

Министерство образования Российской Федерации
Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Иркутская государственная сельскохозяйственная академия

Л.П. РЫЧКОВА, А.Ю. ЛОГИНОВ

**ЭЛЕКТРОПРИВОД.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Иркутск 2014

УДК 622.799.3(073)

Учебное пособие : «Электропривод. Лабораторный практикум» рекомендовано к изданию типографским способом научно-методическим советом Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. Протокол № 5 от 27 января 2014 г.

Рецензенты :

Генеральный директор ООО «Системсервис»

В.Б. Крыжановский

Доктор технических наук, профессор кафедры
«Электрооборудования и физики»

Б.Ф. Кузнецов

Рычкова Л.П., Логинов А.Ю.

Электропривод. Лабораторный практикум. Издание 2-е, переработ. и доп. Учебное пособие : Иркутск: ИрГСХА, 2014.-107 с.
предназначено для самостоятельной работы студентов энергетического факультета, специальности 110800.62 – электрооборудование и электротехнологии, для очной и заочной формы обучения.

Даны краткие теоретические сведения, методика выполнения, порядок выполнения для восьми лабораторных работ по дисциплине «Электропривод». Приведены сведения по технике безопасности, общие указания к выполнению лабораторных работ, а также в конце каждой лабораторной работы приведены контрольные вопросы для облегчения усвоения материала и самоконтроля получаемых знаний.

СОДЕРЖАНИЕ

Инструктаж по технике безопасности.....	4
Общие указания к выполнению лабораторных работ.....	7
1 Лабораторная работа № 1. Исследование механических характеристик ДПТ независимого возбуждения.....	9
2 Лабораторная работа № 2. Исследование механических характеристик асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.....	21
3 Лабораторная работа № 3. Исследование электрических схем управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором.....	34
4 Лабораторная работа № 4. Исследование способов регулирования скорости вращения ДПТ параллельного возбуждения.....	52
5 Лабораторная работа № 5. Исследование реле времени.....	60
6 Лабораторная работа № 6. Определение момента инерции системы «электродвигатель-рабочая машина».....	67
7 Лабораторная работа № 7. Исследование нагрева электродвигателя.....	75
8 Лабораторная работа № 8. Определение коэффициента мощности асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.....	85

Приложения

Приложение А Элементы систем управления и их условное графическое изображение по ГОСТ.....	95
Приложение Б Буквенные коды наиболее распространённых видов элементов по ГОСТ 2.710-81.....	101
Список литературы.....	106

ИНСТРУКТАЖ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

В установках напряжением до 380 В, где происходит большинство случаев поражения электрическим током, причиной травматизма нередко является недооценка опасности его. Опасность поражения электрическим током зависит от многих факторов: рода тока, внешней среды, длительности и пути протекания тока через организм, индивидуальных особенностей человека.

Переменный ток промышленной частоты (50 Гц) более опасен, чем постоянный. Установлено, что отдельные участки человеческого тела имеют различную чувствительность к электрическому току. Наиболее уязвимыми для тока являются поверхности лица, ладоней и подошв ног. При прохождении через тело человека электрический ток может вызвать паралич мышц, прекращение дыхания, остановку сердца. Прохождение тока через тело сопровождается выделением тепла. Этого тепла может оказаться достаточным для нагрева тканей организма до температуры 60-70⁰С, при которой свёртывается белок и возникает ожог. Ожоги тела возможны также от электрической дуги, возникающей при коротких замыканиях. Электрические ожоги проникают глубоко в тело, очень болезненны и долго не заживают.

Анализ причин электротравматизма показывает, что безопасную работу можно обеспечить только строгим выполнением ***правил по технике безопасности.***

1 Приступая к выполнению лабораторной работы, необходимо убедиться что напряжение на рабочем месте отсутствует т.е. автоматические выключатели на главном щите и на рабочем стенде должны быть выключены.

2 Электрическую схему следует собирать только при отключённом вводном автоматическом выключателе (рубильнике) на рабочем стенде.

3 Перед включением электрической схемы следует убедиться в том, что никто из студентов не может попасть под напряжение. При каждом включении нужно предупреждать товарищей словом « ***включаю.***».

4 После подачи напряжения на рабочий стенд **категорически запрещается** присоединять провода к схеме, подкручивать клеммы и переставлять оборудование.

5 Электрическую схему можно разбирать только после снятия напряжения при помощи автоматических выключателей или рубильников с рабочего стенда и после остановки электродвигателей и рабочих машин.

6 Переключения под напряжением следует производить с помощью рубильников, реостатов и других предназначенных для этого устройств, предусмотренных в схеме по ходу выполнения работы.

7 В процессе проведения работы не следует прикасаться к токоведущим частям и аппаратам, находящимся под напряжением.

8 Не снимать самовольно ограждений безопасности, кожухов, защищающих ремённые передачи и т.п., не устанавливать самодельных предохранителей.

9 Если работа ведётся с электрическими машинами, имеющими вращающиеся части, и с сопротивлениями, которые нагреваются в процессе работы, нужно убедиться, что они надёжно закрыты или принять меры, предотвращающие попадания на опасные части машины концов одежды, волос, проводов.

10 При обнаружении неисправности в электрических установках, приборах, предохранителях, сети и т.д. студент обязан немедленно прервать выполнение работы до приведения установки в надлежащий порядок.

11 При выполнении лабораторной работы следует учитывать особенность работы лабораторного оборудования и следить за надёжностью крепления проводов в винтовых зажимах при сборке схемы.

Следует помнить, что вторичные обмотки трансформаторов тока должны быть всегда замкнуты на приборы с малым внутренним сопротивлением или накоротко и что на разомкну-

тых концах вторичной обмотки трансформатора тока могут возникнуть опасные, высокие напряжения.

Следует помнить, что конденсатор, отключенный от источника тока, сохраняет заряд. Для пересоединений конденсаторов в схеме необходимо конденсатор предварительно разрядить.

Следует помнить, что перегорание плавкой вставки предохранителя при коротких замыканиях может сопровождаться разбрызгиванием расплавленного металла.

Следует помнить, что на лабораторном столе не должно быть посторонних предметов, в особенности металлических (линеек, инструментов и т.д.)

12 Для измерения нескольких напряжений одним вольтметром следует пользоваться только проводами, которые снабжены специальными, хорошо изолированными щупами.

13 Следует проводить измерения сопротивления изоляции или сопротивления обмоток специальными приборами только при полном отключении исследуемой установки от электрической сети.

14 Всем студентам следует предупреждать нарушения требований безопасности со стороны товарищей.

15 Категорически запрещается касаться рукой или ногой вращающихся частей электродвигателей и машин или производить их торможение.

16 При несчастном случае немедленно оказать первую помощь пострадавшему. В случае необходимости вызвать скорую помощь по телефону.

17 В случае пожара немедленно принять меры к ликвидации загорания и в случае необходимости вызвать пожарную команду по телефону.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1 Лабораторные работы выполняются бригадой студентов в количестве 3-4 человек.

2 Все лабораторные работы выполняются непосредственно под руководством преподавателя.

3 При выполнении лабораторных работ студент обязан хорошо усвоить цель, содержание, физическую сущность и методику проведения этой работы. К выполнению работы студент допускается лишь с разрешения преподавателя, проверившего подготовленность студента.

4 При сборке электрических схем студенты должны сначала собрать последовательные (токовые) цепи, а затем присоединить параллельные цепи : вольтметры, параллельные обмотки ваттметров и счётчиков, цепи управления и сигнализации, обращая особое внимание на плотность контактов.

5 Собранная схема обязательно проверяется всеми студентами, выполняющими данную работу. При этом обратить особое внимание на следующее :

- целостность соединительных проводов ;
- соответствие приборов роду тока и пределам напряжения ;
- положение рукояток аппаратов управления и автоматизации, которые должны находиться в отключённом состоянии.

6 Включать собранную схему студенты должны только после проверки её преподавателем.

7 Выполнение лабораторной работы студенты должны вести в строгом соответствии с программой работы и порядком выполнения. В случае неясности нужно обращаться к преподавателю.

8 Производимые отсчёты и результаты измерений студенты

должны заносить в заранее заготовленные таблицы наблюдений (протокол к лабораторной работе). Экспериментальная часть работы считается выполненной только после проверки и утверждения результатов опытов преподавателем.

9 Если результаты наблюдений будут признаны неудовлетворительными, то опыт необходимо повторить.

10 После окончания работы с разрешения преподавателя студенты должны разобрать схему, уложить на место провода и приборы, сдать преподавателю выдаваемые приборы, привести в порядок рабочее место.

11 Результаты измерений и наблюдений, полученные в процессе выполнения работы, частично обрабатываются в лаборатории, а окончательно – дома. По этим данным составляется отчёт о выполненной работе в соответствии со всеми пунктами, указанными в программе работы.

12 Электрические схемы выполняются в строгом соответствии с правилами начертания и обозначения элементов согласно ГОСТ.

13 Графики изображаются на миллиметровой бумаге и вклеиваются в отчёт. Координатные оси должны иметь обозначения изображаемых величин, размерность и масштаб.

14 При сдаче отчёта преподаватель опрашивает студента в объёме материала выполненной работы. Работа зачитывается в том случае, если студент показывает знание цели, физической сущности, методики выполнения работы, использованных машин и оборудования, может объяснить и проанализировать полученные результаты.

15 Студент, выполнивший все работы и своевременно сдавший отчёты по ним, получает зачёт по соответствующей части курса.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДПТ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы : Изучить построение механических характеристик ДПТ независимого возбуждения в двигательном и тормозных режимах по опытным данным.

Программа работы :

- 1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места, записать паспортные данные ДПТ (М1).
- 2 Собрать электрическую схему (рисунок 1.2).
- 3 Снять опытные данные для построения в двигательном режиме естественной механической характеристики и двух реостатных механических характеристик при различных сопротивлениях в цепи якоря : $R_{пд} = 1/3$; $R_{пд} = 2/3$.
- 4 Снять опытные данные для построения механических характеристик ДПТ в тормозных режимах : в генераторном режиме и в режиме динамического торможения.
- 5 Рассчитать и построить механическую характеристику ДПТ в режиме противовключения при условии, что в двигательном режиме он работал в номинальной точке.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Электродвигатель постоянного тока (ДПТ) — электрическая машина постоянного тока, преобразующая электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию (рисунок 1.1).

Электродвигатели постоянного тока применяют в тех электроприводах, где требуется большой диапазон регулирования скорости, большая точность поддержания скорости вращения привода, регулирования скорости вверх от номинальной.



Рисунок 1.1 – Электродвигатель постоянного тока

Механической характеристикой ДПТ называется зависимость скорости вращения вала электродвигателя от величины вращающего момента :

$$\omega = f (M), \quad (1.1)$$

где ω - скорость вращения вала электродвигателя, рад/с ;

M – вращающий электромагнитный момент развиваемый электродвигателем, Н·м .

Мощность на валу электродвигателя P , Вт, определяется по формуле :

$$P = M \cdot \omega. \quad (1.2)$$

При расчётах электроприводов механические характеристики нужны для выбора типа и мощности электродвигателя, для определения частоты вращения системы « электродвигатель-рабочая машина» при номинальной нагрузке.

Наконец, механическая характеристика необходима для того, чтобы определить, какую перегрузку может преодолеть система «электродвигатель-рабочая машина» и как она будет вести себя в переходных процессах.

Электродвигатели постоянного тока (ДПТ) характеризуются тремя основными зависимостями :

$$U = E + I R , \quad (1.3)$$

$$E = K \cdot \Phi \cdot \omega , \quad (1.4)$$

$$M = K \cdot \Phi \cdot I . \quad (1.5)$$

где U - напряжение питания, В ;

E - э.д.с. якоря, В ;

I - сила тока в цепи якоря, А ;

R - суммарное сопротивление якорной цепи, включающее сопротивление пускового реостата ($R_{пд}$) и сопротивление обмотки якоря ($R_{я}$), Ом ;

K - коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции ДПТ ;

Φ - магнитный поток, созданный обмоткой возбуждения, Вб.

Совместное решение уравнений (1.3), (1.4), (1.5) при $\Phi = \text{const}$ даёт уравнение механической характеристики ДПТ независимого (или параллельного) возбуждения, принимая $C = K \cdot \Phi$:

$$\omega = \frac{U}{C} - \frac{R}{C^2} \cdot M, \quad (1.6)$$

Из уравнения (1.6) видно, что при $M = 0$ угловая скорость вращения вала электродвигателя максимальная. Она называется угловой скоростью вращения ω_0 , рад/с, **идеального холостого хода ДПТ** :

$$\omega_0 = \frac{U}{C} , \quad (1.7)$$

Коэффициент пропорциональности C можно рассчитать по паспортным данным ДПТ :

$$C = \frac{U_n - I_n \cdot R_{я}}{\omega_n} ; \quad (1.8)$$

где U_n – номинальное напряжение электродвигателя, В ;

I_n – номинальный ток электродвигателя, А ;

$R_{я}$ – сопротивление якоря, Ом ;

ω_n – номинальная скорость вращения вала двигателя, рад/с.

Если сопротивление якоря $R_{я}$, Ом, не задано в паспорте ДПТ, то его можно рассчитать по приближённой формуле :

$$R_{я} = 0,5 (1 - \eta_n) \frac{U_n}{I_n}, \quad (1.9)$$

где η_n – к.п.д. номинальный ДПТ.

Следовательно, скорость идеального холостого хода ω_0 , рад/с, можно определить по формуле :

$$\omega_0 = \frac{U_n \cdot \omega_n}{U_n - I_n \cdot R_{я}}, \quad (1.10)$$

Анализируя формулу (1.6), можно сделать вывод о том, что механическая характеристика ДПТ при $U = \text{const}$; $\Phi = \text{const}$; $R = \text{const}$ представляет собой **прямую линию**.

Номинальный момент M_n , Н·м, ДПТ согласно уравнения (1.5) определяется по формуле :

$$M_n = C \cdot I_n, \quad (1.11)$$

Для изменения направления вращения ДПТ параллельного или независимого возбуждения изменяют направление тока только в обмотке якоря, оставляя неизменным направление тока в обмотке возбуждения. Обмотка возбуждения имеет большую индуктивность и размыкание её вызывает искрения, перенапряжение и обгорание контактов.

О возможности регулирования скорости вращения ДПТ параллельного или независимого возбуждения можно судить по уравнению, изменяя один из трёх параметров (U ; $R_{доп}$; Φ) :

$$\omega = \frac{U - I(R_{я} + R_{доп})}{K \cdot \Phi}. \quad (1.12)$$

где $R_{доп}$ - дополнительное сопротивление вводимое в цепь якоря, Ом.

Механические характеристики ДПТ могут быть выражены аналитически, в виде формулы (1.6) или графически (рисунок 1.3;1.4).

В двигательном режиме механические характеристики располагаются в I и III квадрантах (рисунок1.3); в тормозных режимах механические характеристики располагаются во II и IV квадрантах. Если не возбудить ДПТ, то $\Phi = 0$, и согласно уравнения (1.12) скорость вращения ДПТ будет стремиться к бесконечности, т.е. двигатель пойдёт в разнос.

Методические указания

Экспериментальная установка (рисунок 1.2) содержит два ДПТ с независимым возбуждением : М1 и М2, валы которых соединены при помощи муфты. М1 – испытуемый ДПТ, М2 - работает как генератор, BR – тахогенератор, PS – указатель частоты вращения, $R_{пд}$ – пусковой реостат испытуемого ДПТ, SA1– универсальный переключатель, SA2 – выключатель, $R_{н1}$ и $R_{н2}$ - нагрузочные реостаты в якорной цепи генератора - М2, TV – регулятор напряжения однофазный, UZ – выпрямительный мост, PA1, PA2, PA3 - амперметры, PV1, PV2 – вольтметры, $R_{вд}$ и $R_{вг}$ – реостаты, включенные последовательно с обмотками возбуждения L_1 и L_2 . QF1, QF2, QF3 – автоматические выключатели.

В двигательном режиме для создания нагрузки на валу электродвигателя М1 используется ДПТ с независимым возбуждением М2, который работает на одном валу с М1 как генератор. Якорь генератора (М2) замыкается на нагрузочные реостаты $R_{н1}$ и $R_{н2}$, а обмотка возбуждения L_2 получает питание от источника постоянного тока (рисунок.1.2).

При включении обмотки возбуждения L_2 в сеть и вращении испытуемого ДПТ (М1) в якоре генератора индуцируется ЭДС. При переключении универсального переключателя SA1 в положение «Д» (двигательный режим) по якорной цепи генератора (М2) протекает ток, который создаёт вращающий момент на валу генератора от взаимодействия магнитного поля с током якоря. Для испытуемого электродвигателя (М1) этот момент будет тормозным.

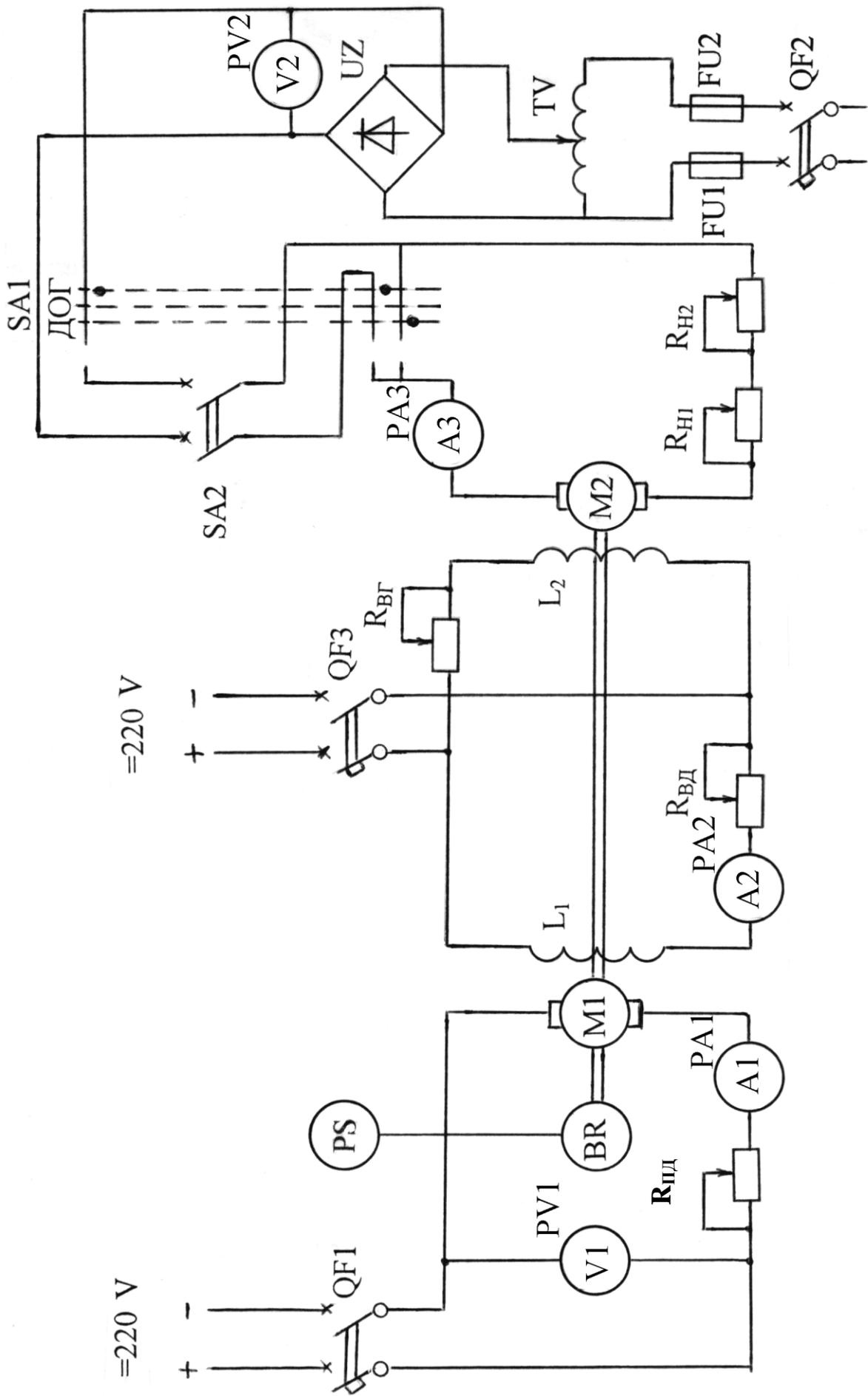


Рисунок 1.2- Электрическая схема включения ДПТ для исследования механических характеристик

При пуске ДПТ (М1) необходимо ток возбуждения установить максимальным (нужно вывести регулировочный реостат $R_{вд}$) для получения достаточного пускового момента, а пусковой реостат $R_{пд}$ должен быть полностью введён для ограничения пускового тока и момента.

Для построения естественной или реостатной механической характеристики ДПТ с независимым возбуждением в двигательном режиме достаточно знать две точки, поскольку все механические характеристики представляют собой прямые линии.

Естественная механическая характеристика строится по точкам: N с координатами $[M_{х.х.}; \omega_{х.х.}]$ и $A [M_{нагр}; \omega_{нагр}]$, точка $K [0; \omega_0]$ определяется при построении естественной механической характеристики в точке пересечения её с осью скорости вращения. Реостатные механические характеристики строятся по точкам $K, B [M_{р1}; \omega_{р1}]$ и $C [M_{р2}; \omega_{р2}]$ (рисунок 1.3).

Генераторное торможение ДПТ (М1) с отдачей энергии в сеть осуществляется в том случае, когда скорость вращения (М1) оказывается выше скорости вращения идеального холостого хода (ω_0) и его ЭДС больше приложенного напряжения, ток при этом изменяет своё направление, а так как $M = C \cdot I$, то вращающий момент меняет свой знак, т.е. он становится тормозным.

Механическая характеристика ДПТ в генераторном режиме строится по двум точкам: $K [0; \omega_0]$ и $F [-M_T; \omega_1]$, (рисунок 1.3). Наклон механической характеристики ДПТ в генераторном режиме будет таким же, как и в двигательном режиме. Поэтому графически механические характеристики ДПТ (М1) в режиме генераторного торможения являются продолжением механических характеристик двигательного режима в области квадранта II.

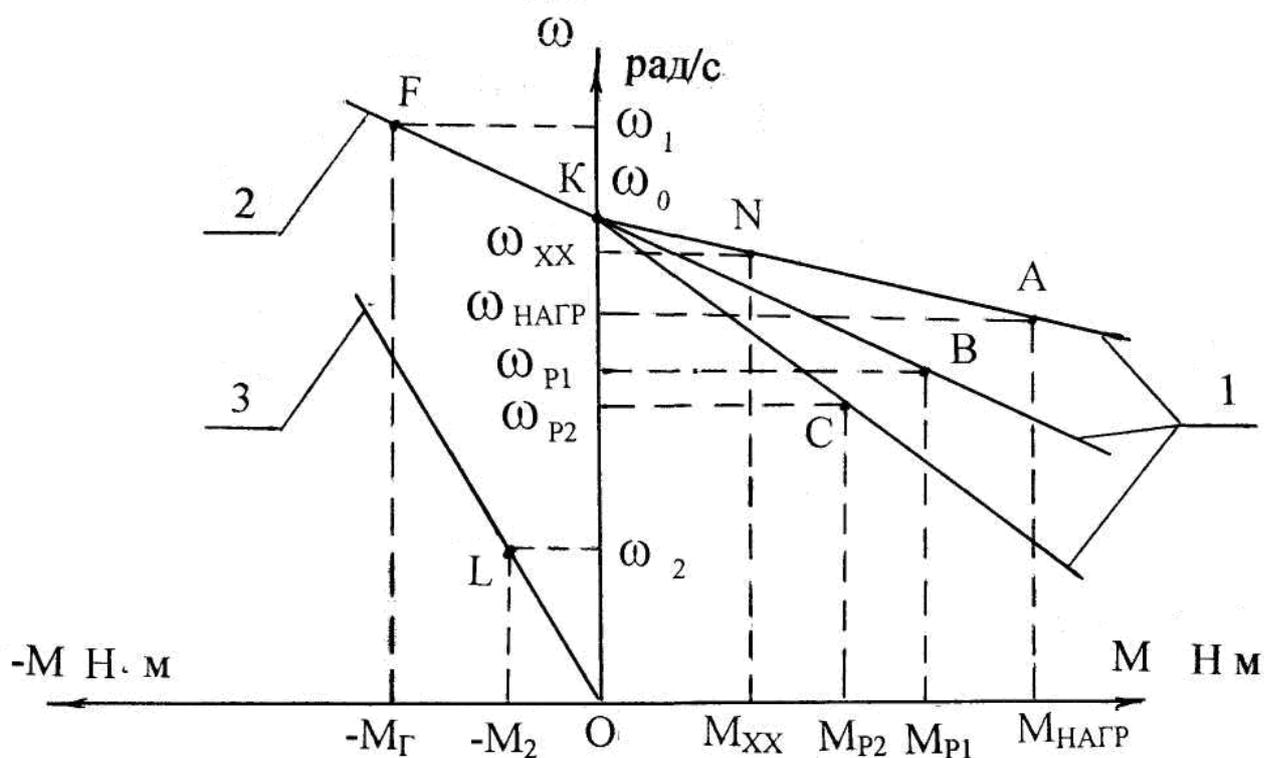
Динамическое торможение ДПТ происходит при отключении якоря двигателя от сети и замыкании его на сопротивление. Обмотка возбуждения при этом должна оставаться присоединённой к сети.

В лабораторной установке (рисунок 1.2) в режиме динамического торможения в качестве испытуемого ДПТ используется двигатель М2 (так как М1 и М2 совершенно одинаковые, а схе-

ма собрана таким образом, что динамическое торможение можно осуществить только на М2).

Для нашего случая режим динамического торможения можно получить, если возбудить двигатели М1 и М2, затем раскрутить двигатель М2 при помощи М1, после этого отключить М1 от сети, а обмотку якоря М2 замкнуть на тормозное сопротивление ($R_{н1}+R_{н2}$). При этом двигатель М2 будет работать в режиме генератора, создавая тормозной момент ($-M_2$). После прекращения действия посторонней силы (отключения М1) ДПТ (М2) быстро остановится, т.е. осуществляется динамическое торможение.

Механическая характеристика ДПТ (М2) строится по двум точкам: $O [0; 0]$ и $L [-M_2; \omega_2]$ (рисунок 1.3).



1 – в двигательном режиме; 2 – в генераторном режиме; 3 – в режиме динамического торможения

Рисунок 1.3- Механические характеристики ДПТ

Торможение противовключением осуществляется изменением полярности подводимого к ДПТ напряжения. При этом якорь ДПТ должен вращаться против направления его вращающего момента. При изменении полярности напряжения, подводимого к

якорю ДПТ, работающего до этого в точке $W [M_H; \omega_H]$ квадранта I, переходит на работу в точку $D [-M_H; \omega_H]$ квадранта II (рисунок 1.4). Сохранение неизменной скорости вращения в первый момент переключения ДПТ обуславливается инерцией электропривода. Под влиянием тормозного момента скорость вращения ДПТ уменьшается соответственно характеристике $D \rightarrow D_1$ до нулевого значения. При достижении скорости вращения равной нулю (точка D_1) в случае торможения, а не реверса ДПТ должен быть отключен от сети. Если такого отключения не произойдет, то ДПТ начнет раскручиваться в обратном направлении т.е. происходит реверс двигателя.

Для построения механической характеристики ДПТ в режиме противовключения (прямая DD_1) сначала нужно построить естественную механическую характеристику по паспортным данным ДПТ (рисунок 1.4) в двигательном режиме по двум точкам : $K [0; \omega_0]$ и $W [M_H; \omega_H]$, затем построить точку $D [-M_H; \omega_H]$ во втором квадранте и соединить её с точкой $K_1 [0; -\omega_0]$.

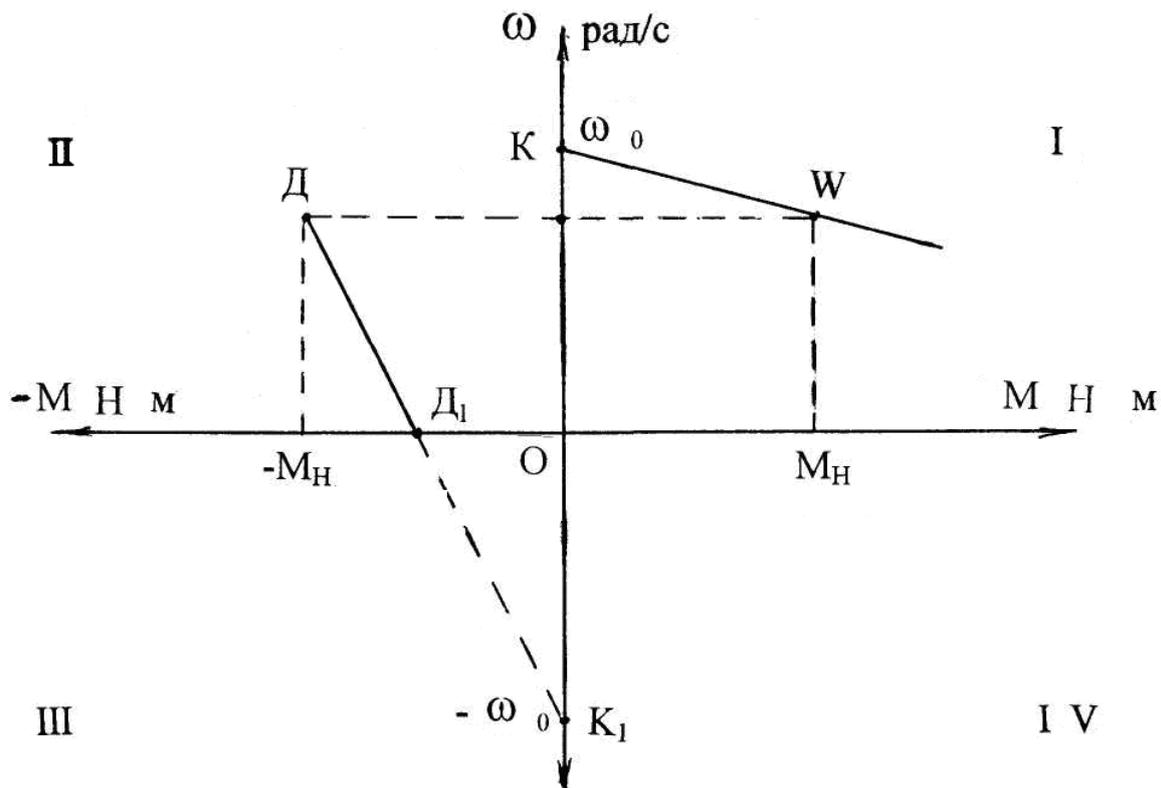


Рисунок 1.4 - Механическая характеристика ДПТ в режиме противовключения

Порядок выполнения работы :

1 Двигательный режим

- 1.1 Перед включением электрической схемы (рисунок 1.2) реостат $R_{пд}$ должен быть введён полностью, реостаты $R_{вд}$ и $R_{вг}$ должны быть выведены, реостаты $R_{н1}$ и $R_{н2}$ должны быть полностью введены.
- 1.2 Включить автоматический выключатель $QF3$ и по амперметру $PA2$ убедиться, что по обмоткам возбуждения L_1 и L_2 протекает электрический ток.
- 1.3 Включить автоматический выключатель $QF1$, затем полностью вывести реостат $R_{пд}$. Замерить ток холостого хода ($I_{х.х.}$) по амперметру $PA1$ и частоту вращения холостого хода ($n_{х.х.}$) по указателю частоты вращения (PS) тахогенератора BR . Показания приборов занести в таблицу 1.1.
- 1.4 Установить универсальный переключатель $SA1$ в положение «Д» – этим самым двигатель $M1$ загружается нагрузочной машиной $M2$. Замерить ток нагрузки $I_{нагр}$ по амперметру $PA1$ и частоту вращения ($n_{нагр}$) по PS . Показания приборов занести в таблицу 1.1.
- 1.5 Установить реостат $R_{пд}$ на $1/3$ и снять показания тока (I_{p1}) по $PA1$ и (n_{p1}) по PS . Затем установить реостат $R_{пд}$ на $2/3$, аналогично снять показания тока (I_{p2}) и (n_{p2}). Показания приборов занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 - Опытные данные для построения механических характеристик ДПТ в двигательном режиме

Обозначение точки	$I,$ А	$n,$ об/мин	$M=C \cdot I,$ Н·м	$\omega,$ рад/с
N	$I_{х.х.}$	$n_{х.х.}$	$M_{х.х.}$	$\omega_{х.х.}$
A	$I_{нагр}$	$n_{нагр}$	$M_{нагр}$	$\omega_{нагр}$
B	I_{p1}	n_{p1}	M_{p1}	ω_{p1}
C	I_{p2}	n_{p2}	M_{p2}	ω_{p2}

1.6 После проведения опытов установить универсальный переключатель SA1 в положение «О», отключить автоматические выключатели : сначала QF1, а затем QF3.

2 Генераторный режим

- 2.1 Перед включением электрической схемы (рисунок 1.2) для исследования механических характеристик в генераторном режиме реостаты Rпд, Rвг должны быть введены, а реостаты Rвд, Rн1, Rн2 должны быть выведены.
- 2.2 Включить автоматический выключатель QF3 и по амперметру PA2 убедиться, что есть возбуждение у двигателей M1 и M2.
- 2.3 Регулятор напряжения однофазный (TV) вывести влево до упора.
- 2.4 Включить автоматический выключатель QF2 и по вольтметру PV2 убедиться, что напряжение равняется нулю.
- 2.5 Установить универсальный переключатель SA1 в положение «Г» и включить выключатель SA2.
- 2.6 Включить автоматический выключатель QF1 и, увеличивая напряжение при помощи TV в якорной цепи двигателя M2, получить значение тока равным нулю (показания PA1). Замерить частоту вращения идеального холостого хода (n_0) по PS. Показания приборов занести в таблицу 1.2.
- 2.7 Увеличить напряжение на якоре M2 при помощи TV до предела. Замерить отрицательное значение тока ($-I_r$) по амперметру PA1 и частоту вращения (n_1) по PS. Показания приборов занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 - Опытные данные для построения механической характеристики ДПТ в в генераторном режиме

n_0 , об/мин	ω_0 , рад/с	$-I_r$, А	$-M_r$, Н·м	n_1 , об/мин	ω_1 , рад/с

- 2.8 После проведения опытов установить универсальный переключатель SA1 в положение «О», выключатель SA2 отключить, автоматические выключатели QF2, QF1, QF3 отключить.

3 Динамическое торможение

- 3.1 Перед включением электрической схемы (рисунок 1.2) для исследования механических характеристик ДПТ в режиме динамического торможения реостаты $R_{пд}$, $R_{н1}$, $R_{н2}$ должны быть введены, а реостаты $R_{вг}$, $R_{вд}$ должны быть выведены.
- 3.2 Включить автоматический выключатель QF3 и по амперметру PA2 убедиться, что есть возбуждение у двигателей M1 и M2.
- 3.3 Включить автоматический выключатель QF1, вывести реостат $R_{пд}$.
- 3.4 Установить универсальный переключатель SA1 в положение «Д», замерить отрицательный ток ($-I_2$) по амперметру PA3 и частоту вращения (n_2) по PS тахогенератора BR. Показания приборов занести в таблицу 1.3.
- 3.5 Выключить автоматический выключатель QF1, замерить время торможения M2 при падении тока от ($-I_2$) до нуля по амперметру PA3. Показания секундомера занести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 - Опытные данные для построения механической характеристики ДПТ в режиме динамического торможения

$-I_2$, А	$-M_2$, Н·м	n_2 , об/мин	ω_2 , рад/с	t, с

- 3.6 После проведения опытов универсальный переключатель SA1 установить в положение «О», выключить автоматический выключатель QF3.

Контрольные вопросы :

- 1 Дайте определение механической характеристике ДПТ и напишите её функциональную зависимость в общем виде.
- 2 Для чего нужна механическая характеристика двигателя при расчёте электропривода ?
- 3 Напишите уравнение механической характеристики ДПТ с независимым возбуждением.

- 4 Как произвести реверс ДПТ ?
- 5 Как создать нагрузку на валу испытуемого ДПТ ?
- 6 Как определить номинальный момент ДПТ на его валу ?
- 7 Как определить скорость вращения ДПТ при идеальном холостом ходе ?
- 8 Для какой цели применяют электрическое торможение ДПТ ?
- 9 Объясните, как осуществляются три вида электрического торможения в электроприводе ?
- 10 Объясните, почему при пуске ДПТ сначала нужно подать напряжение на обмотку возбуждения, а затем на якорь ДПТ ?
- 11 Объясните, почему при подаче напряжения на якорь ДПТ пусковой реостат должен быть введён ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы : Изучить построение механических характеристик асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в двигательном и тормозных режимах

Программа работы :

- 1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места, записать паспортные данные асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором М1 и нагрузочной машины М2 (рисунок 2.3).
- 2 Собрать электрическую схему (рисунок 2.3).
- 3 Снять опытные данные для построения механических характеристик асинхронного электродвигателя с к.з. ротором в двигательном и тормозных режимах : в генераторном режиме, в режиме противовключения и в режиме динамического торможения.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Асинхронный электродвигатель с к.з. ротором (рисунок 2.1) характеризуется номинальными данными, которые указываются на заводском щитке и в каталоге электродвигателей. Номинальные данные асинхронного электродвигателя с к.з. ротором - это номинальная мощность на валу электродвигателя (**P_n , кВт**), номинальная частота вращения его вала при номинальной нагрузке (**n_n , об/мин**), номинальное напряжение (**U_n , В**), номинальная сила тока (**I_n , А**), род тока (\sim), частота питающей сети (**f_n , Гц**), коэффициент мощности при номинальной нагрузке (**$\cos \varphi_n$**), номинальный коэффициент полезного действия (**η_n**), класс нагревостойкости изоляции (**А, Е, В, F, H, С**), режим работы (**S1, S2, S3 и т.д.**).



Рисунок 2.1 – Асинхронный электродвигатель с к.з. ротором

Пусковые свойства асинхронного электродвигателя характеризуются кратностью пускового тока (**$i = I_{\text{пуск}} / I_n$**) и кратностью

пускового момента ($\mu_n = M_{\text{пуск}} / M_n$), а перегрузочная способность двигателя – кратностью максимального момента ($\mu_k = M_{\text{макс}} / M_n$), которые указываются в каталоге электродвигателей.

Основной характеристикой электродвигателя является его механическая характеристика. Механической характеристикой электродвигателя называется зависимость скорости вращения его вала от вращающего момента или зависимость скольжения от вращающего момента.

$$\omega = f(M); \quad S = f(M), \quad (2.1)$$

где ω - скорость вращения ротора электродвигателя, рад/с ;

S - скольжение, о.е. ;

M – вращающий момент, Н·м .

Скольжением называется величина характеризующая отставание скорости вращения ротора электродвигателя от скорости вращения магнитного поля его статора :

$$S = \frac{\omega_c - \omega}{\omega_c}, \quad (2.2)$$

где ω_c – скорость вращения магнитного поля статора (синхронная скорость вращения), рад/с.

Перевод угловой частоты вращения электродвигателя (**n , об/мин**) в угловую скорость вращения (**ω , рад/с**) осуществляется по формуле :

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (2.3)$$

Синхронная частота n_c , об/мин, и скорость вращения ω_c , рад/с, определяются по формулам :

$$n_c = \frac{60 \cdot f}{P}, \quad \omega_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{P}. \quad (2.4)$$

где P - число пар полюсов ; f - частота питающей сети, Гц .

Естественной механической характеристикой асинхронного электродвигателя с к.з. ротором называется характеристика, полу-

ченная при номинальных данных и она может быть только одна.

Искусственными механическими характеристиками асинхронного электродвигателя с к.з. ротором называются характеристики, полученные при данных отличных от номинальных и их может быть любое количество.

В двигательном режиме асинхронный электродвигатель потребляет электрическую энергию из сети, преобразует её в механическую энергию вращения ротора и в виде крутящего момента передаёт рабочей машине. Скорость вращения в этом режиме меняется от 0 до ω_c , частота вращения от 0 до n_c , скольжение от 1 до 0.

Естественную механическую характеристику асинхронного электродвигателя можно построить по уравнению Клосса :

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{макс}} (1 + a \cdot S_{\text{кр}})}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S} + 2a \cdot S_{\text{кр}}} . \quad (2.5)$$

где $S_{\text{кр}}$ – критическое скольжение, соответствующее критическому моменту, о.е. ;

$M_{\text{макс}}$ – максимальный (критический) момент электродвигателя, Н·м ;

$a = R_1' / R_2''$ - отношение активного сопротивления одной фазы обмотки статора АД к приведённому активному сопротивлению фазы обмотки ротора.

При мощности АД более 20 кВт активным сопротивлением обмотки статора можно пренебречь : $R_1' \approx 0$, следовательно, $a = 0$, поэтому естественную механическую характеристику можно построить по упрощенному уравнению Клосса :

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{макс}}}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S}} . \quad (2.6)$$

Естественную механическую характеристику также можно построить по 4-м характерным точкам с координатами :

$$\text{Точка А : } [0 ; \omega_c] \quad \omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} ;$$

$$\text{Точка В : } [M_H ; \omega_H] \quad \omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} ; \quad M_H = 1000 \frac{P_H}{\omega_H} ;$$

$$\text{Точка С : } [M_{кр} ; \omega_{кр}] \quad M_{кр} = \mu_k \cdot M_H ; \quad S_{кр} = S_H (\mu_k + \sqrt{\mu_k^2 - 1}) ; \\ \omega_{кр} = \omega_c (1 - S_{кр}) ;$$

$$\text{Точка Д : } [M_{пуск} ; 0] \quad M_{пуск} = \mu_k \cdot M_H ;$$

Генераторное торможение представляет собой тот случай, когда скорость вращения ротора, сохраняя направление двигательного режима превышает скорость вращения магнитного поля статора, т.е. $\omega > \omega_c$. В этом случае АД преобразует механическую энергию в электрическую и работает параллельно с сетью, отдавая активную энергию в сеть, забирая из сети реактивную энергию для создания магнитного поля. Момент на валу – отрицательный, скольжение отрицательное.

Внешне механическая характеристика АД в генераторном режиме напоминает опрокинутую двигательную (кривая 2, рисунок 2.2).

В этом режиме момент АД также имеет свой максимум ($M_{кр.Г}$, Н·м), однако он по абсолютной величине больше, чем в двигательном режиме.

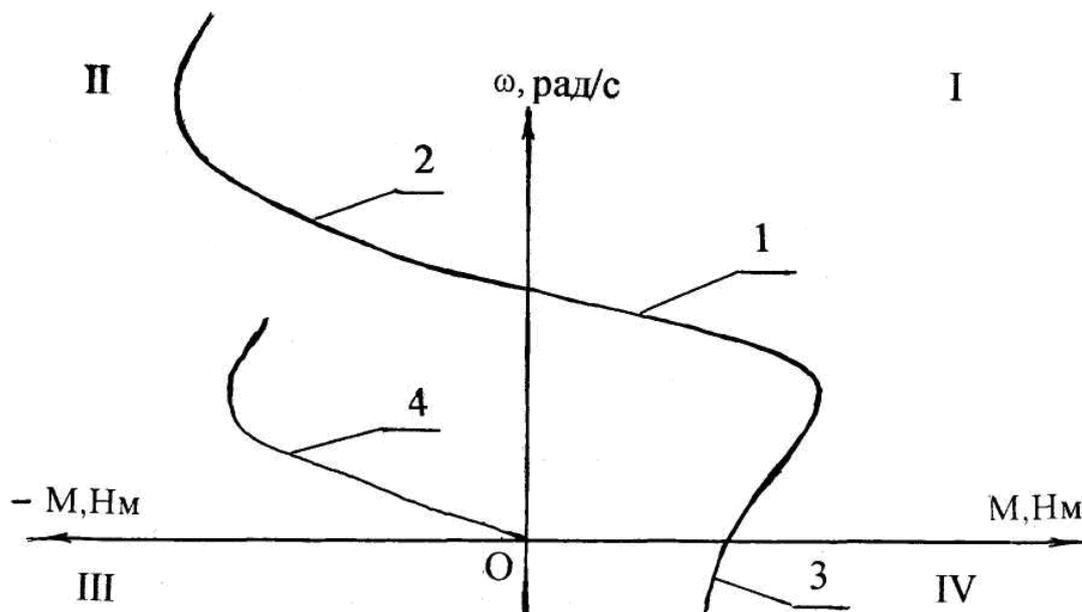
$$M_{кр.Г} = M_{кр.Д} \cdot \frac{R'_1 + \sqrt{(R'_1)^2 + X_k^2}}{R'_1 - \sqrt{(R'_1)^2 + X_k^2}} . \quad (2.7)$$

где $M_{кр.Г}$ – критический момент АД в генераторном режиме, Н·м;
 $M_{кр.Д}$ – критический момент АД в двигательном режиме, Н·м;
 X_k – индуктивное сопротивление АД при коротком замыкании.

Торможение противовключением осуществляется путём изменения направления вращения магнитного поля статора, при том же направлении вращения ротора (при переключении двух фаз АД) или тогда, когда момент сопротивления рабочей машины превышает пусковой момент двигателя и может оказать актив-

ное действие на испытуемый двигатель. Под действием внешнего момента машина вращается в противоположном, сравнительно с двигательным режимом, направлении. При этом машина оказывает тормозное действие внешнему моменту. Момент на валу остаётся положительным, скорость вращения отрицательная, скольжение положительное – превышает единицу (кривая 3, рисунок 2.2). С изменением скорости вращения момент изменяется незначительно.

Динамическое торможение осуществляется отключением электродвигателя от сети переменного тока и подачей в обмотку статора постоянного тока (равного по величине номинальному току двигателя, указанному в его паспорте).



1 – двигательный режим, 2 – генераторное торможение, 3 – торможение противовключением, 4 – динамическое торможение

Рисунок 2.2- Механические характеристики асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

За счёт внешнего момента ротор электродвигателя вращается в постоянном магнитном поле статора. В стержнях ротора наводится э.д.с. переменного тока, происходит взаимодействие магнитных полей статора и ротора - ротор затормаживается.

Момент на валу отрицательный, скорость вращения положи-

тельная. Механическая характеристика проходит через начало координат, она идентична механической характеристике в генераторном режиме (кривая 4, рисунок 2.2).

Величина максимального момента зависит от величины постоянного тока статора. Форма кривой зависит от конструкции двигателя, в частности от величины сопротивления обмоток или стержней ротора. Особенность динамического торможения заключается в том, что одновременно со снижением скорости вращения, уменьшается тормозящий момент. При скорости вращения, равной нулю, тормозящий момент также снижается до нуля.

Методические указания

Экспериментальная установка (рисунок 2.3) содержит два электродвигателя М1 и М2, валы которых соединены при помощи муфты. М1 – испытуемый асинхронный электродвигатель с к.з. ротором, М2 – двигатель постоянного тока (ДПТ) с независимым возбуждением. ВР – тахогенератор, PS – указатель скорости вращения, SA – универсальный переключатель, TV1 – трёхфазный трансформатор напряжения, TV2 – однофазный трансформатор напряжения, UZ1 ÷ UZ2 – выпрямительные мосты, KM – магнитный пускатель, PA1 ÷ PA4 – амперметры, PV1 ÷ PV2 – вольтметры, L₂ – обмотка возбуждения ДПТ – М2, R1 ÷ R₅ – регулировочные реостаты.

Для построения механических характеристик по опытным данным в двигательном и тормозных режимах нужно изменять нагрузку на валу исследуемого асинхронного электродвигателя с к.з. ротором. Для создания нагрузки на валу асинхронного двигателя – М1 (рисунок 2.3) используется машина постоянного тока независимого возбуждения – М2. Схемы включения якоря ДПТ : (М2) будут различными в зависимости от режима исследуемого двигателя М1 и будут задаваться положением универсального переключателя SA (рисунок 2.3).

Опытные данные для построения механических характеристик снимаются при пониженном напряжении, чтобы при малых оборотах в двигательном режиме и при торможении противотоком в двигателе М1 не был чрезмерно большим.

Для этой цели в схему (рисунок 2.3) установлен трансформатор напряжения TV1 380/220. Поэтому при построении механических характеристик следует иметь в виду, что результаты опытов, полученные при пониженном напряжении, должны быть приведены к номинальному линейному напряжению электродвигателя : $U_H = 380 \text{ В}$.

$$M = M' \left(\frac{U_H}{U'} \right)^2 . \quad (2.8)$$

где M - искомый момент АД при номинальном напряжении

$$U_H = 380 \text{ В} , \text{ Н}\cdot\text{м};$$

M' - момент АД, полученный при пониженном напряжении

$$U' = 220 \text{ В} , \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Так как электродвигатели М1 и М2 механически соединены одним валом, то пренебрегая потерями мощности, можно считать, что вращающие моменты у них будут равны:

$$M' = M_{эм} , \quad (2.9)$$

где $M_{эм}$ – электромагнитный номинальный момент ДПТ (М2), Н·м.

$$M_{эм} = C \cdot I , \quad (2.10)$$

где C – коэффициент пропорциональности ;

I – ток протекающий по якорной цепи ДПТ (М2), А.

$$C = \frac{U_H - I_H \cdot R_{я}}{\omega_H} ; \quad (2.11)$$

где U_H – номинальное напряжение ДПТ, В ;

I_H - номинальный ток ДПТ, А ;

$R_{я}$ – сопротивление якоря ДПТ, Ом ;

ω_H – номинальная скорость вращения ДПТ, рад/с.

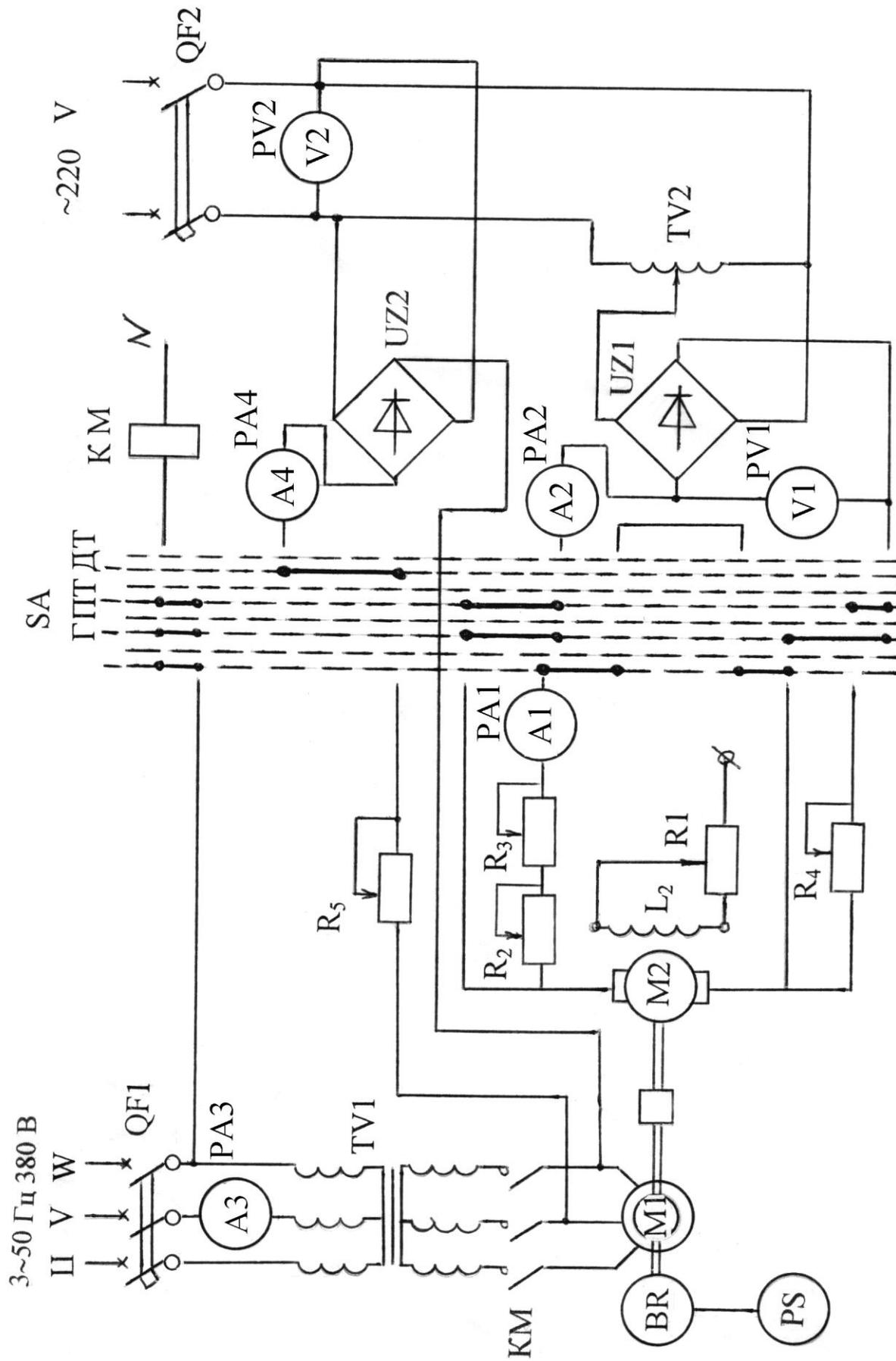


Рисунок 2.3- Электрическая схема установки для исследования механических характеристик асинхронного электропривода с короткозамкнутым ротором

Порядок выполнения работы :

1 Двигательный режим

- 1.1 Перед включением электрической схемы (рисунок 2.3) реостат R_1 должен быть выведен, реостаты R_2 и R_3 должны быть введены, универсальный переключатель SA должен быть установлен в нейтральное положение № 1.
- 1.2 Включить автоматический выключатель QF1.
- 1.3 Универсальный переключатель SA перевести в положение «Д». Определить угловую частоту вращения $n_{x.x.}$ по PS и ток холостого хода $I_{x.x.}$ по амперметру PA1.
Опытные данные занести в таблицу 2.1 (точка N, рисунок 2.4).
- 1.4 R1 – ввести полностью, тем самым нагружая АД нагрузочной машиной M2. Записать показания PS и PA1 в таблицу 2.1 (точка F рисунок 2.4).
- 1.5 R3- вывести полностью и записать показания PS и PA1 в таблицу 2.1 (точка M, рисунок 2.4).
- 1.6 R2 – вывести медленно и по амперметру PA1 определить критическую точку $I_{кр}$ и $n_{кр}$ по PS , опытные данные записать в таблицу 2.1 (точка K, рисунок 2.4).
- 1.7 R2 – вывести полностью и записать показания PA1 и PS в таблицу 2.1 (точка L, рисунок 2.4).

Таблица 2.1 - Опытные данные для построения механической характеристики АД в двигательном режиме

Наименование точки	Обозначение точки	I, А	n, об/мин	ω , рад/с	M' Н·м	M Н·м
Холостой ход	N					
Под нагрузкой	F					
Под нагрузкой	M					
Критическая точка	K					
Точка близкая к пуску	L					

- 1.8 Универсальный переключатель SA установить в положение нейтраль № 2.
- 1.9 Автоматический выключатель QF1 отключить.

2 Генераторный режим

- 2.1 Регулятор напряжения TV2 вывести влево до упора.
- 2.2 SA должен находиться в положении нейтраль № 2.
- 2.3 R1 должен быть введён.
- 2.4 Включить автоматический выключатель QF2.
- 2.5 Установить SA в положение «Г».
- 2.6 Включить автоматический выключатель QF1.
- 2.7 Регулятор напряжения TV2 вращая вправо, установить частоту вращения больше чем синхронная, т.е. $n > n_c$.
Записать величину тока по PA2 и частоту вращения по PS в таблицу 2.2 (точка P, рисунок 2.4).
- 2.8 Увеличивая напряжение при помощи TV2, по амперметру PA2 определить критическую точку $I_{кр}$ и по PS $\rightarrow n_{кр}$, показания приборов занести в таблицу 2.2 (точка W, рисунок 2.4).
- 2.9 TV2 вывести влево до упора.
- 2.10 SA установить в положение нейтраль № 3.
- 2.11 Выключить автоматические выключатели QF1, QF2.

Таблица 2.2 - Опытные данные для построения механической характеристики АД в генераторном режиме

Наименование точки	Обозначение точки	I, А	n, об/мин	ω , рад/с	M' Н·м	M Н·м
Рабочая точка	P					
Критическая точка	W					

3 Режим противовключения

- 3.1 Регулятор напряжения TV2 вывести влево до упора.
- 3.2 R4 - установить в среднее положение.
- 3.3 R1 - ввести полностью.
- 3.4 Включить автоматический выключатель QF2. Показание PV2 должно быть 220 В.
- 3.5 Установить SA в положение «ПТ» и при помощи TV2 разогнать M2 от нуля до отметки «20» в противоположную сторону на 12 делений по PS.

- 3.6 Включить QF1 и снять показания тока по PA2, показания PS = 0. Опытные данные занести в таблицу 2.3. (точка С, рисунок 2.3).
- 3.7 При помощи TV2 разогнать M2 на 17 делений, т.е. до отметки 15 в противоположную сторону по PS.
- 3.8 Записать показания PA2 и PS в таблицу 2.3 (точка В, рисунок 2.4).
- 3.9 SA перевести в нейтраль № 4.
- 3.10 TV2 вывести влево до упора.
- 3.11 Выключить QF1 и QF2.

Таблица 2.3 - Опытные данные для построения механической характеристики АД в режиме противовключения

Наименование точки	Обозначение точки	I, А	n, об/мин	ω , рад/с	M' Н·м	M Н·м
Пусковая точка	С					
Рабочая точка	В					

4 Режим динамического торможения

Сначала нужно M1 разогнать в двигательном режиме, а затем осуществить динамическое торможение.

- 4.1 Реостат R1 вывести.
- 4.2 Реостаты R2 и R3 ввести.
- 4.3 SA установить в положение нейтраль № 1.
- 4.4 Включить автоматический выключатель QF1.
- 4.5 Установить SA в положение «Д».
- 4.6 R5 – сопротивление динамического торможения полностью ввести.
- 4.7 Включить автоматический выключатель QF2.
- 4.8 SA через нейтраль № 1 переводим в положение «ДТ».
- 4.9 Измерить показания угловой частоты по PS, с которой плавно начинает частота убывать до нуля и ток по PA4. Опытные данные занести в таблицу 2.4.
- 4.10 Установить SA в положение нейтраль № 1, отключить автоматические выключатели QF1, QF2.

Таблица 2.4 - Опытные данные для построения механической характеристики АД в режиме динамического торможения

Наименование точки	Обозначение точки	I, А	n, об/мин	ω , рад/с	M', Н·м	M, Н·м
Рабочая точка при динамическом торможении	A					

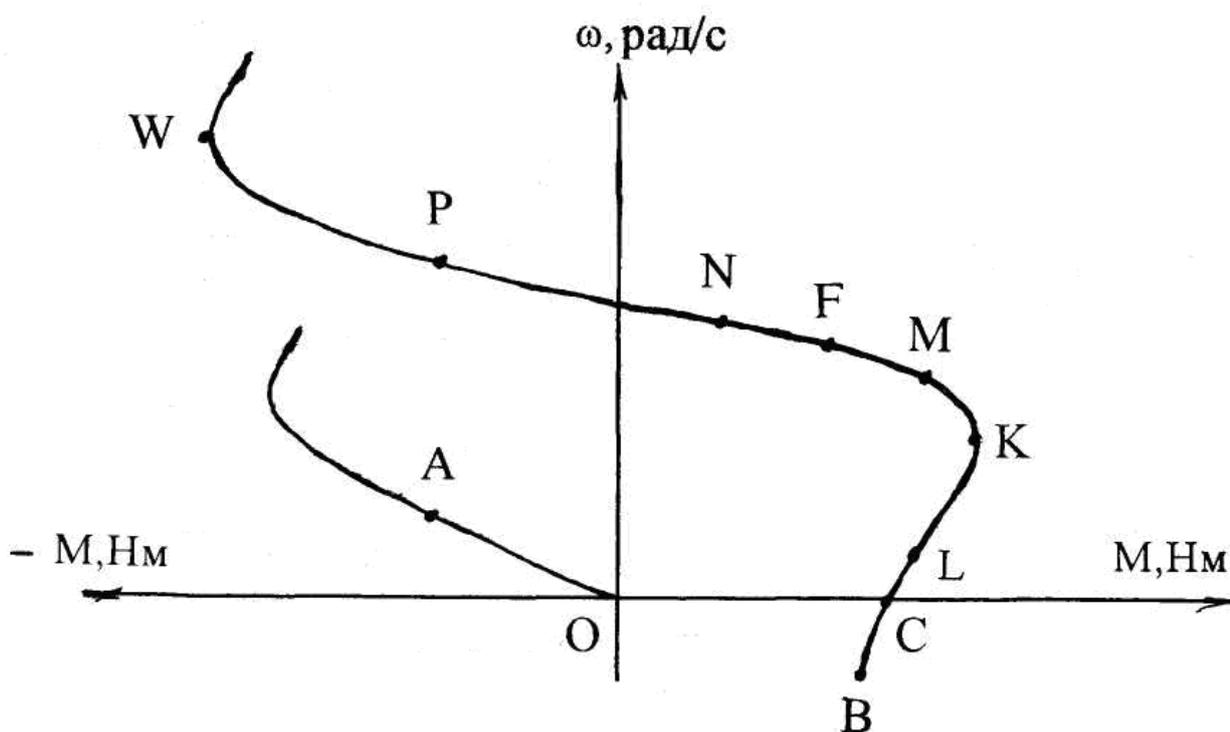


Рисунок 2.4 - Механические характеристики АД с короткозамкнутым ротором, построенные по опытным данным

Контрольные вопросы :

- 1 Какими номинальными величинами характеризуется АД с к.з. ротором ?
- 2 Как определить угловую скорость вращения вала АД, если указатель частоты PS тахометра BR показывает угловую частоту вращения ?
- 3 По какой формуле определяется номинальный момент АД ?
- 4 Как вычисляется угловая частота и угловая скорость вращения магнитного поля статора ?
- 5 Чему равняется скольжение при пуске ?

- 6 Напишите выражение для вращающего момента, если известны максимальный момент и критическое скольжение.
- 7 Изобразите механическую характеристику АД в двигательном режиме и укажите на ней точки, соответствующие пусковому, максимальному и номинальному моментам.
- 8 Как определить критическое скольжение АД с к.з. ротором?
- 9 Как определить пусковой ток и пусковой момент АД?
- 10 Для какой цели применяют электрическое торможение АД?
- 11 Какими способами можно осуществить торможение АД?
- 12 Объясните, как осуществляется три вида электрического торможения асинхронного двигателя?
- 13 Для чего установлен в схеме (рисунок 2.1) 3-х фазный трансформатор напряжения TV1.
- 14 Как определить критический момент в двигательном и генераторном режимах.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы: Изучить устройство, назначение и работу нереверсивного и реверсивного пускателей и теплового реле.

Программа работы :

- 1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места, записать паспортные данные асинхронного электродвигателя М.
- 2 Собрать электрическую схему управления пуском асинхронного электродвигателя с к.з. ротором при помощи нереверсивного магнитного пускателя (рисунок 3.7) и изучить её.
- 3 Выбрать автоматический выключатель QF и магнитный пускатель КМ для электрической схемы (рисунок 3.7).
- 4 Собрать электрическую схему управления реверсом асинхронного электродвигателя с к.з. ротором при помощи ре-

- версивного магнитного пускателя (рисунок 3.9) и опробовать её.
- 5 Выбрать автоматический выключатель QF1 и реверсивный магнитный пускатель KMF-KMR для электрической схемы (рисунок 3.9).

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Магнитный пускатель представляет собой электромагнитное устройство коммутации, обеспечивающее дистанционное включение нагрузки, а также исключающее самопроизвольное включение оборудования после временного отсутствия в сети электрической энергии (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Нереверсивный магнитный пускатель серии ПМЛ

Магнитный пускатель включает в себя электромагнитную систему, в состав которой входит неподвижная часть сердечника и обмотка катушки (рисунок 3.2). Материалом сердечника служат пластины электротехнической стали, изолированные между собой. Якорь является подвижной частью сердечника и соединяется с траверсой из пластмассы, где расположены специальные мостики, имеющие подвижные контакты.

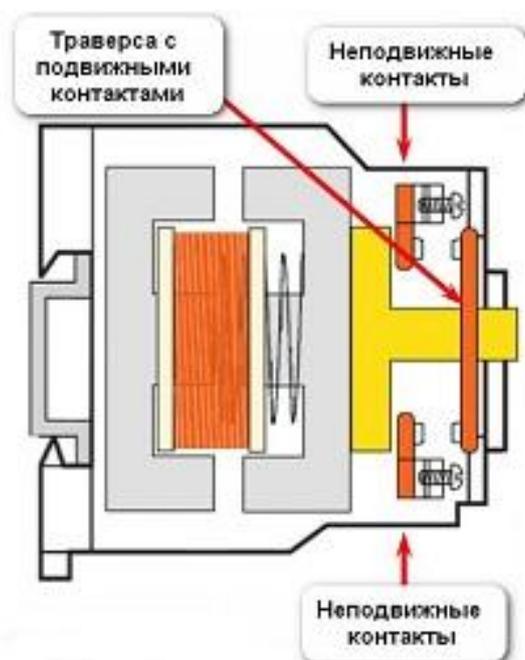


Рисунок 3.2 – Устройство магнитного пускателя

Плавное замыкание контактов с необходимым усилием их нажатия обеспечивают контактные пружины. К контактным пластинам припаиваются неподвижные контакты. Пластины снабжены винтовыми клеммами, к которым присоединяются провода внешней цепи. На боковых сторонах прибора расположены дополнительные контакты, выполняющие функцию блокировки. В производстве очень часто используется магнитный пускатель, принцип действия которого состоит из нескольких электротехнических операций.

Принцип работы нереверсивного магнитного пускателя:

Когда пускатель включается, по его катушке начинает проходить электрический ток, после чего происходит намагничивание сердечника, который притягивает к себе якорь, вызывающий замыкание главных контактов. После того, как пускатель отключен, осуществляется обесточивание катушки и возвратная пружина возвращает якорь в исходное положение, когда главные контакты становятся разомкнутыми.

В случае перебоев с электрической энергией, происходит размыкание всех контактов прибора, в том числе и вспомогательных. Когда напряжение вновь появляется в сети, пускатель не может включиться самостоятельно, а только после нажатия кнопки «Пуск». Те же самые процессы происходят при снижении напряжения в сети на 60% ниже, чем номинальное (нулевая защита). Таким образом, магнитный пус-

катель, принцип действия которого основан на замыкании и размыкании контактов, включает в свой состав несколько основных элементов. Это кнопочный пост, контактор и тепловое реле, объединяющие все узлы, которые были рассмотрены выше. В контакторе магнитного пускателя располагаются три основные системы контактов, позволяющие включать прибор в трехфазную сеть. Здесь же установлен блок контактов, насчитывающий от 1 до 5 единиц.

Для изменения направления вращения ротора в асинхронном электродвигателе используется реверсивный магнитный пускатель. Отличаются реверсивные магнитные пускатели от нереверсивных наличием сразу двух контакторов (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Реверсивный магнитный пускатель

Фактически это два обычных магнитных пускателя, имеющих электрическое соединение и прикрепленных на общую панель-основание, которые функционируют исключительно поочередно. Электрическое соединение реверсивного магнитного пускателя через размыкающие блокировочные контакты обоих пускателей обеспечивает электрическую блокировку, предотвращающую одновременное включение магнитных пускателей, так как при одновременном включении контакторов может произойти короткое замыкание.

Дополнительно некоторые модели реверсивных пускателей снабжаются механической защитой (блокировкой), выполняющей ту же функцию. Такая защита располагается под основанием пускателя. Однако данная защита не является обязательной или существенно

увеличивающей эксплуатационные характеристики пускателя. Поочередный запуск контакторов позволяет переключать фазы питания, и реверсивный магнитный пускатель изменяет направление вращения электродвигателя.

Принцип работы реверсивного магнитного пускателя:

Подключение реверсивного магнитного пускателя и его работа происходит следующим образом. После осуществления команды "пуск" на панели управления устройства электрическая цепь замыкается, вследствие чего ток подаётся на катушку. В это время механическая блокирующая система срабатывает, подобным образом блокируются незадействованные контакты. Так как контакты кнопки тоже оказываются заблокированными, подобное действие позволяет не удерживать кнопку, а спокойно отпустить её. Вторая кнопка реверсивного магнитного пускателя, параллельно с запуском устройства, размыкает цепь, таким образом, её активация не даст никакого результата.

Для осуществления реверса необходимо активировать кнопку "стоп", нажатие которой обесточит обе катушки реверсивного магнитного пускателя, тем самым остановив функциональные операции оборудования. При таком действии все блокирующие устройства займут изначальное положение. Подобная последовательность позволяет активировать реверсивный магнитный пускатель вновь, без каких либо дополнительных действий. При выборе команды "пуск" произойдут вышеописанные действия, однако при этом будет использована вторая катушка, а первая окажется заблокированной.

Осуществление реверса происходит через полную остановку электродвигателя. Другими словами, при срабатывании реверсивного магнитного пускателя электродвигатель замедляется, после чего следует полная остановка, а затем осуществляется вращение в другую сторону. Однако при этом необходимо совпадение мощностей двигателя и реверсивного магнитного пускателя. Только при осуществлении данного процесса, реверс будет осуществлён правильно.

Если же остановка и реверс электродвигателя производится противовключением, то мощность оборудования должна быть значительно ниже максимально допустимой мощности реверсивного магнитного пускателя. Наиболее часто двигатель уступает по мощности пускателю в 1,5-2 раза. Во многом разница мощностей зависит от ка-

чества контактов магнитного пускателя, а точнее их износостойкости при работе в данных условиях.

Магнитные пускатели различаются по назначению (неревверсивный, реверсивный); наличию или отсутствию тепловых реле; кнопок управления; степени защиты от внешних условий, уровням рабочих токов, рабочему напряжению катушки.

Выбор магнитного пускателя :

Магнитный пускатель выбирается согласно структуре условного обозначения :

Структура условного обозначения пускателя:

ПМЛ – X1X2X3X4X5X6X7

ПМЛ – серия.

X1 – величина пускателя по току : (1-10А; 2-25А; 3-40А; 4-63А; 5-80А; 6-125А; 7-200А).

X2 - исполнение по назначению и наличию теплового реле :
(1 – неревверсивный без теплового реле; 2 – неревверсивный с тепловым реле; 5 – реверсивный без теплового реле; 6 - реверсивный с тепловым реле; 7 – пускатель звезда-треугольник.

X3 – исполнение по степени защиты и наличию кнопок :
(0 – IP00 без кнопок; 1 – IP54 без кнопок; 2 – IP54 с кнопками «Пуск» и «Стоп» ; 3 – IP54 – с кнопками «Пуск» и «Стоп» и сигнальной лампой).

X4 – исполнение пускателя по числу и исполнению контактов вспомогательной цепи :

0 – 1з (на 10...25 А); 1з+1р (на 40...63 и 80...200 А).

1 - 1р (на 10...25 А); 2з + 2р (на 80...200 А).

2 - 3з + 3р (на 80...200 А).

3 - 3з + 1р (на 80...200 А).

4 - 5з + 1р (на 80...200 А).

X5 - климатическое исполнение :

Таблица 3.1 - Буквенные обозначения климатического исполнения электрооборудования ГОСТ 15150-69

Климатическое исполнение изделий ГОСТ 15150 - 69	Буквенные обозначения
Умеренный, t° (+ 40°C... - 45°C)	У
Умеренный, Холодный ($t^{\circ} < - 45^{\circ}\text{C}$)	УХЛ ХЛ
Влажный тропический ($t^{\circ} > +20^{\circ}\text{C}$; $\varphi = 80\%$)	ТВ
Сухой тропический $t^{\circ} > + 40^{\circ}\text{C}$; $\varphi = 80\%$)	ТС
Тропический (эксплуатация как в сухом так и во влажном тропическом) $t^{\circ} > 40^{\circ}\text{C}$; $\varphi > 80\%$	Т
Общеклиматическое исполнение	О
Морское	М
Всеклиматическое	В
Химостойкое	Х

Х6 - категория размещения :

Таблица 3.2 - Обозначение категории размещения электрооборудования ГОСТ 15150-69

Обозначение категории	Характеристика категории размещения электрооборудования при эксплуатации
1	<u>На открытом воздухе</u> (воздействие совокупности климатических факторов, характерных для данного микроклиматического района)
2	<u>Под навесом</u> или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе, но нет прямого воздействия солнечного излучения и атмосферных осадков
3	<u>В закрытых помещениях</u> с естественной вентиляцией.
4	<u>В закрытых помещениях</u> с искусственно регулируемые климатическими условиями
5	<u>В закрытых помещениях</u> с повышенной влажностью

Х7 - износостойкость контактов :

А - от 2...4 млн. циклов.

Б - 1 млн. циклов.

В - 0,3 млн. циклов.

Тепловое реле с биметаллическими пластинами:

Тепловое реле с биметаллическими пластинами типа РТЛ (рисунок 3.4) в трёхполюсном исполнении служит для защиты электродвигателя от перегрузок и токов возникающих в двухфазном режиме.



Рисунок 3.4 – Трёхполюсное тепловое реле типа РТЛ

Выбирают тепловое реле, исходя из номинальных значений тока нагрузки и напряжения. Нагрев пластины находится в непосредственной зависимости и от температуры окружающей среды, поэтому, если температура сильно отличается от номинальной, необходимо или подбирать другой нагревательный элемент, или проводить плавную дополнительную регулировку реле. Прогиб самой пластины - обычно медленный процесс. Поэтому пластинка воздействует на контактную систему через специальное ускоряющее устройство. Тепловое реле РТЛ, предназначенное для защиты непосредственно электродвигателей и генераторов, может обеспечивать защиту от несимметричных составляющих тока и от выпадения фазы. Электротепловые и термические РТЛ могут быть установлены как вместе с пускателями, так и отдельно.

Устройство тепловое реле: Тепловые реле имеют: три полюса; температурный компенсатор; механизм для ускоренного срабатывания при обрыве фазы; регулятор тока несрабатывания;

ручной возврат; один размыкающий и один замыкающий контакты; переднее присоединение проводов; несменные нагревательные элементы.

Структура условного обозначения:

РТЛ – X1X2X3X4X5X6С

РТЛ - серия;

X1 - исполнение по номинальному току реле
(1 - на 25 А; 2 – на 80 А; 3 – на 200 А).

X2X3X4 - цифры, условно обозначающие диапазон регулирования номинального тока несрабатывания.

X5 – климатическое исполнение.

X6 - категория размещения.

С - обозначает наличие 1р контакта, отсутствие буквы С – наличие 1р и 1з контактов.

Приставка контактная серии ПКЛ

Приставка контактная серии ПКЛ (рисунок 3.5) предназначена для увеличения количества вспомогательных контактов в схемах управления электроприводами до 440В постоянного тока и до 660В переменного тока частотой 50 и 60Гц.



Рисунок 3.5 – Приставка контактная серии ПКЛ

Приставки устанавливаются на магнитные пускатели ПМЛ серий ПМЛ-1000 ÷ ПМЛ-4000 открытого исполнения (рисунок 3.6) с числом блок-контактов от двух до четырёх (закрывающих или размыкающих).



Рисунок 3.6 – Установка приставки ПКЛ на магнитный пускатель МПЛ

Структура условного обозначения : ПКЛ - X1X2X3X4X5

ПКЛ- серия;

X1 - число замыкающих контактов : 0 ; 1 ; 2 ; 4 ;

X2 - число размыкающих контактов : 0; 1; 2 ; 4 ;

X3 - климатическое исполнение : 0;

X4 - категория размещения : 4 ;

X5 – исполнение по коммутационной износостойкости : А ; Б ;

Таблица 3.3 - Типоисполнение контактных приставок ПКЛ

Обозначение приставки	Число контактов	
	Закрывающих	Размыкающих
ПКЛ - 1104	1	1
ПКЛ - 2004	2	0
ПКЛ - 0404	0	4
ПКЛ - 2204	2	2
ПКЛ - 4004	4	0

Степень защиты электротехнического изделия

Важной характеристикой каждого электротехнического изделия является степень защиты обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими частями оборудования, от попадания в него пыли, посторонних тел и проникновения влаги.

Обозначение степеней защиты состоит из двух букв латинского алфавита IP (International Protection), обозначающих международную систему, и двух цифр, первая из которых характеризует степень защиты от проникновения посторонних предметов, а вторая - степень защиты электрооборудования от проникновения влаги.

Первая цифра :

- 0 - защита отсутствует.
- 1 - защита от проникновения внутрь оболочки твёрдых тел размером более 50 мм, а также от случайного соприкосновения человека с токоведущими частями.
- 2 - защита от проникновения внутрь оболочки твёрдых тел размером более 12 мм или предметов длиной более 80 мм.
- 3 - защита от проникновения твёрдых тел, например, проволоки диаметром не менее 2,5 мм.
- 4 - защита от проникновения проволоки или твёрдых тел размером 1 мм.
- 5 - защита от пыли в той степени, когда пыль не может проникать в количестве, достаточном для нарушения работы изделия.
- 6 - полная пыленепроницаемость.

Вторая цифра :

- 0 - защита отсутствует.
- 1 - защита от капель воды, падающих вертикально на оболочку.
- 2 - защита от капель воды, падающих под углом 15°.
- 3 - защита от дождя.
- 4 - защита от брызг.
- 5 - защита от водяных струй.
- 6 - защита от волн воды.
- 7 - защита от погружения в воду.
- 8 - защита при длительном погружении в воду.

Выбор автоматического выключателя

Автоматические выключатели (автоматы) предназначены для автоматического отключения электрических цепей при к.з. или ненормальных режимах (перегрузках, исчезновении или снижении напряжения), а также для нечастого включения и отключения токов нагрузки.

Отключение выключателя при перегрузках и к.з. выполняется встроенным в выключатель автоматическим устройством, которое называется максимальным расцепителем тока, или сокращённо – расцепителем.

Номинальным током $I_{н.в.}$ и напряжением $U_{н.в.}$ выключателя называют значение тока и напряжения, которые способны выдерживать главные токоведущие части выключателя в длительном режиме. Номинальный ток расцепителя $I_{н.расц.}$ может отличаться от номинального тока выключателя, поскольку в выключатель могут быть встроены расцепители с меньшим номинальным током.

Автоматические выключатели выпускаются с электромагнитными и комбинированными расцепителями. Автоматический выключатель с электромагнитным расцепителем защищает электродвигатель от токов к.з., а с комбинированным расцепителем от токов к.з. и от перегрузки.

Выбор автоматического выключателя производится согласно следующим условиям :

- 1) Номинальное напряжение автомата должно соответствовать напряжению сети :

$$U_{н.в.} \geq U_c ; \quad (3.1)$$

- 2) Номинальный ток автомата должен соответствовать длительному расчётному току электродвигателя :

$$I_{н.в.} \geq I_n ; \quad (3.2)$$

- 3) Номинальный ток любого расцепителя автомата (элек-

тромагнитного или комбинированного) должен соответствовать длительному расчётному току электродвигателя :

$$I_{н.расц.} \geq I_n ; \quad (3.3)$$

Выбранные расцепители автоматов проверяют на правильность срабатывания :

а) Электромагнитного расцепителя :

$$I_{с.о.} \geq I_{эм.р.} ; \quad (3.4)$$

где $I_{с.о.}$ – ток срабатывания отсечки электромагнитного расцепителя, А ;

$I_{эм.р.}$ – расчётный ток электромагнитного расцепителя, А.

$$I_{с.о.} = k_1 \cdot I_{н.расц.} ; \quad (3.5)$$

где k_1 – отношение тока срабатывания отсечки электромагнитного расцепителя к номинальному току расцепителя ;

$$I_{эм.р.} = k_{эм.р.} \cdot I_{пуск} ; \quad (3.6)$$

где $I_{пуск}$ – пусковой ток электродвигателя, А ;

$k_{эм.р.} = (1,5...1.8)$ – коэффициент надёжности, учитывающий разброс по току срабатывания электромагнитного расцепителя;

$$I_{пуск} = i \cdot I_n ; \quad (3.7)$$

где i – кратность пускового тока ;

I_n – номинальный ток электродвигателя, А.

б) Комбинированного расцепителя (теплового + электромагнитного) :

1 Теплового расцепителя :

$$I_{с.п.} \geq I_{ср.теп.} ; \quad (3.8)$$

где $I_{с.п.}$ – ток срабатывания защиты от перегрузки, А;
 $I_{ср.теп.}$ – расчётный ток теплового расцепителя, А.

$$I_{ср.теп.} = 1,25 \cdot I_N ; \quad (3.9)$$

$$I_{с.п.} = k_2 \cdot I_{н.расц.} ; \quad (3.10)$$

где k_2 - отношение тока срабатывания защиты от перегрузки к номинальному току расцепителя ;

2 Электромагнитного расцепителя :

$$I_{с.о.} \geq I_{эм.р.} ; \quad (3.11)$$

Таблица 3.4 - Автоматические выключатели серии ВА13-25 и ВА13-29 трёхполюсные с электромагнитными расцепителями

Тип выключателя	$I_{н.в.},$ А	Вид расцепителя	$I_{н.расц.}$ А	$k_1 = \frac{I_{с.о.}}{I_{н.расц.}}$	$U_N,$ В
ВА13-25	25	Электромагнитный	3,15; 5,0; 16; 25	7	660
ВА13-29	63	Электромагнитный	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40;50;63	12	660

Структура условного обозначения автоматических выключателей: ВА13-Х1Х2

ВА – выключатель автоматический;

13 – номер разработки (серии);

«-» разделительный знак;

Х1Х2 - условное обозначение номинального тока (**25** – 25 А; **29** – 63 А).

Таблица 3.5 - Трёхполюсные автоматические выключатели ВА47-29 и ВА47-100 с комбинированным расцепителем напряжением до 400 В

Тип выключателя	$I_{н.в.},$ А	$I_{н.расц.},$ А	$k_1 = \frac{I_{с.о.}}{I_{н.расц}}$	$k_2 = \frac{I_{с.п.}}{I_{н.расц}}$
ВА47-29	63	0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	14	1,3
ВА47-100	100	10; 16; 25; 32; 35; 40; 50; 63; 80; 100	14	1,3

Структура условного обозначения : ВАХ₁Х₂-Х₃Х₄-Х₅Х₆

ВА – выключатель автоматический ;

Х₁Х₂ – номер унифицированной серии (серия **47**);

Х₃Х₄ – условное обозначение номинального тока (**29** – 63 А; **100** – 100 А);

Х₅Х₆ – исполнение (1С-однополюсное ; 2С- двухполюсное; 3С- трёхполюсное ; 4С- четырёхполюсное)

Методические указания

Экспериментальная установка (рисунок 3.7) содержит асинхронный электродвигатель с к.з. ротором (М), автоматический выключатель QF, предохранители FU1, FU2, FU3, нереверсивный магнитный пускатель КМ защищённого исполнения со встроенным тепловым реле КК и встроенной кнопочной станцией [SB1: «пуск» (I) и SB2: «стоп» (R)] (рисунок 3.8).

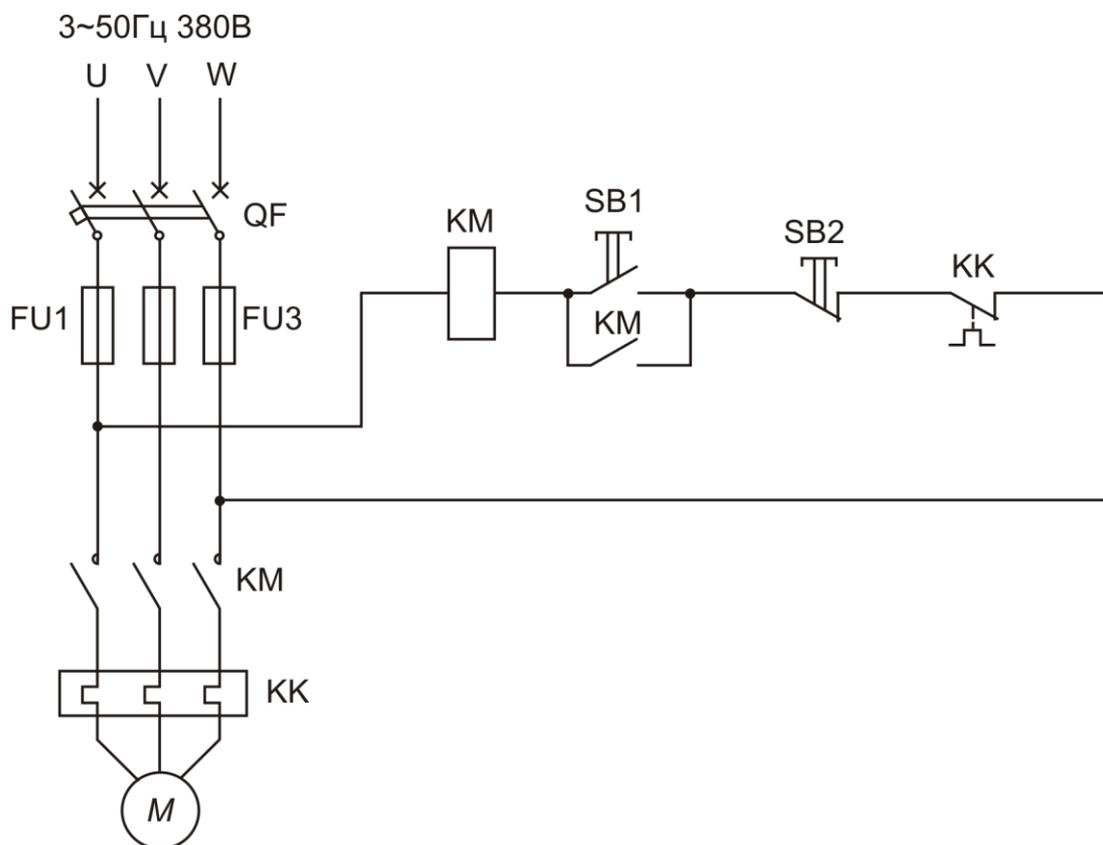


Рисунок 3.7- Электрическая схема управления асинхронным электродвигателем с к.з. ротором при помощи нереверсивного магнитного пускателя



Рисунок 3.8 – Нереверсивный магнитный пускатель защищённого исполнения со встроенными кнопками и тепловым реле

Экспериментальная установка (рисунок 3.9) содержит асинхронный электродвигатель с к.з. ротором (М), автоматические выключатели QF1 и QF2, предохранители FU1, FU2, FU3, FU4, FU5 реверсивный магнитный пускатель КМФ-КМР открытого исполнения, кнопочную станцию, состоящую из трёх кнопок SB1, SB2 и SB3. (рисунок 3.10).

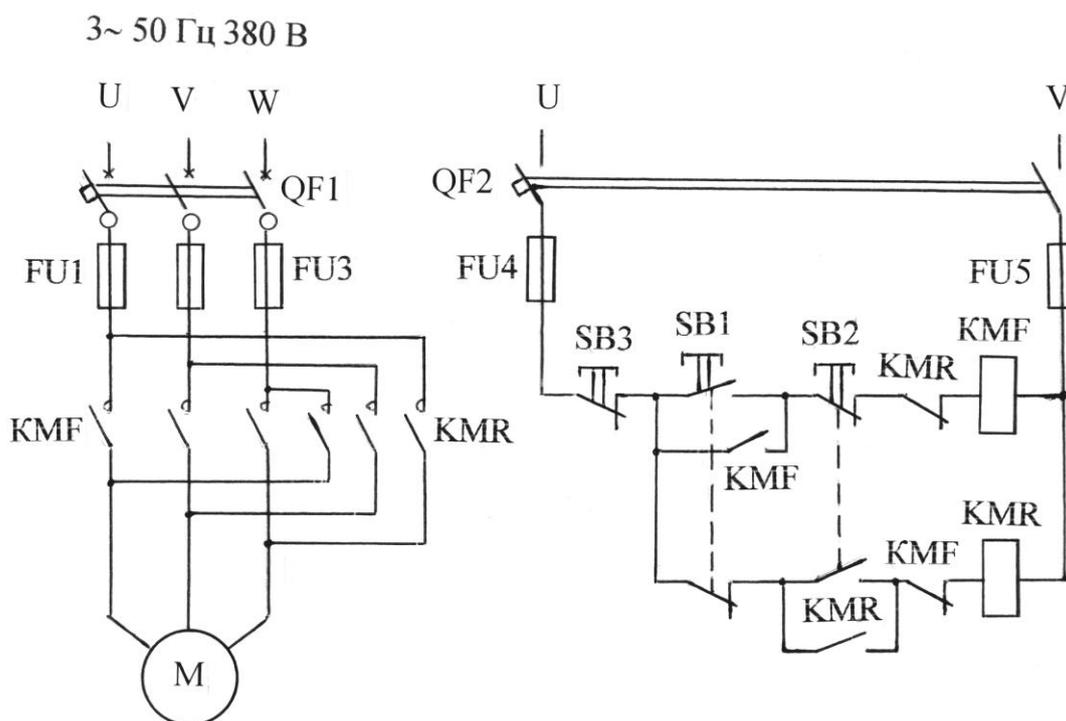


Рисунок 3.9 - Электрическая схема управления асинхронным электродвигателем с к.з. ротором при помощи реверсивного магнитного пускателя



Рисунок 3.10 – Кнопочная станция типа ПКЕ

Порядок выполнения работы :

- 1 Собрать электрическую схему (рисунок 3.7) пуска асинхронного электродвигателя с к.з. ротором (М) при помощи магнитного пускателя КМ, снять крышку с магнитного пускателя и изучить его устройство.
- 2 Собрать электрическую схему (рисунок 3.9) реверса асинхронного электродвигателя с к.з. ротором (М) при помощи реверсивного магнитного пускателя КМФ –КМР и опробовать её.
- 3 Выбрать магнитные пускатели и автоматические выключатели для электрических схем (рисунок 3.7 и 3.9).

Контрольные вопросы :

- 1 Для чего предназначен магнитный пускатель ?
- 2 Каково устройство магнитного пускателя ?
- 3 Объясните структуру условного обозначения магнитного пускателя серии ПМЛ.
- 4 Как размножить вспомогательные контакты у магнитного пускателя открытого исполнения серии ПМЛ ?
- 5 Объясните обозначение степени защиты обслуживающего персонала.
- 6 Какие тепловые реле встраиваются в магнитный пускатель серии ПМЛ ?
- 7 Каково устройство тепловых реле ?
- 8 Для чего тепловые реле предназначены ?
- 9 Какова структура условного обозначения теплового реле типа РТЛ ?
- 10 По каким параметрам выбирается тепловое реле ?
- 11 Для чего предназначены автоматические выключатели ?
- 12 Какие значения тока и напряжения называют у автоматического выключателя номинальными ?
- 13 Какие расцепители встраиваются в автоматический выключатель и какие защиты они осуществляют ?
- 14 По каким условиям производится выбор автоматического выключателя ?
- 15 Как проверить электромагнитный расцепитель автоматического выключателя на правильность срабатывания ?
- 16 Как проверить комбинированный расцепитель автоматического

- выключателя на правильность срабатывания ?
- 17 Пояснить структуру условного обозначения автоматических выключателей серии ВА13 ?
 - 18 Пояснить структуру условного обозначения автоматических выключателей серии ВА47-29 и ВА47-100 ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ДПТ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы : Экспериментально исследовать способы вращения ДПТ параллельного возбуждения

Программа работы :

- 1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места, записать паспортные данные ДПТ параллельного возбуждения (М).
- 2 Собрать электрическую схему (рисунок 4.1,а) для исследования регулирования скорости вращения ДПТ путём изменения подводимого напряжения.
- 3 Снять опытные данные для построения механических характеристик $\omega = f (M)$ при изменении напряжения питающей сети.
- 4 Собрать электрическую схему (рисунок 4.1,б) для исследования регулирования скорости вращения ДПТ путём изменения добавочного сопротивления в цепи якоря.
- 5 Снять опытные данные для построения механических характеристик $\omega = f (M)$ при изменении добавочного сопротивления в цепи якоря.
- 6 Собрать электрическую схему (рисунок 4.1,с) для исследования регулирования скорости вращения ДПТ путём изменения величины магнитного потока.
- 7 Снять опытные данные для построения электромеханических (скоростных) характеристик $\omega = f (I)$ ДПТ при изменении магнитного потока.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Скорость вращения двигателя постоянного тока (ДПТ) с параллельным возбуждением ω , рад/с, определяется по формуле :

$$\omega = \frac{U - I(R_{\text{я}} + R_{\text{х}})}{k \cdot \Phi} ; \quad (4.1)$$

где U - напряжение на якоре, В ;

I - ток, протекающий по якору ДПТ, А ;

$R_{\text{я}}$ - сопротивление якоря, Ом ;

$R_{\text{х}}$ - добавочное сопротивление, вводимое в якорную цепь, Ом ;

k - коэффициент пропорциональности ;

Φ - магнитный поток, Вб.

Анализ формулы (4.1) приводит к заключению, что скорость вращения ДПТ с параллельным возбуждением можно регулировать тремя способами:

- 1) Изменением напряжения U , подводимого к зажимам ДПТ.
- 2) Изменением добавочного сопротивления $R_{\text{х}}$ цепи якоря.
- 3) Изменением величины магнитного потока Φ .

Номинальный вращающий момент ДПТ на его валу $M_{\text{н}}$, Н·м, определяется по формуле :

$$M_{\text{н}} = C \cdot I_{\text{н}} ; \quad (4.2)$$

где C - коэффициент пропорциональности ;

$I_{\text{н}}$ - номинальный ток ДПТ, А ;

$$C = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} \cdot R_{\text{я}}}{\omega_{\text{н}}} ; \quad (4.3)$$

где $U_{\text{н}}$ - номинальное напряжение ДПТ, В ;

$\omega_{\text{н}}$ - номинальная скорость вращения ДПТ, рад/с .

Если сопротивление якоря $R_{я}$, Ом, не задано в паспорте ДПТ, то его можно рассчитать по приближённой формуле :

$$R_{я} \approx 0,5 (1 - \eta_{н}) \cdot \frac{U_{н}}{I_{н}} ; \quad (4.4)$$

где $\eta_{н}$ – коэффициент полезного действия номинальный ДПТ ;

Скорость вращения идеального холостого хода ω_0 , рад/с, определяется по формуле :

$$\omega_0 = \frac{U_{н} \cdot \omega_{н}}{U_{н} - I_{н} \cdot R_{я}} ; \quad (4.5)$$

Если из уравнения (4.3) выразить скорость вращения ДПТ, то получается следующее выражение :

$$\omega = \frac{U - I \cdot R_{я}}{C} ; \quad (4.6)$$

при пуске ДПТ $\omega = 0$, следовательно, согласно формулы (4.6) $U - I \cdot R_{я} = 0$; поэтому ток при пуске определяется :

$$I_{к} = \frac{U_{н}}{R_{я}} ; \quad (4.7)$$

где $I_{к}$ - пусковой ток ДПТ, который называется током короткого замыкания $[I_{к} \approx (30 \div 40) \cdot I_{н}]$, А .

Методические указания

Экспериментальная установка (рисунок 4.1 а,б,с) содержит ДПТ с параллельным возбуждением (М), тахогенератор (ВР), однофазный регулятор напряжения (ТВ), выпрямительный мост (UZ), вольтметр (PV), амперметр (РА), добавочное сопротивление в цепи якоря (R_x), сопротивление, вводимое в обмотку возбуждения (R_y) и защитную аппаратуру : QF₁, QF₂, FU₁, FU₂, FU₃ .

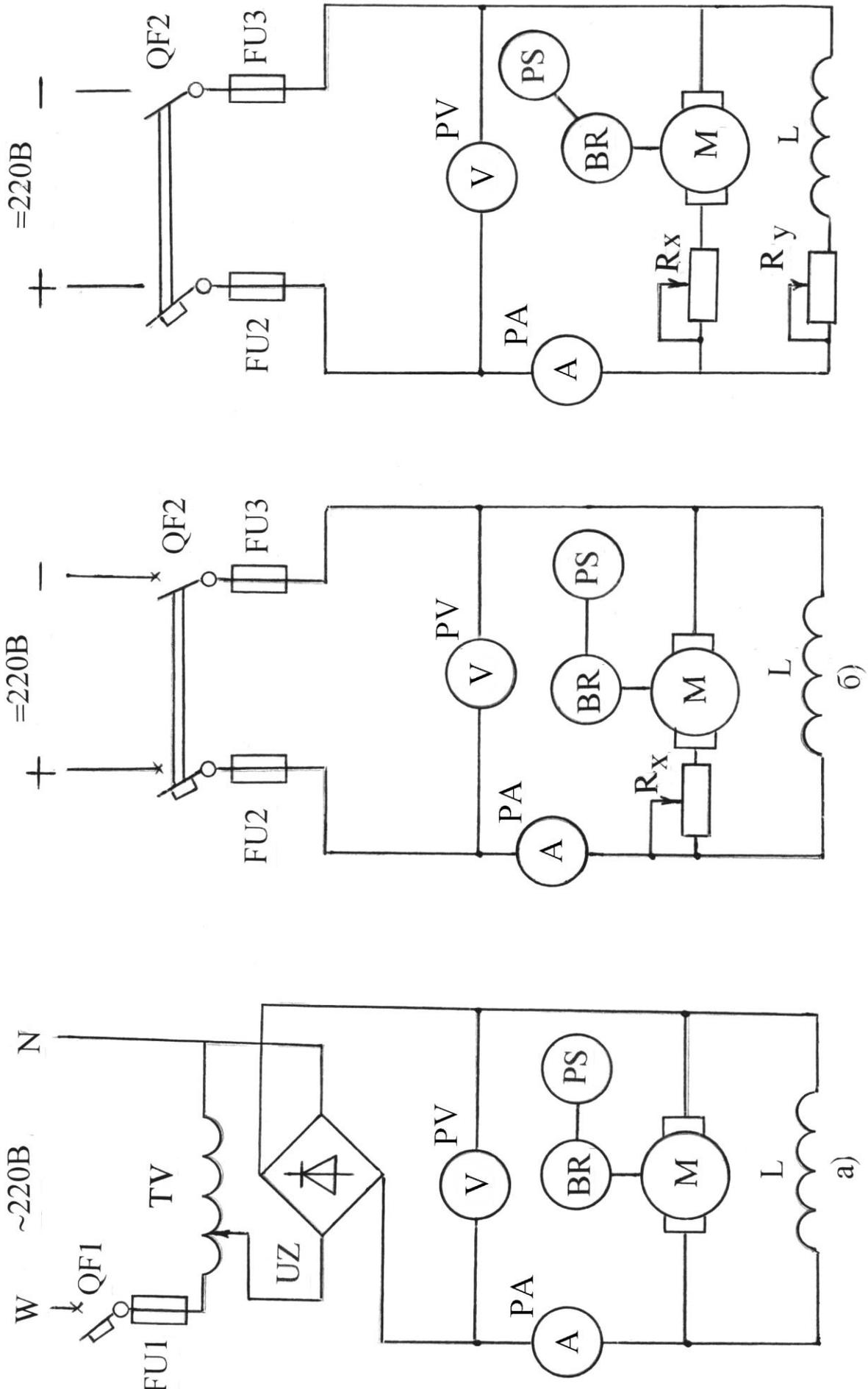


Рисунок 4.1 - Электрические схемы включения ДПТ для исследования способов регулирования частоты вращения: а) при изменении напряжения б) при изменении сопротивления вводимого в цепь якоря с) при изменении магнитного потока

1 Для построения механических регулировочных характеристик ДПТ при изменении напряжения U на якоре достаточно опытным путём получить точки: A , A_1 , A_2 , A_3 и через них провести прямые линии параллельные естественной механической характеристике (рисунок 4.2).

Естественная механическая характеристика представляет собой прямую линию и проходит через две точки: A и B (рисунок 4.2).

Точка A определяется опытным путём при $U = 220$ В, координаты точки B (M_H ; ω_H) рассчитываются по паспортным данным ДПТ.

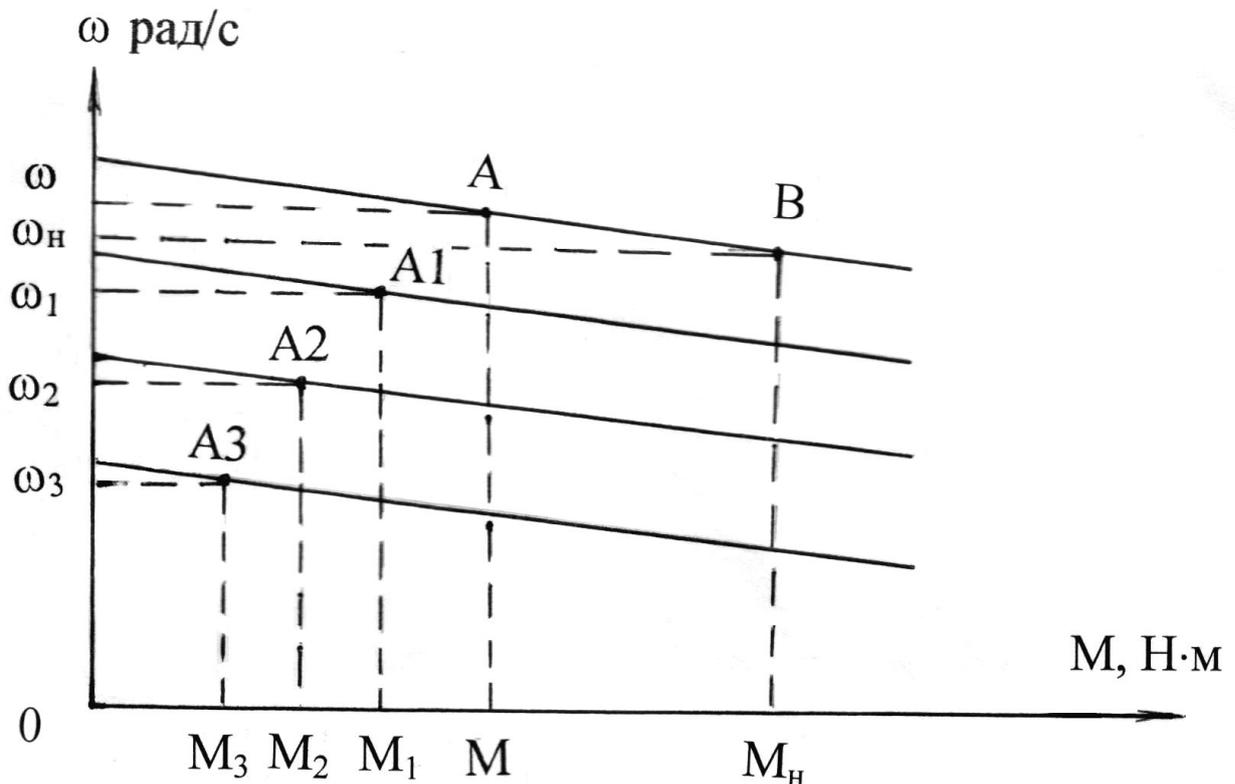


Рисунок 4.2 - Механические регулировочные характеристики ДПТ, полученные при изменении напряжения на якоре

2 Для построения механических регулировочных характеристик ДПТ при изменении добавочного сопротивления R_x , вводимого в цепь якоря достаточно опытным путём получить точки: K , K_1 , K_2 , K_3 , K_4 и через них провести прямые линии из точки

В с координатами $(0; \omega_0)$ (рисунок 4.3).

где ω_0 – скорость вращения идеального холостого хода, рад/с.

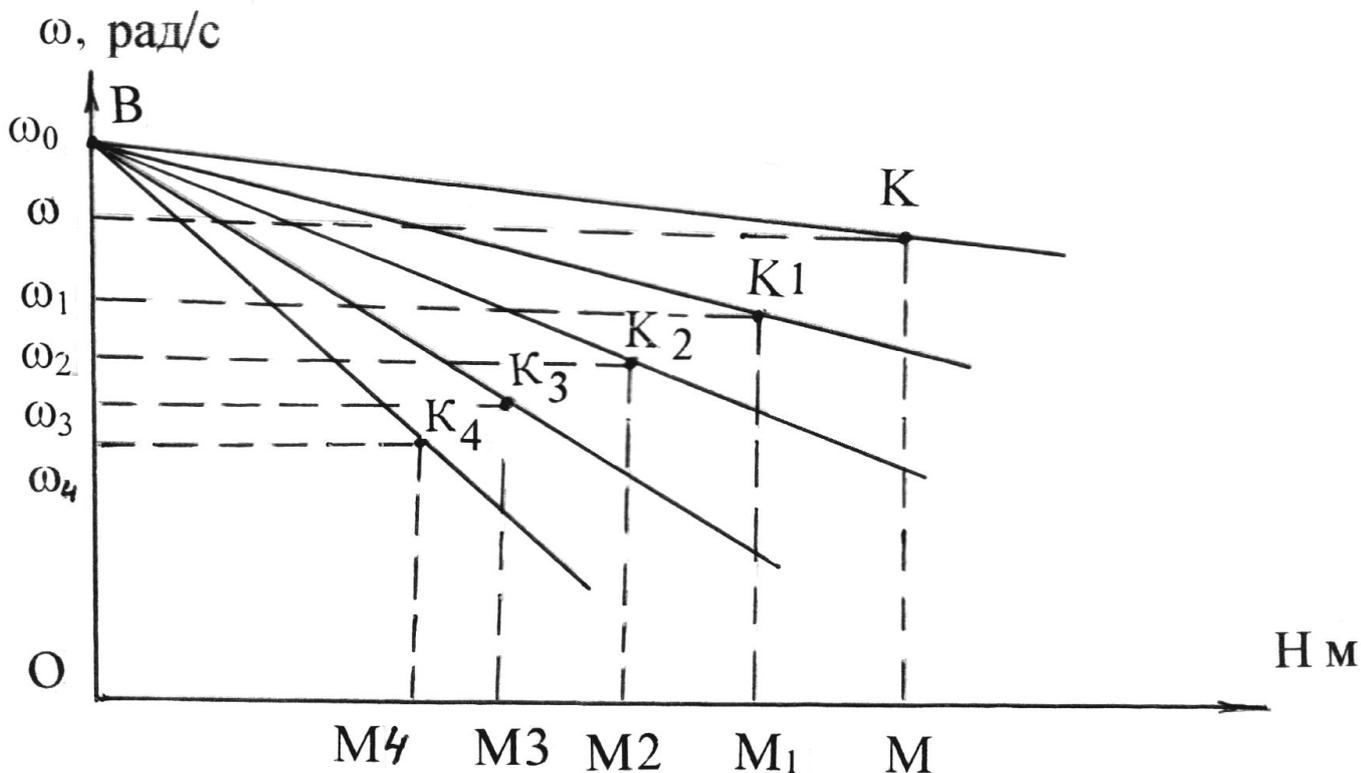


Рисунок 4.3 - Механические регулировочные характеристики ДПТ, полученные при изменении добавочного сопротивления в цепи якоря

3 Для построения электромеханических регулировочных характеристик ДПТ при изменении магнитного потока Φ достаточно опытным путём получить точки P, P_1, P_2 и через них провести прямые линии до пересечения с осью ординат из точки E с координатами $(I_k; 0)$ (рисунок 4.4), где I_k – ток короткого замыкания, А.

Для изменения магнитного потока Φ необходимо изменять регулируемое сопротивление R_y , которое введено в обмотку возбуждения L (рисунок 4.1, с).

Увеличение сопротивления в цепи обмотки возбуждения приводит к уменьшению тока возбуждения, следовательно, к ослаблению магнитного потока и согласно уравнения (4.1) к увеличению скорости вращения ДПТ. Поэтому запускать ДПТ

следует при выведенном сопротивлении R_y .

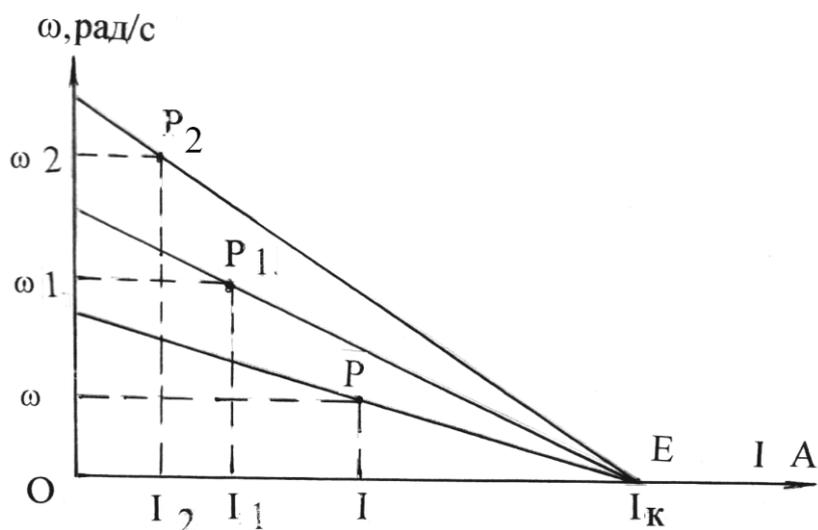


Рисунок 4.4 - Электромеханические регулировочные характеристики ДПТ, полученные при изменении магнитного потока

Порядок выполнения работы :

- 1 Собрать электрическую схему (рисунок 4.1, а).
- 2 Вывести однофазный регулятор напряжения TV.
- 3 Включить автоматический выключатель QF1.
- 4 Вращая ручку регулятора напряжения TV в сторону увеличения напряжения, снять для четырёх точек показания вольтметра PV, амперметра PA и указателя частоты вращения PS. Показания приборов занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Опытные данные при изменении U-я на якоре ДПТ

Обозначение точек	U, В	I, А	n, об/мин	ω , рад/с	$M = C \cdot I$, Н·м
A	220				
A ₁					
A ₂					
A ₃					

- 5 После проведения опытов отключить автоматический выключатель QF1. Регулятор напряжения TV отключить.
- 6 По опытными данным построить механические характеристики

- ДПТ при регулировании напряжения на его якоре.
- 7 Собрать электрическую схему (рисунок 4.1, б).
 - 8 Полностью ввести добавочное сопротивление R_x .
 - 9 Включить автоматический выключатель QF2.
 - 10 Изменяя сопротивление в цепи якоря R_x , снять для пяти точек показания вольтметра PV, амперметра PA и указателя частоты вращения PS. Показания приборов занести в таблицу 4.2.
 - 11 После проведения опытов отключить автомат QF2.
 - 12 По опытными данным построить механические характеристики ДПТ при изменении сопротивления R_x в цепи якоря.
 - 13 Собрать электрическую схему (рисунок 4.1,с).
 - 14 Полностью ввести добавочное сопротивление в цепи якоря R_x .
 - 15 Полностью вывести сопротивление R_y в обмотке возбуждения.
 - 16 Включить автоматический выключатель QF2.
 - 17 После запуска ДПТ вывести добавочное сопротивление R_x

Таблица 4.2 - Опытные данные при изменении R_x в цепи якоря ДПТ

Обозначение точек	R_x , Ом	U, В	I, А	n, об/мин	ω , рад/с	$M = C \cdot I$, Н·м
K_4	R_x					
K_3	$3/4 \cdot R_x$					
K_2	$1/2 \cdot R_x$					
K_1	$1/4 \cdot R_x$					
К	0	220				

- 18 Изменяя сопротивление R_y в обмотке возбуждения L, снять для трёх точек показания вольтметра PV, амперметра PA и указателя частоты вращения PS. Показания приборов занести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Опытные данные при изменении Φ в обмотке возбуждения ДПТ

№	Обозначение точек	R_y	U, В	I, А	n, об/мин	ω , рад/с
1	P	0				
2	P_1	$1/2 \cdot R_y$				
3	P_2	R_y				

Контрольные вопросы :

- 1 Пояснить способы регулирования скорости вращения ДПТ.
- 2 Почему следует включать электрическую схему (рисунок 4.1.а) при выведенном регуляторе напряжения TV ?
- 3 Почему следует включать электрическую схему (рисунок 4.1.б) при полностью введённом добавочном сопротивлении ?
- 4 В каком положении бегунка регулировочного реостата R_x (рисунок 4.1. б) скорость вращения ДПТ будет наименьшей ?
- 5 В каком положении бегунка регулировочного реостата R_y (рисунок 4.1.с) скорость вращения ДПТ будет наибольшей ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Цель работы : Изучить устройство, принцип действия и способы регулирования выдержек времени электромагнитного реле времени типа РЭВ – 812

Программа работы :

- 1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места, изучить конструкцию и принцип действия электромагнитного реле времени типа РЭВ – 812 (рисунок 5.2).
- 2 Собрать электрическую схему для снятия зависимости выдержек времени от толщины немагнитных прокладок при различных натяжениях пружины (рисунок 5.3).
- 3 Используя электросекундомер РТ, снять опытные данные для построения графиков зависимостей выдержек времени от толщины немагнитных прокладок, расположенных между сердечником и якорем реле времени при различных натяжениях пружины.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При автоматизации технологических процессов часто возникает необходимость получить определённую выдержку времени при включении и отключении различных исполнительных механизмов, а также обеспечить нужную продолжительность процесса. Эти функции выполняют реле времени. Всякое реле времени состоит из трёх основных устройств : входного устройства, устройства задержки сигнала и выходного устройства.

Устройство задержки сигнала может быть выполнено с использованием различных принципов действия : электрического, механического, пневматического, термического, гидравлического и других.

Независимо от устройства и принципа действия реле времени можно разделить на две группы.

Первые из них при подаче напряжения на вход обеспечивают задержку в замыкании замыкающих и размыкании размыкающих контактов. При отключении таких реле их контакты мгновенно возвращаются в первоначальное состояние.

Реле времени второй группы при подаче напряжения на вход обеспечивают мгновенное срабатывание контактов и последующую задержку в замыкании размыкающих и размыкании замыкающих контактов.

Кроме контактов с выдержкой времени, большинство реле времени имеют и контакты мгновенного действия, которые срабатывают в момент подачи напряжения на вход реле.

Наибольшее применение в электроприводе имеют электромагнитные реле времени. Электромагнитное реле времени работает только на постоянном токе. В схемах переменного тока его катушка получает питание через выпрямитель.

Выдержка времени в электромагнитном реле получается при отключении катушки реле от сети вследствие замедленного спада магнитного потока до значения потока отпуска. Это объясняется наличием замкнутых контуров на магнитопроводе реле. Замкнутые контуры создаются либо замыканием катушки реле накоротко или специальными короткозамкнутыми обмотками (в виде гильз или шайб) на магнитопроводе (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Электромагнитное реле времени РЭВ-812

Методические указания

Экспериментальная установка (рисунок 5.3) содержит электромагнитное реле времени (КТ), переключатель (SA) и электросекундомер (РТ).

Электромагнитное реле времени КТ состоит из магнитопровода (1), якоря (2), немагнитной прокладки (3), крепёжной плиты (4), алюминиевого цоколя (5), контактной системы (6), катушки (7), короткозамкнутой обмотки в виде сплюснутой гильзы (8), пружины (9), корончатой гайки (10) и сердечника (11). (рисунок 5.2).

В данной лабораторной работе предлагается исследовать электромагнитное реле времени типа РЭВ – 812. Выдержка времени в этом реле получается при отключении катушки (7) от сети благодаря действию короткозамкнутой обмотки (8) на магнитопроводе (рисунок 5.2).

На величину выдержки времени влияет толщина немагнитной прокладки между сердечником (11) и якорем (2). Чем меньше толщина немагнитной прокладки, тем больше выдержка времени. Прокладками осуществляется грубое регулирование выдержек времени. Для точного регулирования выдержки времени нужно изменять натяжение пружины (9).

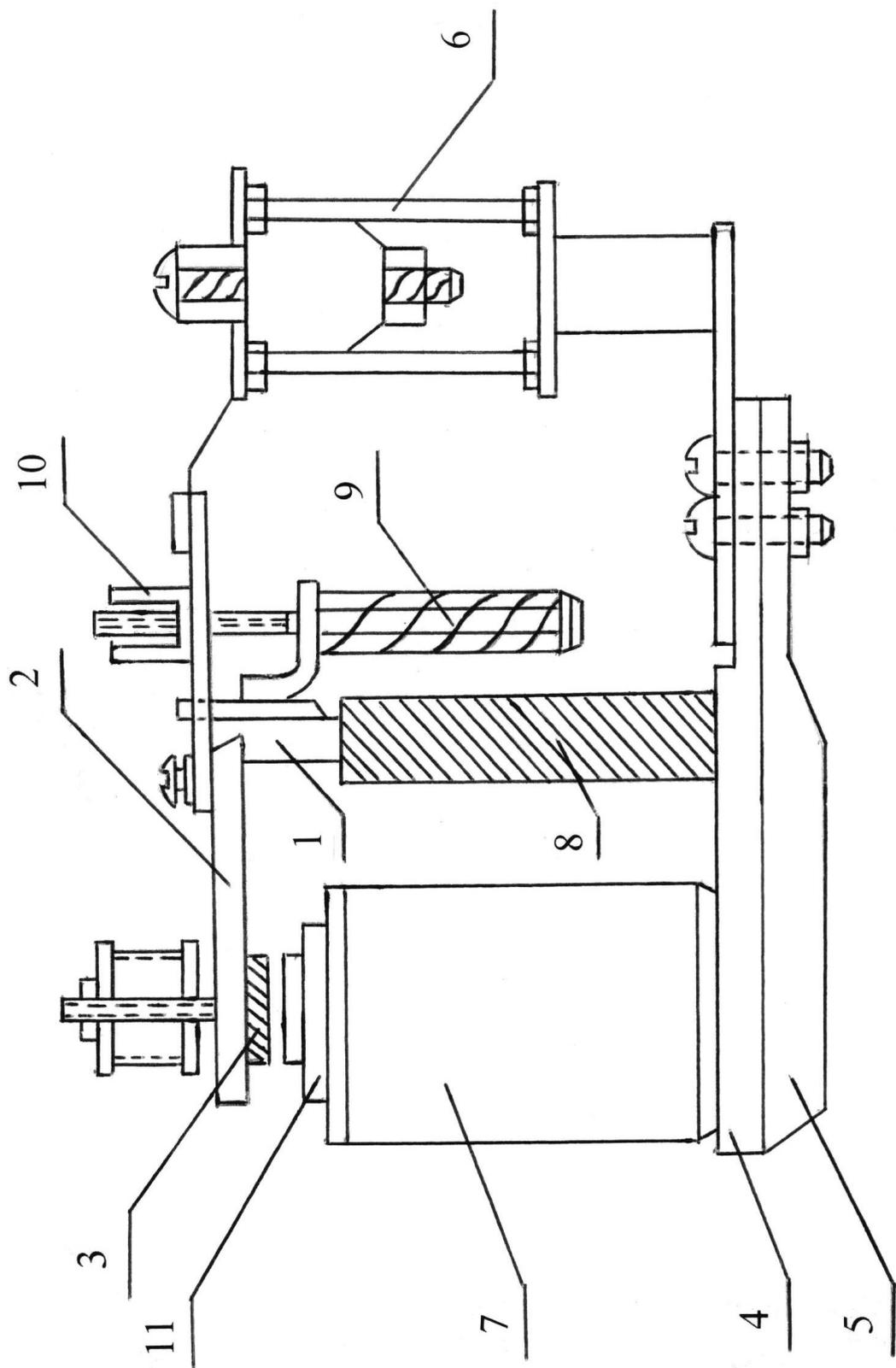


Рисунок 5.2 - Конструкция электромагнитного реле времени типа РЭВ-812

Для исследования зависимости выдержек времени от толщины немагнитных прокладок и натяжения пружины используется электросекундомер РТ. Он отсчитывает время с момента отключения катушки КТ от сети при помощи ключа SA. Напряжение на катушку реле подаётся номинальное.

Вначале исследуются выдержки времени реле при максимальном натяжении пружины, которое устанавливается следующим образом. Вначале регулировочной гайкой (10) сжимается пружина (9) до предела, при котором контактная система срабатывает т.е. якорь реле может двигаться (если затянуть пружину до отказа, то контактная система может не сработать). При таком натяжении пружины между якорем и сердечником нужно установить 1, 2, 3 немагнитных прокладки толщиной 0,1; 0,2; 0,3 мм каждая и исследовать зависимость выдержек времени от толщины (количества) прокладок. Каждый опыт повторяется три раза и определяется среднее значение.

Таким же образом опыты проводятся при минимальном натяжении пружины. Минимальное натяжение пружины должно быть достаточным для отрыва якоря от сердечника при наименьшей толщине немагнитной прокладки. Слишком слабое натяжение пружины приводит к нестабильности выдержек времени и даже к залипанию якоря.

П о р я д о к в ы п о л н е н и я р а б о т ы :

- 1 Собрать электрическую схему (рисунок 5.3).
- 2 При максимальном натяжении пружины измерить выдержки времени три раза при толщине немагнитной прокладки : 0; 0,1; 0,2; 0,3 мм. Подсчитать среднее арифметическое значение. Расчётные и опытные данные занести в таблицу 5.1.
- 3 При минимальном натяжении пружины измерить выдержки времени три раза при толщине немагнитной прокладки : 0; 0,1; 0,2; 0,3 мм. Подсчитать среднее арифметическое значение. Расчётные и опытные данные занести в таблицу 5.1.

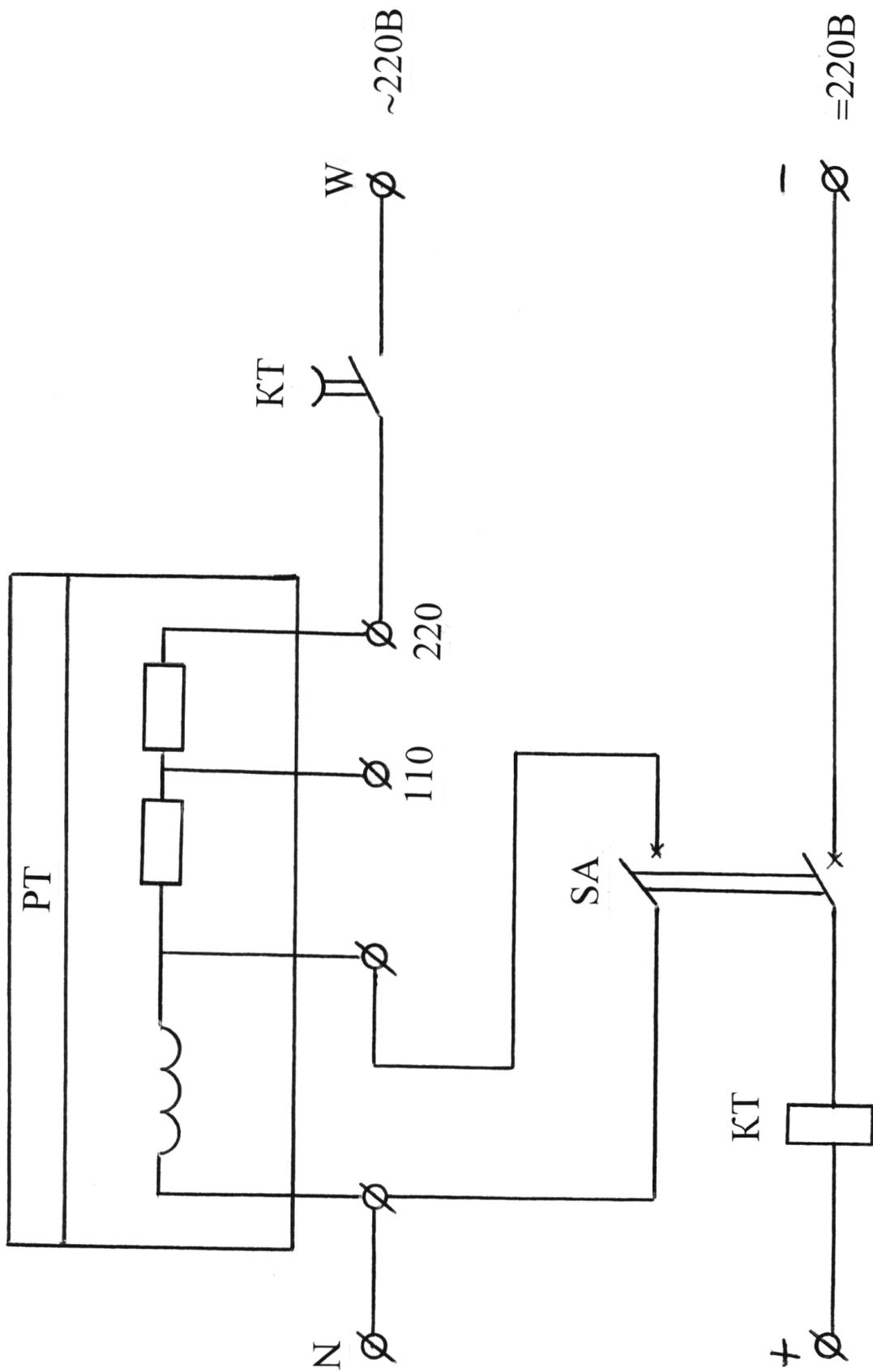


Рисунок 5.3 - Электрическая схема включения реле времени РЭВ-812

- 4 По средним значениям выдержек времени построить в одной системе координат графики зависимости выдержек времени (t) от толщины немагнитной прокладки (d) при максимальном и минимальном натяжении пружины.

Таблица 5.1 - Опытные данные при изменении толщины прокладки и натяжения пружины реле времени РЭВ – 812.

Выдержки времени реле РЭВ-812, с				
Толщина немагнитной прокладки, мм				Натяжение пружины
$d = 0$	$d = 0,1$	$d = 0,2$	$d = 0,3$	
				Максимальное
				Максимальное
				Максимальное
				Среднее значение
				Минимальное
				Минимальное
				Минимальное
				Среднее значение

Контрольные вопросы :

- 1 Какие функции выполняют реле времени ?
- 2 Из каких основных устройств состоит реле времени ?
- 3 С использованием каких принципов действия может быть выполнено устройство задержки сигнала ?
- 4 Объясните устройство (рисунок 5.2) и принцип действия электромагнитного реле времени типа РЭВ – 812.
- 5 Как создаётся выдержка времени в реле типа РЭВ-812 ?
- 6 Как зависит выдержка времени реле от толщины немагнитной прокладки и от натяжения пружины ?
- 7 Объясните принцип срабатывания замыкающих и размыкающих контактов реле времени.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ - РАБОЧАЯ МАШИНА»

Цель работы : Изучить методику опытного определения момента инерции системы «электродвигатель – рабочая машина» по опытам холостого хода и самоторможения (выбега)

Программа работы :

- 1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места, записать паспортные данные ДПТ (М1).
- 2 Собрать электрическую схему (рисунок 6.1) для подключения ДПТ параллельного возбуждения при опытах холостого хода и самоторможения.
- 3 Провести опыт холостого хода системы. Снять опытные данные для построения зависимости мощности холостого хода от частоты вращения системы : $P_0 = f(n)$.
- 4 Провести опыт самоторможения системы. Снять опытные данные для построения зависимости частоты вращения системы от времени : $n = f(t)$.
- 5 По результатам опытов определить момент инерции системы.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Механическое движение элементов электропривода описывается с помощью законов электромеханики. Движение материального тела определяется вторым законом Ньютона, причём уравнение этого движения для твёрдого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси :

$$\sum \vec{M} = J \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt} ; \quad (6.1)$$

где $\sum \vec{M}$ - векторная сумма моментов действующих на тело, Н·м;
 J – момент инерции тела, кг·м² ;
 $\frac{d\vec{\omega}}{dt}$ - угловое ускорение вращающегося тела, рад/с² .

Момент инерции - это мера инертности тела при вращательном движении. В практических расчётах момент инерции тела J , кг·м², выражают как произведение массы тела (m) на квадрат радиуса инерции (ρ^2) :

$$J = m \cdot \rho^2 . \quad (6.2)$$

Под радиусом инерции понимают расстояние от оси вращения, проходящей через центр тяжести, до точки, в которую надо поместить сосредоточенную массу рассматриваемого тела, чтобы момент инерции остался неизменным.

Наиболее универсальным экспериментальным способом определения приведённого момента инерции системы является метод холостого хода и самоторможения (выбега).

При определении момента инерции системы по опытам холостого хода и самоторможения удобнее всего использовать в качестве приводного ДПТ параллельного или независимого возбуждения. При этом не требуется какой-либо тарировки двигателя или сложных измерений, требуется только определить сопротивление его якоря. В результате опыта холостого хода системы нужно знать механическую мощность ($P_{\text{мех}}$).

Уравнение (6.1) называется основным уравнением движения электропривода и имеет следующий вид :

$$M_{\text{дв}} - M_{\text{с}} = J \frac{d\omega}{dt} ; \quad (6.3)$$

где $M_{\text{дв}}$ - вращающий момент электродвигателя, Н·м ;
 $M_{\text{с}}$ - момент сопротивления рабочей машины, Н·м ;
 J - момент инерции системы, кг·м² ;
 $d\omega/dt$ - угловое ускорение системы, рад/с² .

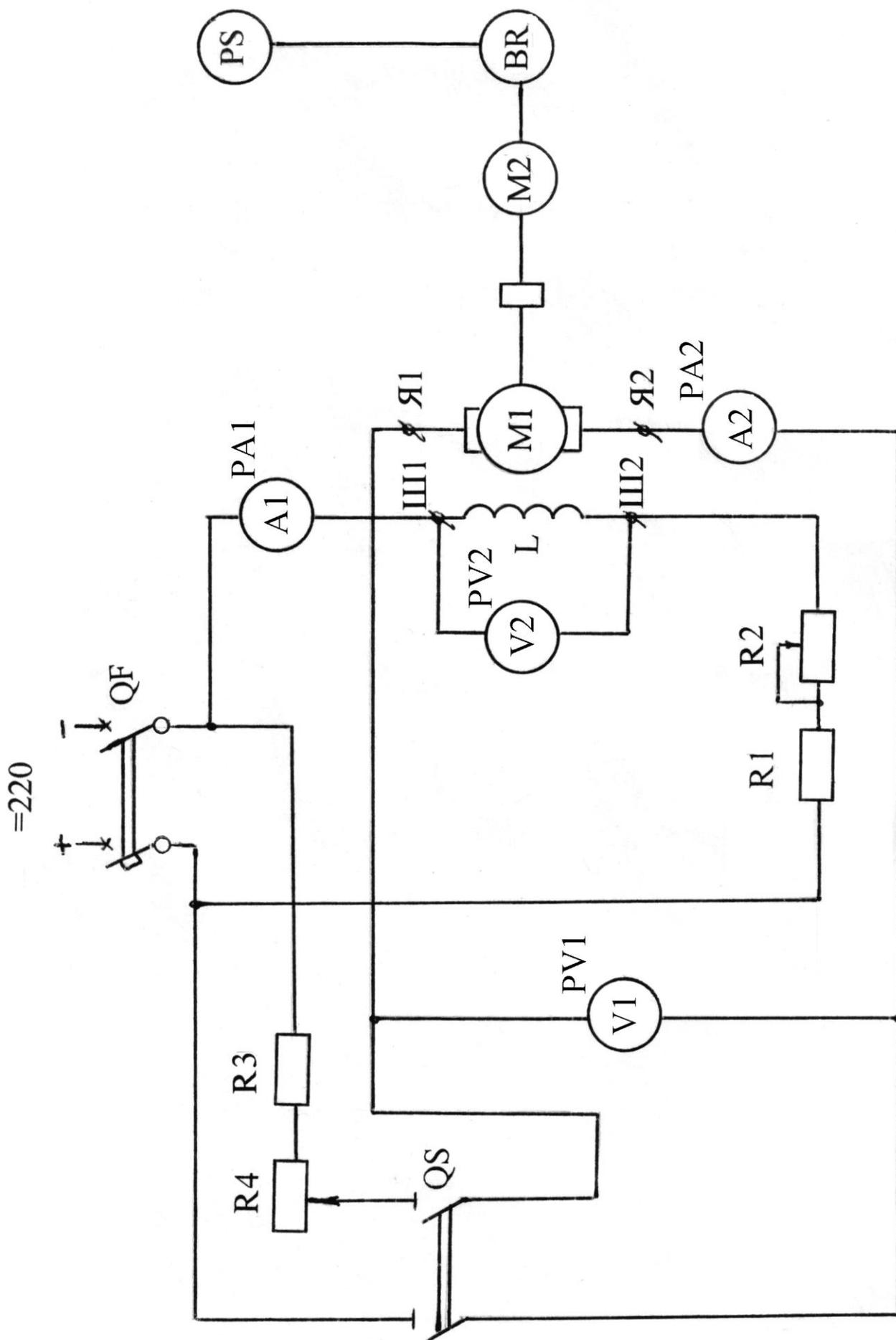


Рисунок 6.1 - Электрическая схема лабораторной установки для определения момента инерции системы

Если скорость вращения ω (рад/с) выразить через частоту вращения n (об/мин) по формуле $\omega = \pi n / 30$, то уравнение (6.3) примет следующий вид :

$$M_{дв} - M_c = \frac{Jdn}{9,55dt} ; \quad (6.4)$$

В случае самоторможения ДПТ нужно отключить от сети, следовательно, $M_{дв} = 0$ и уравнение (6.4) примет вид :

$$J = - 9,55 \cdot M_c \cdot \frac{dt}{dn} ; \quad (6.5)$$

Опытным путём снимается кривая выбега (кривая 1, рисунок 6.2). Для определения момента инерции системы нужно определить так называемое условное время выбега ($T_{у.в.}$).

Условное время выбега определяется следующим образом : К кривой выбега $n = f(t)$ проводят касательную к точке **A**. Отрезок **OK** представляет собой условное время выбега $T_{у.в.}$. Касательную можно проводить к любой точке кривой выбега, но величина момента инерции системы остаётся неизменной.

Из полученного треугольника **АОК** видно, что

$$\frac{dn}{dt} = - \frac{n}{T_{у.в.}} ; \quad (6.6)$$

Знак « минус » показывает, что электропривод затормаживается, тогда формула (6.5) примет вид :

$$J = 9,55 \cdot \frac{T_{у.в.}}{n} \cdot M_c , \quad (6.7)$$

где $T_{у.в.}$ - условное время выбега, с;

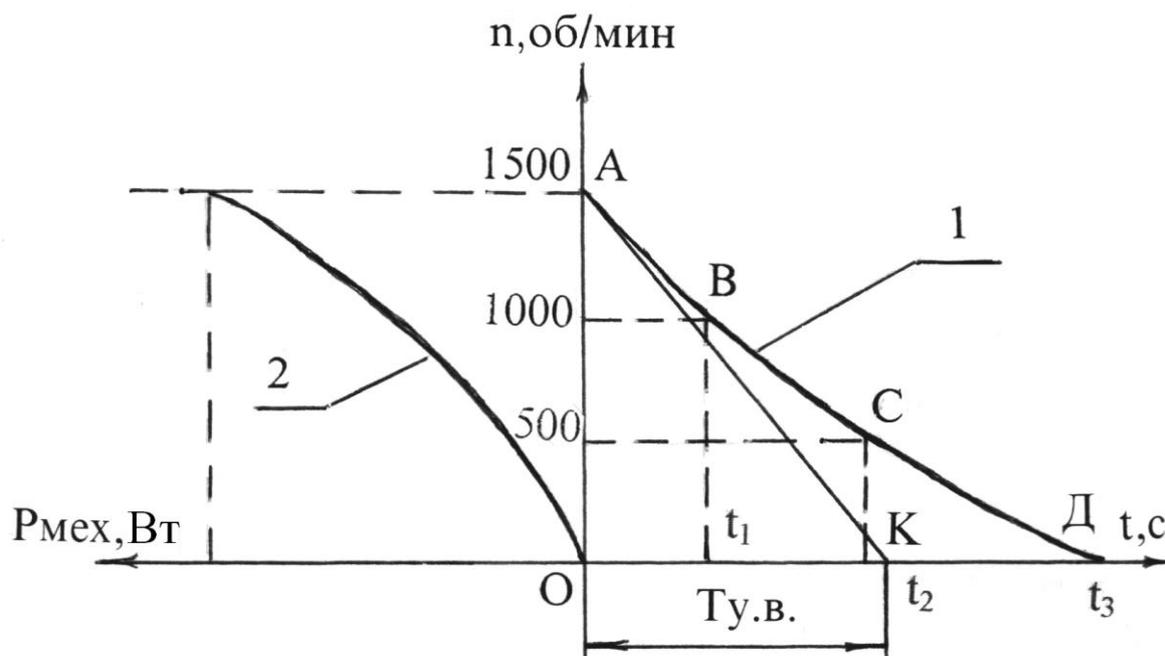


Рисунок 6.2 - Определение момента инерции системы по кривой самоторможения

Величина момента сопротивления M_c , Н·м, определяется по формуле :

$$M_c = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{мех}}}{n} \quad (6.8)$$

где $P_{\text{мех}}$ – механическая мощность (потери) электропривода, Вт; ($P_{\text{мех}}$ соответствует частоте вращения n).

А так как касательная проводится к начальной точке кривой выбега (А), то и $P_{\text{мех}}$ должна браться соответствующая скорости (n) в точке А.

Подставив значение M_c из уравнения (6.8) в уравнение (6.7), получим значение момента инерции системы J , кг·м² :

$$J = \frac{91,2 \cdot P_{\text{мех}} \cdot T_{\text{y.v.}}}{n^2} \quad (6.9)$$

где $P_{\text{мех}}$ – механическая мощность ДПТ, Вт;
 $T_{\text{y.v.}}$ - условное время выбега, с;

n - частота вращения ДПТ в точке кривой выбега (А), к которой проводится касательная, об/мин (рисунок 6.2).

Методические указания

Экспериментальная установка (рисунок 6.1) содержит ДПТ с параллельным возбуждением (М1), нагрузочную машину (М2), тахогенератор (BR), указатель частоты вращения (PS), автоматический выключатель (QF), рубильник (QS), амперметры PA1 и PA2, вольтметры PV1, PV2 и реостаты R1, R2, R3, R4.

При небольшой мощности ДПТ (до 1 кВт) опыты можно проводить по схеме, показанной на рисунке 6.1; при большей мощности используется система «генератор-двигатель».

Частоту вращения ДПТ регулируют реостатом в цепи якоря (или изменением напряжения на якоре). Ток возбуждения ДПТ как при холостом ходе, так и при самоторможении должен оставаться неизменным. Это обусловлено тем, что потери в стали и механические в ДПТ должны быть одинаковыми в обоих опытах. Как известно, в ДПТ происходят потери мощности в обмотках якоря (P_m – потери в меди), потери мощности в стали якоря ($P_{ст}$ – потери в стали), которые зависят от магнитного потока, т.е. от тока возбуждения и механические потери ($P_{мех}$), которые складываются из потерь от трения в подшипниках и трения вращающихся частей ДПТ о воздух.

При опыте холостого хода механическая мощность $P_{мех}$, Вт, или механические потери ДПТ равны:

$$P_{мех} = P - P_m = U_{я} \cdot I_{я} - I_{я}^2 \cdot R_{я} . \quad (6.10)$$

где P – мощность потребляемая из сети, Вт;

$U_{я}$ – напряжение на якоре ДПТ, В;

$I_{я}$ – ток, протекающий в якорной цепи, А;

$R_{я}$ – сопротивление якоря, Ом.

Если во время опыта самоторможения отключить якорь и обмотку возбуждения от сети, то в нём отсутствовали бы потери в стали. В результате опыт холостого хода и самоторможения были бы несопоставимы, поэтому возбуждение ДПТ должно оста-

ваться неизменным. ДПТ нужно отключать только путём отключения его якоря рубильником QS.

Порядок выполнения работы :

- 1 Установить ползунок реостата R4 в крайнее левое положение.
- 2 Включить автоматический выключатель QF и убедиться по амперметру PA1 , что по обмотке возбуждения протекает ток.
- 3 При помощи реостата R2 установить на обмотке возбуждения L напряжение равное 110 В (показания PV2).
- 4 Включить рубильник QS.
- 5 Перемещая плавно ползунок реостата R4 вправо, добиться увеличения частоты вращения ДПТ до значений 500 ; 1000; 1500 об/мин. Для этих значений частоты вращения снять напряжения на якоре ДПТ по вольтметру PV1 и токи в якорной цепи по амперметру PA2. Опытные данные занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Опытные данные при методе холостого хода

n, об/мин	U _я , В	I _я , А	P, Вт	P _м , Вт	P _{мех} , Вт
500					
1000					
1500					

- 6 Рубильник QS отключить, реостат R4 вывести влево.
- 7 Включить рубильник QS и разогнать ДПТ при помощи реостата R4 до частоты вращения $n = 1500$ об/мин, затем отключить ДПТ от сети рубильником QS , секундомером определить время (t_3) до полной остановки ДПТ (точка Д, рисунок 6.2). Остановку ДПТ зафиксировать по указателю частоты PS. Реостат R4 вывести влево. Опытные данные занести в таблицу 6.2.
- 8 Аналогично разогнать ДПТ снова до $n = 1500$ об/мин, отклю-

читать рубильник и определить секундомером время (t_1) торможения ДПТ от частоты вращения 1500 об/мин до 1000 об/мин (точка В, рисунок 6.2). Торможение ДПТ от 1500 об/мин до 1000 об/мин зафиксировать по РС. Реостат R4 вывести влево. Опытные данные занести в таблицу 6.2.

- 9 Аналогично разогнать ДПТ снова до $n = 1500$ об/мин, отключить рубильник и определить секундомером время (t_2) торможения ДПТ от частоты вращения 1500 об/мин до 500 об/мин (точка С, рисунок 6.2). Торможение ДПТ от 1500 об/мин до 500 зафиксировать по РС. Реостат R4 вывести влево. Опытные данные занести в таблицу 6.2.
- 10 После проведения опытов автоматический выключатель QF отключить.

Таблица 6.2 - Опытные данные при методе самоторможения

Точки	А	В	С	Д
Время торможения, с				
Частота вращения, n , об/мин				

- 11 По опытными данным таблицы 6.1 построить зависимость $P_{\text{мех}} = f(n)$, кривая 2 (рисунок 6.2).
- 12 По опытными данным таблицы 6.2 построить зависимость $n = f(t)$ - кривая 1 (рисунок 6.2).
- 13 Определить момент инерции системы по формуле (6.9), подставляя в неё расчётные и опытные данные.

Контрольные вопросы :

- 1 Что представляет из себя момент инерции тела ?
- 2 Напишите основное уравнение движения электропривода и

охарактеризуйте его.

- 3 Выведите выражение для определения момента инерции системы при экспериментальном его определении по опытам холостого хода и самоторможения.
- 4 Как определить механическую мощность ДПТ при опыте холостого хода ?
- 5 Какие потери мощности происходят в ДПТ ?
- 6 Какое электрооборудование содержит экспериментальная установка (рисунок 6.1) ?
- 7 Как экспериментально произвести опыт холостого хода ?
- 8 Как экспериментально произвести опыт выбега или самоторможения ?
- 9 При изменении какого параметра ДПТ происходит регулирование его скорости ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Цель работы : Изучить методику построения кривой нагрева электродвигателя

Программа работы :

- 1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места, записать паспортные данные асинхронного электродвигателя (М1).
- 2 Собрать электрическую схему (рисунок 7.3).
- 3 Снять опытные данные для построения кривой нагрева АД.
- 4 Определить аналитически постоянную времени нагрева.
- 5 По кривой нагрева определить графически постоянную времени нагрева двумя способами.
- 6 Определить допустимую мощность электродвигателя при фактической температуре окружающей среды в лаборатории.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В процессе работы электродвигатель нагревается за счёт потерь энергии возникающих в нём при преобразовании электрической энергии в механическую.

$$\Delta A = \Delta P \cdot t, \quad (7.1)$$

где ΔA – потери энергии в электродвигателе за время t , Дж;
 ΔP – потери мощности в электродвигателе, Вт;
 t - время работы электродвигателя, с.

$$\Delta P = P_1 - P_2 = P_1 (1 - \eta), \quad (7.2)$$

где P_1 – подводимая мощность к электродвигателю, Вт;
 P_2 – полезная мощность на валу электродвигателя, Вт;
 $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ - коэффициент полезного действия электродвигателя
при нагрузке мощностью P_2 .

$$\Delta P = P_2 \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right), \quad (7.3)$$

Потери мощности в двигателе (ΔP) складываются из переменных (ΔP_m), зависящих от нагрузки, и постоянных потерь (ΔP_c), не зависящих от нагрузки.

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_m = \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} + \Delta P_m, \quad (7.4)$$

где $\Delta P_{ст}$ – потери в стали, Вт;
 $\Delta P_{мех}$ – механические потери, Вт;
 ΔP_m – потери в меди, Вт.

Для преобразования электрической энергии в механическую необходим магнитный поток. Наличие переменного магнитного потока в стальном магнитопроводе вызывает потери энергии на вихревые токи и на гистерезис, связанные с перемагничиванием стали, т.е. магнитные потери – это и называют потерями в стали.

Потери в стали зависят от величины магнитной индукции, частоты перемагничивания и свойств материала, по которому протекает магнитный поток.

При работе электродвигателя его вал вращается в подшипниках. Механические потери складываются из потерь от трения в подшипниках и трения вращающихся частей электродвигателя о воздух.

Потери в меди - это потери в обмотках электродвигателя.

$$\Delta P_m = I^2 \cdot R . \quad (7.5)$$

где ΔP_m – потери мощности в одной обмотке электродвигателя, Вт;

I – ток, протекающий по этой обмотке, А ;

R – активное сопротивление обмотки одной фазы электродвигателя в нагретом состоянии, Ом.

Вследствие выделения тепла при нагрузке температура двигателя постепенно повышается, и если бы двигатель не отдавал тепло в окружающую среду, она могла бы достигнуть бесконечно большой величины.

Однако теплоотдача поверхностью двигателя в окружающую среду, всё увеличивающаяся с возрастанием температуры двигателя, ограничивает его нагрев, и повышение температуры по истечении некоторого времени прекращается. Происходит это тогда, когда количество тепла, отдаваемого двигателем в окружающую среду в единицу времени, становится равным количеству тепла выделяемого в двигателе за то же время.

Такой тепловой режим, при котором достигается постоянство температуры получается при длительном режиме работы двигателя.

Допустимое нагревание электродвигателей определяется нагревостойкостью применяемых в них изоляционных материалов.

Таблица 7.1 - Классы нагревостойкости изоляционных материалов

Обозначение класса	Предельно допустимая температура, $\theta_{\text{доп.кл.}}^{\circ\text{C}}$.	Материалы
A	105	Хлопчатобумажные ткани, пряжа, бумага, волокнистые материалы из шёлка и целлюлозы, пропитанные жидким диэлектриком (сейчас не выпускаются)
E	120	Синтетические эмали и плёнки
B	130	Слюда, асбест, стеклянное волокно
F	155	Материалы класса B, но в сочетании с синтетическими связующими пропитывающими составами
H	180	Материалы класса B, но в сочетании с кремний-органическими связующими и пропитывающими составами
C	более 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые с неорганическими связующими составами

Превышение указанных температур недопустимо, так как это ведёт к разрушению изоляции и сокращению срока службы электродвигателей.

Для упрощенных тепловых расчётов принимается стандартная температура окружающей среды, равная $+40^{\circ\text{C}}$. Следовательно, мощность двигателя, указанная на его щитке, соответствует температуре окружающей среды, равной $+40^{\circ\text{C}}$. При более низкой температуре окружающей среды двигатель может быть нагружен несколько выше номинальной мощности, а при более высокой температуре окружающей среды загрузку двигателя следует уменьшить.

Процесс нагревания электродвигателя характеризуется зависимостью превышения температуры двигателя над температурой окружающей среды от времени и называется уравнением нагрева :

$$\tau = \tau_{\text{уст}} (1 - e^{-t/T_{\text{H}}}) + \tau_{\text{нач}} e^{-t/T_{\text{H}}} ; \quad (7.6)$$

где τ - превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды, °С ;

$\tau_{уст}$ – установившееся превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды, °С ;

t - время нагрева, мин ;

T_n – постоянная времени нагрева, мин ;

$\tau_{нач}$ – начальное превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды, °С; ($\tau_{нач}$ появляется в том случае, когда ДПТ уже работал, затем его отключили, но его температура не успела остыть до температуры окружающей среды и его снова включили).

Если в начальный момент времени $\tau_{нач} = 0$ (холодное состояние двигателя, т.е. температура двигателя равняется температуре окружающей среды), то уравнение нагрева примет вид :

$$\tau = \tau_{уст} (1 - e^{-t/T_n}) ; \quad (7.7)$$

$$\tau_{уст} = \tau_{доп} - \Delta\tau ; \quad (7.8)$$

$$\Delta\tau = \theta_{о.с.(гост)} - \theta_{о.с.(факт)} ; \quad (7.9)$$

$$\tau_{доп} = \theta_{доп.кл.} - \theta_{о.с.(гост)} ; \quad (7.10)$$

где $\tau_{доп}$ – допустимое превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды, °С ;

$\theta_{о.с.(гост)}$ – температура окружающей среды по ГОСТ = 40°С ;

$\theta_{о.с.(факт)}$ – температура окружающей среды фактическая, °С ;

$\theta_{доп.кл.}$ - предельно допустимая температура класса изоляции, °С ;

$\Delta\tau$ - разница между температурой окружающей среды по ГОСТ и фактической температурой окружающей среды, °С.

Постоянную времени нагрева T_n , с, определяют обычно аналитически, пользуясь равенством :

$$T_n = \frac{C}{A} , \quad (7.11)$$

где C – теплоёмкость двигателя, Дж/град ;

A – теплоотдача двигателя, Дж/с · град ;

$$C = C_0 \cdot m ; \quad (7.12)$$

где C_0 – удельная теплоёмкость, Дж /кг ;
 m – масса электродвигателя, кг.

$$A = \frac{\Delta P}{\tau_{уст}} , \quad (7.13)$$

где ΔP – потери мощности электродвигателя, Вт.

Приняв удельную теплоёмкость материалов электродвигателя равной 420 Дж/кг, получим выражение для аналитического определения постоянной времени нагрева T_n , с :

$$T_n = \frac{420 \cdot m \cdot \tau_{уст}}{\Delta P} . \quad (7.14)$$

T_n – постоянная времени нагрева - это время, в течение которого двигатель нагрелся бы до $\tau_{уст}$ без отдачи тепла в окружающую среду и может быть определена также по кривой нагрева графическими методами.

Первый метод : В реальных условиях при наличии теплоотдачи температура двигателя за время $t = T_n$ повысится лишь до значения $\tau = 0,632 \tau_{уст}$. Это следует из уравнения (7.7), если в нём положить $t = T_n$:

$$\tau = \tau_{уст} (1 - e^{-1}) = 0,632 \cdot \tau_{уст} ; \quad (7.15)$$

Указанным соотношением пользуются для определения величины постоянной времени нагрева двигателя. В этом случае на кривой нагрева $\tau = f (t)$ находится точка $\tau = 0,632 \tau_{уст}$ и величина T_n определяется отрезком, лежащим между началом координат и перпендикуляром, опущенным на ось абсцисс из указанной точки, как показано на рисунке 7.1.

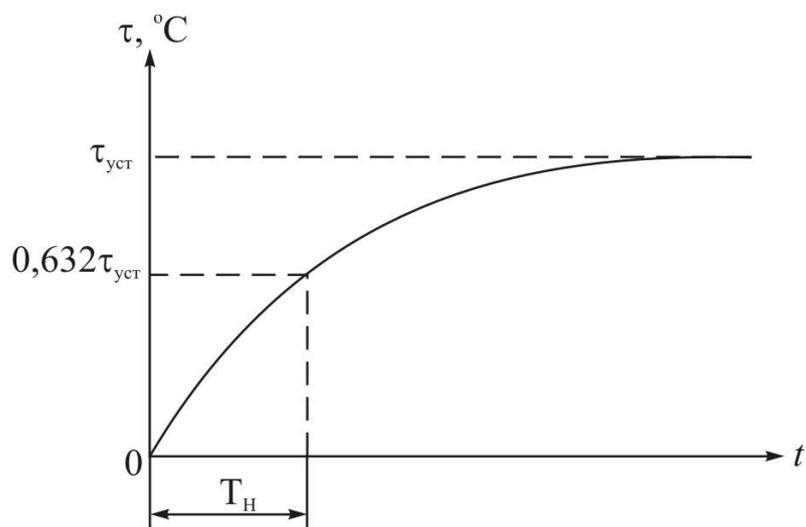


Рисунок 7.1 - Определение постоянной времени нагрева по кривой нагрева и точке $\tau = 0,632 \tau_{уст}$.

Второй метод : (метод касательных). Если провести касательную к кривой нагрева $\tau = f(t)$ до пересечения с асимптотой, то отрезок, заключённый между точкой пересечения на асимптоте и перпендикуляром, проведённым через точку касания, равен постоянной времени нагрева (рисунок 7.2). Касательные проводятся к трём произвольным точкам, и постоянная времени нагрева определяется по формуле :

$$T_H = \frac{T_H' + T_H'' + T_H'''}{3} ; \quad (7.16)$$

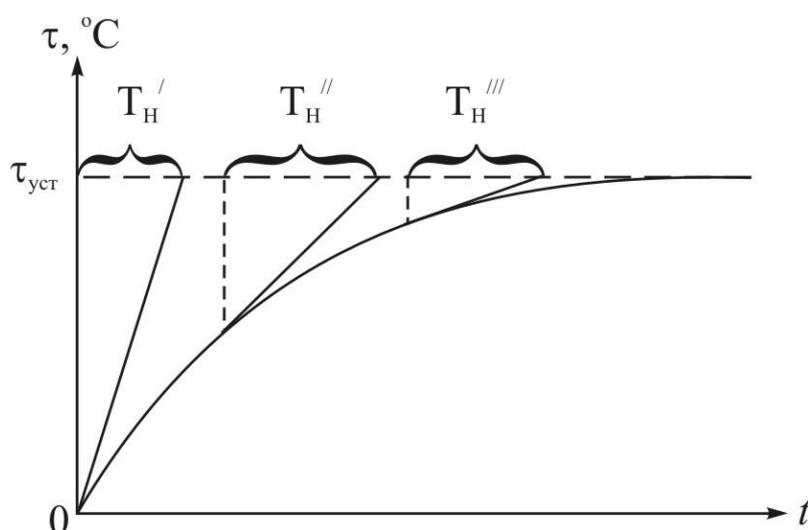


Рисунок 7.2 - Определение постоянной времени нагрева построением касательных к трём произвольным точкам на кривой нагрева

Для определения допустимой мощности электродвигателя $P_{\text{доп}}$, кВт, при температуре окружающей среды отличной от стандартной ($+40^{\circ}\text{C}$) можно воспользоваться формулой:

$$P_{\text{доп}} = P_{\text{н}} \sqrt{1 + \frac{\Delta\tau}{\tau_{\text{доп}}} \cdot (\alpha + 1)} \quad (7.17)$$

где α - отношение постоянных потерь двигателя к переменным (для асинхронного электродвигателя $\alpha = 0,5$);
 $P_{\text{н}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт.

Методические указания

Экспериментальная установка (рисунок 7.3) содержит асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором ($M1$). Нагрузкой электродвигателя $M1$ служит сопряжённый с ним генератор постоянного тока смешанного возбуждения G , который в свою очередь нагружается реостатом $R_{\text{н}}$. В цепь генератора включен амперметр $PA2$ для измерения общего тока генератора. При проведении опытов необходимо измерять подводимое к двигателю напряжение вольтметром $PV1$ и ток амперметром $PA1$. Температура обмоток двигателя измеряется манометрическим датчиком температуры, встроенным в корпус двигателя (BK).

По условиям опыта необходимо поддерживать нагрузку двигателя постоянной ($I = I_{\text{н}}$). Однако по мере нагрева нагрузочного генератора сопротивление обмоток увеличивается и нагрузка двигателя уменьшается. Поэтому нагрузку двигателя ($I = I_{\text{н}}$) нужно регулировать нагрузочным реостатом $R_{\text{н}}$ в цепи якоря.

По результатам опытов строится кривая нагрева двигателя:

$$\tau = \tau_{\text{уст}} (1 - e^{-t/T_{\text{н}}}) \quad (7.18)$$

Поскольку опыт проводится в течение небольшого промежутка времени (время лабораторного занятия), то получить установившуюся температуру двигателя опытным путём не удастся, так как необходимо ориентировочно $4 \div 6$ часов. Но, имея начальную часть кривой нагрева, можно провести ориентировочно продолжение кривой до $\tau_{\text{уст}}$ полученного расчётным путём по уравнению (7.8).

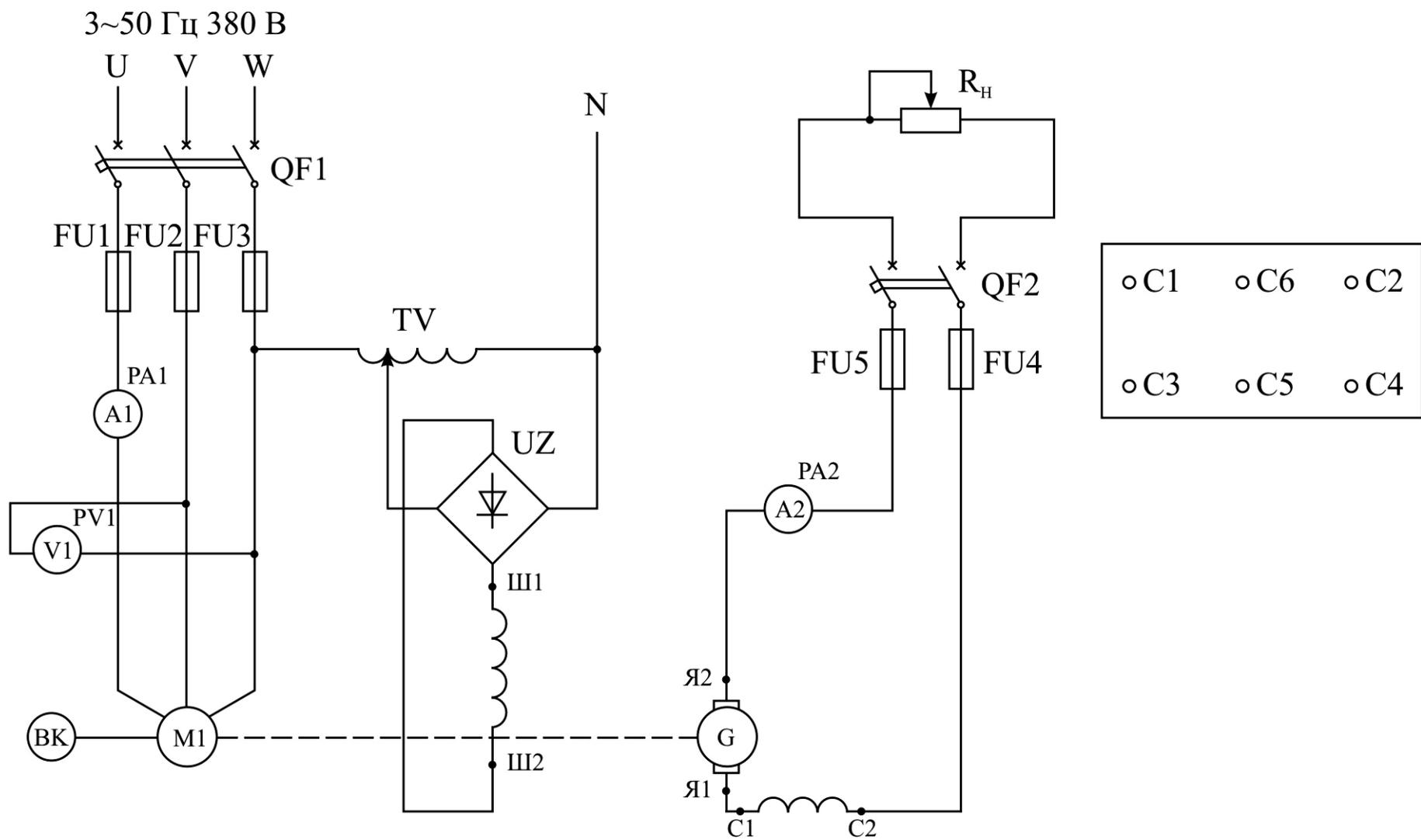


Рисунок 7.3 - Электрическая схема установки для исследования теплового режима электродвигателя

Порядок выполнения работы :

- 1 Замерить температуру электродвигателя М1 в холодном состоянии по ВК (температура окружающей среды фактическая $\theta_{o.c.факт.}$). Показания ВК занести в таблицу 7.2.
- 2 Включить автоматический выключатель QF1.
- 3 Включить автоматический выключатель QF2.
- 4 При помощи реостата R_n установить номинальный ток электродвигателя М1 (показания РА1).
- 5 Через равные промежутки времени произвести замеры температуры электродвигателя. Опытные данные (t и $\theta_{дв}$ занести в таблицу 7.2.

Таблица 7.2 - Опытные данные необходимые для построения кривой нагрева

Ток двигателя I, A	Напряжение на двигателе U, B	Время отсчёта $t, мин$	Температура двигателя $\theta_{дв},$ $^{\circ}C$	Превышение температуры $\tau = \theta_{дв} - \theta_{o.c.факт.},$ $^{\circ}C.$

- 6 По опытним данным построить кривую нагрева.
- 7 Рассчитать допустимую мощность электродвигателя при фактической температуре окружающей среды в лаборатории.

Контрольные вопросы :

- 1 За счёт чего происходит нагревание электродвигателя ?
- 2 Из чего складываются потери мощности в электродвигателе и охарактеризуйте их.

- 3 Чем определяется допустимый нагрев обмоток двигателя ?
- 4 На какие классы делятся изоляционные материалы применяемые в электродвигателях ?
- 5 Запишите уравнение нагрева электродвигателя и охарактеризуйте его.
- 6 Как определить $\tau_{уст}$?
- 7 Что такое постоянная времени нагрева и объясните методы её определения.
- 8 Как определить допустимую мощность электродвигателя при температуре окружающей среды отличной от стандартной ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы: Освоить методику опытного определения коэффициента мощности АД с к.з. ротором

Программа работы:

1. Ознакомиться с оборудованием рабочего места, изучить пределы измерения электроизмерительных приборов, записать паспортные данные АД с к.з. ротором.
2. Собрать электрическую схему (рисунок 4.2).
3. Подключить АД к сети и снять показания приборов для определения коэффициента мощности.
4. Рассчитать коэффициент мощности ($\cos \varphi$) исследуемого асинхронного электродвигателя с к.з. ротором для различных токов нагрузки.
5. Построить зависимость коэффициента мощности ($\cos \varphi$) от тока нагрузки.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

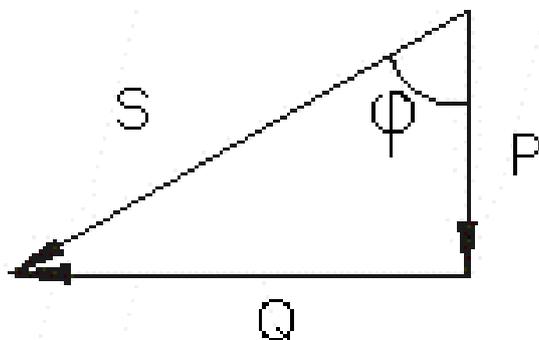
Работа асинхронных электродвигателей переменного тока сопровождается непрерывным изменением магнитного потока в магнитопроводе. При изменении потока в обмотках электродвигателя, имеющих индуктивное сопротивление, возникает э.д.с. самоиндукции, которая препятствует нарастанию переменного тока, что приводит к отставанию его по фазе от напряжения сети.

Следовательно, самоиндукция является причиной сдвига фаз между током и напряжением.

Угол сдвига фаз между током и напряжением определяется величиной, которая получила название коэффициента мощности или $\cos \varphi$.

С другой стороны коэффициентом мощности или $\cos \varphi$ называется отношение активной мощности P к полной мощности S , (рисунок 4.1).

Наглядно соотношение мощностей в асинхронном электродвигателе можно представить в виде треугольника мощностей (рисунок 4.1).



P – активная мощность, кВт; Q – реактивная мощность, квар;
 S – полная мощность, кВА

Рисунок 4.1 - Векторная диаграмма мощностей АД

Активная мощность P , кВт, - это мощность потребляемая трёхфазным АД из сети, она расходуется на преобразование электрической энергии в механическую и на покрытие электрических и механических потерь.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3}, \quad (4.1)$$

где U - напряжение на зажимах АД (линейное напряжения), В;
 I - ток, поступающий из сети и обтекающий обмотки трансформатора, А.

$$I = \frac{1000 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \quad (4.2)$$

В техническом паспорте АД приводится номинальная мощность P_n , кВт, развиваемая на его валу (полезная мощность).

$$P_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n \cdot 10^{-3}, \quad (4.3)$$

где U_n – номинальное линейное напряжение, В ;
 I_n - номинальный ток, А ;
 $\cos \varphi_n$ – номинальный коэффициент мощности, о.е. ;
 η_n – номинальный коэффициент полезного действия, о.е .

$$\eta_n = \frac{P_n}{P}; \quad (4.4)$$

где P - активная мощность, потребляемая АД с к.з. ротором из сети, кВт.

$$I_n = \frac{1000 \cdot P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}, \quad (4.5)$$

Реактивная мощность Q , квар, (киловольтамперы реактивные)-
-это мощность, которая расходуется на создание магнитного поля статора и рассчитывается по формулам:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}, \quad (4.6)$$

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4.7)$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi , \quad (4.8)$$

Полная мощность S, кВА, (киловольтамперы)- это мощность, которая расходуется на преобразование электрической энергии в механическую, на покрытие потерь и создание магнитного поля статора.

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot 10^{-3} , \quad (4.9)$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} , \quad (4.10)$$

Различают значения мгновенного, среднего и средневзвешенного коэффициента мощности.

Мгновенный коэффициент мощности $\cos \varphi$ (в данный момент времени) можно определить по амперметру, вольтметру и ваттметру, одновременно отсчитывая их показания :

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I} ; \quad (4.11)$$

где P – потребляемая мощность АД из сети, кВт:

U – линейное напряжение сети, кВ;

Средний коэффициент мощности $\cos \varphi_{cp}$ представляет собой среднее значение из ряда мгновенных значений коэффициента мощности:

$$\cos \varphi_{cp} = \frac{\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2 + \dots + \cos \varphi_n}{n} ; \quad (4.12)$$

Средневзвешенный коэффициент мощности $\cos \varphi_{cp.в}$ определяется за любой промежуток времени (час, смена, сутки, месяц, квартал, год) по показаниям счётчиков активной (PI) и реактивной (PK) энергии за соответствующий промежуток времени :

$$\cos \varphi_{\text{ср.в.}} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}} ; \quad (4.13)$$

где W_a – расход активной энергии, кВт·ч ;
 W_p – расход реактивной энергии, квар·ч.

Способы повышения $\cos \varphi$

Активная мощность, потребляемая АД из сети, определяется мощностью приводимой машины и зависит от её загрузки. Следовательно, чтобы обеспечить высокий коэффициент мощности, необходимо максимально загрузить электродвигатель.

Реактивная мощность в основном определяется конструктивными особенностями двигателя и лишь незначительно возрастает с ростом его загрузки.

Мероприятия по повышению коэффициента мощности разделяются на две группы:

1 Мероприятия, не требующие специальных компенсирующих устройств

- 1.1 При подборе электродвигателей к машинам необходимо тщательно определять их потребную мощность. Нельзя выбирать двигатель на глазок и с большим запасом. Двигатели, выбранные с большим запасом, будут работать с недогрузкой, а следовательно, и с низким $\cos \varphi$.
- 1.2 Следует выбирать такие электродвигатели, которые имеют наиболее высокий номинальный $\cos \varphi$. Рекомендуются везде, где это возможно, отдавать предпочтение двигателям высокоскоростным с короткозамкнутым ротором и на шарикоподшипниках по сравнению с электродвигателями тихоходными с контактными кольцами и выполняемыми на подшипниках скользящего трения.
- 1.3 Необходимо устранять холостые пробеги электродвигателей при остановке машин, когда электродвигатель отключается от рабочей машины при помощи фрикционной муфты. Наиболее удобными приспособлениями для быстрого пуска и

остановки машин являются различные пускатели с дистанционным управлением.

- 1.4 Для улучшения $\cos \varphi$ рекомендуется переключить обмотки электродвигателя с «треугольника» на «звезду», то есть обратно тому, что делают при пусках с переключением со «звезды» на «треугольник». При таком переключении обмоток напряжение на фазах двигателя уменьшается в $\sqrt{3}$ раз, а ток и мощность электродвигателя уменьшаются примерно в 3 раза. Благодаря пониженному напряжению уменьшаются ток намагничивания и реактивная мощность. Это резко повышает $\cos \varphi$, особенно при малых нагрузках.

2 Мероприятия, связанные с применением компенсирующих устройств

- 2.1 В условиях сельского хозяйства наиболее простым и удобным аппаратом для улучшения $\cos \varphi$ является статический конденсатор. Конденсаторы обладают незначительными потерями (0,3 – 1% от их реактивной мощности), мало подвержены износу, бесшумны, не требуют фундаментов, просты и удобны в обслуживании и легко могут быть подобраны на различную мощность.

Ёмкость трёхфазной батареи статических конденсаторов (в микрофарадах) определяют по формуле:

$$3C = \frac{Q \cdot 10^9}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U^2}; \quad (4.14)$$

где Q – искомая реактивная мощность батареи статических конденсаторов, квар;

C – ёмкость одной фазы конденсаторной батареи, мкф;

f – частота питающей сети = 50 Гц;

U – напряжение на фазе конденсатора, В.

Из выражения (4.14) следует, что при одной и той же ёмкости конденсаторной батареи реактивная мощность пропорциональна квадрату приложенного напряжения. Чтобы уменьшить ёмкость

конденсаторной батареи при одной и той же реактивной мощности, конденсаторы включают не в «звезду», а в «треугольник», так как при соединении в «треугольник» напряжение на фазе повышается в $\sqrt{3}$ раз, вследствие чего мощность конденсаторной батареи возрастает в 3 раза.

2.2. Улучшить $\cos \varphi$ можно также при помощи специальных компенсаторов реактивной мощности или синхронных электродвигателей.

Методические указания

Экспериментальная установка (рисунок 4.2) содержит автоматический выключатель QF, предохранители FU1, FU2, FU3, амперметр PA, вольтметр PV, трёхфазный счётчик активной энергии PI, кнопочную станцию SB1-SB2, магнитный пускатель KM, асинхронный электродвигатель с к.з. ротором M1, нагрузочная машина постоянного тока M2, обмотку возбуждения L, нагрузочный реостат R2, регулировочный реостат в обмотке возбуждения R1, сигнальную лампу HL, выключатель SA.

Для того чтобы загрузить электродвигатель M1, следует его вал соединить с валом нагрузочной машины постоянного тока M2, подать постоянный ток на обмотку возбуждения L, а якорь электродвигателя M2 замкнуть на нагрузочный реостат R2. Для изменения тока нагрузки электродвигателя M1 $I_{\text{нагр}}$, А, следует изменять при одном и том же возбуждении M2 величину нагрузочного реостата R2 или при одной и той же величине сопротивления R2 изменять ток возбуждения в обмотке L при помощи реостата R1.

Коэффициент мощности рассчитывается по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}; \quad (4.15)$$

где P – активная мощность электродвигателя, кВт;
S – полная мощность электродвигателя, кВА;



Рисунок 4.2 - Электрическая схема экспериментального определения $\cos \varphi$

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot 10^{-3}, \text{ кВА} ; \quad (4.16)$$

U – напряжение линейное по показаниям вольтметра PV, В ;

I - ток по показаниям амперметра PA, А ;

$$P = \frac{W_a}{t} ; \quad (4.17)$$

где W_a - активная энергия (показания счётчика), кВт·ч ;

t – время эксперимента, ч ;

Показания счётчика фиксируется за определённый период времени (удобнее подсчитать количество оборотов диска счётчика и засечь время вращения этого количества оборотов) и по этим данным рассчитать активную мощность):

$$P = \frac{3600 \cdot n}{t \cdot C} \cdot K, \text{ кВт}; \quad (4.18)$$

где n – число оборотов диска счётчика за время t ;

t – время отсчёта, с ;

$C = 750$ - постоянная счётчика (1 кВт·ч = 750 оборотов диска);

K – коэффициент трансформации трансформаторов тока (при их отсутствии $K = 1$).

Порядок выполнения работы:

- 1 Собрать электрическую схему (рисунок 4.2) экспериментального определения $\cos \varphi$.
- 2 Включить автоматический выключатель QF, нажать кнопку «пуск» SB2, запитать катушку магнитного пускателя KM, контакты KM сработают: на электродвигатель M1 подаётся питание (холостой ход электродвигателя M1), замерить ток холостого хода по PA, напряжение по PV, количество оборотов счётчика PI (6 оборотов), засечь время работы (t_6) счётчика за 6 оборотов вращения диска, опытные данные записать в таблицу 4.1.
- 3 Загрузить электродвигатель минимально M1:
Включить выключатель SA, загорается сигнальная лампочка HL, полностью ввести реостат R1, следовательно, по обмотке возбуждения потечёт минимальный ток, снять опытные данные (I , U , $n=6$, t_6) и занести в таблицу 4.1.
- 4 Изменяя ток по показаниям амперметра от I_{xx} до тока номинального электродвигателя I_n при помощи реостата R1, снять 4 значения опытных данных (I , U , $n=6$, t_6) и занести их в таблицу 4.1.

- 5 Рассчитать активную мощность P , кВт, по формуле (4.18), полную мощность S , кВА, по формуле (4.16) и коэффициент мощности $\cos\varphi$ по формуле (4.15). Расчётные данные занести в таблицу 4.1.
- 6 Построить зависимость $\cos\varphi$ от тока I .

Таблица 4.1- Опытные и расчётные данные для определения $\cos\varphi$

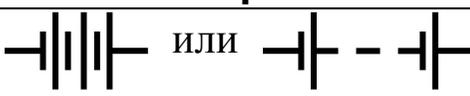
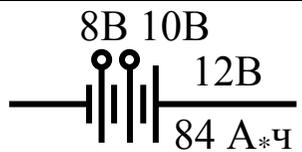
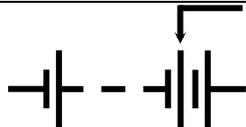
I , А	U , В	t , с	n , кол.	P , кВт	S , кВА	$\cos\varphi$ о.е.

Контрольные вопросы:

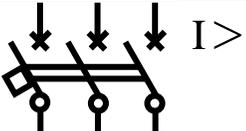
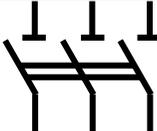
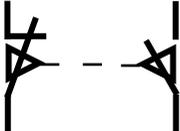
1. Что является причиной сдвига фаз между током и напряжением?
2. Каким отношением определяется коэффициент мощности?
3. Как рассчитать активную мощность АД потребляемую из сети и пояснить на что она расходуется?
4. Как рассчитать ток, поступающий из сети?
5. Как рассчитать номинальную мощность АД развиваемую на его валу?
6. Как рассчитать полную мощность АД и пояснить на что она расходуется?
7. Как рассчитать реактивную мощность АД и пояснить на что она расходуется?
8. Как определяется мгновенный коэффициент мощности?
9. Как определяется средний коэффициент мощности?
10. Как определяется средневзвешенный коэффициент мощности?
11. Для чего нужно повышать коэффициент мощности?
12. На какие две группы подразделяются мероприятия по повышению коэффициента мощности?

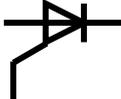
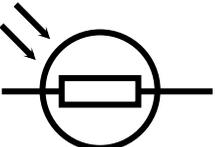
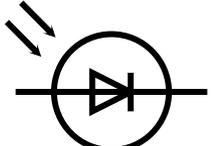
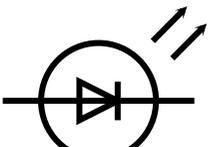
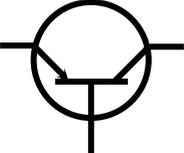
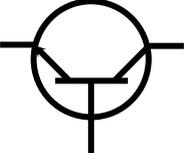
13. Поясните какие мероприятия нужно произвести для повышения $\cos \varphi$ АД не требующие специальных компенсирующих устройств?
14. Поясните какие мероприятия применяются связанные с использованием компенсирующих устройств.
15. Как рассчитать ёмкость трёхфазной батареи статических конденсаторов?
16. Поясните как опытным путём определяли $\cos \varphi$?
17. Как создать нагрузку на валу испытуемого электродвигателя ?
18. Как изменить нагрузку на валу испытуемого электродвигателя ?

Приложение А
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ИХ УСЛОВНОЕ ГРАФИЧЕСКОЕ
ИЗОБРАЖЕНИЕ ПО ГОСТу

Обозначение	Наименование	ГОСТ
3 ~ 50 Гц 220 В	Переменный ток, трехфазный, частотой 50 Гц, напряжением 220 В	ГОСТ 2.721–74
3N ~ 50 Гц 220/380 В	Переменный ток, трехфазный, четырехпроводная линия (три провода, нейтраль) частотой 50 Гц, напряжением 220/380 В	ГОСТ 2.721–74
3NPE ~ 50 Гц 220/380 В	Переменный ток, трехфазный, пятипроводная линия (три провода фаз, нейтраль, один провод защитный с заземлением) частотой 50 Гц, напряжением 220/380 В	ГОСТ 2.721–74
3PEN ~ 50 Гц 220/380 В	Переменный ток, трехфазный, четырехпроводная линия (три провода фаз, один провод защитный с заземлением, выполняющий функцию нейтрали) частотой 50 Гц, напряжением 220/380 В	ГОСТ 2.721–74
	Гальванический элемент (первичный или вторичный) Примечание. Допускается знаки полярности не указывать	ГОСТ 2.768–90
	Батарея, состоящая из гальванических элементов	ГОСТ 2.768–90
	Батарея с отводами от элементов	ГОСТ 2.768–90
	Батарея, состоящая из гальванических элементов с переключаемым отводом	ГОСТ 2.768–90
	Контакт замыкающий	ГОСТ 2.755–87

Обозначение	Наименование	ГОСТ
	Контакт замыкающий	ГОСТ 2.755–87
	Контакт размыкающий	ГОСТ 2.755–87
	Контакт переключающий, с нейтральным центральным положением	ГОСТ 2.755–87
Контакт, чувствительный к температуре (термоконтакт)		
	1) замыкающий	ГОСТ 2.755–87
	2) размыкающий	ГОСТ 2.755–87
Контакт замыкающий с замедлением, действующим:		
 или 	1) при срабатывании	ГОСТ 2.755–87
 или 	2) при возврате	ГОСТ 2.755–87
 или 	3) при срабатывании и при возврате	ГОСТ 2.755–87

Обозначение	Наименование	ГОСТ
	Контакт замыкающий выключателя	
	1) однополюсный	ГОСТ 2.755–87
	2) трехполюсный	ГОСТ 2.755–87
	Контакт замыкающий выключателя трехполюсного с автоматическим срабатыванием максимального тока	ГОСТ 2.755–87
	Разъединитель трехполюсный (рубильник)	ГОСТ 2.755–87
	Выключатель концевой с двумя отдельными цепями	ГОСТ 2.755–87
	Выключатель кнопочный нажимной:	
	1) с замыкающим контактом	ГОСТ 2.755–74
	2) с размыкающим контактом	ГОСТ 2.755–74
	Диод	ГОСТ 2.730–73

Обозначение	Наименование	ГОСТ
	Тиристор триодный, запираемый в обратном направлении, с управлением:	
	1) по аноду	ГОСТ 2.730–73
	2) по катоду	ГОСТ 2.730–73
	Фоторезистор	ГОСТ 2.730–73
	Фотодиод	ГОСТ 2.730–73
	Светодиод	ГОСТ 2.730–73
	Транзистор:	
	1) типа PNP	ГОСТ 2.730–73
	2) типа NPN Примечание. Для упрощения на схемах допускается выполнять обозначения транзисторов в зеркальном изображении, проводить линию электрической связи от эмиттера или коллектора перпендикулярно или параллельно линии вывода базы	ГОСТ 2.730–73

Приложение Б

БУКВЕННЫЕ КОДЫ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ВИДОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ГОСТ 2.710–81

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
А	Устройство (общее обозначение)		
В	Преобразователи неэлектрических величин (кроме генераторов и источников питания) или наоборот аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики для указания или измерения	Громкоговоритель Магнитострикционный элемент Сельсин–датчик Детектор ионизирующих излучений Сельсин–приемник Телефон (капсюль) Тепловой датчик Фотоэлемент Микрофон Датчик давления Пьезоэлемент Датчик частоты вращения (тахогенератор) Звукосниматель Датчик скорости	ВА ВВ ВС ВД ВЕ ВF ВК ВL ВМ ВР ВQ ВR BS BV
С	Конденсаторы		
D	Схемы интегральные, микросборки	Схема интегральная аналоговая Схема интегральная, цифровая, логический элемент Устройства хранения информации Устройство задержки	DA DD DS DT

E	Элементы разные	Нагревательный элемент Лампа осветительная Пиропатрон	EK EL ET
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия Дискретный элемент защиты по току инерционного действия Предохранитель плавкий Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник	FA FP FU FV
G	Генераторы, источники питания	Батарея	GB
H	Устройства сигнальные	Прибор звуковой сигнализации Индикатор символный Прибор световой сигнализации	HA HG HL
K	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое Реле указательное Реле электротепловое Контактор, магнитный пускатель Реле времени Реле напряжения	KA KH KK KM KT KV
L	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссель люминесцентного освещения	LL
M	Двигатели		
P	Приборы, измерительное оборудование	Амперметр Счетчик импульсов Частотомер	PA PC PF

		Счетчик активной энергии Счетчик реактивной энергии Омметр	PI PK PR
		Регистрирующий прибор Часы, измеритель времени действия Вольтметр Ваттметр	PS PT PV PW
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т. д.)	Выключатель автоматический Короткозамыкатель Разъединитель	QF QK QS
R	Резисторы	Терморезистор Потенциометр Шунт измерительный Варистор	RK RP RS RU
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных	Выключатель или переключатель Выключатель кнопочный Выключатель автоматический Выключатели, срабатывающие от различных воздействий: от температуры от уровня от давления от положения (путевой) от частоты вращения	SA SB SF SK SL SP SQ SR
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока Электромагнитный стабилизатор	TA TS

U	Устройства связи. Преобразователи электрических величин в электрические	Трансформатор напряжения	TV
		Модулятор	UB
		Демодулятор	UR
		Дискриминатор	UI
		Преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель	UZ
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Диод, стабилитрон	VD
		Прибор электровакуумный	VL
		Транзистор	VT
		Тиристор	VS
W	Линии и элементы СВЧ. Антенны	Антенна	WA
		Ответвитель	WE
		Короткозамыкатель	WK
		Вентиль	WS
		Трансформатор, неоднородность, фазовращатель	WT
		Антенюатор	WU
X	Соединения контактные	Токосъемник, контакт скользящий	XA
		Штырь	XP
		Гнездо	XS
		Соединение разборное	XT
		Соединитель высокочастотный	XW
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит	YA
		Тормоз с электромагнитным приводом	YB
		Муфта с электромагнитным приводом	YC
		Электромагнитный патрон или плита	YH

Z	Устройства оконечные фильтры. Ограничители	Ограничитель Фильтр кварцевый	ZL ZQ
---	---	----------------------------------	----------

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод.-М.: Академия, 2012, – 361 с.
2. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов.- СПб.: Лань, 2013.-256 с.
3. Епифанов А.П., Малайчук Л.М., Гущинский А.Г. Электропривод.- СПб.: Лань, 2012.-400 с.
4. Епифанов А.П., Гущинский А.Г., Малайчук Л.М. Электропривод в сельском хозяйстве.- СПб.: Лань, 2010. – 223 с.
5. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Сборник задач и примеров решений по электрическому приводу.- СПб.: Лань, 2012.-268 с.
- 6 Рычкова Л.П. Лабораторный практикум по основам электропривода.-Иркутск.: ИрГСХА, 2004.- 92 с.
- 7 Рычкова Л.П. 10. Электропривод. Примеры решения типовых задач : Учебное пособие. - Иркутск.: ИрГСХА, 2012.- 112 с.
- 8 ГОСТ 8.417-81. Единицы физических величин. – М.: Изд-во стандартов, 1981, - 40 с.
- 9 Р 50-77-88. Рекомендации. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения диаграмм .-М.: Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.
- 10 Савченко П.И. Практикум по электроприводу в сельском хозяйстве / П.И. Савченко, И.А. Гаврилюк, И.Н. Земляной, Н.В. Худобин. – М.: Колос, 1996. – 220 с.
- 11 ГОСТ 2.710 – 81. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах .– М. : Изд-во стандартов, 1981. – 12 с.
- 12 ГОСТ 2.755 – 87. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения . – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 20 с.
- 13 ГОСТ 7.12 – 93. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила . . – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 17 с.
- 14 ГОСТ 2.701 – 84. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 15 с.
- 15 ГОСТ 2.702 – 75. Правила выполнения электрических схем .– - М.: Изд-во стандартов, 1986. – 31 с.

Учебное пособие

РЫЧКОВА
Людмила Петровна,

ЛОГИНОВ
Александр Юрьевич

**ЭЛЕКТРОПРИВОД.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Направление подготовки: «Агроинженерия» 110800

Профиль подготовки: Электрооборудование и электротехнологии
110800.62

Уровень подготовки: бакалавр

Лицензия ЛП № 070444 от 11.03.98 г.

Подписано к печати 08.02.14 г.

Тираж 50 экз.

Издательство Иркутской государственной
сельскохозяйственной академии
664038, Иркутская обл, Иркутский район,
пос. Молодёжный