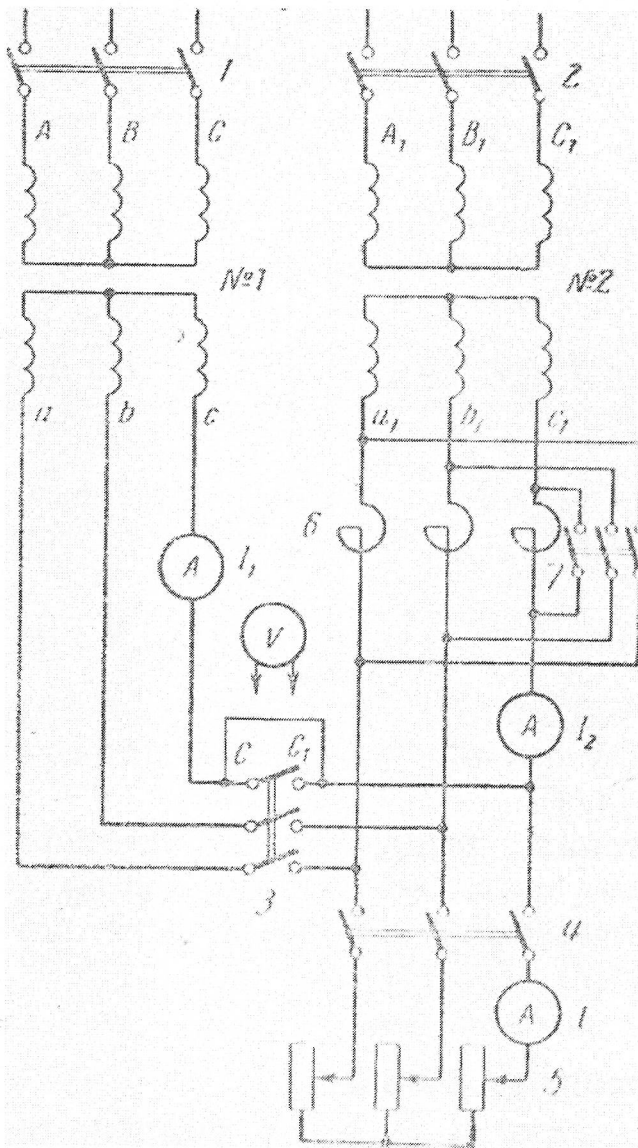


Рис. 2-38. Схем л включения трансформаторов' па параллельную ра боту.

Если трансформаторы принадлежат к разным группам, то включение рубильника 3 недопустимо, так как напряжения между зажимами b, b_1 и a, a_1 не могут быть сделаны равными нулю.

3. После включения трансформаторов на параллельную работу включают рубильник 4 и нагружают их. Запись наблюдений сводят в табл. 2-26. В этом случае, когда напряжения короткого замыкания равны между собой, ток I делится между трансформаторами пропорционально их номинальным мощностям.

На основании записей табл. 2-26 строятся зависимости $i = f(I)$ и $h = f(I)$.

Т а б л и ц а 2-26

наблюдения	I, a	$I_{н} a$	$I_{н}, a$

4. Для того чтобы найти распределение нагрузки между трансформаторами, имеющими неравные напряжения короткого замыкания, включение на параллельную работу производят при разомкнутом рубильнике 7. В этом случае между вторичными зажимами трансформатора и рубильником 3 оказывается включенным специально подобранное реактивное сопротивление b , что увеличивает падение напряжения в этой цепи. Включив трансформаторы на параллельную работу, нагружают их, производят запись токов I, D, I_2 в табл. 2-26 и строят зависимости $D = f(I)$ и $D_2 = f(I)$.

Импульсную нагрузку будет иметь тот трансформатор, у которого напряжение короткого замыкания меньше.

Лабораторная работа 24

Исследование однофазного автотрансформатора

Цель работы. Экспериментально подтвердить особые свойства автотрансформатора сравнением его параметров с параметрами трансформатора полученными при исследовании совмещенной модели.

Программа работы. 1. Ознакомиться с конструкцией совмещенной модели трансформатора и автотрансформатора, записать ее технические данные, а также данные измерительных приборов и регулятора напряжения.

2. Собрать схему понижающего трансформатора по рис. 4.1, а и после проверки ее преподавателем выполнить опыты холостого хода и номинальной нагрузки.

3. Собрать схему понижающего автотрансформатора по рис. 4.1, б и после проверки ее преподавателем выполнить опыты холостого хода и номинальной нагрузки.

4. Собрать схему повышающего автотрансформатора по рис. 4.1, в и после проверки ее преподавателем выполнить опыты холостого хода и номинальной нагрузки.

5. Составить отчет и сделать заключение о проделанных опытах.

Конструкция совмещенной модели трансформатора и автотрансформатора. Совмещенная модель трансформатора и автотрансформатора представляет собой однофазный трехобмоточный трансформатор, состоящий из магнитопровода (стержневого или броневое) и трех одинаковых электрически не связанных между собой обмоток. Из различных комбинаций соединения этих обмоток дают возможность следовать все предлагаемые в данной работе варианты (рис. 4.1). «Исследование всех этих вариантов на одной модели позволяет сравнить результаты экспериментов и дать сравнительную характеристику понижающего). Обычно мощность исследуемой совмещенной модели невелика: (300—500 В · А) и поэтому проста в изготовлении. Небольшая мощность модели способствует упрощению электрических схем исследования (включение ваттметра без трансформаторов тока и напряжения).

Задавшись размерами магнитопровода, определим число витков одной обмотки совмещенной модели

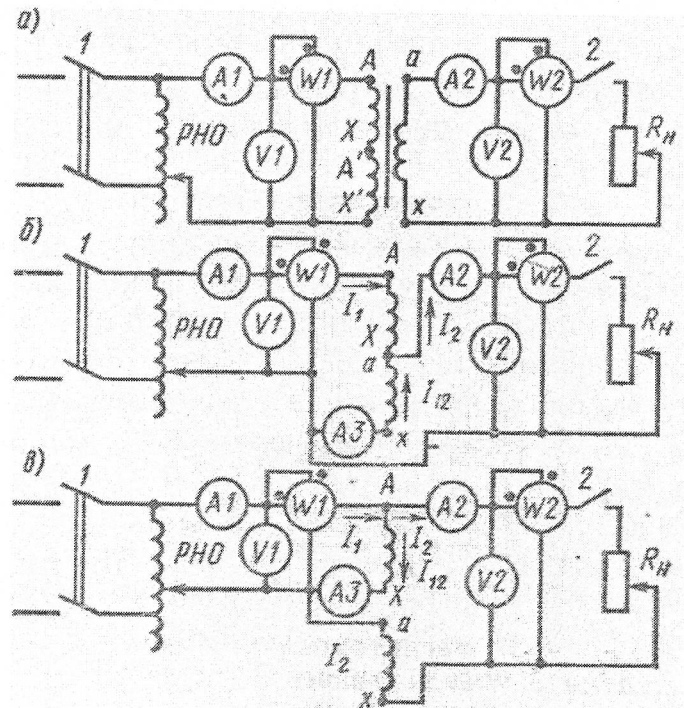
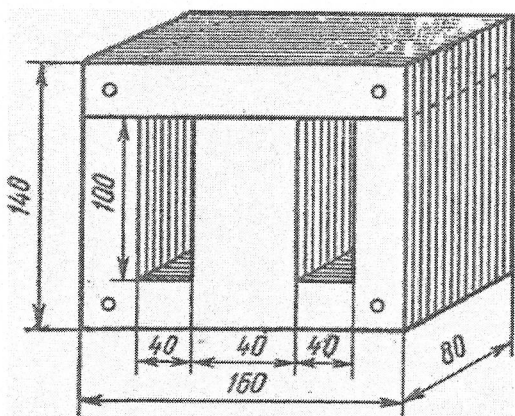


Рис. 4.1. Схемы соединений для исследования автотрансформатора:
а — понижающий трансформатор; б — понижающий автотрансформатор; в — повышающий автотрансформатор

$$w = 0,95i / (4,44/B_c S_a) > \quad (4.1)$$

где U — напряжение на выводах обмотки, В; f — частота тока, Гц; B_a — магнитная индукция в стержне магнитопровода, Тл; S_c — площадь поперечного сечения стержня, m^2 ; k_G — коэффициент заполнения магнитопровода сталью (при толщине листов 0,35 мм $k_c = 0,90$).



В стержне магнитопровода броневого типа из тонколистовой горяче катаной электротехнической стали марок 1211 или 1511 при частоте тока $f = 50$ Гц магнитная индукция $B_c = 1,20 \cdot f - 1,35$ Тл, а в магнитопроводе из холоднокатаной стали марок 3411, 3412 или 3413 индукция B_c . Рис. 4.2. Магнитопровод совмещенный | 50-ф- 1 65 Тл.

щенной модели «трансформатор — автотрансформатор»

мещенной модели «трансформатор — авто трансформатор» при следующих данных: напряжение $U = 110$ В, допустимая величина тока $i_{доп} = 2,5$ А, частота тока $f = 50$ Гц.

Решение. Выбираем магнитопровод броневого типа Ш40 X 80 и стандартных Ш-образных пластин (рис. 4.2). Площадь поперечного сечения сердечника $S_c = 40 \cdot 80 \cdot 10^{-6} = 3,2 \cdot 10^{-3} m^2$.

Число витков в обмотке (4.1)

$$W = 0,95 \cdot 110 / (4,44 \cdot 50 \cdot 1,25 \cdot 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,90) = 130 \text{ витков.}$$

По допустимому значению плотности тока $i = 2,0$ А/мм², расчетное сечение провода $q = 2,5 / 2,0 = 1,25$ мм², ближайшее стандартное сечение провода $q = 1,33$ мм². Тогда принимаем диаметр обмоточного провода марки ПЭТВ $d = 1,30$ мм и диаметр с учетом толщины изоляции $d_{из} = 1,41$ мм. Все три обмотки располагаем на каркасе из картона толщиной 1 мм.

При рядовой укладке витков число витков в одном слое

$$w_{сл} = (100 - 2 \cdot 1) / d_{из} = 98 / 1,41 = 70 \text{ витков,}$$

число слоев в обмотке $n_{сл} = w / w_{сл} \approx 130 / 70 \approx 2$ слоя, общее число слоев в трех обмотках $n_{сл} = 2 \cdot 3 = 6$ слоев.

Межслоевую изоляцию выполняем из лакоткани ЛХ в два слоя толщиной 0,5 мм во всех обмотках общая толщина межслоевой изоляции $0,5 \cdot 6 = 3,0$ мм. Тогда расчетная высота окна намотки $Y_p = 1 + 3,0 + 1,41 \cdot 6 = 13$ мм, что меньше фактической высоты окна намотки $Y = 40$ мм (рис. 4.2).

Порядок выполнения работы. Исследование понижающего трансформатора. После сборки схемы по рис. 4.1, а и проверки ее преподавателем провести опыт х. х. тран

$a P_k$ — потери короткого замыкания при номинальном токе, приведенные к температуре 75° С, которые практически не отличаются от потерь в обмотках при номинальной нагрузке.

Задаваясь значениями $\xi_{пт} = 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$, вычисляют к. п. д. (табл. 2-25) и строят зависимость

$$\eta = f(P_2).$$

7. Как известно, наибольшее значение к. п. д. наступает

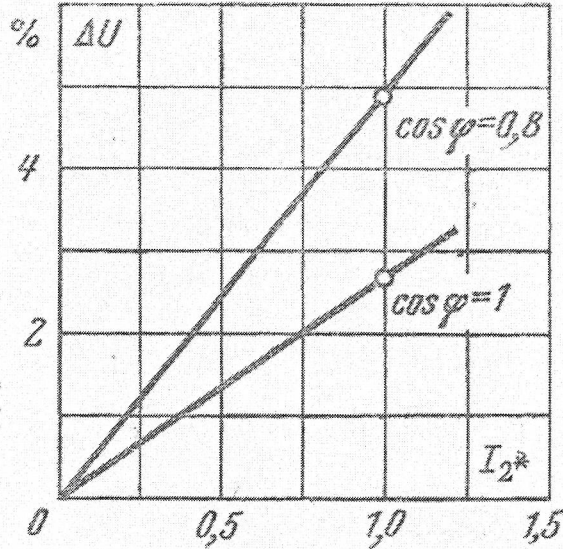


Рис. 2-31. Зависимость процентного изменения напряжения трансформатора от вторичной мощности.

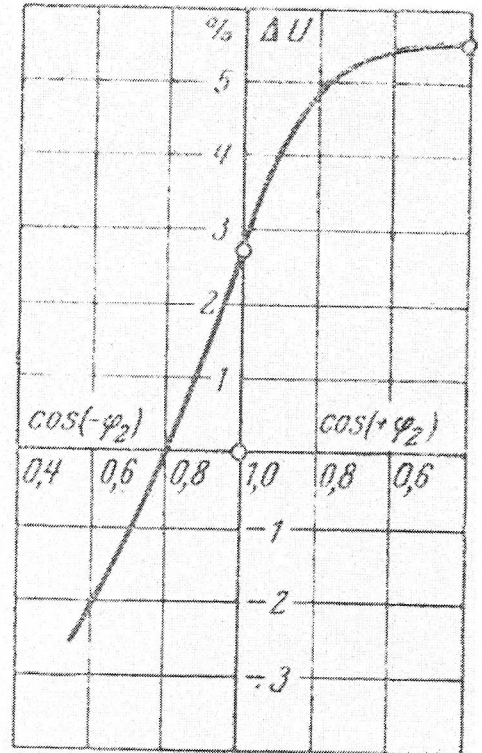


Рис. 2-32. Зависимость изменения напряжения трансформатора от коэффициента полезного действия.

пает при такой нагрузке, при которой потери в обмотках становятся равными потерям стали, т. е.*

Лабораторная работа 25

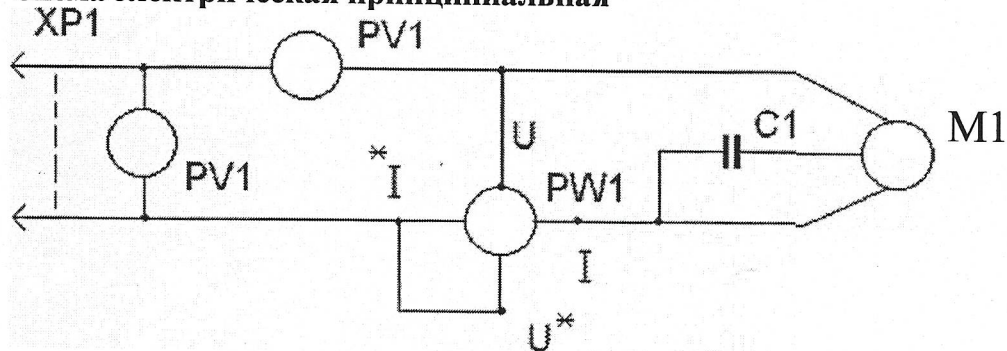
Определение момента инерции по методу свободного выбега

Цель: Определить маховой момент инерции электропривода опытным путем

1 Маховый момент - это инерция ротора (продолжение вращения после отключения питания и наоборот - до набора номинальных оборотов при подачи питания на двигатель).

1 Маховики применяются для повышения стабильности балансировки , жесткости и собственной резонансной системы (частоты) роторной системы . Из-за этого применения маховика маховый момент двигателя уменьшается

Схема электрическая принципиальная



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 26

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование естественной к искусственным (реостатных) характеристик двигателя с фазным ротором, а также влияние напряжения питания на работу двигателя.

ПРОГРАММА РАБОТЫ:

- 26.1. Ознакомиться с установкой и записать паспортные данные оборудования и приборов.
- 26.2. Собрать схему (рис.1) и после проверки ее преподавателем снять данные для построения естественной характеристики $n = f(M)$. Результаты занести в таблицу 1.
- 26.3. Снять данные для построения искусственной характеристики При 0. Данные занести в таблицу 1.
- 26.4. Снять данные для построения характеристик при U_A Уном . Данные

Снятие рабочих характеристик производят по схеме М. ВВ начале обмотки двигателя, включают на $\pm V$ / на наименьшую скорости /, • для чего, переключатель Щ переводят в нижнее положение*. Первый отчет по приборам делают при холостом ходе / $M=0$ /. Затем при помощи электромагнитного тормоза /ручкой электро магнит а/ изменяют момент на валу двигателя, от 0; до $T_{фр}$; & ГхМ- /через 0,3кГхМ/, Результат измерений записывают в таблицу*

После снятия рабочих характеристик при наименьшей скорости- двигателя разгружают,; обмотки его переключают на АА /на наибольшую .скорость для чего переключатель Зр переводят⁴ в верхнее положение..

Далее характеристики снимают аналогично*.

Вычисления,, указанных в таблице величин производят, по следующим формулам:

1 л. Коэффициент мощности -'

где P_u активная мощность* потребляемая двигателем из (зети'

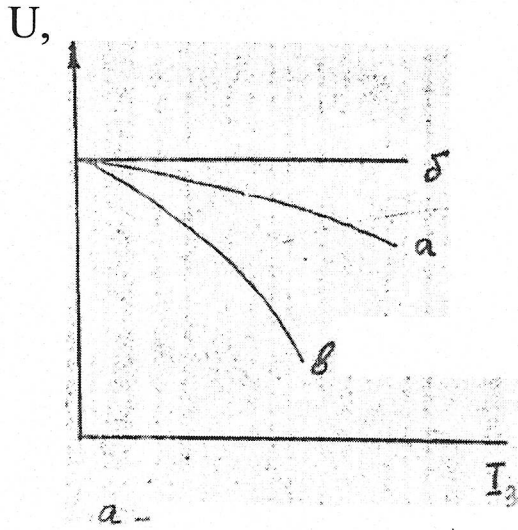
п

следующим образом: На холостом ходу устанавливают номинальное напряжение -замеряют ток ; ^ Затем вешают: нагрузку и с помощью #2 выставляют

вают тот же ток I_z . Так- КЕШ: при: этом будет обеспечена полная. компенсация, т

изменение-нагрузки: (ΔI_2) не будет сказываться на изменении
 ■ тока I_2 , записывает данные- в' табл:.. £

Если уменьшать сопротивление то ток ' ' протекающий, по компенсационной-обмотке „уменьшится и гц атанет^-м-еньяш это



перекомпенсация
 подокон пенс ац ия

режим, недокомпенсации; Ток I_2 при этом при увеличении тока .нагрузки будет уменьшаться^ :

Чтобы выставить перекомпенсацию 'нес б ходи» -мо -отсоединить Я2 от Кj чтобы "вес ток нагрузки проходил по компенсационной--обмотке v Внешние характеристики при надокомпенсации и пер компенсации с н имаотс я~ т ак же:*, как и при полной". Внешние характеристики показаны-на рис. 3

воздействовать на процесс переключения структуры в проводящее состояние и тем самым определяет существенные преимущества тиристоров перед переключателями.

Рассмотрим сначала механизм действия структуры переключателя или, что то же самое, действие структуры тиристора при разомкнутой цепи управляющего электрода. Для этого приложим к структуре внешнее напряжение в прямом направлении, которому соответствует подсоединение положительного полюса источника к области P1 а отрицательного - к области N2. При такой полярности приложения напряжения переходы 1 и 3 смещаются в прямом, а центральный переход 2 - в обратном направлении.

Смещение перехода 2 в обратном направлении обуславливает низкую проводимость всей структуры. Поэтому участок вольт амперной характеристики, соответствующий непроводящему состоянию структуры в прямом направлении, имеет то г же характер, что и характеристика диода в

обратном направлении.

Однако при увеличении напряжения смещения до критической величины, называемой напряжением переключения $U(VO)$, взаимодействие всех трех электронно-дырочных переходов обеспечивает переключение структуры в проводящее состояние.

Упрощенный анализ, раскрывающий условие переключения структуры в состояние высокой проводимости, можно провести, используя двухтранзисторную аналогию. Действительно, PNPN - структуру условно можно расчленить на два транзистора NPN и PNP с коэффициентами усиления, соответственно β_n и β_p . Используя эти коэффициенты, механизм протекания рекомбинационных токов в структуре можно представить следующим образом.

Положительное смещение крайних переходов 1 и 3 обуславливает инжекцию

Лабораторная работа 27

Тема: Изучение разомкнутой системы электропривода.

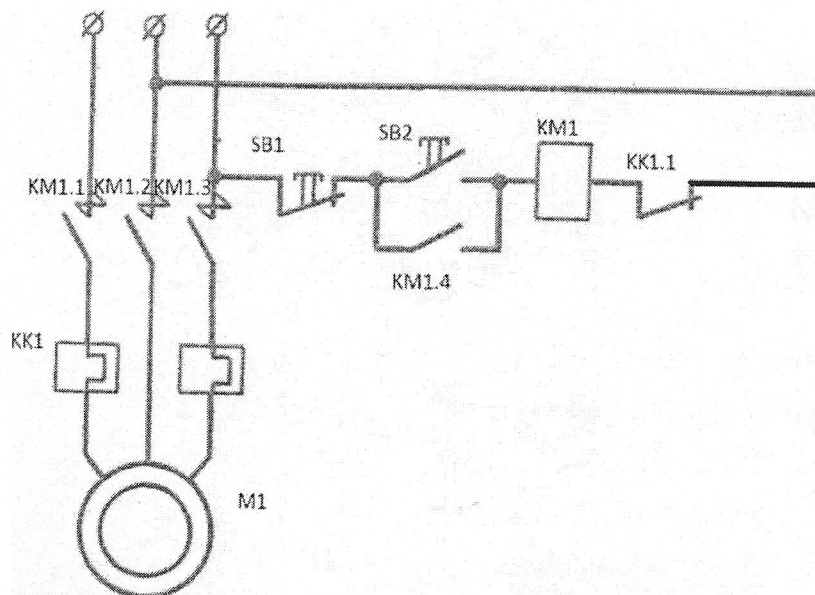
Цель: Изучить работу схемы разомкнутой системы электропривода.

Задание:

-Начертить схему в соответствии с действующими стандартами -Описать назначение элементов схемы.

-Описать принцип действия схемы разомкнутой системы электропривода.

А В С



Описание схемы.

При нажатии кнопки пуск SB2 питание поступает на обмотку контактора KM1 который срабатывает и своими контактами KM1.1, KM1.2, KM1.3 подаёт питание через электротепловое реле KK1 к двигателю M1 который начинает вращаться, вращая вентилятор. Для остановки нажимаем кнопку SB1 стоп (написать последовательность срабатывания схемы). Если по каким-то причинам (назвать причины) двигатель начнёт потреблять ток превышающий номинальный сработает электротепловое реле KK1 который разомкнёт свой контакт KK1.1 (описать срабатывание схемы).

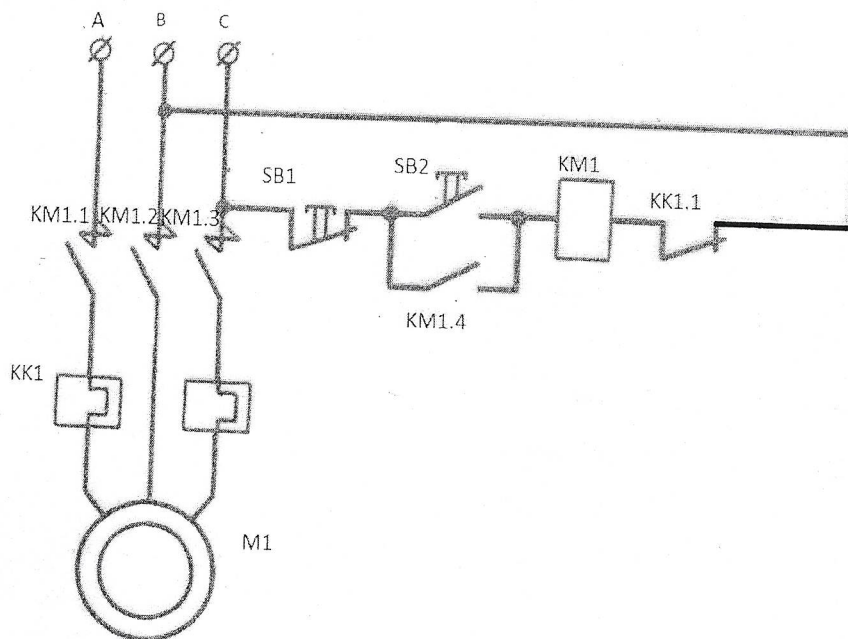
Лабораторная работа 28

Тема: Изучение разомкнутой системы электропривода.

Цель: Изучить работу схемы разомкнутой системы электропривода.

Задание:

- Начертить схему в соответствии с действующими стандартами
- Описать назначение элементов схемы.
- Описать принцип действия схемы разомкнутой системы электропривода.



Описание схемы.

При нажатии кнопки пуск SB2 питание поступает на обмотку контактора KM1 который срабатывает и своими контактами KM1.1, KM1.2, KM1.3 подаёт питание через электротепловое реле КК1 к двигателю M1 который начинает вращаться, вращая вентилятор. Для остановки нажимаем кнопку SB1 стоп (написать последовательность срабатывания схемы). Если по каким-то причинам (назвать причины) двигатель начнёт потреблять ток превышающий номинальный сработает электротепловое реле КК1 который разомкнёт свой контакт КК1.1 (описать срабатывание схемы).

Лабораторная работа 29

Исследование замкнутой схемы электропривода

Цель: Опытное определение регулировочных свойств электропривода, выполненного по замкнутой схеме, и приобретение практических навыков в сборке схемы электропривода и ее исследование

Программа работы:

- ознакомиться с устройством лабораторного стенда, записать паспортные данные электродвигателя, тиристоров, транзисторов и конденсатора.
- собрать схему по рис 29Л после проверки схемы преподавателем включить электропривод, снять данные и построить механические характеристики электропривода $n=f(m)$ при его работе с отрицательной обратной связью по частоте вращения для трех режимов ()
- используя данные опытов определить номинальное изменение частоты вращения электропривода при сбросе нагрузки для их механических характеристик.

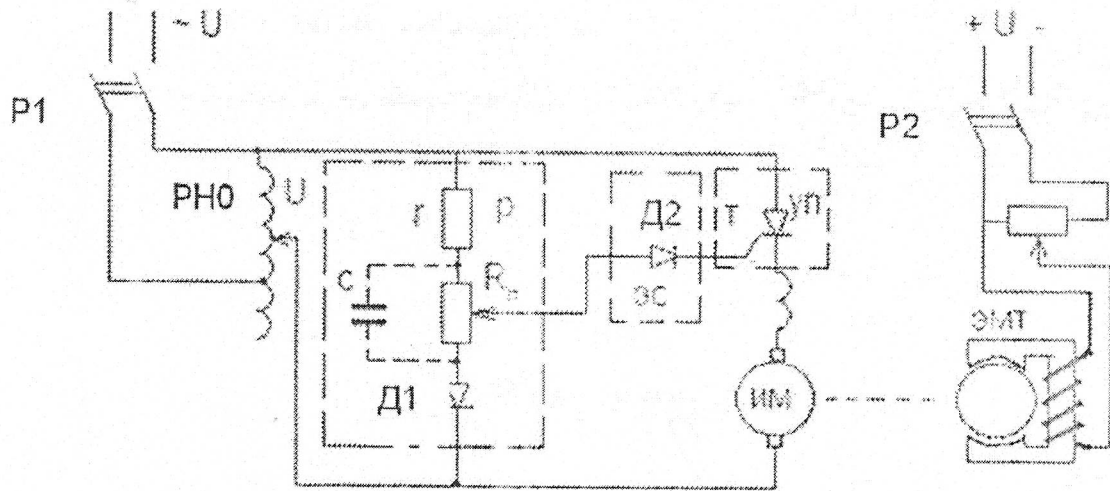


Рисунок 29.1 Схема включения электропривода постоянного тока со стабилизацией частоты вращения.

Принцип работы исследуемого электропривода основан на сравнении

управляющего сигнала определяемого положение движка потенциометра $U_{\text{с}}$

$U_{\text{з}}$

напряжение обратной связи создаваемым противо-ЭДС Электродвигателя

Элементом сравнения схемы является диод Д2 так как ток через это диод

Лабораторная работа 30

Тиристорные преобразователи

Цель работы: Изучить работу схемы и назначение её элементов

Несложный регулятор мощности на тиристорах

С его помощью можно уменьшить температуру калорифера, утюга, нагрев жала паяльника, яркость настольной лампы. В регуляторе используется по два тринистора и динистора. Напряжение на нагрузке (её мощность с указанными тринисторами не должна превышать 200 Вт) можно плавно изменять от 15 до 215 В.

Работает регулятор так. Когда на верхнем по схеме штырьке разъема X1 положительный полупериод напряжения, заряжаются конденсаторы C1, C2 (через резистор R5). Но только на одном из них будет такая полярность напряжения, что откроется динистор (конечно, при определенном напряжении между выводами конденсатора). Речь идет о конденсаторе C2 и динисторе V4. В цепи управляющего электрода тринистора V2 потечет импульс тока разряда конденсатора. Тринистор откроется, подаст напряжение на нагрузку и одновременно разрядит другой конденсатор.

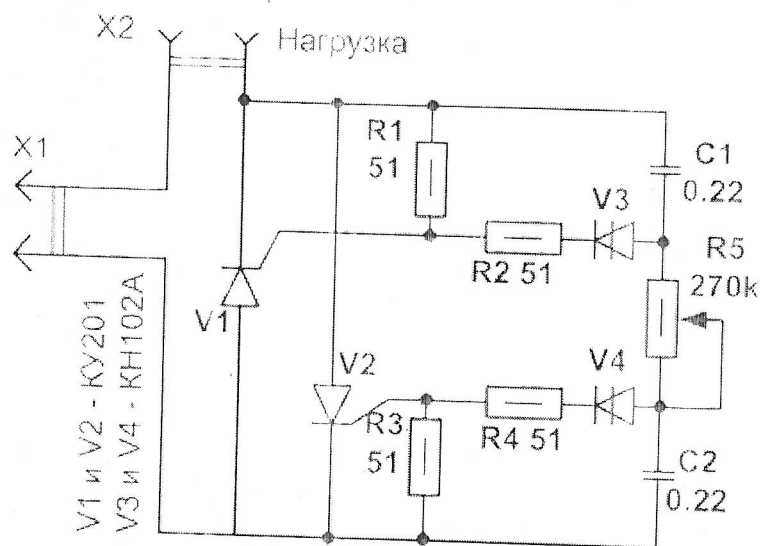


Рисунок. 30.1

При отрицательном полупериоде напряжения на том же штырьке сетевого разъема включится другой динистор, а вслед за ним откроется трингистор VI. Таким образом, трингисторы будут открываться поочередно. Сдвиг фазы открывающего напряжения на управляющих электродах осуществляется переменным резистором, причем наибольший сдвиг будет при полностью введенном сопротивлении резистора, то есть при нижнем по схеме положении движка.

Динисторы выполняют роль электронных ключей, срабатывающих при определенном напряжении на конденсаторах. Применение динисторов позволяет добиться четкого срабатывания трингисторов при одинаковом сдвиге фазы независимо от их параметров.

Резисторы R2 и R4 ограничивают ток через управляющий электрод, а R1 и R3 позволяют добиться стабильной работы регулятора при изменении температуры окружающей среды.

Вместо динистора КН102А можно установить КН102Б или КН102В, но при этом придется несколько уменьшить емкость конденсаторов (до 0,2 или 0,15 мкФ). Лучше всего применить конденсаторы БМТ на номинальное напряжение не ниже 300 В. Постоянные резисторы - МЛТ-0,5, переменный - СП-1. Максимальная мощность нагрузки зависит от используемых трингисторов. С трингисторами КУ202К-КУ202Н к регулятору можно подключать нагрузку до 1000 Вт, но трингисторы в этом случае нужно обязательно укрепить на теплоотводах - пластинах дюралюминия толщиной не менее 1,5 мм и площадью 150-200 см². Особенно удобно для этих целей использовать ребристые радиаторы, применяемые для охлаждения мощных транзисторов.

ЛИТЕРАТУРА

Основные источники:

- 1 Кацман М.М. Электрические машины. - М.: Высшая школа, 2013.-411с.
- 1 Кацман М.М. Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам и электроприводу. - М.: Высшая школа, 2000.-212с.
- 2 Родштейн Л.А. Электрические аппараты. Энергоиздат,Л. 1981.- 304 с.
- 3 Москаленко В.В. Электрический привод: Учеб. пособие для студ. образовательных учреждений сред. проф. образования. - М.: Мастерство: Высшая школа, 2000.-154 с.
- 4 Васин В.М. Электрический привод: Учеб. пособие для техн. - М.: Высшая школа, 1984.- 345 с.

Электронные ресурсы:

Игнатович, В. М.

Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / Игнатович В. М. - Томск : Томский политехнический университет, 2013. - 182 с. - Б. ц.

Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

Глазков, А В.

Электрические машины. Лабораторные работы [Текст] : Учебное пособие / А В Глазков. - Москва : Издательский Центр РИОР ; Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2014. - 96 с. - ISBN 978-5-369-01312-0 : Б. ц.