

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный аграрно-технологический
университет имени академика Д.Н. Прянишникова»

С.М. Боровских, И.С. Дорофеева

**ЭЛЕКТРОПРИВОД
И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ**

Лабораторный практикум

Пермь
ИПЦ «Прокрость»

2018

УДК 62-83
ББК 31.291
Б 832

Рецензенты:

О.А. Зорин, канд. техн. наук, доцент кафедры информационных систем и коммуникаций. ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ;

Ю.Е. Куимов, канд. техн. наук, доцент кафедры технического сервиса и ремонта машин. ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ.

Б 832 Боровских, С.М.

Электропривод и электрооборудование : лабораторный практикум / С.М. Боровских, И.С. Дорофеева; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высшего образов. «Пермский гос. аграрно-технолог. ун-т им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2018. – 113 с.
ISBN 978-5-94279-389-0

Лабораторный практикум составлен в соответствии с программой учебной дисциплины и содержит правила по электробезопасности при проведении лабораторных занятий, требования по оформлению работ, библиографический список рекомендуемой литературы. В каждой лабораторной работе приведены цель, краткие теоретические сведения, порядок выполнения и контрольные вопросы.

Лабораторный практикум предназначен для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия и специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства.

УДК 62-83
ББК 31.291

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерного факультета ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, протокол № 4 от 19.12.2017.

ISBN 978-5-94279-389-0

© ИИЦ «Прокрость», 2018

© Боровских С.М., 2018

© Дорофеева И.С., 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Порядок выполнения работ.....	6
Обработка результатов и оформление отчета.....	8
Правила электробезопасности при работе в лаборатории.....	8
<i>Лабораторная работа № 1</i>	
Электробезопасность и измерение сопротивления изоляции...	10
<i>Лабораторная работа № 2</i>	
Аппаратура управления электроприводом и испытание магнитных пускателей.....	21
<i>Лабораторная работа № 3</i>	
Средства защиты электропривода и испытание тепловых реле.	37
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
Нереверсивный электропривод двигателя и его механическая характеристика.....	54
<i>Лабораторная работа № 5</i>	
Динамическое торможение асинхронного двигателя.....	66
<i>Лабораторная работа № 6</i>	
Реверсивный электропривод асинхронного двигателя.....	71
<i>Лабораторная работа № 7</i>	
Исследование АД с короткозамкнутым ротором под нагрузкой	76
<i>Лабораторная работа № 8</i>	
Построение рабочих характеристик АД с короткозамкнутым Ротором.....	82
<i>Лабораторная работа № 9</i>	
Исследование характеристик холостого хода генератора ПТ...	90
<i>Лабораторная работа № 10</i>	
Исследование внешних характеристик генератора ПТ.....	98
<i>Лабораторная работа № 11</i>	
Сборка схемы поточной транспортной линии.....	104
<i>Лабораторная работа № 12</i>	
Изучение принципиальной электрической схемы скважного насоса.....	109
Заключение.....	112
Литература.....	113

Введение

Дисциплина «Электропривод и электрооборудование» базируется на законах электротехники, физических явлений, измерительных средств, условных и графических обозначений и на этих знаниях следует приступать к изучению материала по проведению лабораторных работ. Необходимо ознакомиться с комплектацией лабораторных стендов их оборудованием, существующей элементной базой и правилам монтажа по электрическим схемам. Оборудование кафедры позволяет фронтально звеном по 2÷3 человека проводить лабораторные занятия по заданной теме после прочтения по ней лекции, что улучшает усвоение материала курса и закрепляет знания студентов. На первом занятии преподаватель доводит до студентов перечень проводимых лабораторных работ, назначение и цель их проведения, знакомит с применяемыми типовыми элементами оборудования, электротехнического инструмента и напоминает о правилах работы с контрольно-измерительными приборами. Элементом подготовки к лабораторно-практическому занятию является необходимость наличия рабочих нерасшиваемых тетрадей и канцелярских принадлежностей. Объектами изучения и исследования являются модели электрических приводов, нагрузочные и коммутирующие элементы и необходимые средства автоматической защиты.

Изучение материала лабораторного практикума способствует формированию общепрофессиональных и профессиональных компетенций:

- способностью решать инженерные задачи с использованием основных законов механики, электротехники, гидравлики, термодинамики и теплообмена (ОПК-4);

- готовностью к участию в проектировании технических

средств и технологических процессов производства, систем электрификации и автоматизации (ПК-5);

- готовностью к профессиональной эксплуатации машин и технологического оборудования и электроустановок (ПК-8);

- использовать современные методы монтажа, наладки машин и установок, поддержание режимов работы электрифицированных и автоматизированных технологических процессов, непосредственно связанных с биологическими объектами (ПК-10);

- способностью осуществлять контроль за параметрами технологических процессов производства и эксплуатации технических средств АПК (ПСК – 3.19).

Порядок выполнения работ

Электроснабжение стендов осуществляется от промышленной сети $380/220В$. Подключение электроустановок трёхфазных потребителей электроэнергии выполняется по международной пятипроводной системе – $L1; L2; L3; N; PE$. При двухфазном и однофазном потреблении электроэнергии выполняется по трехпроводной системе – $380; PE$ и $220; N; PE$ соответственно. Студентами изучается текст лабораторной работы, в тетради записываются заголовок, цель работы, из краткой теории выписываются основные термины, формулы с обозначением участвующих параметров в единицах измерения по системе СИ. Составляются графики и заполняются таблицы. Принципиальная электрическая схема вычерчивается карандашом в рабочей тетради с последующим оформлением в системе ЕСКД по ГОСТ. Таким образом, в целях лучшего усвоения, лабораторные занятия проводятся в условиях, близких к производственным. Преподаватель, как лицо административно-технического персонала, имеющего группу электробезопасности IV, разъясняет Правила охраны труда при эксплуатации электроустановок [7]. После проведения инструктажа под роспись в журнале студенты получают II группу электробезопасности. Преподаватель проверяет рабочие тетради, наличие материала лабораторной работы и допускает студентов к ее проведению. Неподготовленные студенты к проведению лабораторно-практических работ не допускаются. После самостоятельной подготовки они допускаются к работе по согласованию с преподавателем.

Монтаж электрических цепей состоит в соединении оконцованными изолированными проводниками элементов цепи для создания единого целого функционального подготовленного к работе устройства и подключения к нему источ-

ника электрической энергии. Для *простых схем* соединения элементов допускается проводить по *принципиальным электрическим схемам* двумя способами:

1 – *последовательным соединением* элементов проводниками по *участкам цепи с* подключением их *с выхода на вход*, и так далее по всей цепи, затем производят параллельное соединение элементов, кроме прямого прибора по измерению тока;

2 – *соединением элементов по потенциальному участку цепей* путём подключения проводниками *соседних элементов без прохождения через них независимо от входных или выходных контактов*. Сначала проводник соединяется с *контактом первого элемента*, вторым концом направляется по схеме к ближайшему следующему элементу. Берется второй проводник и *оба вместе закрепляются на контакт к приближенному элементу*, далее аналогичным образом подключаются следующие элементы до полного соединения по потенциальному участку. Порядок подключения проводников последовательный строго по схеме *слева направо и сверху вниз*. Таким последовательным соединением *по каждому потенциальному участку* добиваются полного монтажа принципиальной схемы.

Второй способ предпочтительней, поскольку он позволяет шлейфом подключать два проводника на клемму, что согласуется с основным требованием монтажных правил. После проверки преподавателем правильности соединений между элементами, допускается пробное включение и опробование электрической схемы в работе. При включении стенда в электрическую сеть рекомендуется оценить диапазон изменений параметров с учётом потребления допустимой мощности. В случае запредельных показаний измерительных приборов

нужно немедленно обесточить электрическую цепь и изменить пределы измерения или условия эксперимента. При проведении эксперимента рекомендуется фиксировать одновременно показания всех приборов и заносить их в заранее подготовленные таблицы. После снятия показаний произвести отключение и обесточить стенд. Уточнить занесенные в таблицы данные.

Обработка результатов и оформление отчета

Анализируются результаты эксперимента, производятся расчеты по необходимым формулам в соответствии с международной системой СИ. Электрические схемы выполняются с представлением спецификации по табличной форме лабораторной работы, в которой указывается участвующее в эксперименте оборудование, его обозначения на схеме, приборы, тип, точность измерений и т.п. При оформлении графиков необходимо учитывать функциональную зависимость от аргумента (исходного параметра). Письменный отчет с результатами исследований и выводами предоставляется преподавателю.

Правила электробезопасности при работе в лаборатории

Приступая к работе с электрическими устройствами, *помните об опасности поражения электрическим током.*

При проведении лабораторных работ *студент обязан:*

- убедиться в отсутствии напряжения на стенде перед началом монтажа электрической цепи;
- вывести в положение «ноль» указатель автотрансформатора;
- проводить монтаж цепи строго по выбранному способу;
- отключить стенд при любом подозрении на неисправ-

ность;

- проверять монтаж токовой цепи через нагрузку;
- убедиться в установленных средствах защиты;
- представлять сведения преподавателю по готовности

стенда.

При проведении лабораторных работ *студентам запрещается:*

- производить подключение и изменение цепи под напряжением;
- прикасаться к токоведущим частям, монтажным зажимам и вращающимся частям электрических машин под напряжением;
- касаться посторонними предметами (и карандашами!) токоведущих частей;
- самостоятельно переключать любые устройства, не относящиеся к выполняемой работе;
- открывать и снимать защищенные части электрооборудования;
- размыкать электрическую цепь без снятия напряжения;
- работать в расстегнутой одежде;
- облакачиваться на работающий стенд;
- работать с распущенными волосами;
- отвлекать коллег во время работы;
- раскладывать на стенде посторонние предметы.

Лабораторная работа №1
Электробезопасность
и измерение сопротивления изоляции

Цель работы: изучить меры электробезопасности, проверить на примере асинхронного двигателя изоляцию на пригодность к эксплуатации и провести фазировку его обмоток для подключения к сети.

Краткая теория

Электробезопасность – это комплекс организационных и технических мероприятий с применением защитных средств, предотвращающий поражение электрическим током и воздействие электромагнитных полей на организм человека и животных.

На действующих электроустановках могут возникать поражающие факторы тока при *случайном прикосновении* к токоведущим частям. *Степень поражения* током самая *различная* и зависит *от состояния* здоровья человека и его сопротивления тела (кожный покров, внутренние органы). А также от вида одежды, обуви, окружающей среды и *длительности прохождения тока через тело* человека. Сопротивление тела человека изменяется в зависимости от его состояния в широких пределах от 500Ом до 100кОм . При расчетах его значение принимают 1кОм . Ток величиной $0,005\text{А}$ уже ощущается человеком. Ток величиной $0,05\text{А}$ считается опасным для человека, а при воздействии тока силой $0,1\text{А}$ наступает летальный исход. Степень поражения определяется величиной протекающего *тока через тело человека* в зависимости от величины приложенного *напряжения*. Допустимое напряжение прикосновения принимается не более 50В . Наиболее *опасным* воздействием является ток при прикосновении фаза – фаза.

Электромагнитное поле – это взаимодействие электрических и магнитных уровней напряженностей от любого источника электромагнитной энергии до рассматриваемой точки однородной среды. Его влияние на выступающие части стороннего предмета зависят от его формы, состава диэлектрической среды и расстояния от источника. Поле *воздействует* на биологический организм человека. Уровни электромагнитных полей приближённо определяют:

- по электрической напряженности $E \approx E_{\text{эдс}}/R$ [кВ/м];

- по магнитной напряженности $H = \Sigma I / 2\pi R$ [А/м].

Допустимые безопасные расстояния (R) указаны в Правилах [7].

Глухозаземленная нейтраль – это соединение нейтральной точки источника до 1000В непосредственно с заземляющим устройством.

Заземляющее устройство – это совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлитель – это часть проводников, находящихся в электрическом контакте с землей.

*Заземляющий проводник – это проводник, соединяющий заземляемую часть с заземлителем. Заземляемая часть предназначена для присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов, называемой *главной заземляющей шиной* (ГЗШ).*

Корпус – открытая нетокопроводящая металлическая часть электроустановки, которая может оказаться под напряжением в аварийных режимах.

Заземление – это преднамеренное электрическое соединение открытых металлических частей и корпуса электроустановки с заземлителем потребителя или с ГЗШ.

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение открытых металлических частей и корпуса

электроустановок с ГЗШ или с заземляющим устройством источника.

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение открытых металлических частей и корпуса электроустановки с глухозаземленной нейтралью источника. Зануление необходимо для обеспечения защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении за счет снижения напряжения корпуса относительно земли и быстрого отключения электроустановки от сети.

Нулевой рабочий проводник N – это отдельный проводник, соединяющий нулевой потенциал электроустановок с глухозаземленной нейтралью источника и предназначенный для питания электроприемников по пятипроводной системе сети. Обозначается – система TN – S.

Защитный проводник PE – это отдельный проводник, соединяющий открытые нетокопроводящие металлические части и корпуса электроприемников с глухозаземленной нейтралью источника, предназначенный для обеспечения электробезопасности по пятипроводной системе сети. Обозначается – система TN – S.

Совмещенный проводник PEN – это проводник в электроприемниках напряжением до 1кВ в общем соединении нулевого рабочего и защитного проводников по четырехпроводной системе сети. Обозначается – система TN – C.

Эта система действует при эксплуатации потребителей до сих пор.

Но с 2003 года не используется при проектировании, модернизации, реконструкции и плановых предупредительных ремонтах (ППР).

В современных условиях, в целях повышенной безопасности, используется пятипроводная система TN – S с приме-

нением устройства защитного отключения (УЗО). На рис.1.1 представлены наиболее распространенные системы $TN-C$ и $TN-S$.

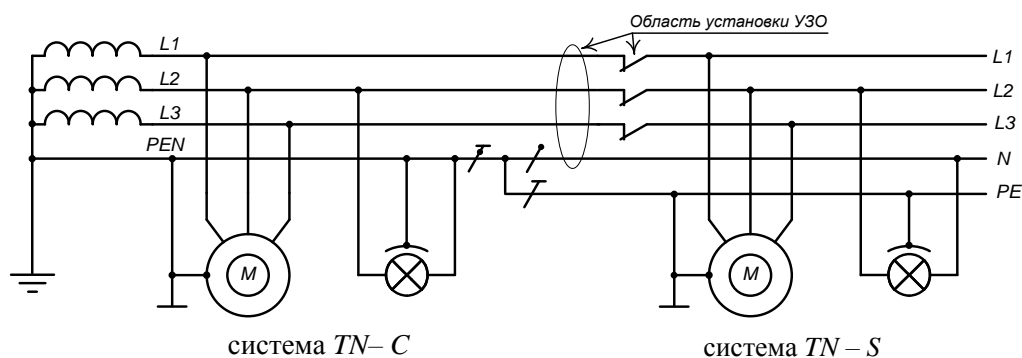


Рис.1.1. Типы систем электроснабжения

Принцип УЗО основан на тороидальном трансформаторе тока с пропусканием сквозь него питающих проводников, исключая защитный проводник PE . При появлении аварийного замыкания у потребителя сумма токов в четырехпроводной системе $TN-S$ не равна нулю и на вторичной обмотке трансформатора появляется напряжение, включается реле и *размыкающими контактами питание отключается* менее, чем за $0,4$ сек. Сопротивление заземляющих и защитных проводников должно быть не более 40 Ом , а переходного контакта механического соединения или сварного контакта не более $0,1\text{ Ом}$. Расчетное определение заземляющих и защитных проводников, их сечений из различных материалов определяются из условий безопасности и приведены в ПУЭ, [глава 1.7](#) [6].

Все токоведущие части и провода электроустановок подлежат обязательной изоляции друг относительно друга и каждый относительно корпуса. Всякая изоляция обладает некоторым конечным сопротивлением (кОм или мОм). Таким образом, для устранения возможных токов утечки и, следовательно, потерь энергии, а главное обеспечение безопасности при эксплуатации, сопротивление изоляции должно быть достаточно большим. Минимально допустимые значения сопро-

тивления изоляции установлены Правилами [8]. Согласно действующим нормам, сопротивление изоляции осветительных установок, обмоток статоров электрических машин, трансформаторов и измерительных приборов должно быть не менее $I_{кОм}$ на каждый вольт рабочего напряжения, что в целом принимается *не менее 0,5мОм*. Значение сопротивления изоляции зависит от температуры, влажности, приложенного напряжения и срока службы. *Контроль изоляции обязателен* по установленным срокам проверки:

- перед началом эксплуатации электроустановки;
- после реконструкции, ремонта или простоя;
- периодическая проверка.

При измерении сопротивления изоляции все токоприемники (электрические двигатели, светильники и т.п.) должны быть отключены, выключатели замкнуты, а предохранители вставлены. *Проверка изоляции* электроустановок выполняется измерительным прибором – *мегомметром* на испытание электроустановки трехкратным повышенным напряжением от номинального значения. Необходимо ознакомиться с возможностями мегомметра при его использовании для измерения сопротивления изоляции. Диапазоны вырабатываемых мегомметром напряжений составляют *500; 1000 и 2500В*. Это диапазоны для напряжений холостого хода. Прибор маломощный, при *проверке сопротивлений* в контактном соединении, проходящий ток приводит к падению напряжения и для человека составляет не выше нормируемого правилами *50В*. Измерение изоляции заключается в измерении величины сопротивлений относительно корпуса и проверке сопротивления межвитковой изоляции. Мегомметром запрещено пользоваться в цепях с полупроводниковыми элементами и при проверке электропроводки их нужно *обязательно* отсоединять. Мегомметром

можно проверить целостность обмоток, а величину их омического сопротивления проверяют омметром.

Определение сопротивления изоляции при рабочей температуре

Измерение сопротивлений изоляции обмоток трансформаторов производится аналогичным методом, изоляция электропроводки проводится с обязательным видимым отключением нагрузок. При измерении трехфазных цепей с нейтральной точкой к не участвующим при измерении фазам прикасаться *запрещено*. Значение *минимального* сопротивления изоляции обмоток при *рабочей температуре* должно быть не менее значения, вычисленного по формуле:

$$r_{min} = \frac{U}{1000 + 0,01 P_n}, \text{ мОм}, \quad (1.1)$$

где U – номинальное напряжение обмотки, $[V]$;

P_n – номинальная мощность машины, $[кВт]$.

Если полученное по формуле значение сопротивления не превышает $0,5 \text{ мОм}$, то в качестве минимально допустимого принимается $R = 0,5 \text{ мОм}$.

Поскольку измерения сопротивления изоляции при рабочей температуре затруднительны, допускается проведение измерений при более низкой температуре.

При этом минимально допустимое сопротивление изоляции при температуре $\theta^\circ < \theta_{\text{раб}}^\circ$ следует определять:

$$r_\theta = r_{min} 2^k; \quad (1.2)$$

где r_{min} – минимальное допустимое сопротивление изоляции, рассчитанное по формуле (1.1), но не менее $0,5 \text{ мОм}$;

k – расчетная кратность температуры с округлением до целого числа

$$k = (\theta_{\text{раб}}^{\circ} - \theta^{\circ}) / 20^{\circ}\text{C} \quad (1.3)$$

В качестве примера рассмотрим определение минимально допустимого сопротивления изоляции обмотки статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором типа АИР80В2У3 мощностью $2,2\text{кВт}$, напряжением 380В с классом нагревостойкости F по изоляции обмотки статора. Измерение сопротивления изоляции обмоток производится при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ по формуле (1.1)

$$r_{\text{min}} = \frac{380}{1000+0,022} \approx 0,38\text{мОм}.$$

Расчетная кратность допустимого сопротивления изоляции при рабочей температуре $+115^{\circ}\text{C}$ по формуле (1.3):

$$k = (115-40)/20 = 4,75 \approx 5.$$

По формуле (1.2) определяем минимально допустимое сопротивление изоляции:

$$r_{20} = r_{\text{min}} 2^k = 0,38 \cdot 2^5 = 12,16\text{мОм}.$$

Таким образом, сопротивление изоляции асинхронного двигателя типа АИР80В2У3 при температуре 20°C должно быть не менее $12,16\text{мОм}$.

Выполнение работы

Исходным устройством является асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для определения его исправного состояния.

- Ознакомьтесь со стендом и начертите в тетради схему рис.1.2.
- Временно промаркируйте выводы обмоток двигателя порядковыми номерами, начиная с 1.

- целостности обмоток по условной маркировке;
- по определению омического сопротивления обмоток омметром.

Выполнение фазировки асинхронного двигателя на стенде

1. Соединить последовательно две статорные обмотки на стенде, начиная с *C1* до *C2* и подключить к клеммам на *220В*. Третью обмотку вывести на клеммы *C3*, *C6*. Включите под напряжение последовательно соединенные обмотки и, путем изменения начала с концом одной из этих обмоток, добейтесь на третьей обмотке (*C3*, *C6*) *отсутствия наводимого напряжения*. Это означает, что подключенные обмотки к сети *220В* фазированы.

Таблица 1.1

Измерение сопротивления изоляции

Наимен. и тип	Расчет сопротивления изоляции	Временная маркировка выводов обмоток и измерение $R_{из}$ обмоток относительно корпуса.								
Электродвигатель...		1	2	3	4	5	6	7	8	
		Измерение межвитковой изоляции обмоток.								
		1								
		-	2							
		-	-	3						
		-	-	-	4					
		Маркировка выводных концов обмоток.								
		первой		второй		третьей		четвёртой		
		Результаты после фазировки.								
		Нач.	Кон.	Нач.	Кон.	Нач.	Кон.	Нач.	Кон.	
		Принятая стандартом маркировка.								
		Омическое сопротивление обмоток								

2. Отсоединить одну из фазированных обмоток, вместо нее подключить непроверенную третью обмотку так, чтобы на

освободившейся фазированной обмотке *отсутствовало наведенное напряжение*.

- Перейдите на стенде от временной маркировки $I \div 6$ на соответствующую стандартную маркировку $C1 \div C6$.
- Соедините в узел концы обмоток $C4; C5; C6$, а корпус двигателя на клемму защитного проводника PE (на стенде).
- Подключите начало обмоток двигателя $C1; C2; C3$ к клеммам $L1; L2; L3$.
- Обмотки подготовлены к запуску двигателя в работу.
- С разрешения преподавателя включите автоматический пускатель QF и запустите двигатель в работу кнопкой «пуск» $SB2$ на стенде. После запуска и установившегося режима вращения выключите электродвигателя кнопкой «стоп» $SB1$ и обратите внимание, в какую сторону вращался двигатель.
- Снимите питание со стенда выключателем QF и поменяйте на стенде между собой любые две фазы. Повторите действия по включению двигателя. Двигатель должен вращаться в другую сторону. Убедившись в этом, остановите двигатель и не забудьте снять питание со стенда выключателем QF .
- Запишите используемое электрооборудование и измерительные приборы в рабочей тетради в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

Электрооборудование и приборы

№ п/п	Электрооборудование и приборы	Условн. обознач.	Графич. обознач.	Тип, марка	Мощность, пределы измерений.	Кол-во
1						
2						
3						
4						
5						

- По формулам (1.1)÷(1.3) определить величину сопротивления изоляции проверяемого электродвигателя при температуре окружающей среды $\theta^{\circ}C$.

- Полученные расчетом данные записать в таблицу 1.1.

Ваши выводы изложите в письменном виде.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте понятие электробезопасности.
2. Назовите организационные и технические мероприятия.
3. Защитное заземление и его назначение.
4. Защитное зануление и его назначение.
5. Напряжение прикосновения и напряжение шага. Чем они отличаются.
6. Основные требования к заземлению и занулению.
7. В каких случаях проводится проверка изоляции электроустановок.
8. Какой величиной напряжения проверяют электропроводку.
9. Почему мегомметром нельзя измерять сопротивление изоляции электроустановок, находящихся под напряжением.
10. Величины поражающих токов для человека.
11. Факторы зависимости сопротивления тела человека.
12. Устройство защитного отключения.
13. Применение разделяющих трансформаторов.
14. Применение малых напряжений.
15. Защита от воздействия электромагнитных полей.
16. Понятие заземлителя.
17. Понятие нулевого рабочего проводника.
18. Понятие защитного проводника.
19. Заземление в системах с изолированной нейтралью.
20. Заземление в системах с глухозаземленной нейтралью.
21. Что такое главная заземляющая шина?
22. Принцип фазировки трехфазных электродвигателей.
23. Способ монтажа элементов по принципиальной схеме.
24. Преимущество эксплуатации электроустановок по системе $TN-S$.

Лабораторная работа №2

Аппаратура управления электроприводом и испытание магнитных пускателей

Цель работы: ознакомиться с аппаратурой управления электроприводом, изучить выпускаемые электромагнитные пускатели и перспективные полупроводниковые пускатели на диодах.

Краткая теория

В современном электроприводе аппаратура управления выполняет разнообразные и сложные функции. Она служит для включения, регулирования частоты вращения, реверсирования, торможения и отключения электродвигателей, т.е. обеспечивает работу электропривода в заданных режимах и в строгом соответствии с требованиями технологического процесса. Выбор аппаратуры зависит от назначения электропривода, степени его автоматизации, требований к защите двигателей и рабочих механизмов от непредвиденных аварийных режимов. Различают аппаратуру *ручного* и *автоматического* управления электропривода.

Аппаратура ручного управления предназначается для включения, регулирования и отключения отдельных элементов электропривода переменного и постоянного тока при напряжении до $500В$. К этой аппаратуре относятся: рубильники и переключатели, пакетные включатели/выключатели и переключатели, командные переключатели, контроллеры, концевые переключатели, реостаты, кнопочные станции.

Рубильники и переключатели – простейшие аппараты ручного управления, они изготавливаются на номинальные токи до $1000А$. Рубильники могут быть однополюсными, двухполюсными и трех полюсными с центральной или боковой ручкой. Их применяют для подготовки цепей управления к руч-

ному и автоматическому включению, регулирования скорости вращения электродвигателей и их отключения.

Пакетные выключатели/выключатели и переключатели используют вместо рубильников, а также в качестве пускателей для электродвигателей небольшой мощности (не более 10кВт). Они могут быть однополюсными и многополюсными (до семи полюсов). Получили широкое распространение в качестве пускателей для асинхронных двигателей на зерноочистительных машинах и управления электродвигателями станочного оборудования. Номинальный ток от 10 до 25А при напряжении $220/380\text{В}$. Выдерживают от 5 до 20 тысяч переключений при частоте не более 60Гц .

Барабанные переключатели применяются для ручной коммутации при частоте переключений не более 120вкл/час . При более высоких частотах переключений используют *кулачковые пакетные переключатели*, более совершенные, обладающие мощными контактами на ток до 200А и обеспечивающие до 100 тысяч включений. Они применяются для ручной коммутации цепей переменного и постоянного тока в управлении тяговыми и крановыми электродвигателями мощностью до 75кВт по переменному току при напряжении 380В . Допустимая частота включений до 600вкл/час .

Командные переключатели применяют в целях управления, они рассчитаны на работу при токе до 10А и снабжены приводом барабана.

Контроллером называется многоступенчатый, многоцепной аппарат с ручным управлением, предназначенный для изменения схемы главной цепи двигателя или цепи возбуждения. По исполнению бывают кулачковые контроллеры и магнитные.

Концевые переключатели предназначены для коммутации цепей управления в зависимости от пути, пройденного меха-

низмом. Их устанавливают там, где необходимо осуществить ограничение хода механизма, например, ограничение хода кормораздаточных транспортеров на животноводческих фермах. Концевые выключатели бывают контактные и бесконтактные, нажимные и рычажные, с самовозвратом и без самовозврата, мгновенного и с временной задержкой.

Реостаты предназначены для ограничения и регулирования тока или напряжения в электрической цепи. В схемах управления электродвигателями реостаты служат для ограничения тока в период пуска двигателя, регулирования скорости вращения двигателя, регулирования тока в обмотках возбуждения электрических машин, поглощения электрической энергии. В зависимости от материала различают металлические, жидкостные и угольные реостаты. Самые распространенные металлические реостаты и резисторы с широким применением сплавов и металлов с высоким удельным сопротивлением. В паспорте реостата или в каталогах приводятся значения сопротивления и номинального тока, допустимого при длительном режиме по условиям нагрева.

Резисторы, так же как и реостаты, применяются в качестве пусковых, пускорегулирующих, тормозных и разрядных устройств в цепях переменного и постоянного токов напряжением до 500В. Их выбирают по величине сопротивления и по допустимому нагреву.

Кнопочные станции предназначены для дистанционного ручного управления приводом электрических машин кнопками, при нажатии которых совокупные с ними замыкающие/размыкающие контакты выполняют функции дистанционного включения/отключения коммутирующих контакторов и пускателей в управлении силовыми двигателями механизмов.

Аппаратура автоматического управления предназначена для дистанционного включения, разгона и управления элек-

трическими машинами переменного и постоянного тока при напряжении до $500В$, их отключения и торможения. К ним относятся: контакторы, магнитные пускатели, коммутационная и защитная аппаратура, электромагнитные механические и пневматических реле, устройства в виде муфт, тормозов, клапанов и т.п. В последние годы широкое распространение получают бесконтактные устройства управления электроприводами с применением полупроводниковых элементов в виде *тиристорных пускателей*, *частотных преобразователей* для регулирования круговой скорости двигателей, *контролеров* с программным управлением и устройств *информационно-дистанционных сопряжений*.

Тиристорные пускатели выгодно отличаются от магнитных пускателей, так как не имеют контактных элементов с их недостатками. Они представляют разновидности полупроводниковых диодов, относящихся к классу тиристоров. Интерес представляет *динистор запираемый*, условное обозначение - $DV-3$, графическое обозначение, -называемый чаще динистором. Его ампервольтная характеристика (АВХ) представлена на рис.2.1.

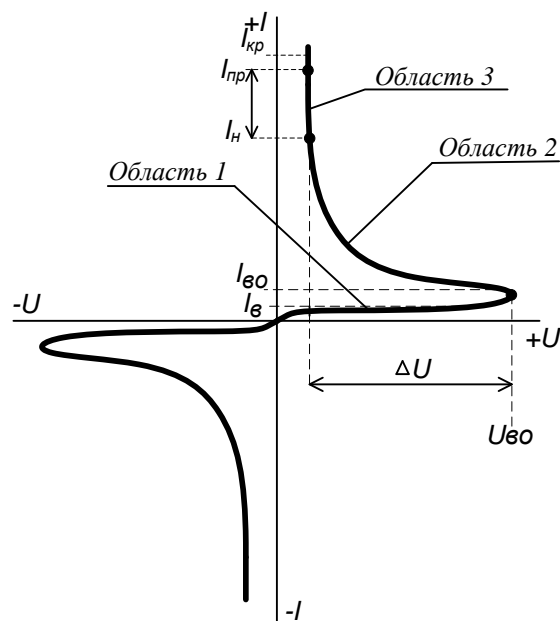
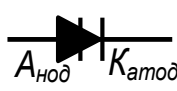


Рис.2.1. Ампервольтная характеристика динистора

Динистор в электронике нашел довольно ограниченное применение, хотя его можно найти в конструкциях энергосберегающих ламп под цоколь $E14$ и $E27$, где он применяется в схемах запуска. Кроме того, он встречается в пускорегулирующих аппаратах ламп дневного света (ручка шокер). АВХ динистора состоит из четырех областей различной проводимости и имеет три $p-n$ перехода. Условное графическое обозначение динистора на схеме немного напоминает полупроводниковый диод, в зарубежных источниках этот подкласс полупроводника получил название trigger diode (триггерный диод), diac, но с одним отличием. У него есть перпендикулярная черта, которая символизирует базовую область, и придает динистору его необыкновенные параметры и характеристики. Рассматривая АВХ, замечаем, что его обе ветви характеристики абсолютно одинаковы, что говорит о том, что он *симметричный* и его можно монтировать в любую схему без соблюдения цоколевки.

Анализируя рис.2.1, следует отметить:

- *область 1* показывает начальное закрытое состояние, ток через него не идет и уровень напряжения, приложенный к выводам, ниже уровня напряжения включения;

- *область 2* - момент открытия динистора, когда напряжение на его контактах достигает уровня напряжения включения $U_{во}$, полупроводник начинает открываться и через него проходит электрический ток, процесс стабилизируется, и он переходит в следующее состояние;

- *область 3* - АВХ показывает открытое состояние, протекающий ток через динистор ограничивается его предельным током $I_{пр}$, который можно найти в справочнике, но при повышении тока до критического $I_{кр}$, динистор сгорит и поэтому *требуется защита* для его применения.

Падение напряжения на открытом триггерном диоде невелико и составляет около $1 \div 2В$. По графику видно, что динистор по своей работе похож на диод, но с особенностью: если пробивное напряжение обычного диода составляет $150 \div 500мВ$, то для открытия триггерного диода требуется подать на его выводы напряжение *от пары десятков вольт и более*. Для полного закрытия динистора необходимо снизить уровень тока до значения *ниже тока удержания I_v* . Таким образом, управление может производиться по горизонтальному или вертикальному принципу. При горизонтальном управлении напряжение переменного тока может сдвигаться по фазе при помощи фазовращателя.

Для *динисторного пускателя* полученные от фазовращателей напряжения для мостового трехфазного выпрямителя имеют *шесть значений напряжения*, сдвинутых по фазе на углы $\pi/3$. Они подаются на формирователь, выдающий управляющие импульсы достаточной длительности. Больше распространен вертикальный принцип управления, при котором управляющий импульс формируется в моменты равенства управляющего напряжения линейно возрастающему пилообразному напряжению (рис.2.2).

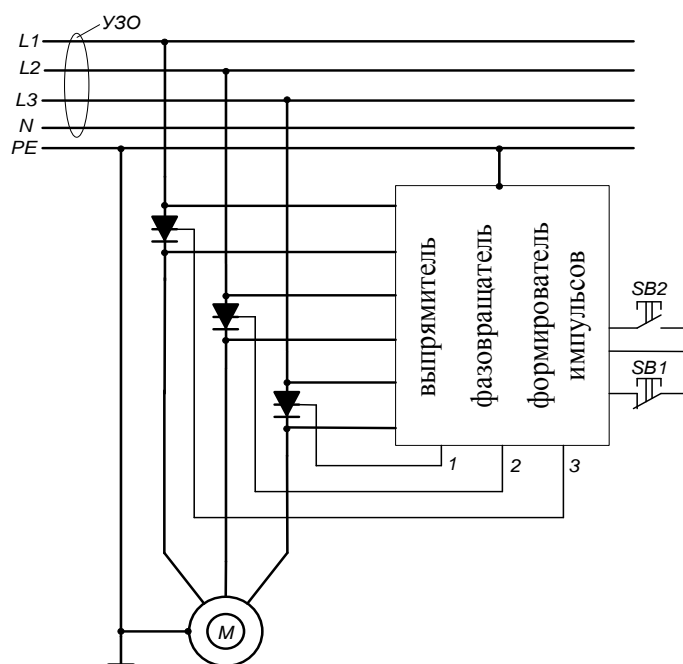


Рис.2.2. Блок - схема динисторного пускателя

Принципиальная схема формирования импульсов динисторного пускателя сложна, но она проще, чем у тиристорных пускателей и меньше по количеству формируемых импульсов. Главное преимущество – формирование открывающих импульсов происходит не в милливольтках, как у обычных тиристоров, а в *нескольких десятках вольт*. Отсюда резкое *повышение помехозащищенности* в управлении силовыми электроустановками и в возможности устойчиво пропускать большие токи. В будущем динисторные пускатели будут зависеть от возможностей выпускаемых промышленностью динисторов с ограничением по критическим токам. Включение/отключение блока формирования импульсов обеспечивается кнопками «пуск» – *SB2* и «стоп» – *SB1*.

Контакторы в схемах управления приводами нашли наибольшее распространение. В зависимости от способа действия различают контакторы электромагнитные, пневматические и гидравлические.

Электромагнитным контактором называется устройство для включения и отключения силовой электрической цепи при помощи электромагнита. Кроме электромагнита, он содержит главные и вспомогательные (блокировочные) контакты. Главные контакты предназначены для замыкания и размыкания главных цепей, по которым протекают нагрузочные токи электродвигателей. Поэтому эти контакты в целях надежной коммутации обеспечиваются регулировочным устройством одновременного замыкания. Вспомогательные контакты служат для коммутации цепей управления и сигнализации и рассчитаны на небольшие токи. Магнитная система контакторов переменного тока для уменьшения вихревых токов набирается из отдельных пластин электротехнической стали.

Для отключения силовых цепей под нагрузкой применяются контакторы с принудительным гашением дуги. Для *устранения вибрации* магнитной системы контакторов и магнитных пускателей переменного тока *применяются короткозамкнутые витки* из меди или латуни.

Контакторы выпускаются трёхполюсные и двухполюсные. Двухполюсные контакторы используются не только для постоянных напряжений, но и в трёхфазных сетях для одновременной подачи напряжения по двум фазам к трёхфазному двигателю при пуске, поскольку по одной фазе напряжение *заранее подано* главным контактором.

Коммутация одновременно двух контактов приводит к меньшему их искрению при пуске двигателей. Номинальный ток главных контактов $160A$ и более. Условное обозначение – *КМ*, графическое обозначение показано на рис.1.2.

Магнитные пускатели подобны контакторам, классифицируются по величинам токов $2\div 160A$. По существу они представляет собой реле напряжения повышенной мощности для дистанционного включения/отключения силовых электроустановок с вспомогательными контактами в схемах управления приводами. В сельскохозяйственном производстве используют главным образом магнитные пускатели серий ПМА, ПАЕ, ПМЕ, ПМЛ. Данные типовых пускателей и их буквенные обозначения представлены в справочной литературе.

Пускатель серии ПМА, ток коммутации градируется до $160A$, рис.2.3. Недостатком является ненадежная эксплуатация при его вертикальном креплении на вибрирующем механизме, например на передвижном компрессоре.

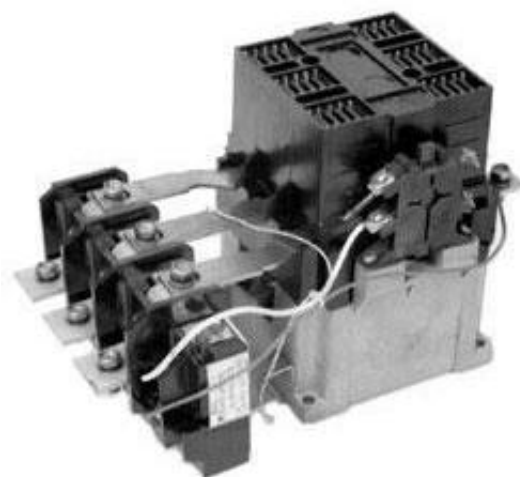


Рис.2.3. Магнитный пускатель серии ПМА

Верхние пластмассовые кницы ослабляются во включенном состоянии, выпадают от вибрации и оказываются на замкнутых контактах. При размыкании контактов кница *застревает* между подвижным и неподвижным контактом. А при очередном повторном включении эти контакты фазовой группы оказываются недозамкнутыми, и прямой пуск двигателя происходит *на двух фазах*, последствия которого хорошо изучены на практике. От большого искрового разряда дугогасительная ячейка не спасает, пускатель молниеносно *выгорает*, а электродвигатель, оказавшись на *пониженном напряжении*, да с *превышением пусковых токов* может сгореть при запуске при *отсутствии электромагнитной* защиты, что иногда встречается при эксплуатации электрооборудования.

Пускатели серии ПАЕ оказались более надежными при использовании в передвижных вибрационных установках. Во времена их эксплуатации они являлись надежной заменой для выпускаемой серии ПМА. К сожалению, пускатели ПАЕ были громоздки и в настоящее время не выпускаются, но оригинальность по конструктивному исполнению вынуждает представить их на рис.2.4.

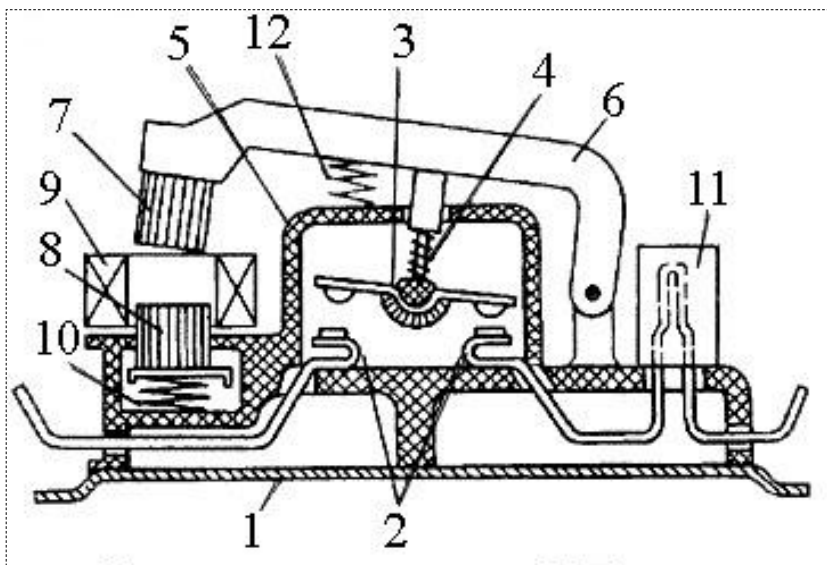


Рис.2.4. Конструктивная схема пускателя серии ПАЕ

1 – металлическое основание; 2, 3 – неподвижные и подвижные мостиковые контакты; 4 – контактная пружина; 5 – закрытая дугогасительная камера; 6 – траверса; 7 – якорь электромагнита; 8 – катушка электромагнита; 9 – магнитопровод электромагнита; 10 – амортизирующие пружины; 11 – тепловое реле; 12 – отключающая пружина.

Эти пускатели *маятникового исполнения*, у них высокая надежность за счет дугового прижимания якоря – 7 при их вертикальном расположении, но они имеют значительные габариты. Гарантируют нулевую защиту, т. е. при исчезновении напряжения или его снижении до 50÷60% от номинального их силовые контакты размыкаются, т.к. катушка не в состоянии удержать магнитную систему пускателя. При восстановлении напряжения токоприемник остается *отключенным*, т.е. они исключают *самопроизвольное* включение, надежны и эксплуатируются до сих пор.

Пускатели серии ПМЕ широко распространены, надежны и рациональны в обслуживании, особенно при доступной чистке контактов в холодное время года. Пускатель серии ПМЕ представлен на рис.2.5. Справа показаны составные конструктивные элементы пускателя.

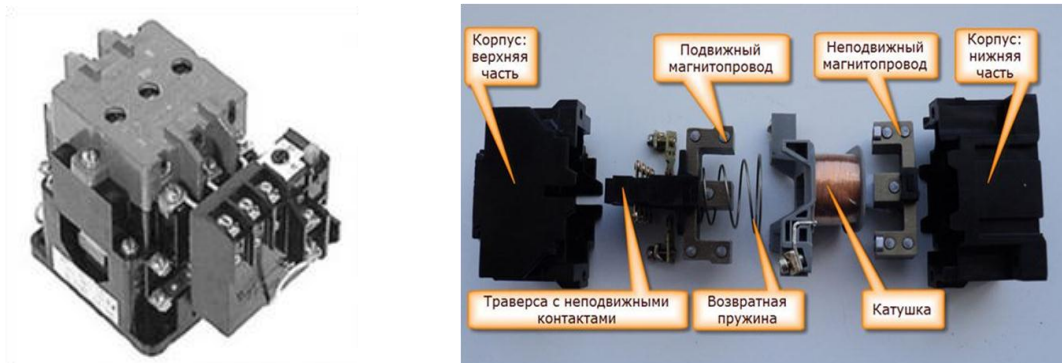


Рис.2.5. Пускатель ПМЕ и его составные части

Пускатель небольших габаритов, удобен для чистки контактов и имеет дугогасительную камеру. Допускает вертикальное или горизонтальное крепление. Может изготавливаться в реверсивном исполнении. Величина коммутируемого тока до $60A$.

Пускатели и контакторы серии ПМЛ выпускаются в малогабаритном исполнении, относятся к новому поколению дистанционного автоматического запуска и останова электрических машин с возможностью защиты и контролем номинального режима. Недостатком пускателей на токи до $40A$ является неудобство в обслуживании при чистке контактов при низких температурах.

Выбираются необходимые данные пускателя или контактора по принятой модификации в справочной литературе по структуре условного обозначения: напряжению, току, числу исполнительных контактов, наличию теплового реле, кнопочного поста, вида исполнения и степени защиты. Главным критерием является прохождение через силовые контакты пускателя или контактора номинального тока нагрузки обозначаемого $I_{н.н.}$.

Пример расшифровки условного обозначения

Пускатель ПМ12 – XXX1, X2 X3 X4

XXX1 – Условное обозначение номинального тока: 004 - $4A$; 010 - $10A$;

025 - $25A$; 040 - $40A$; 063 - $63A$; 100 - $100A$; 160 - $160A$.

X2 – Исполнение пускателей по назначению и наличию теплового реле:

- 1 - без реле, нереверсивные; - 2 - с реле, нереверсивные;
- 3 - без реле, реверсивные с электрической блокировкой;
- 4 - с реле, реверсивные с электрической блокировкой;
- 5 - без реле, реверсивные, с механической блокировкой для ИРОО и IP20;
- 6 - с реле, реверсивные, с электрической и механической блокировками.

X3 – Исполнение пускателей по степени защиты и наличию кнопок:

- 0 – IP00; - 1 - IP54 без кнопок; - 2 - IP54 с кнопками "Пуск" и "Стоп";
- 3 - IP54 с кнопками "Пуск" и "Стоп" и сигнальной лампой;
- 4 - IP40 без кнопок; -5 - IP20; -6 - IP40 с кнопками "Пуск" и "Стоп";
- 7 - IP40 с кнопками "Пуск" и "Стоп" и сигнальной лампой.

X4 – Исполнение пускателей по числу контактов.

Для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором номинальный ток округленно определяется $I_{н.дв} \approx 2P, [A]$;

где P – мощность; $[кВт]$.

Отсюда выбирают ток пускателя $I_{н.п} \geq 1,3 I_{н.дв}$ (2.1)

Существует проверка пускателей по определению величин напряжений и токов *на срабатывание* и *отпускание* контактов, определения сопротивлений катушек пускателей и *построения временной и релейной* диаграмм, представленных на рис.2.6 и рис.2.7.

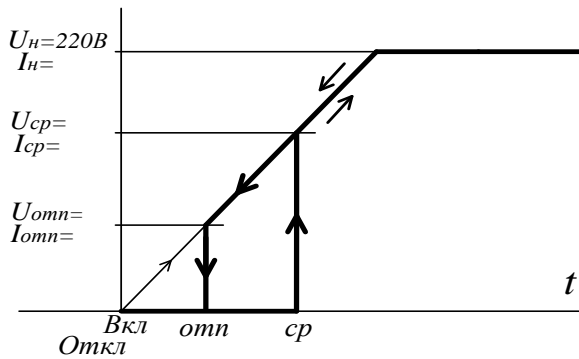


Рис.2.6. Временная диаграмма

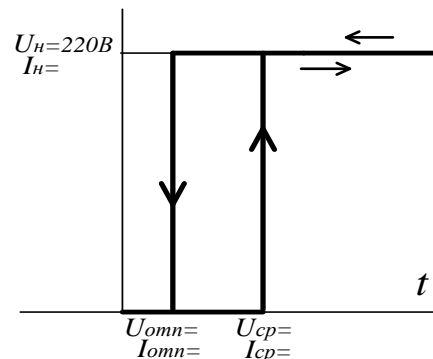


Рис.2.7. Релейная диаграмма

Магнитный пускатель с тепловым реле может быть применен для защиты двигателя от небольших, но длительных перегрузок. Он может быть применен для нулевой блокировки, но он не защищает электрическую схему от токов короткого замыкания. Отключает схему при пониженном напряжении (до $40\div 60\%$ от номинального) и защищает персонал от несанкционированного включения электроустановки.

Выполнение работы

Исходными данными являются три типа магнитных пускателей, подлежащие в определении возможностей нулевой защиты при снижении напряжения и незначительным потреблением электроэнергии.

- Изучить устройство, назначение и принцип работы релейных пускателей, их расшифровку, выбор, обозначения.
- Начертить в рабочей тетради простую электрическую схему исследования пускателей, рис.2.8.

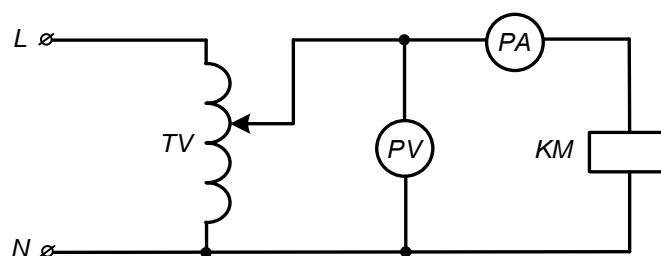


Рис.2.8. Схема испытания магнитных пускателей

- Начертить таблицу 2.1 испытаний магнитных пускателей.

Таблица 2.1

Испытания магнитных пускателей

№ п/п	Тип	$U_{ср},$ В	$I_{ср},$ А	$U_n,$ В	$I_n,$ А	$U_{отп},$ В	$I_{отп},$ А	$Z,$ Ом	$R,$ Ом
1									
2									
3									

- Начертить таблицу 2.2 технических данных измерительных приборов.

Таблица 2.2

Данные измерительных приборов

п/п	Наименование	Обозначение на схеме	Тип	Система	Класс точности	Пределы измерения

- Собрать электрическую схему и вывести движок автотрансформатора TV в положение «ноль».

- Включить по разрешению преподавателя собранную схему в электрическую сеть.

- С помощью автотрансформатора медленно поднимать напряжение на обмотке магнитного пускателя, минуя шумовое потрескивание. Записать данные в таблицу 2.1 при следующих моментах:

- по *максимальному напряжению и току срабатывания* пускателя;

- по *номинальным значениям напряжения и тока.*

- С помощью автотрансформатора снижать напряжение на обмотке магнитного пускателя, заметить данные *напряжения отпускания* и *наибольшего тока отпускания* с размыканием контактов.

Записать данные в таблицу 2.1.

- Вывести автотрансформатор в состояние «ноль» и отключить от сети.
- Аналогично провести исследования с оставшимися двумя пускателями.
- Рассчитать по известным формулам электротехники у испытуемых пускателей полное сопротивление катушек по средним значениям.
- Измерить сопротивление катушек магнитных пускателей с помощью омметра и записать в таблицу 2.1.
- По данным таблицы 2.1 в выбранном масштабе построить на одном графике по рис.2.6 *временные диаграммы* по напряжениям и токам срабатывания и отпускания для трех пускателей. Аналогично построить *релейную диаграмму* для этих пускателей по рис.2.7.
- Рассчитать по полученным данным таблицы 2.1 полное сопротивление в номинальном режиме работы пускателей и записать в этой же таблице.
- Разобрать схему и сложить провода на отведенное место.

Ваши выводы изложить в письменном виде.

Контрольные вопросы

1. Аппаратура ручного управления электроприводом.
2. Аппаратура автоматического управления электроприводом.
3. Назначение магнитных пускателей.
4. Назначение полупроводниковых пускателей.
5. Принцип действия и устройство магнитных пускателей.
6. По каким признакам определяется выбор магнитного пускателя.
7. Назначение силовых контактов пускателей.
8. Назначение и примеры бесконтактных пускателей.
9. Типы пускателей и расшифровка их обозначений.
10. Назначение блокирующих контактов пускателя.
11. Условное и графическое обозначение динистора.
12. Принцип работы динисторного пускателя.
13. Нарисуйте ампервольтную характеристику динистора.

14. Нарисуйте блок-схему динисторного пускателя.
15. Преимущество динисторного пускателя перед тиристорным.
16. Отличие контактора от магнитного пускателя.
17. Технологическое назначение магнитных пускателей.
18. Технологическое назначение контакторов.
19. Диаграмма релейного включения/отключения пускателей.
20. Выборы магнитного пускателя по заданной мощности.
21. Недостатки и преимущества магнитных пускателей.
22. Недостатки и преимущества динисторных пускателей.
23. Назначение частотного преобразователя.

Лабораторная работа №3
Средства защиты электропривода
и испытание тепловых реле

Цель работы: Изучить элементы защитных средств электропривода, их принцип действия, порядок выбора и настройка тепловых реле для трехфазных асинхронных двигателей.

Краткая теория

Аппаратура защиты электроприводов служит для своевременного отключения электродвигателей и других электротехнических устройств от электрической сети при возникновении аварийных режимов работы. Она обеспечивает сохранность и долговечность элементов электропривода и рабочих исполнительных механизмов. Правильный выбор аппаратуры защиты является одним из основных условий надежной работы электроприводов. В большинстве случаев электродвигатели выходят из строя из-за *повышения тока* в обмотках, что вызывает их перегрев. *Причинами перегрева* обмоток могут быть следующие аварийные режимы:

- нарушение изоляции и возникновение короткого замыкания;
- работа при пониженном напряжении;
- перегрузка рабочей машины;
- работа в неполнофазном режиме (отключение одной из фаз);
- затяжной сверхтяжелый пуск;
- работа при асимметрии напряжения;
- высокая частота включения;
- ухудшение охлаждения.

Защита от токов короткого замыкания осуществляется предохранителями, электромагнитными расцепителями автоматических выключателей, электромагнитными токовыми и

бесконтактными реле.

Защита от токов перегрузки включает тепловые и температурные реле, тепловые расцепители автоматических выключателей.

Защита от недопустимого снижения или исчезновения напряжения называется *нулевой защитой*. Обеспечивается с помощью реле и *расцепителя* напряжения.

Плавкие предохранители - самое простое, недорогое и наиболее распространенное устройство защиты от токов короткого замыкания и от больших токовых перегрузок. Принцип действия предохранителей основан на расплавлении плавкой вставки вышеуказанными на ней токами. Промышленность выпускает различные типы предохранителей, и все они состоят из следующих основных элементов: корпуса (патрона), плавкой вставки, контактов присоединения и дугогасящего элемента. Плавкие вставки изготавливают из меди, цинка (наиболее распространенных материалов), а также из свинца и серебра. Токоведущие части предохранителя с плавкой вставкой рассчитаны на *длительное* прохождение определенного тока, который называется *номинальным*.

Важнейшей характеристикой (защитной характеристикой) любого предохранителя является *зависимость времени* отключения аварийного участка от силы тока *перегрузки* или *короткого* замыкания. К защитным характеристикам плавких вставок предъявляются следующие требования:

- при токе $1,3 I_n$ (тока номинального) вставки не должны плавиться в течение 1 часа;

- при токе $1,6 I_n$ вставка должна перегореть не более чем за 1 час.

Такая неопределенность требований к защитным характеристикам объясняется недостатками принципа действия предо-

хранителей. На время срабатывания плавких вставок влияют небольшие отклонения площади сечения, неоднородность материала, изменение условий охлаждения, окисление поверхности и т.п. Эти факторы не поддаются учету при выборе защиты.

Нестабильность защитных характеристик предохранителей ограничивает область их применения. Современные предохранители обычно делают с закрытым патроном, который не может быть разборным. Для улучшения гашения дуги в силовых предохранителях применяют в качестве наполнителя чистый мелкий кварцевый песок. При установке плавких предохранителей в цепи трехфазного асинхронного двигателя *перегорание одного* из предохранителей приведет к *двухфазной работе* двигателя, что связано с уменьшением напряжения и резким увеличением тока. Отсюда выше вероятность выхода из строя рабочего механизма. В современных схемах для защиты асинхронных двигателей вместо предохранителей ставят автоматические выключатели. В сельском хозяйстве распространены предохранители серий ПР-2 и ПН-2.

При заказе предохранителей указывают напряжение, номинальный ток *предохранителя* и номинальный ток *плавкой вставки*. Номинальные ток и напряжение предохранителя должны быть не меньше напряжения и тока электрической сети, в которую этот предохранитель включен. Напряжение сети обычно известно, а значение тока потребителя необходимо определить для *защиты сетей плавкой вставкой* - $I_{пл.вст}$:

- для сетей ламп накаливания и электробытовых приборов

$$I_{пл.вст} \geq I_{н.п}; \quad (3.1)$$

где $I_{н.п}$ — номинальный ток потребителей;

- для сетей с люминесцентными лампами

$$I_{пл.вст} \geq 1,25 \cdot I_{н.л}; \quad (3.2)$$

- для сетей с *асинхронными двигателями с фазным ротором*

$$I_{пл.вст} \geq (1 \div 1,25) I_{н.дв}; \quad (3.3)$$

где $I_{н.дв}$ – номинальный ток трехфазного двигателя определяется

$$I_{н.дв} = \frac{P_{дв}}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \cos \varphi_{дв} \cdot \eta_{н}}; \quad (3.4)$$

где $P_{дв}$ – выходная мощность двигателя, [Вт],

$U_{л}$ – номинальное линейное напряжение двигателя, [В],

$\cos \varphi_{дв}$ – номинальный коэффициент мощности двигателя,

$\eta_{н}$ – номинальный коэффициент полезного действия двигателя,

- для сетей с *асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором*

$$I_{пл.вст} \geq \frac{I_{пуск}}{\alpha}; \quad (3.5)$$

где $I_{пуск}$ – пусковой ток двигателя, значение которого при прямом пуске превышает номинальное в $2 \div 8$ рази зависит от режима пуска (рассматривается в кратком обзрении лабораторной работы №4),

α – коэффициент, зависящий от условий работы двигателя,

$\alpha = 2,5$ при легком режиме пуска, $\alpha = 2 \div 1,6$ при тяжелом режиме пуска.

Плавкую вставку для группы электродвигателей с короткозамкнутым ротором выбирают, исходя из условия:

$$I_{пл.вст} \geq 0,4 [\sum I_{н.дв} + (I_{пуск} - I_{н.дв})]; \quad (3.6)$$

где $\sum I_{н.дв}$ – сумма номинальных токов одновременно работающих двигателей,

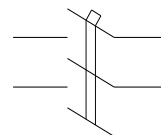
$I_{пуск} - I_{н.дв}$ – наибольшая разность между максимальным пусковым и номинальным токами двигателя.

Плавкая вставка, выбранная по условиям пуска, защищает сеть, но не защищает двигатель от опасных длительных перегрузок.

Данные двигателей приводятся в каталогах справочной литературы и обозначаются на заводском щитке двигателя. В техническом обслуживании предохранитель неудобен, т.к. при срабатывании (перегорании), требуется замена плавкой вставки.

Автоматические выключатели (часто называют «автоматы») служат для ручного включения и выключения электрических цепей и автоматического отключения при коротких замыканиях и токовых перегрузках. Выпускается в зависимости от схемных решений одно, двух и трехполюсные.

Условное обозначение – *QF*. Графическое обозначение, например, трёхполюсного «автомата» –



При коротких замыканиях срабатывает электромагнитный расцепитель и «автомат» отключается. При токовых перегрузках срабатывает тепловой расцепитель и «автомат» тоже отключается. Таким образом, автоматический выключатель, в зависимости от выпускаемых моделей, может содержать электромагнитную или тепловую уставку, либо ту и другую.

Электромагнитная уставка срабатывает при токе *короткого замыкания* за половину периода сетевой частоты, практически мгновенно, что является надёжной защитой. На «автомате» токи отсечки обозначаются кратностью от его указанного номинального значения. Для нескольких электродвигате-

лей учитывается их сумма номинальных токов и потребителей в цепях управления. Для защиты от короткого замыкания электромагнитная уставка определяется с превышением за-предельных перегрузок и максимального пускового тока одного из двигателей.

Тепловая уставка срабатывает при *токовых перегрузках двигателя* и обеспечивает его защиту при *превышении номинальных токов* с выделением тепловой энергии на тепловом элементе по закону Джоуля-Ленца. При *пусковых токах* электродвигателя, тепловая уставка *не срабатывает*, т.к. элемент за время пуска не успеет нагреться, а двигатель успеет выйти на номинальный режим работы. Она позволяет ему работать даже в кратковременных режимах с перегрузками. Но в *непрерывном перегрузочном* режиме через допустимое время уставка нагреется и *отключит* двигатель.

Автоматический выключатель является более надежным и эффективным контрольным элементом по сравнению с предохранителем, где нет необходимости в замене каких либо элементов. «Автоматы» к электродвигателям выбирают по номинальному току теплового расцепителя по формуле

$$I_{н.тепл} = I_{н.дв}$$

с учетом регулируемой уставки тока в пределах от 63% до 100% их номинального тока нагрузки

$$I_{уст.тепл} = (0,63 \div 1) I_{н.} \quad (3.7)$$

Ток уставки теплового расцепителя можно выбирать в зависимости от температуры окружающей среды по формуле

$$I_{уст.тепл} = I_n / \beta; \quad (3.8)$$

где I_n – номинальный ток электродвигателя,

β – коэффициент, учитывающий температурные условия работы двигателя $\beta = (1 + 0,006)/(40 - t_{окр}); \quad (3.9)$

где $t_{окр}$ – температура окружающей среды.

Автоматические выключатели наиболее распространены следующие:

- серии А-63, АК-50, АП-50 на номинальные токи до 50А;
- серии А-2000 на номинальные токи до 100А; - серии А-3100 А-3700 на токи до 600А и выше. Число полюсов автомата указывает первая цифра после серии, наличие токовой защиты (электромагнитной) обозначается буквой - М, тепловой - Т. Подробные данные «автоматов» выбирают из справочной литературы. В условиях агропромышленного производства наибольшее распространение получили закрытые автоматические выключатели электромеханического типа АП-50. Однако, при использовании в электроприводах силовых тиристорных элементов (преобразователей частоты) для надёжной

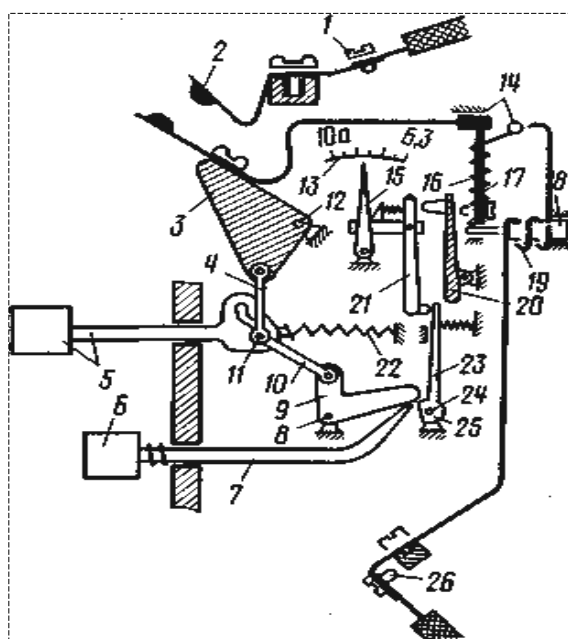


Рис.3.1. Электромеханическое устройство «автомата» АП-50Б

защиты необходимо применять быстродействующие автоматические выключатели типа АП-50Б. Принцип действия такого «автомата» представлен на рис.3.1. Он имеет три пары силовых контактов 2, укрепленных на траверсах из изоляционного материала. Нижняя траверса 3 может поворачиваться относительно оси 12. Включают аппарат, нажав кнопку 5. При этом развилка кнопки толкает ось 11 шарнирного соединения рычагов 4 и 10 механизма свободного расцепления. Траверса 3 и рыча-

ги 4, 9 и 10 механизма свободного расцепления занимают спрямленное положение: силовые контакты замкнуты, ось 11 оказалась правее линии, соединяющей противоположные оси рычагов 4 и 10, а свободное плечо рычага 9 упирается в защелку 25. Пружина 22 сжата и напряжена. В этом состоянии автомат пребывает до момента выключения. Чтобы *отключить* аппарат *вручную*, нажимают кнопку 6. При этом рычаг 7 кнопки выводит защелку 25 из зацепления с рычагом 9. Под действием пружины 22 механизм свободного расцепления занимает положение, при котором контакты 1 (сеть) отсоединены от контактов 26 (электродвигатель): автомат отключил установку от сети.

Автоматическое отключение при перегрузках выполняет *тепловой расцепитель*, (рис.3.1) состоящий из биметаллической пластины 16 и нагревательного элемента 17. Тепловой расцепитель включен в силовую цепь тока (зажимы 14) и может быть при помощи винта отрегулирован по шкале 13 на различные значения тока срабатывания. Когда ток в цепи превышает установленный, биметаллическая пластина нагревается сильнее обычного и нижним концом толкает влево траверсу 20 (она расположена вдоль всех трех тепловых и электромагнитных расцепителей). Траверса передает усилие на плечо рычага 21, который нижним концом отклоняет вправо плечо защелки 25. Поворачиваясь относительно оси 24, защелка выводит из зацепления рычаг 9 механизма свободного расцепления и автомат отключается. Уставку тока теплового расцепителя можно задать, перемещая рычаг 15 относительно шкалы 13 и меняя тем самым расстояние между рычагом 21 и траверсой 20.

Автоматическое отключение при коротком замыкании выполняет *электромагнитный расцепитель* (рис.3.1). Он состоит из катушки (несколько витков силового провода), находящейся внутри сердечника 18 с толкателем. В момент корот-

кого замыкания при токе, в $7\div 8$ раз большем номинального, сердечник втягивается в катушку, толкатель ударяет в траверсу 20, та воздействует на рычаг 21, этот рычаг на плечо 23 защелки 25, освобождающей пружину, «автомат» отключается мгновенно. Если в автомате установлены только тепловые расцепители, то последовательно с ним должны быть включены предохранители, защищающие установку от токов короткого замыкания. Силовые контакты могут быть снабжены искрогасительными камерами с деионными решетками.

Тепловые расцепители «автоматов» АП-50 выпускаются на градацию номинальных токов 1,6; 2,5; 4; 10; 16; 25; 50 А. Ток уставок электромагнитных расцепителей принимают:

- при защите электродвигателей с *короткозамкнутым* ротором

$$I_{уст.эм} = 1,3 I_n; \quad (3.10)$$

где I_n - пусковой ток двигателя,

- при защите асинхронного электродвигателя с *фазным* ротором

$$I_{уст.эм} = (2,5\div 3) \cdot I_n; \quad (3.11)$$

- при защите от коротких замыканий *нескольких* двигателей

$$I_{уст.эм} \geq 1,5\div 1,8 [\sum I_{н.дв} + (I_{пуск} - I_{н.дв})]; \quad (3.12)$$

где $\sum I_{н.дв}$ – сумма номинальных токов, одновременно работающих электродвигателей,

$I_{пуск} - I_{н.дв}$ – разность между максимальным пусковым и номинальным токами двигателя, у которого они наибольшие.

Уставка теплового расцепителя может регулироваться потребителем в допустимых пределах на отключение, что является удобным и достаточно надежным условием при эксплуатации.

Тепловое реле предназначено для защиты электродвигате-

лей и другого электрооборудования от небольших длительных перегрузок. Принцип действия теплового реле основан на деформации биметаллической пластинки при нагреве её током нагрузки, как у теплового расцепителя. Биметаллическая пластинка состоит из двух прочно соединенных между собой разнородных металлов с различными коэффициентами линейного расширения при нагреве.

Различают следующие три способа нагрева биметаллических пластин:

- *непосредственный*, когда ток проходит по всей пластине;
- *косвенный*, когда ток проходит через нагревательный элемент, тепло от которого передается пластине;
- *комбинированный*, когда ток проходит параллельно по пластине и нагревательному элементу.

Выбор тепловых реле такой же, как и тепловых расцепителей.

В сельском хозяйстве используются тепловые реле серий ТРП – однополюсные и ТРН – двухполюсные, конструктивная схема которых показана на рис.3.2.

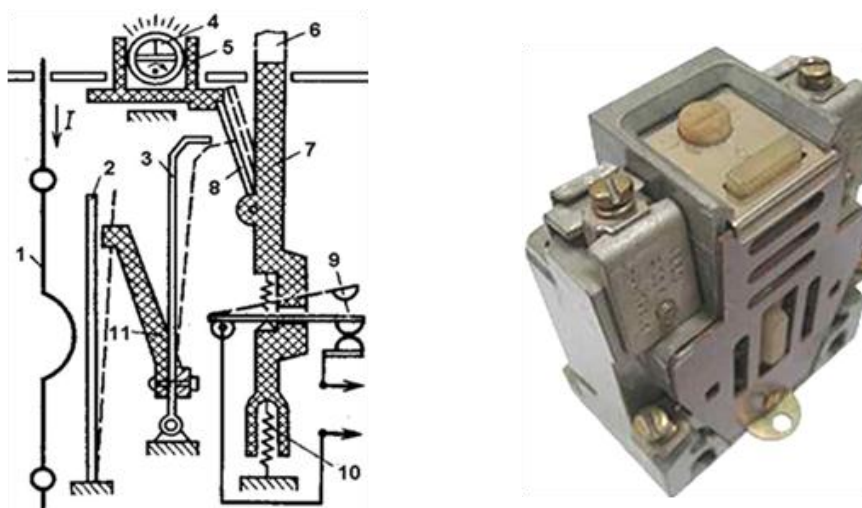


Рис.3.2. Конструктивная схема ТРН и его внешний вид

Справа на рис.3.2 показан внешний вид реле ТРН в изометрии. Правильно отрегулированные тепловые реле могут защитить электродвигатели от перегрузок. Тепловые реле срабатывают при превышении номинального тока электродвигателя на

20%. При прохождении тока больше номинального температура нагревательного элемента 1 повышается слева рис.3.2, и тепло передается на биметаллическую пластину 2, которая, деформируясь, действует на температурный компенсатор 3. Компенсатор, нажимая на защелку 8, выводит ее из зацепления, и планка расцепителя 7 под действием пружины размыкает контакты 9 реле, последовательно подключенные к магнитному пускателю в цепи управления, который и отключает электродвигатель.

После срабатывания планка расцепителя может быть возвращена в исходное состояние с помощью кнопки ручного возврата 6 через 1÷2 минуты, то есть по мере остывания биметаллической пластины.

В современном электроприводе более совершенными являются трехполюсные тепловые реле типа РТЛ, представленные на рис.3.3.

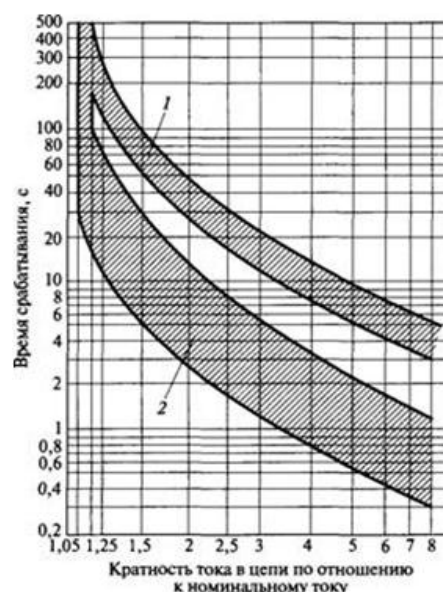


Рис.3.3. Тепловое реле РТЛ Рис.3.4. Времятоковая характеристика

Они имеют улучшенную температурную компенсацию и ускоренное срабатывание при обрыве фазы. Тепловые реле серии РТЛ с температурной компенсацией предназначены для защиты от *перегрузок трехфазных асинхронных двигателей*,

которые комплектно встраивают в магнитные пускатели серии, ПМЛ, ПА. Тепловая инерция не позволяет использовать его для защиты от коротких замыканий.

Проверка тепловых реле заключается в исследовании их срабатывания за определенное время в зависимости от значения кратности тока перегрузки K_n , т.е по времятоковой характеристике исследуемого типа реле, рис.3.4. Как видно из этого рисунка, при 20% перегрузке реле срабатывает через 3÷8 минут, а при 50% – через 2÷3 минуты

$$K_n = \frac{I_{уст}}{I_{нэ}} ; \quad (3.13)$$

где $I_{уст}$ – испытательный ток теплового реле;

$I_{нэ}$ – ток нагревательного элемента теплового реле.

Характеристика (рис.3.4) соответствует для реле типа ТРН-10, ТРН-25 и применима для уставок теплового реле типа РТЛ. Внешний вид его показан на рис.3.3. Представленные времятоковые характеристики уточнены для реле ТРН-10А и являются более совершенными, поскольку учитывают температурный режим срабатывания по двум зонам, рис.3.4:

1. – зона времятоковых характеристик реле, начинавшего работу в *холодном* состоянии (при пуске двигателя);
2. – зона времятоковых характеристик реле, начинавшего работу в *горячем* состоянии (после прогрева номинальным током).

Тип реле и нагревательный элемент выбирают, исходя из следующих положений:

$$I_{нэ} < I_{н.дв}; \quad I_{уст} = I_{н.дв};$$

где $I_{уст}$ - ток установки реле зависит от номинального тока сменного нагревателя и положения регулятора тока уставки.

Каждое из 10 делений шкалы (по 5 делений вправо и влево от нулевой риски), соответствует в среднем 5% номинального тока нагревательного элемента.

Ток установки тепловых реле регулируется:

- для реле ТРН-8А и ТРН-10 в пределах 0,8 ÷ 1,25 номи-

нального значения тока нагревательного элемента;

– для реле ТРН-25, ТРН-40 в пределах $0,75 \div 1,3$ той же величины.

Выбирая тепловое реле, нужно исходить из того, что ток нагревательного элемента $I_{нэ}$ должен находиться в пределах:

$$1,25 \cdot I_{н.дв} > I_{нэ} \geq I_{н.дв}; \quad (3.14)$$

где $I_{нэ}$ соответствует нулевой шкале установки реле.

Настройку теплового реле производить с учетом разности *стандартного* значения тока нагревательного элемента и *действительного* его значения с учетом знака при ΔI

$$\Delta I = I_{н.дв} - I_{нэ}.$$

Определить цену деления шкалы установок C и число делений шкалы N :

$$C = 0,05 I_{нэ};$$

$$N = \Delta I / C.$$

По полученному результату производится окончательная настройка теплового реле.

Промышленность выпускает сменные нагревательные элементы к тепловым реле различного типа, представленные в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Технические характеристики тепловых реле серии ТРН и ТРП

Тип реле	Номинальный ток реле, A	Номинальный ток теплового элемента реле I_n , при $25^{\circ}C$, (положение регулятора уставки «0»), A	Пределы регулирования номинального тока уставки	Максимальный ток продолжительного режима при температуре окружающего воздуха $40^{\circ}C$, A
ТРН-8А ТРН-10А	3,2	0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6	$0,75 \div 1,3 I_n$	$1,25 I_n$
ТРН-8 ТРН-10	10	0,5; 0,63; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4,5; 6,3; 8; 10	$0,75 \div 1,3 I_n$	$1,25 I_n$ $1,05 I_n$
ТРН-20 ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	$0,75 \div 1,3 I_n$	$1,25 I_n$
ТРН-32 ТРН-40	40	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	$0,75 \div 1,3 I_n$	$1,05 I_n$
ТРП-25	25	1; 1,2; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 15; 20; 25	$0,8 \div 1,15 I_n$	$1,15 I_n$
ТРП-60	60	20; 25; 30; 40; 50; 60	$0,75 \div 1,25 I_n$	$1,25 I_n$
ТРП-150	150	50; 60; 80; 100; 120; 150	$0,75 \div 1,25 I_n$	$1,25 I_n$
ТРП-600	600	150; 200; 250; 300; 400; 500; 600	$0,75 \div 1,25 I_n$	$1,25 I_n$

Тепловое реле нужно проверять один раз в 2–3 года в соответствии с требованиями Правил [7] при нормальной эксплуатации. При замене нагревательных элементов проверять их взаимное расположение до биметаллических пластин при температуре 20°C. Если расстояния от обоих нагревательных элементов до биметаллических пластин неодинаковое, то и разное время срабатывания правого и левого нагревательного элементов. Необходимо изменить их положение регулировочными винтами, расположенными на обратной стороне теплового реле.

Выполнение работы

Исходными данными являются выданные преподавателем тепловые реле типа ТРН для проверки их пригодности в эксплуатации.

На стендовой установке (рис.3.5) осуществляется проверка тепловых реле по защите электродвигателей по токам перегрузки.

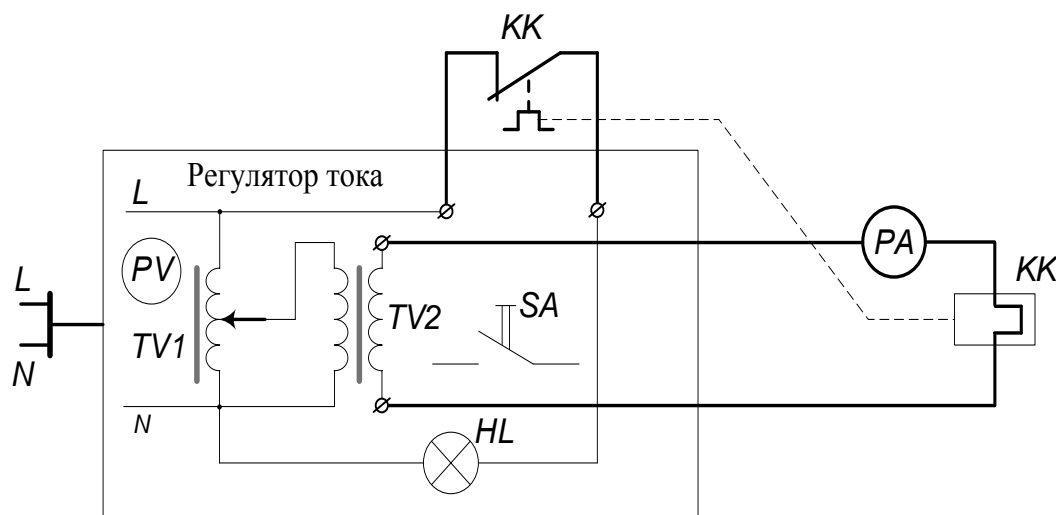


Рис.3.5. Блок-схема стенда для исследования тепловых реле

На рисунке показан блок - регулятора тока, от которого выводятся:

- ручной включатель/выключатель – SA;
- контрольная лампа подачи напряжения – HL;

- показания входного напряжения – PV ;
- ручной регулятор задания тока показан стрелкой;
- клеммы для подключения силовых и управляющих блокировочных контактов регулятора тока.

- Подготовить в тетради схему испытания тепловых реле, рис.3.5.

- Подготовить таблицу 3.2 для записи данных.

- Подготовить таблицу 3.3 результатов испытаний тепловых реле.

- Получить от преподавателя тепловое реле для проведения проверок нагревательных элементов по току.

Таблица 3.2

Данные электроизмерительных приборов

№ п/п	Наименован.	Обознач. на схеме	Параметр	Тип	Система	Класс точности	Предел измерен.

Таблица 3.3

Результаты испытаний

№ п/п	Тепловое реле	Численные данные	Фактическое время срабатывания, сек.		Время срабатывания по ТУ, сек.	Анализ пригодности к эксплуатации
			Левый н.э.	Правый н.э.		
1.	Тип	–				
		0				
		+				
2.	Токи из формулы (3.13)	$I_{н.дв} =$				
		$I_{нэ} =$				
		$1,25 \cdot I_{н.дв} =$				
3.	Испытат. ток $I_{исп}$					

- Проверить соответствие теплового реле заданному электродвигателю, и в случае необходимости, с помощью уставки настроить его на номинальный ток электродвигателя.

- Подключить тепловое реле к стенду по рис.3.5.
- Показать преподавателю для проверки и получить задание о порядке проверки теплового реле по указанным параметрам таблицы 3.3.
 - С разрешения преподавателя подать напряжение выключателем *SA1* «сеть», с помощью автотрансформатора установить по амперметру значение испытательного тока и одновременно включить секундомер.
 - Значение *испытательного* тока поддерживается *неизменным* с помощью автотрансформатора.
 - При срабатывании теплового реле, регулятор тока *отключается автоматически*, секундомер в этот момент необходимо остановить *вручную* и заметить время.
 - Время срабатывания теплового реле записать в таблицу 3.3. Выключатели поставить в исходное состояние и отключить вилку регулятора тока от электрической сети.
 - Определить по времятоковой характеристике кратность тока цепи по отношению к номинальному току, рис.3.4.
 - Определить ток нагревательного элемента по формуле (3.13).
 - Записать данные в таблицу 3.3.
 - По определенному току нагревательного элемента выбрать по техническим характеристикам таблицы 3.1 тип теплового реле и сравнить с испытываемым.
 - Определить с помощью времятоковой характеристики кратность тока по отношению к номинальному току теплового реле согласно техническим условиям (ТУ).
 - Сравнить время срабатывания теплового реле с ТУ и сделать анализ его пригодности к эксплуатации.
 - Переключить электрическую схему на испытание другого нагревательного элемента. Перед испытанием нажать

на кнопку расцепителя теплового реле 6 (рис.3.2) и повторить испытания.

Ваши выводы изложить в письменном виде.

Контрольные вопросы

1. Назначение автоматического выключателя.
2. Назначение тепловой защиты.
3. Принцип действия электромагнитной защиты.
4. Порядок выбора теплового реле для защиты электродвигателя.
5. Порядок выбора автоматического выключателя.
6. Порядок выбора плавкого предохранителя.
7. Что такое расцепитель и его назначение.
8. Тепловая уставка: устройство и назначение.
9. Электромагнитная уставка: устройство и назначение.
10. Понятие тока установки теплового реле и его регулировка.
11. Понятие защитной характеристики теплового реле.
12. Номинальный ток нагревательного элемента и его выбор.
13. Коэффициент тока перегрузки теплового реле и его величина.
14. Объяснить обозначения на шкалах теплового реле.
15. Подобрать тепловое реле к указанному электродвигателю.
16. Выбор теплового тока уставки для двигателя с короткозамкнутым ротором.
17. Выбор электромагнитного тока уставки для двигателя с короткозамкнутым ротором.
18. Выбор электромагнитного тока уставки для двигателя с фазным ротором.
19. Выбор электромагнитного расцепителя автоматического выключателя для групповых асинхронных двигателей.

Лабораторная работа №4

Нереверсивный электропривод двигателя и его механическая характеристика

Цель работы: изучить нереверсивный привод на примере трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, составить принципиальную электрическую схему и построить естественную механическую характеристику.

Краткая теория

Асинхронные электродвигатели – это двигатели переменного тока, у которых круговая скорость ротора не совпадает с круговой скоростью поля статора. Принцип действия асинхронных двигателей (АД) основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора с током ротора. Для электродвигателей основного исполнения не предъявляются специальные требования к пусковым характеристикам, скольжению и энергетическим показателям.

В сельском хозяйстве используются в основном трехфазные *асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором*, мощностью $0,25 \div 75 \text{ кВт}$.

Эти двигатели являются самыми простыми по конструкции, что определяет их низкую стоимость по сравнению с другими электродвигателями при одной и той же мощности и обеспечивают *высокую надежность* при эксплуатации. В то же время асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором имеют ряд существенных *недостатков*, которые ограничивают область их применения. К ним относятся:

- относительно небольшой пусковой момент;
- большой пусковой ток;

- большая зависимость вращающего момента двигателя от колебания напряжения сети;
- сложность и ограниченность в регулировании скорости;
- относительно низкий коэффициент мощности и пусковой момент.

Для асинхронных двигателей общего назначения с короткозамкнутым ротором значение пускового момента M_n от номинального M_n составляет

$$M_n = (1,0 \div 2,2) M_n. \quad (4.1)$$

Для сравнения, у электрических двигателей (4.1) постоянного тока

$$M_n = (4 \div 8) M_n. \quad (4.2)$$

Вращающийся момент асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором пропорционален квадрату напряжения сети $M_{\text{дв}} \equiv U_c^2$.

Например, при уменьшении напряжения сети на 20%, т.е. при $U_c = 0,8 \cdot U_{сн}$, вращающий момент двигателя уменьшится на 36%:

$$M_{\text{дв}} = 0,8^2 \cdot M_n;$$

где $U_{сн}$ – номинальное значение напряжения сети,

M_n – вращающий момент двигателя при номинальном значении напряжения сети.

Коэффициент мощности трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором $\cos \varphi$ при номинальной нагрузке находится в пределах $0,6 \div 0,91$.

Существующие асинхронные двигатели (АД) имеют различные модификации. Серия АО была наиболее распространенной, различалась *многоскоростным* исполнением и доступностью в ремонте. Следующая серия 4А была *уменьшенных габаритов* при той же мощности, но с

повышенным пусковым моментом и пониженной вибрацией. К концу двадцатого века промышленность освоила новую серию двигателей «Интерэлектро», которые по своим параметрам *превосходят* серию 4А. При той же мощности они имеют меньший вес и габариты. Для двигателей этой серии формула Клосса не подходит для расчета механической характеристики из-за *повышенного пускового момента*.

Электродвигатели общепромышленного назначения зачастую не соответствуют условиям работы в сельском хозяйстве, где одновременно действуют такие факторы как перепад температур, большая влажность, химически активная среда, значительные колебания напряжения сети, большие пусковые массы и ряд других. По этой причине на базе второй единой серии были разработаны и с 1970 года освоены двигатели серии АИ в том числе и для сельскохозяйственного назначения. Однако отдельные габариты этой единой серии оказались за рубежом по причине распада Советского Союза. Поэтому разработана новая серия асинхронных электродвигателей 5А (взаимозаменяемых с электродвигателями АИР, 4А).

При создании двигателей серии 5А предусмотрены:

- повышенные пусковые и максимальные моменты;
- пуск и работа при значительных отклонениях напряжения питающей сети от номинального значения;
- устойчивость к кратковременным глубоким снижениям напряжения сети;
- работа или длительное пребывание в широком диапазоне температур от минус 45°C до плюс 40°C ;
- работа или длительное пребывание в среде с повышенной влажностью воздуха, содержащей агрессивные газы, вредно действующие на изоляционные материалы;
- работа в среде с повышенной запыленностью воздуха;

- простота технического обслуживания и эксплуатации.

Электродвигатели *сельскохозяйственного назначения*, имеющие *улучшенные характеристики* энергетических показателей, позволяют запускать их при номинальной нагрузке на валу, а также использовать продолжительное время с сохранением максимального момента на валу (в течение 6 мин) при снижении напряжения до 20% от номинального значения. Конструкция двигателей обеспечивает защиту от попадания внутрь воды, пыли и инородных предметов. Стоимость электродвигателей сельскохозяйственного назначения на 50÷70% дороже электродвигателей общепромышленного назначения.

Современные АД с короткозамкнутым ротором благодаря *частотным регуляторам* скорости вращения обретают новое *перспективное направление*. Их сопряжение с полупроводниковой техникой вызывает существенное улучшение характеристик электрических машин в эксплуатации.

Механическая характеристика – это зависимость момента от круговой скорости ротора двигателя. В большинстве технической литературы скорость двигателя выражают в об/мин, а зависимость характеристики как $n = f(M)$. Это не

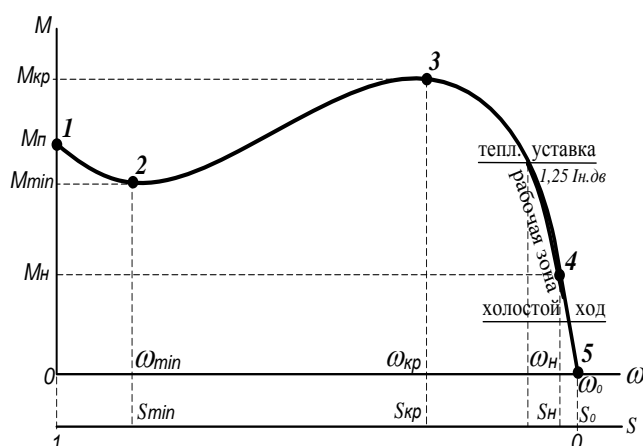


Рис. 4.1. Естественная механическая характеристика АД является корректным, поскольку *первичным параметром* двигателей является (по системе СИ) круговая скорость ротора, зависящая от его исполнения по числу пар полюсов p . Поэто-

му момент, развиваемый двигателем, M зависит от *круговой скорости ротора* ω и механическая характеристика имеет вид $M = f(\omega)$.

На характеристике рис. 4.1 показано пять характерных координатных точек двигателя в процессе пуска. Их принято определять следующим порядком:

✓ *точка 1*

$\omega = 0$ – ротор не вращается, круговая скорость равна нулю;

$M = M_n = \mu_n M_n$ – момент равен пусковому,

где μ_n – кратность пуска (4.14)÷(4.17),

$S = 1$ – скольжения нет;

✓ *точка 2*

круговая скорость ротора минимальная

$$\omega = \omega_{min} = \omega_0 \cdot (1 - S_{min}); \quad (4.3)$$

где ω_0 – круговая скорость поля статора при частоте 50Гц

$$\omega_0 = 2\pi f/p = 314 \text{рад/сек}, \quad (4.4)$$

f – частота сети, $[\text{Гц}]$,

p – число пар полюсов (минимальное для АД) $p = 1$,

$S = S_{min} = 0,84 \div 0,86$ – минимальное скольжение,

$$M = M_{min} = \mu_{min} M_n \text{ – минимальный момент, } [H \cdot m], \quad (4.5)$$

где $\mu_{min} = 1,2 \div 1,4$ – минимальная кратность момента,

M_n – номинальный момент машины по паспортным

данным;

✓ *точка 3*

круговая скорость ротора критическая

$$\omega = \omega_{кр} = \omega_0 \cdot (1 - S_{кр}); \quad (4.6)$$

где критическое скольжение

$$S_{кр} = S_n \cdot (\mu_{кр} + \sqrt{\mu_{кр}^2 - 1}); \quad (4.7)$$

$$S_n - \text{номинальное скольжение} \quad S_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0},$$

ω_n – номинальная круговая скорость якоря (по паспорту).

Критический момент двигателя

$$M = M_{кр} = \mu_{кр} \cdot M_n; \quad (4.8)$$

где $\mu_{кр} = 2,1 \div 2,2$ – критическая кратность момента АД (по паспорту);

- ✓ *точка 4 – номинальные значения по паспорту, при которых двигатель «вышел» в устойчивый равновесный режим;*
- ✓ *точка 5 – недостижимая круговая скорость для ротора асинхронного двигателя, у которого скольжение $S \neq 0$ и момент $M \neq 0$*

$$\omega = \omega_0 .$$

Таким образом, по каталожным данным АД определяются координатные *пять точек механической характеристики в переходном режиме* до установившегося номинального значения и устойчивой зоны работы.

Например, для двигателя с оборотами $n=2880$ обор/мин

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{p \cdot 60} = \frac{\pi n}{1 \cdot 30} = 301,4 \text{ рад/сек}; \quad (4.9)$$

Номинальная круговая скорость ω_n всегда находится в рабочей зоне эксплуатации, а остальные точки определяются по формулам (4.3) ÷ (4.8).

Построение естественной механической характеристики АД (рис.4.1) дает общее представление о запуске двигателя с выходом на номинальный режим. При подключении к двигателю нагрузки, например вентилятора, дробилки, транспорте-

ра и т.п. их механический момент является для двигателя *моментом сопротивления механизма* – $M_{см}$. Данные механизма $M_{см}$ приводят к *приведенной круговой скорости двигателя* – $M_{дв}$

$$M_{пр\ дв} = \frac{M_{см}}{\eta_m \cdot i_{пер}}; \quad (4.10)$$

где η_m – к.п.д. механизма,

$i_{пер}$ – коэффициент передачи скоростей двигателя к механизму

$$i_{пер} = \frac{\omega_n}{\omega_m}; \quad (4.11)$$

ω_m – зависит от исполнительного механизма круговой скорости или от линейной скорости $V/R = \omega_m$.

Полученный *приведенный* момент $M_{пр\ дв}$ сравнивают с пусковым моментом электродвигателя M_n из условия

$$M_n \geq M_{пр\ дв}. \quad (4.12)$$

Механическая характеристика (рис.4.1) отчетливо отражает рабочую зону электродвигателя, от холостого хода с охватыванием зоны номинального режима при *допустимом перегрузе* и *границей отключения* тепловым расцепителем. Отсюда следует, что *электрическая мощность* АД с учетом потерь *соизмерима с механической мощностью* рабочего механизма потребителя:

$$P_{дв} = \sqrt{3} U_n I_n \cos \varphi \cdot \eta_n = M_{дв} \omega_{дв} \eta_n = M_{см} \omega_m / \eta_m \cdot i_{пер}; \quad (4.13)$$

где η_n – к.п.д. двигателя,

η_m – к.п.д. механизма,

ω_m – круговая скорость механизма.

Из характеристики рис.4.1 видно, что M_n больше M_n в два с

лишним раз, следовательно, и пусковой ток будет больше номинального значения.

Различают следующие *виды прямого запуска* асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором:

- *легкий* пуск – свободный ход, на валу отсутствует рабочий механизм,

$$\text{пусковой ток} \quad I_{\Pi} = (1,2 \div 2) I_{H}; \quad (4.14)$$

- *средний* пуск – на валу присутствует промежуточное звено рабочего механизма $I_{\Pi} = (1,5 \div 3) I_{H}; \quad (4.15)$

- *тяжелый* пуск – на валу присутствует рабочий механизм (например, вентилятор) $I_{\Pi} = (2,5 \div 5) I_{H}; \quad (4.16)$

- *сверхтяжелый* пуск – на валу присутствует рабочий механизм в перегруженном состоянии (например, транспортер с нагруженным зерном, компрессор с закрытым клапаном в атмосферу)

$$I_{\Pi} = (4 \div 8) I_{H}. \quad (4.17)$$

Ориентировочный разброс от номинального тока в два раза объясняется массой ротора асинхронных машин в зависимости от его мощности. Чем больше мощность, тем больше кратность пускового тока.

Выполнение работы

Исходными данными предоставлен асинхронный двигатель (АД), сочлененный в качестве нагрузки с генератором машины постоянного тока (МПТ).

Осмотреть стенд, разобраться с наличием аппаратуры и изучить представленную электрическую схему на рис.4.2, с.55.

- Начертить в тетради электрическую схему рис.4.2
- Разобраться с назначением элементов в схеме, величинами защит и сигнализацией.
- Заготовить таблицу 4.1 и 4.2.

- Произвести монтаж электрической схемы на стенде (рис.4.2) по правилам монтажа (введение, монтаж электрических цепей).
- Заполнить таблицы 4.1 и 4.2.
- Получить у преподавателя допуск для проведения работы.

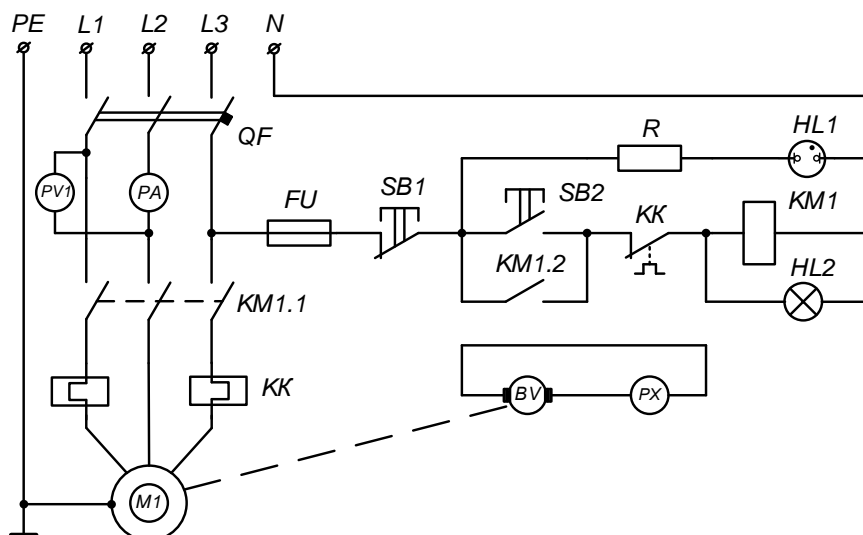


Рис.4.2. Схема нереверсивного включения асинхронного двигателя

Таблица 4.1

Технические данные измерительных приборов

№ п/п	Наименование прибора	Тип	Род тока	Система	Класс точности	Пределы измерений	Обознач. на схеме
1.							
2.							
3.							

- При пуске двигателя в работу измерить и записать:
 - номинальные токи двигателя;
 - пусковые токи двигателя;
 - номинальные обороты мотора-генератора по тахометру с учетом коэффициента передачи на лабораторном стенде 2,4.
- Рассчитать по формулам в тетради:
 - номинальную круговую скорость мотора-генератора (4.9);
 - скорости и моменты двигателя по точкам $(4.3) \div (4.8)$;

- режим пуска двигателя по коэффициенту кратности (4.14)÷(4.17).

• По полученным данным построить естественную механическую характеристику двигателя.

По окончании работы разобрать монтажную схему и упаковать проводники.

Ваши выводы изложить в письменном виде.

Таблица 4.2

Спецификация лабораторной работы

№ п/п	Наименование электротехнических устройств	Условное обозначение на схеме	Технические данные	Кол-во
1.	Трехфазный АД			
2.	Автоматич. выключатель			
3.	Магнитный пускатель			
4.	Тепловое реле			
5.	Плавкий предохранитель			
6.	Кнопочная станция			
7.	Лампа сигнализации			
8.	Индикаторная лампа			
9.	Машина постоянного тока			
10.	Тахометр			

Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип действия электротехнических устройств, применяемых при пуске асинхронного двигателя.

2. В каких случаях автоматический выключатель с тепловым расцепителем не может заменить тепловое реле?

3. Что такое нулевая защита и какое электротехническое устройство обладает такой защитой?

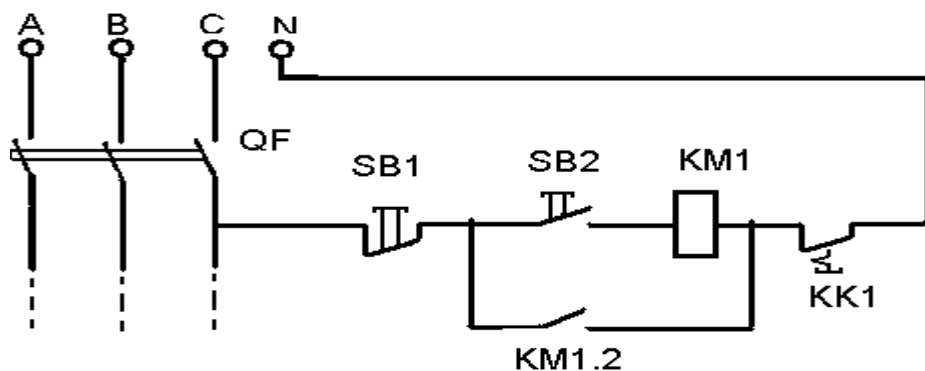
4. Начертить по памяти силовую часть схемы пуска нереверсивного электропривода.

5. Начертить по памяти схему управления пуском нереверсивного электропривода.

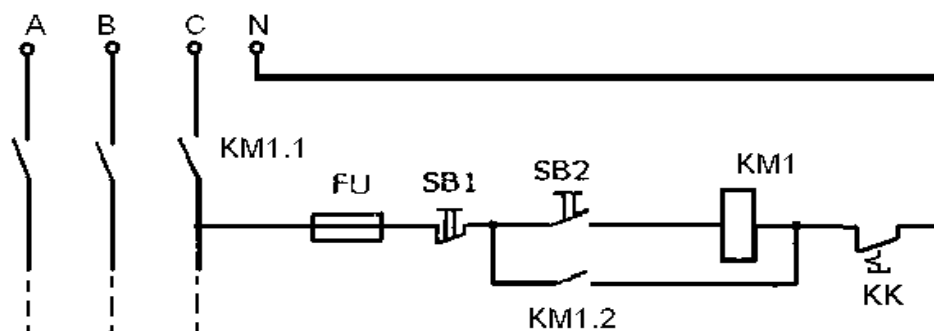
6. Какая величина превышения тока электродвигателя над номинальным значением вызовет срабатывание теплового реле?

7. Какие последствия для работающего электродвигателя вызовет перегорание плавкой вставки предохранителя *FU* в цепи управления?

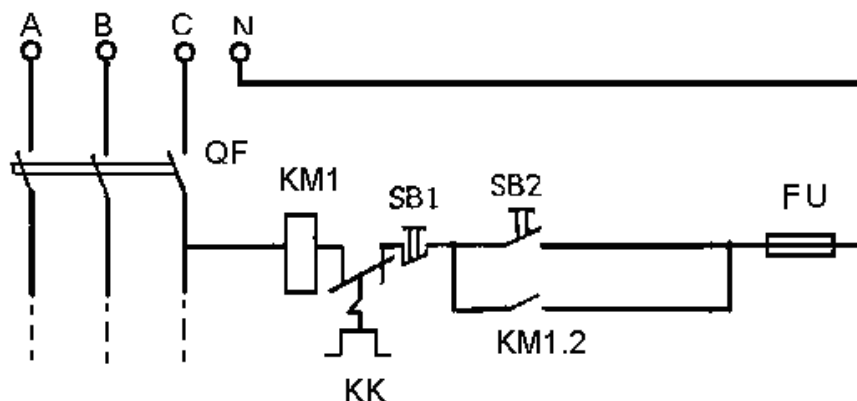
8. Объяснить разницу графических обозначений в сигнализации *HL1* и *HL2*.
9. Объяснить назначение контакта *KM1.2*.
10. Назначение многоскоростных электродвигателей и выражение формулы круговой скорости.
11. Объясните зависимость круговой скорости двигателя от скольжения.
12. Найти графические ошибки в обозначениях на схеме. Какие последствия для пуска электродвигателя вызовет представленная схема управления?



13. Какие последствия для пуска электродвигателя вызывает представленная схема? Указать ошибки в обозначениях по ГОСТ.



14. Какие последствия для пуска электродвигателя вызовет представленная ниже схема управления? Указать ошибки в обозначении по ГОСТ.



15. Номинальный ток нагревательного элемента теплового реле $I_{нэ} = 8A$, ток установки $9A$, а ток нагрузки электродвигателя $I_{дв} = 11A$. Сработает ли тепловая защита?

16. Преимущества асинхронных двигателей с фазным ротором по сравнению с двигателями с короткозамкнутыми роторами.

17. Достоинства и недостатки трехфазных асинхронных двигателей.

18. Отличительные особенности электродвигателей серии АО, АО-2; 4А и АИР.

19. Виды запуска асинхронных двигателей в зависимости от нагрузочных элементов механизма.

20. Назначение естественной механической характеристики электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

21. Отличительная особенность двигателей сельскохозяйственного назначения.

22. Объясните показания приборов PV и PX в данной работе.

23. Определите величину электромагнитной защиты для данного двигателя и место ее установки.

24. Формула определения электрической мощности трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором.

25. Написать формулу определения механической мощности трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Лабораторная работа №5

Динамическое торможение асинхронного двигателя

Цель работы: изучить принцип динамического торможения и его принципиальную схему управления асинхронным двигателем.

Краткая теория

Динамическое торможение асинхронного двигателя является наиболее эффективным способом по сравнению с другими методами торможения. Применяется в двигателях переменного тока средней и повышенной мощности. Динамическое торможение осуществляется воздействием постоянного магнитного поля на вращающийся ротор двигателя для уменьшения его кинетической энергии в переходном процессе после отключения двигателя от сети. Широко применяется в грузоподъемных механизмах, в металлообрабатывающих и деревообрабатывающих станках и в приводах экстренного торможения. Динамическое торможение не имеет механических трущихся частей, что является его большим преимуществом.

Для станочного парка двигателей останов происходит за 3÷5 секунд и может регулироваться на крановых двигателях повышенной мощности. Принцип динамического торможения представлен на рис.5.1, схема которого показана в однолинейном варианте.

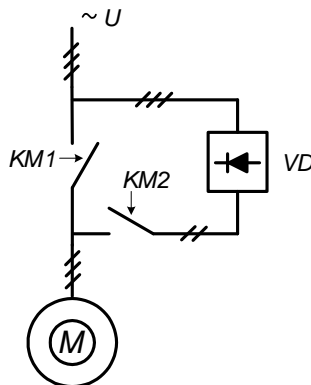


Рис.5.1. Блок-схема динамического торможения

Она состоит из силовых контактов пускателя двигателя $KM1$, силовых контактов пускателя динамического торможения $KM2$ и выпрямителя VD с управлением длительности торможения. При *отключении* двигателя контакты $KM1$ отключаются, *автоматически включается* динамическое торможение контактами $KM2$ и состояние управления изменяется от точки A до точки B , рис.5.2.

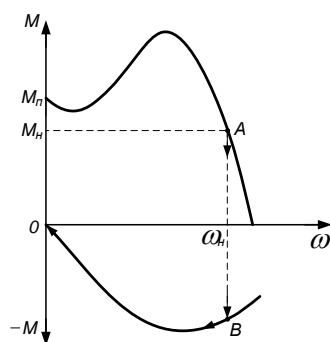


Рис.5.2. Характеристика динамического торможения АД

На любые две фазовые обмотки статора подается *постоянное напряжение* и под воздействием проходящего тока создается *постоянное* магнитное поле в статоре машины. На ротор, продолжающийся вращаться под воздействием приложенной кинетической энергии по инерции при появлении постоянного магнита в статоре, воздействуют силы притяжения, что вызывает торможение якоря за *время переходного состояния* до его остановки. И силовые контакты *динамического торможения* *автоматически отключают* подачу постоянного напряжения в статор. Длительность переходного состояния регулируется корректирующим звеном RC , рис.5.3. Схема динамического торможения выполняется на типовых релейных или полупроводниковых элементах.

Выполнение работы

Исходными данными является наличие типовых элементов привода для нереверсивного пуска асинхронного двигателя в работу, его отключения и испытания динамического торможения.

- Изучить принцип динамического торможения АД.
- Начертить в тетради представленную электрическую схему на рис.5.3.
- Подготовить таблицу 5.1 по использованию элементов в схеме.

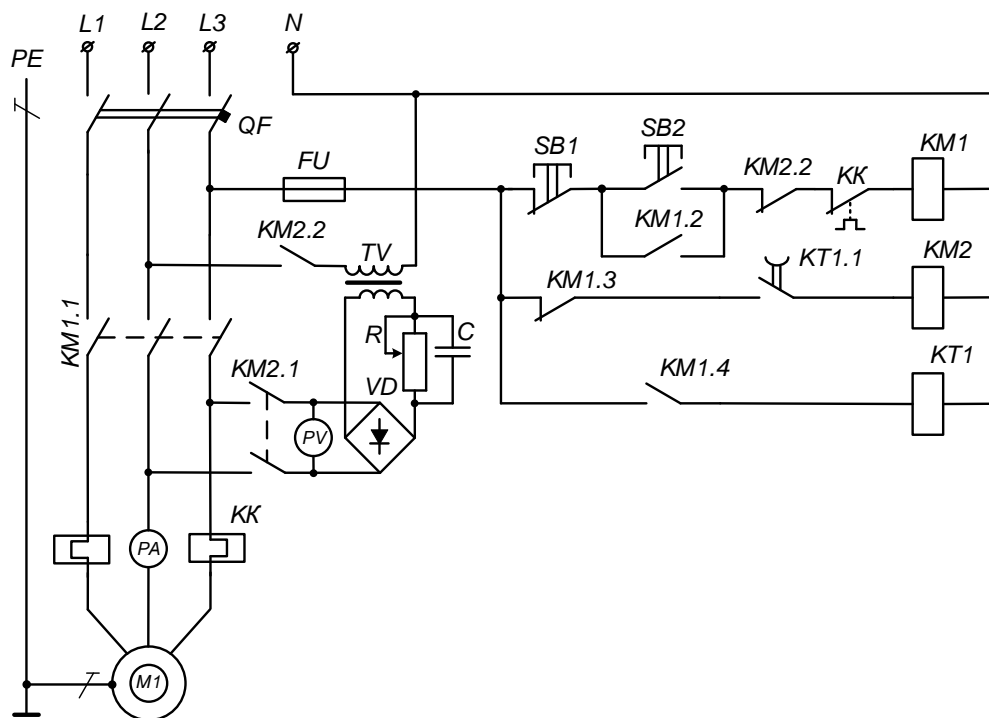


Рис.5.3. Нереверсивная схема АД с динамическим торможением

Таблица 5.1

Типовые элементы привода

№ п/п	Наименование электротехнических устройств	Условное обозначение на схеме	Технические данные	Кол-во
1.	Трёхфазный двигатель			
2.	Автоматический выключатель			
3.	Магнитный пускатель			
4.	Тепловое реле			
5.	Плавкий предохранитель			
6.	Кнопочная станция			
7.	Трансформатор			
8.	Выпрямитель			
9.	Реле времени			
10.	Резистор			

- Произвести монтаж электрической схемы АД (см. введение, монтаж электрических цепей) со схемой динамического торможения по рис.5.3.

- Подготовить таблицу 5.2 по исследованию торможения АД.

Таблица 5.2

Измерение тормозных токов

№ п/п	Приборы	Тип	$I_{п. А}$	$I_{н. А}$	Торможение $t = 1сек$		Торможение $t = 3сек$		Торможение $t = 5сек$		Время останова сек
					$I (A)$	$V (B)$	$I (A)$	$V (B)$	$I (A)$	$V (B)$	
1.											
2.											
3.											

- Установите максимальное сопротивление на резисторе R .
- Проверьте монтаж схемы и получите разрешение от преподавателя на запуск двигателя.

- Приготовьте секундомер, запустите двигатель и замерьте пусковые и номинальные токи двигателя.

- Определите режим пуска и время торможения после отключения двигателя.

- Поставьте потенциометр R в среднее положение и повторите измерения. Если торможение превысит $5сек$, то уменьшите сопротивление R и повторите измерение.

- Добейтесь регулировкой потенциометра R останова двигателя за $3÷4 сек$ и запишите показания приборов в таблицу 5.2.

- Отключите двигатель, заполните таблицы 5.1 и 5.2 и постройте зависимость динамического торможения в функции времени по трем точкам $I_{ТОРМ} = f(t)$ в соответствии с рис.5.2.

- По окончании работы с разрешения преподавателя разобрать монтаж схемы и упаковать проводники.

Ваши выводы изложить в письменном виде.

Контрольные вопросы

1. Назначение торможения электрических машин и принцип действия электродинамического торможения.
2. Назначение выпрямителя в указанной схеме. Какие типы выпрямителей вы знаете.
3. Покажите на схеме порядок срабатывания элементов привода динамического торможения.
4. Прочитайте электрическую схему по запуску двигателя и режиму динамического торможения.
5. Регулировка длительности динамического торможения.
6. Применение динамического торможения.
7. Какова точность останова динамического торможения.
8. Преимущества и недостатки динамического торможения двигателей.
9. Постройте механическую характеристику динамического торможения асинхронного двигателя.
10. От чего зависит время динамического торможения?
11. Виды выпрямителей, используемые при динамическом торможении.
12. Как правильно выбрать реле времени при динамическом торможении?
13. Начертите схему управления динамическим торможением.
14. Объясните назначение конденсатора С.
15. На каких рабочих механизмах выполняется динамическое торможение?

Лабораторная работа №6

Реверсивный электропривод асинхронного двигателя

Цель работы: закрепить навыки по сборке электрической схемы реверсивного электропривода и провести его испытание.

Краткая теория

Исходя из производственных условий, электрические схемы реверсивного электропривода часто применяются в транспортных и грузоподъемных механизмах. Как правило, сборку элементов привода ведут по монтажным схемам, широко применяется табличный метод по обозначенной маркировке электрических цепей. Однако для простых схем лучшее представление дает монтаж электрической схемы по *принципиальной электрической схеме*, при использовании которой допускается меньше ошибок.

Классическая схема реверсивного электропривода представлена на рис.6.1. Схема предусматривает ручное управление реверсивным электрическим приводом.

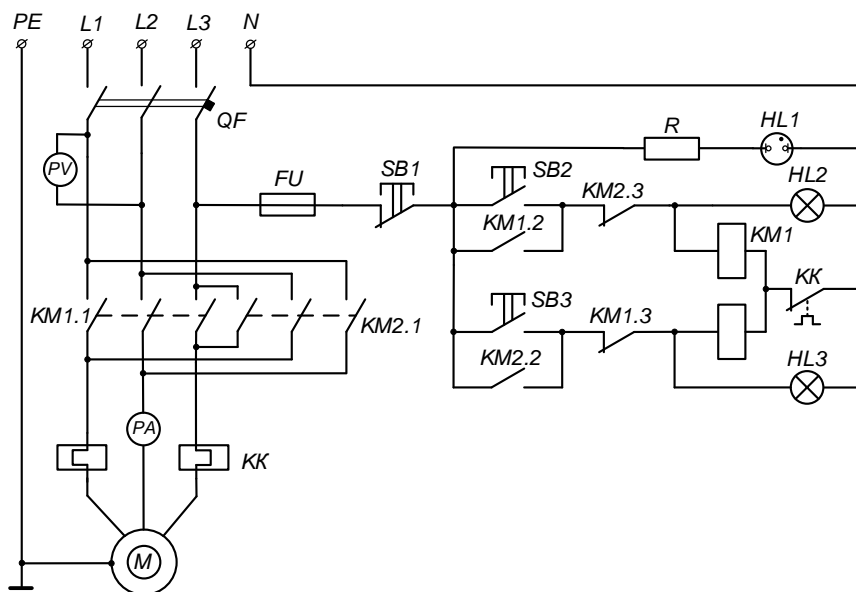


Рис.6.1. Принципиальная электрическая схема реверсивного электропривода

В качестве защитных средств применяются: предохранитель FU , автоматический выключатель QF , тепловое реле KK . Для контроля подачи напряжения используется сигнальная аппаратура $HL1, R$.

В агропромышленном комплексе в асинхронных двигателях при реверсировании широко используются следующие способы торможения: электромагнитный (прижимными колodками), электрогидравлический, динамический.

Выполнение работы

Исходным данным является асинхронный трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором, которому необходимо создать реверсивный привод вращения в ту или другую сторону по технологическим условиям.

Запуск двигателя предусматривается с соблюдением средств защиты силовых цепей и цепей управления. Обратить внимание на сигнализацию подачи напряжения в схему управления и выполнение функций: включение в сеть, прямой пуск двигателя, измерение пускового и номинального токов, реверсирование двигателя и определение режимов пуска, формулы (4.10)÷(4.13). Ознакомиться с принципиальной схемой рис. 6.1 и начертить ее в тетради.

- Произвести монтаж по участкам электрических цепей реверсивного электропривода (введение, монтаж электрических цепей).

- Обратить внимание на монтаж кнопочного поста ($SB1, SB2, SB3$), с которого должно выходить только 4 проводника.

- Заготовить таблицы 6.1. и 6.2.

Таблица 6.1

Данные приборов и их показания

№ п/п	Наименование прибора	Тип	Обозначение на схеме	U, B	I_n, A	I_n, A	Кратность пуска k	Режим пуска
1.								
2.								
3.								
4.								

- Проверить правильность фазовой сборки силовой схемы и однофазовой сборки цепи управления с прохождением через нагрузку.

Таблица 6.2

Спецификации электрооборудования

№ п/п	Наименование электротехнических устройств	Условное обозначение	Технические данные	Кол-во
1.	Трехфазный двигатель			
2.	Автоматический выключатель			
3.	Магнитный пускатель			
4.	Тепловое реле			
5.	Плавкий предохранитель			
6.	Кнопочная станция			
7.	Индикаторная лампа			
8.	Сигнальная лампа			

- Получить разрешения у преподавателя и произвести запуск двигателя в одном из направлений. Зарегистрировать пусковые и номинальные токи.

- Выключить двигатель кнопкой «Стоп» *SBI* до полного останова якоря.

- Повторить включение в реверсивную сторону и повторно снять показания измерительных приборов.

- Обратить внимание на сигнализацию при включении двигателя в одну и в другую сторону.

- Сравнить показания с предыдущими значениями.

- Данные представить преподавателю и получить разрешение на разборку схемы.

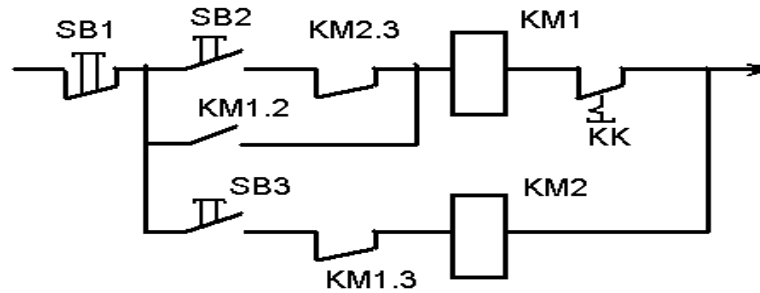
- Укомплектовать снятые проводники, исправные уложить в отведенное место, неисправные подготовить к ремонту.

Ваши выводы изложить в письменном виде.

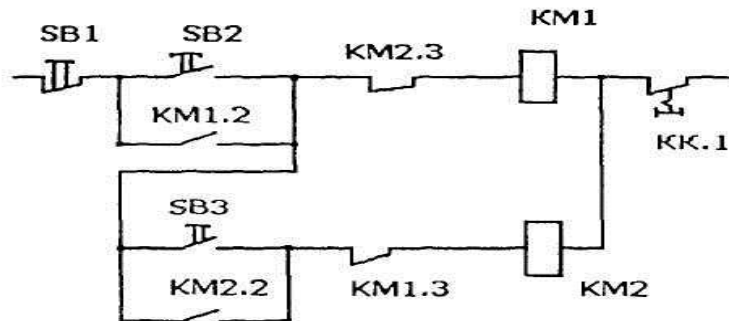
Контрольные вопросы

1. Привести примеры использования реверсивного электропривода.
2. Объяснить назначение блок - контактов магнитных пускателей *KM1* и *KM2* (*KM1.2*; *KM1.3*; *KM 2.2*; *KM 2.3*).

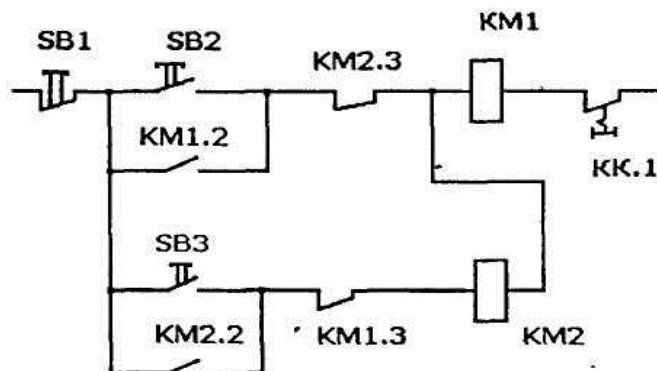
3. Объяснить принцип реверса асинхронного электродвигателя.
4. Назначение предохранителя *FU*.
5. Объясните ошибки в изображении на представленной схеме:



6. Укажите ошибки в схеме и возможность реверсивного запуска.



7. Способна ли следующая схема работать с реверсом? Имеются ли в схеме ошибки?



8. Укажите на вышеприведенной схеме обозначение элементов с нарушением ЕСКД ГОСТ.
9. Определить полную S ; активную P и реактивную Q мощности по показаниям амперметра и вольтметра.
10. Определить способ пуска данного асинхронного двигателя.
11. Какое управление схемы реверсивного привода в проведенной вами работе?
12. Защита технологического оборудования в реверсивном приводе.

13. Назначение путевых выключателей в реверсивном приводе.
14. Назначение конечных выключателей в реверсивной схеме привода.
15. Условное и графическое обозначение путевого выключателя и его принцип работы.
16. Какие виды торможения применимы для двигателя с фазным ротором?
17. Объясните принцип работы динамического торможения двигателя.
18. Начертите электрическую схему динамического торможения.
19. Начертите электрическую схему электромагнитного торможения.
20. Объясните принцип работы электрогидравлического торможения.
21. Возможно ли затормозить двигатель противоположным включением ротора?
22. Отличие магнитных пускателей от контакторов.

Лабораторная работа №7

Исследование АД с короткозамкнутым ротором под нагрузкой

Цель работы: усвоение методики построения механической и электромеханической характеристик трехфазного асинхронного электродвигателя и его исследование под нагрузкой.

Краткая теория

Механическая характеристика электродвигателя представляет собой зависимость вращающего момента от круговой скорости ротора двигателя (скольжения) (лаб. раб. №4). Построение механической характеристики асинхронного двигателя можно провести по экспериментальным данным проведенных испытаний.

Электромеханическая характеристика – это зависимость тока статора двигателя от круговой скорости вращения ротора двигателя, т.е. $I_{ст} = f(\omega)$. Номинальный режим асинхронного двигателя соответствует данным, указанным на его щитке или в паспорте. Асинхронный двигатель в отношении нагрева и по своим параметрам (напряжению, току статора, мощности, вращающему моменту, коэффициенту полезного действия, коэффициенту мощности, электрической прочности и ряду других показателей) должен удовлетворять требованиям ГОСТ.

Крутящий момент электродвигателя, развиваемый на его валу, зависит от мощности и круговой скорости ротора, определяемый из формулы (4.8):

$$M_{дв} = \frac{P_{дв}}{\omega_{дв}}; \quad (7.1)$$

где $P_{дв} = \sqrt{3}U_{лн}I_{н} \cos\varphi \eta$ – мощность на валу двигателя, [Вт],

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{2\pi n}{p} = \frac{\pi n}{30} \text{ – круговая скорость ротора, [рад/сек],}$$

$n = 2,4 \cdot X$ [об/мин] – обороты вращения мотор-генератора,

X – показания тахометра в делениях,

2,4 – поправочный коэффициент передачи.

По показаниям приборов определяется мощность генератора:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2, [Вт].$$

Одним из важных параметров асинхронного двигателя является скольжение, которое характеризуется отличием круговых скоростей вращающегося магнитного поля в статоре двигателя относительно ротора и определяется по формулам:

$$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega} = \frac{n_0 - n}{n};$$

где ω_0 и n_0 – круговая скорость поля статора и его обороты вращения,

ω и n – круговая скорость ротора и его обороты вращения.

При подведении трехфазного напряжения к обмотке статора в асинхронном двигателе образуется магнитное поле, вращающееся с круговой скоростью или числом оборотов

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} \text{ [рад/с]}, \text{ или } n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ [об/мин]}; \quad (7.2)$$

где $f = 50$ Гц – частота тока статора,

p – число пар полюсов двигателя.

Выполнение работы

Исходные данные – асинхронный двигатель, нагрузкой которого является генератор постоянного тока.

- Изучить номинальные паспортные данные электродвигателя, полученные от преподавателя и записать их в таб.7.1.

Паспортные данные электродвигателей

Тип двигателя	n_0 об/мин.	n_H об/мин.	P_H кВт	I_H А	I_n / I_H	M_n / M_H	M_{min} / M_H	$M_{кр} / M_H$
4А63В2У3								
П-.....								

- По каталожным данным построить механическую характеристику электродвигателя $M = f(\omega)$.
- Разобраться с принципом работы МПТ в генераторном режиме, которая используется в качестве нагрузки асинхронного двигателя.
- Начертить в тетради принципиальную электрическую схему исследования трехфазного асинхронного двигателя с нагрузочным генератором, рис. 7.1.

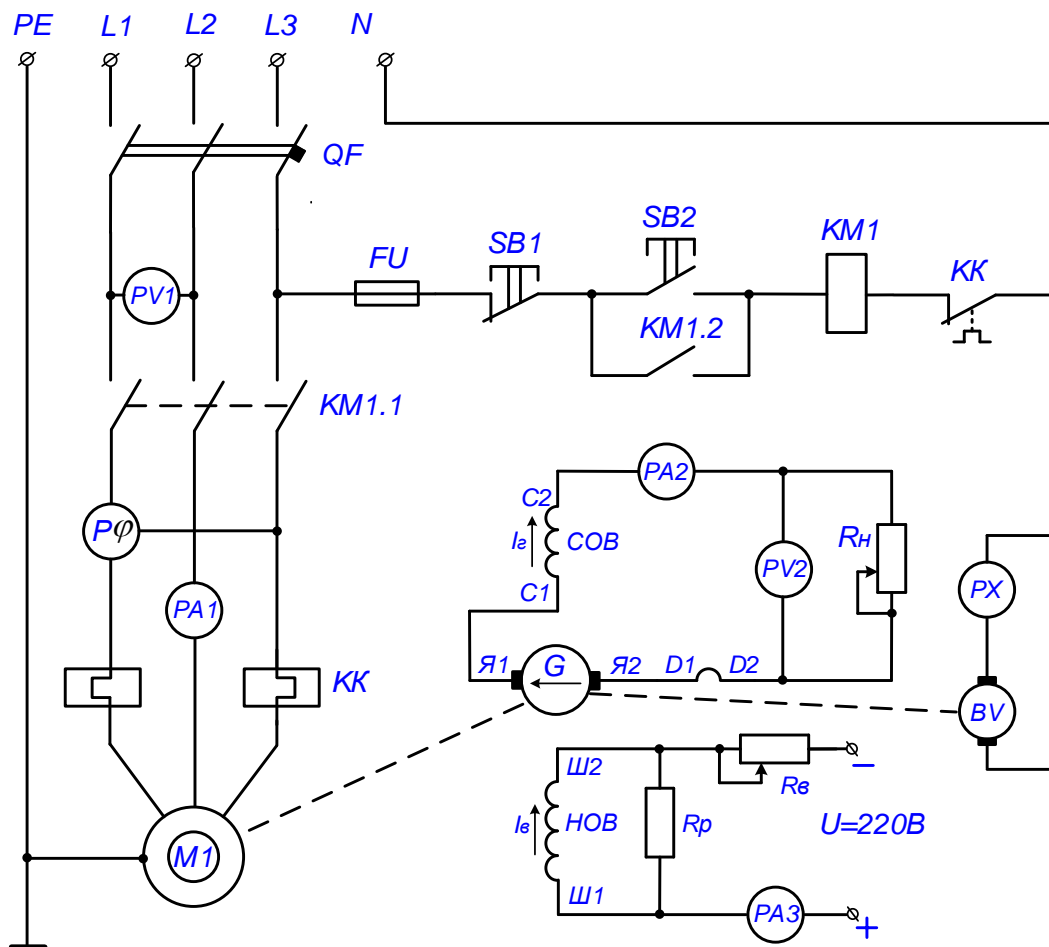


Рис.7.1. Принципиальная электрическая схема исследования

- Произвести монтаж электрической схемы на испытательном стенде по рис.7.1 (введение, монтаж электрических схем).
- Установить резисторы R_p , R_v и R_n на наибольшее сопротивление (рис.7.1).
- Подготовить в тетради таблицу 7.2 по результатам экспериментальных данных электродвигателя.
- Подготовить таблицу 7.3 технических данных электроизмерительных приборов участвующих в эксперименте.
- Получить от преподавателя допуск к исследованиям, произвести пуск электропривода и, используя регулировку резисторов R_p , R_v и R_n , записать показания электроизмерительных приборов при различных нагрузках в таблицу 7.2.

Таблица 7.2

Результаты экспериментальных и расчетных данных

Измерено					Вычислено					
U_c , В	I_c , А	$\cos \varphi$	$X_{Г-2,4}$, об/м. → 1/с.	U_2 , В	I_2 , А	$P_{дв}$, Вт	P_2 , Вт	S	$M_{дв}$, н·м	ω , 1/сек

Таблица 7.3

Спецификация электроизмерительных приборов

№ п/п	Наименование приборов	Обознач. в схеме	Измер. парам.	Тип	Система	Класс точн-ти	Пределы измерен.
1	Вольтметр	$PV1$					
2	Вольтметр	$PV2$					
3	Амперметр	$PA1$					
4	Амперметр	$PA2$					
5	Амперметр	$PA3$					
6	Фазометр	$P\varphi$					
	Тахометр	BV - PX					

- Для построения характеристик произвести расчеты с

записью в тетради, используя необходимые формулы (4.1)÷(4.13) и (7.1), (7.2).

- Определить пусковой ток двигателя и записать в тетрадь.
- Используя результаты исследований, построить по пяти точкам механическую характеристику двигателя $M = f(\omega, S)$ и сравнить с построенной характеристикой по каталожным данным способом наложения в одинаковом масштабе.
- На исследовательской характеристике с наложением постройте электромеханическую характеристику асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором $I_{cm} = f(\omega)$ и зависимость $\cos \varphi = f(\omega)$.
- С разрешения преподавателя произвести демонтаж схемы, собрать проводники и уложить в отведенном месте.

Ваши выводы изложить в письменном виде.

Контрольные вопросы

1. Как определить частоту вращения магнитного поля статора ω_0 ?
2. Дать определение скольжению асинхронного двигателя.
3. Представить формулу для определения значений скольжения для трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.
4. Что понимается под критическим моментом асинхронного двигателя?
5. Написать и объяснить формулу для расчета вращающегося момента на валу двигателя. За счет чего он изменяется в лабораторной работе?
6. По экспериментальным данным определить номинальный момент M_n и номинальный ток I_n АД.
7. Какую полезную информацию о свойствах электродвигателя можно получить при наличии механической (электромеханической) характеристики?
8. Какой из приборов лабораторного стенда имеет высокий класс

точности?

9. Объясните устройство тахогенератора.

10. Вид возбуждения двигателя постоянного тока (ДПТ) обозначенный в данной работе.

11. Перечислите виды возбуждения ДПТ.

12. Формула перевода «оборотов в минуту» в «круговую частоту».

13. Постройте механическую характеристику асинхронного двигателя

$$M = f(\omega).$$

14. В чем отличие между синхронной электромашинной и асинхронной электромашинной.

15. Представьте механическую характеристику синхронного двигателя

$$M = f(\omega).$$

16. Объясните причину появления минимального момента асинхронного электродвигателя.

17. Нарисуйте графическую зависимость электромеханической характеристики асинхронного двигателя.

18. Возможно ли включить ленточный транспортер в работу, если его статический номинальный момент, приведенный к круговой скорости ротора асинхронного двигателя, меньше на 5% пускового момента самого двигателя?

19. Объясните понятие «обратимости» электрических машин.

20. Способы запуска синхронных электродвигателей.

21. Назначение асинхронных электродвигателей с фазным ротором.

22. Способы запуска асинхронных двигателей мощностью свыше 45кВт.

Лабораторная работа №8
Построение рабочих характеристик АД
с короткозамкнутым ротором

Цель работы: усвоить методику определения энергетических показателей АД по каталожным и экспериментальным данным, зависимости КПД и $\cos \varphi$ от нагрузки на валу.

Краткая теория

Рабочими характеристиками электродвигателя называются зависимости его *основных параметров от мощности на валу* двигателя.

В данной работе под мощностью на валу двигателя понимается мощность генератора постоянного тока, являющаяся вторичной мощностью, т.е. $P_2 = P_2$. Первичной мощностью является $P_{\text{дв}} = P_1$, тогда КПД определяется

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%. \quad (8.1)$$

В общем виде энергетические показатели выражают зависимости:

$$M = f(P_2), \quad II = f(P_2), \quad \omega = f(P_2), \quad \eta = f(P_2), \quad \cos \varphi = f(P_2).$$

В процессе работы электродвигатель нагревается за счет потерь, возникающих в нем при преобразовании электрической энергии в механическую. Нагрев электродвигателей и их тепловой режим – важнейшие факторы, определяющие их предельную нагрузку. Возрастание нагрузки на валу двигателя приводит к увеличению суммарных потерь мощности ΔP , а следовательно, и к повышению нагрева. Предельно допустимая температура нагрева ограничивается качеством материала изоляции. В современных электродвигателях применение изоляционных материалов учитывается температурой эксплуатации, они подразделяются по классам: *A, E, B, F, H* и *C*, которые известны по справочникам.

Для упрощения тепловых расчетов температура окружающей среды принимается равной $+40^{\circ}\text{C}$. Следовательно, мощность двигателя, указанная на его паспортном щитке, соответствует нормированной температуре окружающей среды. В практике температура окружающей среды $t_{окр}$ может отличаться от стандартной, и в этом случае возможно, а иногда и нужно увеличивать или уменьшать нагрузку двигателя, а мощность двигателя можно рассчитать по формуле

$$P_X = P_H \sqrt{1 + \frac{\Delta t}{\tau_{\text{доп}}} \cdot (1 + \alpha)}; \quad (8.2)$$

где P_X – допустимая мощность при температуре окружающей среды, отличающаяся от стандартной,

P_H – номинальная мощность двигателя по паспорту,

Δt – величина отклонения действительной температуры от стандартной, с учетом знака $\Delta t = t_{cm} - t_{дейст}$,

$\tau_{\text{доп}}$ – допустимое превышение температуры по классу изоляции,

α – отношение постоянных потерь двигателя к переменным потерям, для асинхронного двигателя $\alpha = 0,5 \div 0,7$.

Тепловым показателем работы электродвигателя является *постоянная времени нагрева*, определяется по упрощённой формуле

$$T_H = \frac{360 \cdot m \cdot \tau_{ун}}{\Delta P_H}, \quad (8.3)$$

где 360 – значение теплоемкости электродвигателя, $[\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}]$,

m – масса электродвигателя, $[\text{кг}]$,

$\tau_{ун}$ – установившееся предельно-допустимое превышение температуры электродвигателя при номинальной нагрузке, $[^{\circ}\text{C}]$,

$$\tau_{ун} = (\tau_{пред} - 10^\circ C) - \tau_{ос}, \quad (8.4)$$

$\tau_{пред}$ – предельно-допустимая температура изоляции обмоток статора двигателя, [$^\circ C$],

$\tau_{ос}$ – температура окружающей среды, принята $40^\circ C$,

ΔP_H – номинальные потери мощности двигателя, расходуемые на нагрев, [$Вт$]

$$\Delta P_H = P_H \cdot (1 - \eta_n) / \eta_n, \quad (8.5)$$

η_n – номинальный КПД двигателя.

Незначительное превышение температуры обмоток двигателя сверхдопустимой резко сокращает его срок службы из-за старения изоляции и зависит от нагрузки рабочей машины в функции времени, которая определяет режим работы электропривода. Для АПК из существующих режимов наиболее существенными рассматриваются виды: $S1$; $S2$; $S3$.

Режим $S1$ подразделяется для постоянной или переменной нагрузки:

- для постоянной нагрузки

$$P_{дв} = 1,25 \cdot P_{рм} / \eta_{рм}; \quad (8.6)$$

где $P_{рм}$ – мощность рабочего механизма, [$Вт$],

$\eta_{рм}$ – КПД рабочего механизма,

- для переменной нагрузки

$$P_{экв} = \sqrt{\frac{\sum_1^n P^2 t}{\sum_1^n t}}; \quad (8.7)$$

где $P_{экв}$ – эквивалентная мощность двигателя, [$Вт$],

$\sum_1^n P^2 t$ – сумма квадрата переменных нагрузок от «1» до

«n» на время их воздействия,

$\sum_1^n t$ – сумма общего времени воздействия нагрузок от

«1» до «n».

Режим $S2$ - для кратковременной нагрузки, т.е. двигатель

работает с перерывами с разными нагрузками

$$P_{экв} = \sqrt{\frac{\sum_1^n P_{рм}^2 \cdot t_p}{\sum_1^n t_p + \sum_1^{n-1} t_n}}; \quad (8.8)$$

где $P_{рм}$ – кратковременная нагрузка рабочего механизма (под знаком

радикала в квадрате от «1» до «n»),

t_p – продолжительность кратковременной нагрузки, [мин], которая рассчитывается по времени на 10, 15, 30, 60, 90 и 120 мин.

t_n – продолжительность паузы (под знаком радикала от «1» до «n-1»).

Режим S3 – для повторно-кратковременной нагрузки, т.е. двигатель, работает кратковременно с одинаковой нагрузкой:

$$P_{дв} \geq P_{рм} \sqrt{\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{ст}}}; \quad (8.9)$$

где ε_p – расчетная относительная продолжительность включения;

$$\varepsilon_p = \frac{t_p}{t_p + t_n} 100\%; \quad (8.10)$$

$t_p + t_n = t_{ц}$ – время цикла повторно-кратковременного режима (работы плюс паузы), не превышающее 10 мин.

По ГОСТ относительные продолжительности включения $\varepsilon_{ст}$ составляют 15, 25, 30, 60%. Если величина ε_p совпадает со стандартной $\varepsilon_{ст}$, то двигатель выбирают по мощности, равной мощности рабочего механизма. Если величина ε_p не совпадает, то номинальную мощность двигателя определяют по формуле (8.9) при округлении ε_p в большую сторону до стандартной $\varepsilon_{ст}$.

При значительном несовпадении ε_p и превышении на 60% мощность двигателя определяют по формуле:

$$P_{дв} \geq P_{рм} \sqrt{\varepsilon_p}. \quad (8.11)$$

На рис.8.1 показаны режимы работы двигателей с представлением постоянных времени нагрева в допустимых пределах.

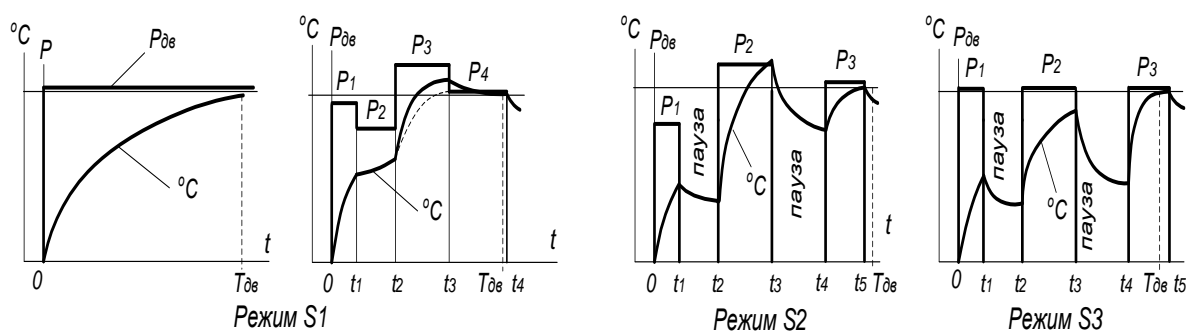


Рис.8.1 Нагрузочные режимы работы электродвигателей

Для правильно подобранного электродвигателя, постоянная времени нагрева составляет $T_H = 22 \div 28$ мин.

Выполнение работы

Исходным данным для исследования энергетических показателей асинхронного двигателя является наличие в качестве нагрузки генератора постоянного тока (ГПТ) как вторичного источника электрической энергии.

Результаты получения экспериментальных данных двигателя будут зависеть от нагрузки генератора, которой является R_H на рис.8.2.

- Изучите электрическую схему рис.8.2 лабораторной установки для определения экспериментальных рабочих характеристик трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

- Начертить электрическую схему лабораторной установки рис.8.2.

- Используя формулы (8.1)÷(8.11), произвести необходимые вычисления с записью в рабочей тетради.
- Построить рабочие характеристики:
 $M = f(P_2)$, $I_1 = f(P_2)$, $\omega = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$, $\cos \varphi = f(P_2)$.
- По результатам анализа характеристик определить величины:
 $P_1 = \sqrt{3} \cdot U_c \cdot I_1 \cdot \cos \varphi$; $P_2 = U_2 \cdot I_2$.
- Определить потери мощности электродвигателя $\Delta P_H = P_1 - P_2$.
- Определить режимы прямого пуска и записать в тетради.
- Результаты представить преподавателю, получить разрешение на демонтаж электрической схемы.
- Проводники укомплектовать и уложить в отведенное место.

Ваши выводы изложить в письменном виде.

Контрольные вопросы

1. Перечислить зависимости, которые определяют рабочие характеристики асинхронного двигателя.
2. Чем рабочие характеристики отличаются от механических и электромеханических характеристик?
3. Найти на рабочих характеристиках критические точки.
4. Как по рабочим характеристикам найти номинальный режим работы асинхронного двигателя?
5. Объяснить назначение и обозначение электроизмерительных приборов, которые применяются в данной лабораторной работе.
6. Постоянная времени нагрева электродвигателя и ее физический смысл.
7. Способы повышения $\cos \varphi$.
8. Определить мощность двигателя для рабочей машины $P_{PM} = 5 \text{ кВт}$ с учетом температуры окружающей среды $\pm 50^\circ \text{C}$.
9. Выразить графическую зависимость постоянной времени нагрева двигателя в номинальном режиме.
10. Как выглядит рабочая характеристика $\omega = f(P_2)$.
11. Выразить графическую зависимость постоянной времени перегрева двигателя и способы ее понижения.

12. Как выглядит рабочая характеристика $M = f(P_2)$.
13. Выразить графическую зависимость постоянной времени недогрева двигателя. Последствия.
14. Выразить рабочую характеристику $I_1 = f(P_2)$.
15. Нарисовать работу электродвигателя в режиме $S1$.
16. Как выглядит рабочая характеристика $\eta = f(P_2)$.
17. Нарисовать работу электродвигателя в режиме $S2$.
18. Как выглядит рабочая характеристика $\cos \varphi = f(P_2)$.
19. Нарисовать работу электродвигателя в режиме $S3$.
20. Потеря мощности электродвигателя и ее определение.
21. Чему равны электрические мощности асинхронного двигателя и генератора МПТ?
22. Классы изоляции обмоток электродвигателей.
23. Механические мощности асинхронного двигателя и генератора МПТ.
24. Нарисовать схему МПТ с параллельным возбуждением и его механическую характеристику.
25. Как производится запуск синхронного двигателя?

Лабораторная работа №9

Исследование характеристик холостого хода генератора ПТ

Цель работы: изучить влияние тока возбуждения и круговой скорости генератора ПТ смешанного возбуждения на величину ЭДС генератора.

Краткая теория

Конструктивно МПТ состоят из неподвижной части – статора (индуктора), предназначенного для создания магнитного потока, и вращающейся части – якоря, в котором индуктируется ЭДС, если машина работает как генератор. Кроме основных полюсов, на статоре устанавливают добавочные полюса для уменьшения искрения щеток на коллекторе и компенсационных обмоток для снижения реакции якоря.

По способу возбуждения машины постоянного тока бывают с *независимой обмоткой возбуждения (НОВ)* и с *самовозбуждением (СОВ)*. В генераторах с независимым возбуждением обмотка статора получает питание *от постороннего источника* тока – аккумулятора, выпрямителя, отдельного генератора постоянного тока. *Ток возбуждения* в этом случае *не зависит* от тока нагрузки и напряжения на обмотке якоря. Генераторы с независимым возбуждением позволяют *плавно и в широких пределах регулировать напряжение, изменять силу тока возбуждения и скорость вращения*. Но они требуют отдельного источника возбуждения постоянного тока.

В генераторах без отдельного источника возбуждения происходит *процесс самовозбуждения*. Магнитная система статора сохраняет поток остаточного магнетизма, не превышающий 3% полного потока. Под действием остаточного магнитного потока статора в обмотке вращающегося якоря наво-

дится малой величины ЭДС. Ток, протекающий под воздействием этой ЭДС, образует магнитное поле, совпадающее по направлению с остаточным магнитным потоком, т.е. ЭДС в обмотке нарастает до тех пор, пока не достигнет номинального для данного генератора значения. Изменяя сопротивление реостата в цепи обмотки возбуждения, регулируют ток генератора.

В соответствии со способами включения обмотки возбуждения различают генераторы: с параллельным возбуждением (шунтовые), с последовательным возбуждением (компаундные) и со смешанным возбуждением (сериесные).

Генераторы с последовательным возбуждением резко меняют напряжение с изменением нагрузки, поэтому они не нашли применения.

Генераторы со смешанным возбуждением применяют в установках с резкими и частыми колебаниями нагрузки, поскольку даже в этом режиме изменение напряжения на выходе сравнительно невелико.

Наиболее широкое распространение получили *генераторы с параллельным возбуждением*.

На рис.9.1 показаны ЭДС генератора и влияние тока возбуждения I_B на магнитный поток по петле Гистерезиса при изменении круговой скорости ротора - ω .

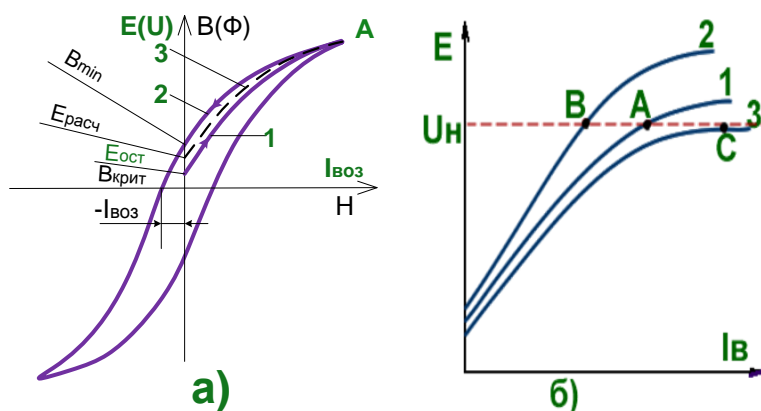


Рис.9.1. Образование ЭДС в МПТ

Для генераторов постоянного тока с самовозбуждением область намагничивания 1 и размагничивания 2 стали (рис.9.1а) находится в квадранте А петли Гистерезиса. Характеристика холостого хода (х.х.) – зависимость ЭДС генератора E_0 от тока возбуждения I_v $E_0 = f(I_v)$.

При этом номинальная круговая скорость вращения ротора $\omega = \omega_n = const$.

При других круговых скоростях ротора характеристики х.х. представлены на рис. 9.1б. Для машин нормального типа точка номинального напряжения (точка А) находится на перегибе магнитной характеристики. При превышении вращении ротора $\omega > \omega_n$ характеристика холостого хода расположится выше (кривая 2), а при снижении – $\omega < \omega_n$ (кривая 3) расположится ниже номинальной круговой скорости ротора. При изменении скорости вращения якоря, точка номинального напряжения окажется либо на линейном участке (точка В), либо на пологом участке (точка С). А это вызывает изменение всех характеристик генератора. Следовательно, при постоянстве $\omega_n = const$ для МПТ ЭДС генератора определяется магнитным потоком Φ :

$$E_g = C\omega\Phi; \quad (9.1)$$

где C – конструктивный параметр МПТ,

ω – круговая скорость якоря (для АД ω_n),

Φ – магнитный поток в статоре МПТ, как зависимость от токов возбуждения I_v .

С учетом формулы (9.1) определяются уравнения машин ПТ:

✓ для генератора постоянного тока

$$E = C\omega\Phi - I \cdot R_{я} = E_g - I \cdot R_{я}; \quad (9.2)$$

где $M_{эм}$ – тормозной электромагнитный момент,
 $M_{эм} = C I \Phi$, (9.3)

I – ток в якоре,
 $E = U$ – напряжение потребителей,
✓ для двигателя постоянного тока
 $U = C \omega \Phi + I R_{я} = E_{г} + I \cdot R_{я}$; (9.4)

где $M_{эм}$ – вращающий электромагнитный момент,
 U – напряжение, потребляемое двигателем,
 ω – круговая скорость двигателя из формул (9.1) и (9.4)

$$\omega = \frac{U - I R_{я}}{C \Phi}; \quad (9.5)$$

где $C = \frac{n r}{a \tau}$,

n – общее число проводников в якоре,
 r – средний радиус ротора по уложенным в пазах проводникам,
 a – общее число проводников в якоре,
 τ – полюсное деление.

Выполнение работы

Исходными данными является принципиальная электрическая схема электропривода мотор-генератора ПТ для определения характера влияния тока возбуждения и круговой скорости якоря.

Изучить электрическую схему установки и начертить принципиальную электрическую схему рис.9.2 в тетради

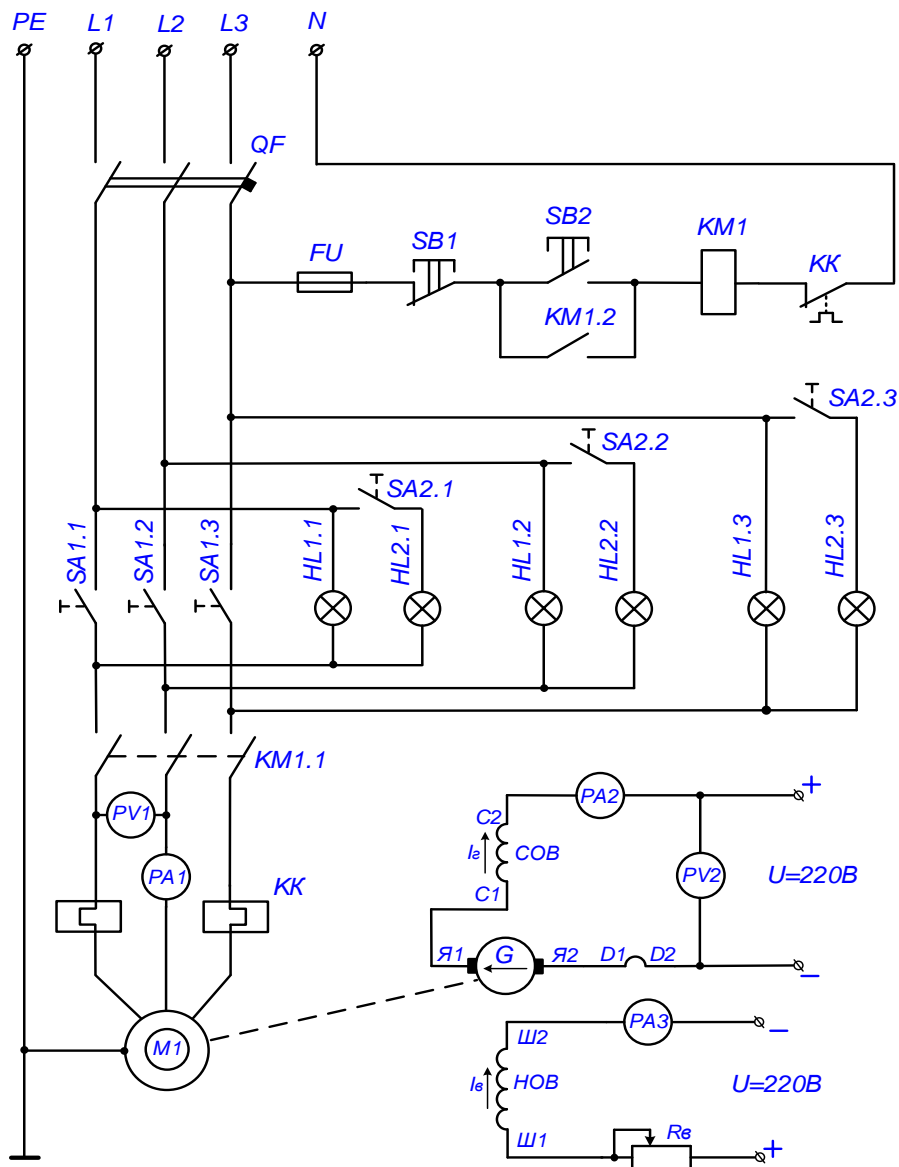


Рис. 9.2. Электрическая схема снятия характеристики х.х. генератора ПТ

- С разрешения преподавателя произвести монтаж *групповым соединением элементов* по всем участкам потенциальных цепей (введение, монтаж электрической цепи).
- Зашунтировать электрические лампочки в цепи статора асинхронного двигателя SA1, SA2 и представить смонтированную схему для проверки преподавателю.
- Оформить в тетради таблицы 9.1 и 9.2, таблицу 9.3 (с. 87).

Таблица 9.1

Спецификация электроизмерительных приборов

№ п/п	Наименов. приборов	Тип	Род тока	Обознач. на схеме	Система прибора	Класс точн.	Предел измерен.	Измеряем. параметр
1.	Вольтметр			<i>PV1</i>				
2.	Вольтметр			<i>PV2</i>				
3.	Амперметр			<i>PA1</i>				
4.	Амперметр			<i>PA2</i>				
5.	Амперметр			<i>PA3</i>				
6.	Тахометр			<i>BV-PX</i>				

Таблица 9.2

Технические данные электрооборудования

№ п/п	Наименование устройств	Условное обозначение на схеме	U_n, B	I_n, A	Технические данные	Кол-во
1.						
2.						
3.						
	÷					
10.						

• С разрешения преподавателя включить установку в сеть при выключенном возбуждении и на установившейся *номинальной круговой скорости вращения* якоря предварительно записать показания электроизмерительных приборов в таблицу 9.3.

• Измерить ЭДС генератора $E_{ост}$ при $I_{603} = 0$, (возбуждение отключено) прибором *PV2* (рис.9.1) и записать в таблицу 9.3 остальные показания приборов *PV1*, *PA1*, *PA2* и *PA3*.

Таблица 9.3

Результаты измерений

Показания приборов				Значения тока		Значения ЭДС
№ п/п	<i>PV1</i> <i>B</i>	<i>PA1</i> <i>A</i>	Показания тахометра $X \cdot 2,4 = \text{об/м.} \rightarrow 1/\text{сек}$	<i>PA2</i> <i>A</i>	<i>PA3</i> <i>A</i>	$E_0 = PV2$ <i>B</i>
1.						
2.						
3.						
÷						
10						

- Реостатом R_b (рис 9.2) постепенно увеличивают ток возбуждения I_b до величины, при которой ЭДС генератора достигнет значения

$E = 1,15U_n$. При этом через приблизительно равные интервалы ЭДС снимают показания приборов и заносят их в таблицу 9.3. Так получают данные для построения восходящей (намагничивающей) ветви характеристики х.х. (рис.9.1а).

- С помощью выключателей $SA1$, $SA2$ и ламп $HL1$ и $HL2$ уменьшить напряжение асинхронного двигателя и частоту вращения, данные приборов записать в таблицу 9.3.

- При показаниях тока на приборах $A2 = A3$ произвести измерения на остальных приборах с записью в таблице 9.3.

- На основании данных испытаний (таб.9.3.) построить характеристику холостого хода генератора $E_o = f(I_b)$.

- Выключить установку и разобрать электрическую схему с разрешения преподавателя. Проводники укомплектовать и уложить на место.

Ваши выводы изложить в письменном виде.

Контрольные вопросы

1. Характеристика холостого хода генератора. Какую информацию она дает?
2. Какова связь между магнитным потоком Φ и током возбуждения I_b , объяснить их влияние на характеристику холостого хода?
3. Показать характеристику холостого хода генератора при изменении скорости вращения.
4. Что такое петля Гистерезиса, какие зависимости она представляет?
5. Что понимается под обозначением *НОВ* на рис.9.2?
6. Назначение тока возбуждения, с какими обмотками он связан.
7. Что понимается под обозначением *СОВ* на рис.9.2?
8. Объясните назначение дополнительной обмотки в МПТ.
9. Объясните назначение компенсационной обмотки в МПТ.
10. Нарисуйте характеристику $E_o = f(I_b)$ для генератора с независимым возбуждением.
11. По принципиальной электрической схеме установки объяс-

нить порядок исследования характеристики холостого хода.

12. Почему происходит снижение скорости вращения генератора при включении ламп накаливания?

13. Принцип действия приборов магнитоэлектрической системы и области их применения.

14. Формула для определения ЭДС генератора постоянного тока.

15. Коллекторные электрические машины и области их применения.

16. Принцип устройства электромашинного усилителя.

17. Как повысить к.п.д. генератора постоянного тока?

18. Способен ли генератор постоянного тока выдать напряжение инфранизкой частоты переменного тока около 1 Гц ?

Лабораторная работа №10

Исследование внешних характеристик генератора ПТ

Цель работы: изучить методы поддержания заданного напряжения генератора при изменении его нагрузки в различных способах включения последовательной обмотки возбуждения.

Краткая теория

Внешняя характеристика генератора представляет собой зависимость напряжения на выходе генератора от тока нагрузки $U = f(I)$ при $\omega = \omega_n = const$ и неизменном токе возбуждения $I_e = const$.

Машины постоянного тока обратимы. Если к коллектору МПТ подать напряжение от внешнего источника напряжения, то машина будет работать в режиме электродвигателя и преобразовывает электрическую энергию в механическую. Однако в конструкции двигателей имеются некоторые отличия от конструкции генераторов. Кроме того, номинальные напряжения двигателей и генераторов неодинаковы. Некоторые различия имеются в схемах включения этих машин. Двигатели мощностью более $1кВт$ включают в электрическую сеть при помощи пусковых реостатов, которые ограничивают пусковой ток и позволяют плавно разогнать установку, состоящую из рабочей машины и двигателя.

Обмотки, как генератора, так и двигателя присоединяют к клеммам на их щитках. Обмотки обозначаются следующим образом: $Я1, Я2$ – обмотки якоря; $Ш1, Ш2$ – шунтовая обмотка возбуждения; $С1, С2$ – серийная обмотка возбуждения; $К$ – компенсационная обмотка.

Для обеспечения плавного процесса пуска вначале пусковой реостат вводят полностью, а затем, по мере разбега, его сопротивление постепенно уменьшают.

Включение независимой обмотки возбуждения и последовательной, как показано на рис.10.1 называют *серийным включением* обмоток возбуждения (COB).

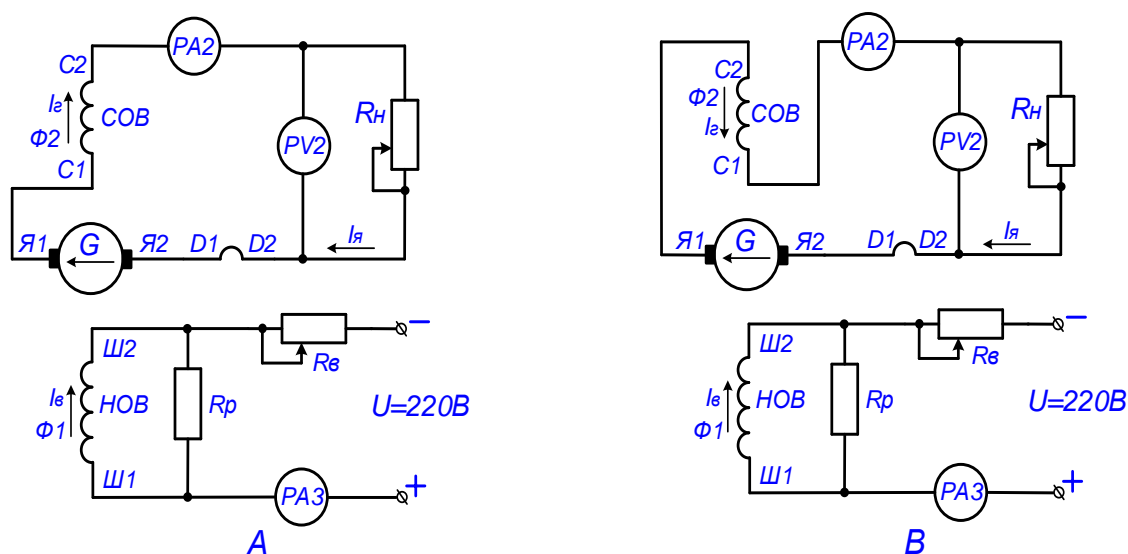


Рис.10.1. Серийное возбуждение обмоток МПТ

На рис.10.1А - согласное включение потоков (Φ) в обмотках *НОВ*, *СОВ*.

На рис.10.1В - встречное включение потоков (Φ) в обмотках *НОВ*, *СОВ*.

У двигателей с *параллельным возбуждением* скорость вращения изменяется незначительно от нагрузки, и, кроме того, такие двигатели обладают высокой перегрузочной способностью и широким диапазоном регулирования скорости. Скорость регулируют, изменяя ток возбуждения. Этот способ наиболее широко применяется. Регулирование скорости также производят изменением величины подводимого напряжения и сопротивления пускового реостата.

Двигатели с *последовательным возбуждением* при пуске развивают значительный пусковой момент, но *при малой нагрузке ниже 20 ÷ 25% номинальной, происходит недопустимое увеличение скорости $\omega \rightarrow \infty$* , что может привести к выходу из строя подшипников и *повреждению обмоток статора и якоря*. Работа на холостом ходу тем более недопустима. Такие двигатели широко применяются на транспорте и

подъемных механизмах.

Двигатель со смешанным возбуждением применяется в том случае, когда требуется большая перегрузочная способность и отсутствует опасность идти вразнос при малой нагрузке и холостом ходе. Такие двигатели используют в установках с резко изменяющейся и падающей до нуля нагрузкой (прессы, прокатные станы и т.д.).

Выполнение работы

Исходными данными является электрооборудование привода двигатель-генератор. Двигатель асинхронный, генератор – машина ПТ. Дана на рис.10.2 электрическая схема для исследования внешних характеристик генератора ПТ.

- Изучить и начертить представленную схему в рабочей тетради.

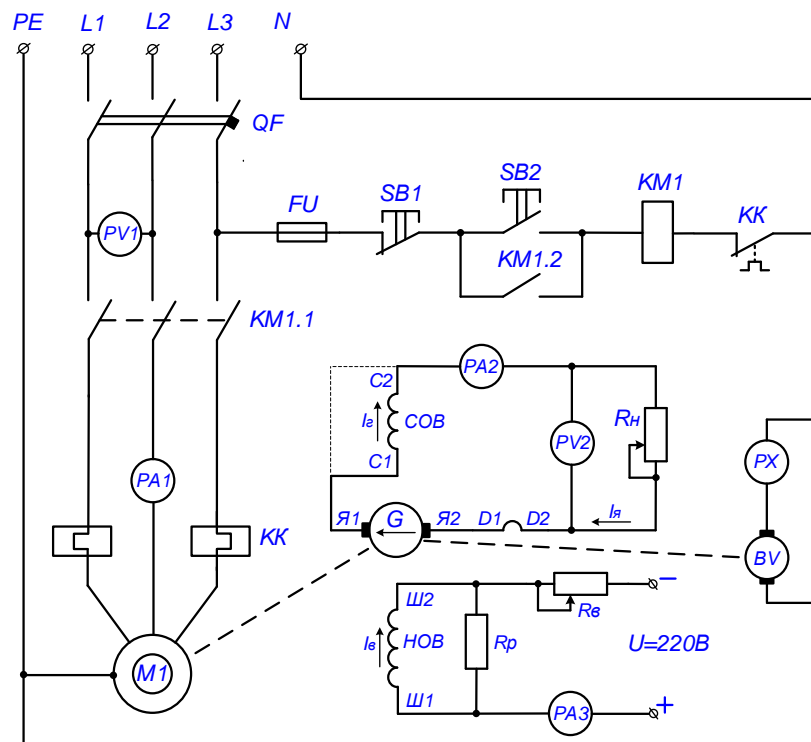


Рис.10.2. Электрическая схема привода мотор-генератор

- Оформить таблицы 10.1 и 10.2.

Таблица 10.1

Технические данные электрооборудования

№ п/п	Наименование устройств	Условное обозначение на схеме	U _н , В	I _н , А	Технические данные	Кол-во
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						

Таблица 10.2

№ п/п	Согласное включение обмоток $\Phi = \Phi 1 + \Phi 2$				Включение независимой обмотки $\Phi = \Phi 1$				Встречное включение обмоток $\Phi = \Phi 1 - \Phi 2$			
	I _я , А	U _я , В	n-2,4 об/мин	ω , 1/сек	I _я , А	U _я , В	n-2,4 об/мин	ω , 1/сек	I _я , А	U _я , В	n-2,4 об/мин	ω , 1/сек
1.												
2.												
3.												
4.												
5.												
6.												
7.												

Результаты измерений

- Произвести монтаж электрической схемы для исследования и, после проверки преподавателем, произвести запуск лабораторной установки.

- Установить заданные значения тока возбуждения I_v , напряжения холостого хода U_0 и показания тахометра PX в n об/мин с поправочным коэффициентом в таблице 10.2. Контроль оборотов и перевод в круговую скорость ω производить при всех дальнейших измерениях.

- Произвести необходимые замеры при согласном $\Phi = \Phi 1 + \Phi 2$ включении обмоток возбуждения (рис.10.1А), данные записать в таблицу 10.2.

- Отключить и обесточить электропривод. Поставить пе-

ремычку между клеммами $C1$ и $C2$ (рис.10.2, пунктирная линия), тогда поток $\Phi_2 = 0$ (рис.10.1В). Запустить электропривод в работу и произвести необходимые замеры с записью в таблице 10.2.

- Снова остановить и обесточить привод, а концы $C1$ и $C2$ обмотки (СОВ) поменять местами (рис.10.1В), при этом $\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$.

- Произвести очередной запуск привода и зарегистрировать данные в таблице 10.2.

- Выполнить остановку привода и обесточить лабораторную установку. Концы последовательной обмотки СОВ переставить на прежние места, что соответствует согласному включению обмоток независимого и последовательного возбуждения.

- По полученным данным построить на одном графике с соблюдением масштаба три внешние характеристики $U_{я} = f(I_{я})$.

- Произвести анализ внешних характеристик и характеристики холостого хода на соответствие с формулой $E_{г} = c\omega\Phi$ (9.1)

- По согласованию с преподавателем провести демонтаж лабораторной установки и уложить провода на место.

Ваши выводы изложить в письменном виде.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют обмотки у МПТ?
2. Влияние круговой скорости на МПТ.
3. Что понимается под внешней характеристикой генератора ПТ?
4. Что понимается под механической характеристикой двигателя ПТ?
5. По каким характеристикам доказывается справедливость $E_{г} = c\omega\Phi$?
6. Как изменяется магнитный поток при переключении последо-

вательной обмотки возбуждения?

7. Нарисовать принципиальную электрическую схему генератора последовательного и смешанного возбуждения.

8. Назначение резисторов R_v и R_n .

9. Способы останова двигателя ПТ и его реверсивное включение.

10. Какой вид возбуждения имеют электрические двигатели постоянного тока, используемые на транспорте?

11. Достоинства и недостатки двигателей постоянного тока.

Лабораторная работа №11

Сборка схемы поточной транспортной линии

Цель работы: приобретение навыков сборки электрической схемы, изучение особенностей управления системой рабочих механизмов на примере поточной линии электроприводов.

Краткая теория

Поточная линия относится к классу последовательного подключения технологического электропривода и представляет систему рабочих машин, емкостей и механизмов, связанных одним технологическим процессом или циклом. Она характеризуется непрерывностью и ритмичностью работы. При изучении требований к автоматизированному поточному электроприводу следует руководствоваться:

- ✓ *последовательным запуском* электродвигателей исполнительных механизмов, включенных в технологическую поточную линию, направленных против движения перерабатываемого продукта (зерна, сена, корнеплодов и т.п.), а отключение — по ходу движения;

- ✓ выполнением аварийного отключения при непредвиденной ситуации сначала *для загрузочных* механизмов, а по истечении времени освобождения механизмов от продукта, отключением электродвигателей *разгрузочных* механизмов;

- ✓ выполнением и защитой электрических двигателей поточной линии от *перегрузки* с представлением сигнализации;

- ✓ возможностью *наладочного* режима, позволяющего произвольно включать и отключать электродвигатели независимо друг от друга;

- ✓ безопасностью персонала, обслуживающего поточную линию с предупреждением *сигнализацией*.

Как правило, схема управления поточно-транспортной линией имеет большое количество электрических аппаратов: пускателей, кнопок, переключателей, конечных выключателей и т. д., монтаж которых представляет определенную сложность. С целью упрощения работы используются монтажные и блочные схемы с указанием места расположения и применением маркировочной индексации в соответствии ЕСКД ГОСТ. Умение читать электрические схемы по маркировке облегчает понять принцип взаимодействия исполнительных механизмов.

Приступая к работе, необходимо разобраться с наименованиями и типами аппаратуры, родом тока, электропитанием потребителей, величинами напряжений, возможностями и пределами регулирования параметров, принципом срабатывания датчиков, реле и состоянием контактов со схемами внутренних соединений и т. п.

Выполнение работы

Исходными данными является технологическая схема на рис.11.1 транспортной поточной линии отделения сочных кормов.

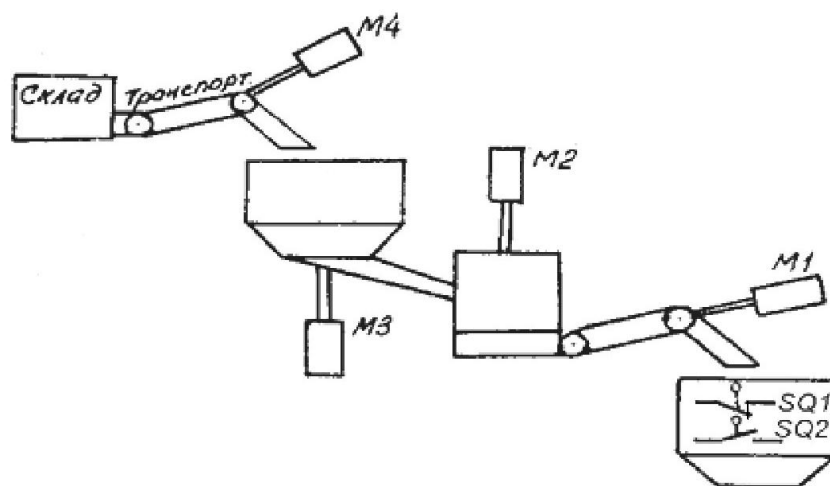


Рис.11.1. Технологическая схема отделения сочных кормов

Применяемое электрооборудование – электропривод с использованием асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Необходимо изучить предложенную разработанную

принципиальную электрическую схему поточной линии с рассмотрением селективных защит в соответствии с Правилами электробезопасности по четырехпроводной системе при напряжении трехфазового питания на 220В. Схема представлена на рис.11.2.

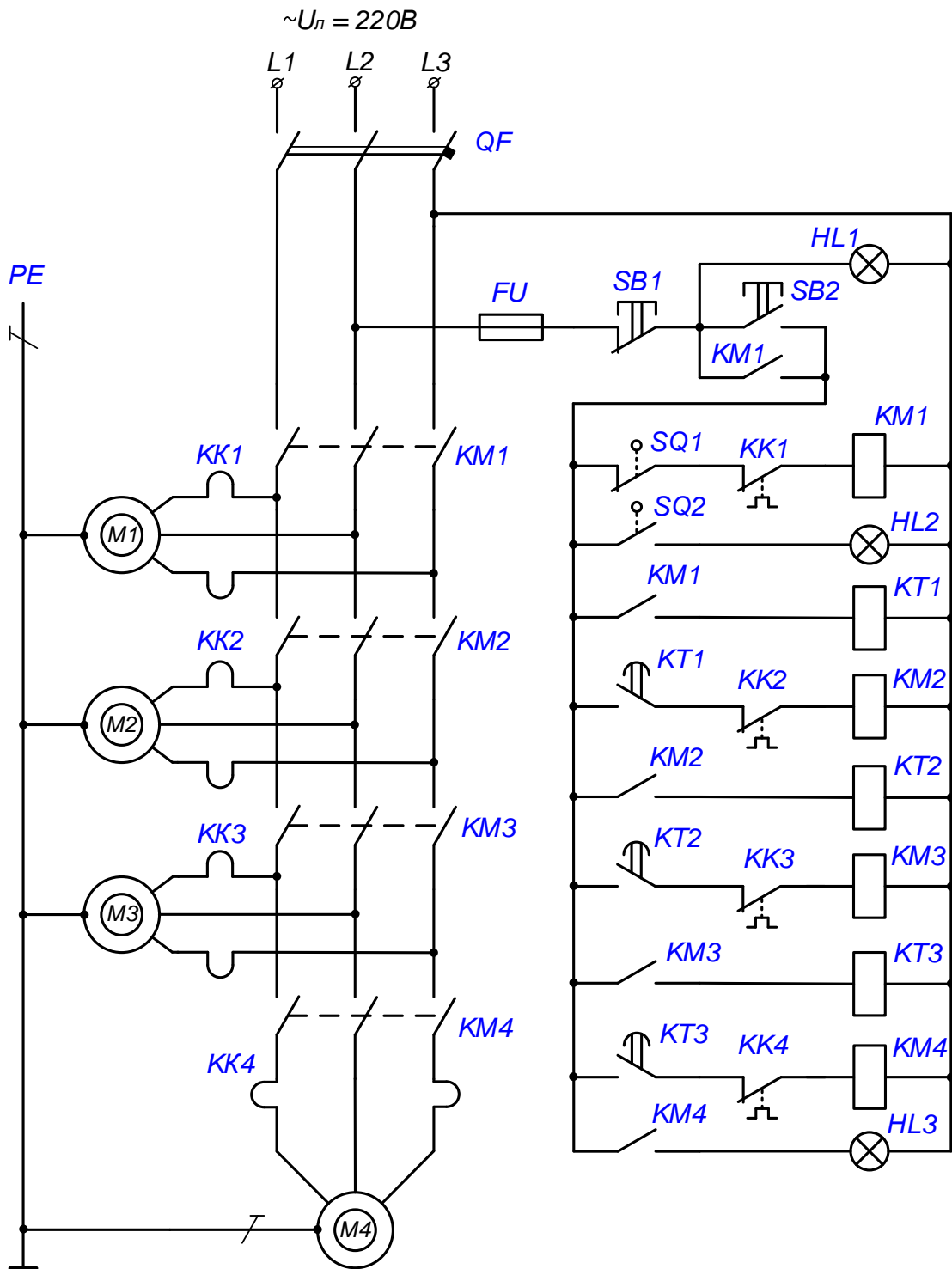


Рис.11.2. Электрическая схема отделения сочных кормов

Управление осуществляется следующим образом: корнеклубни со склада транспортером подаются в мойку, оттуда по второму транспортеру поступают в корнерезку, а затем измельченные корнеклубни поступают в приемный бункер готового продукта. Каждый механизм имеет индивидуальный привод.

Пуск механизмов поточной линии осуществляется в обратном направлении от приемного бункера к складу корнеклубней.

В исходном состоянии схемы при включенном рубильнике *SA* ни одна цепь не замкнута. Полагают, что приемный бункер пустой, поэтому датчики уровня *SQ1* замкнут, а *SQ2* — разомкнут. При замыкании *SB2* включается контактор *KM1* с блок-контактами *KM1* и двигатель *M1*. Одновременно включается реле времени *KT1*. По истечении определенного времени замыкается контакт *KT1* и включается контактор *KM2* и двигатель корнерезки *M2*. Блок-контакты контактора *KM2* включают реле *KT2* и т. д. последовательно до последнего двигателя *M4*, загорается лампа *HL3*, которая сигнализирует о включении линии.

При заполнении бункера на 80% замыкается датчик *SQ2* и загорается лампа *HL2*. Когда бункер загрузится полностью, размыкается датчик *SQ1* и отключает посредством *KM1*, *KT1*, *KM2*, *KT2* и т. д. все электродвигатели поточной линии.

В случае перегрузки любого из двигателей размыкается контакт теплового реле *KK* с отключением его и последующих двигателей. При этом лампа *HL3* гаснет, что означает необходимость отключения поточной линии кнопкой *SB1*.

- Начертить в тетради принципиальную электрическую схему рис.11.2 в соответствии ЕСКД ГОСТ и произвести монтаж предложенной схемы управления электроприводом отде-

ления сочных кормов, (введение, раздел монтаж электрической цепи).

- Проверить электрическую схему и получить допуск у преподавателя на запуск поточной линии от сети.
- Произвести временные регулировки по указанию преподавателя и определить назначение датчиков $SQ1$ и $SQ2$.
- Заполнить таблицу 11.1 применяемого электрооборудования в схеме.
- Величины токов двигателей рассчитать по относительной формуле

$$I \approx 2 \cdot P_{\text{дв}} / 1,73 [A], \text{ где } P_{\text{дв}}, [кВт].$$

Таблица 11.1

Технические данные электрооборудования

№ п/п	Наименование электротехнических устройств	Условное обозначение на схеме	U_n	I_n	Технические данные	Кол-во
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						

- По разрешению преподавателя произвести демонтаж электрической схемы и уложить проводники в отведенное место.

Ваши выводы изложить в письменном виде.

Контрольные вопросы

1. Существующие требования к работе поточных линий.
2. Почему пуск электродвигателей в поточных линиях проводится против движения перерабатываемого продукта?
3. Условия отключения двигателей на поточных линиях.
4. Назначение реле $KT1$, $KT2$ и $KT3$.
5. Назовите преимущества поточных линий.
6. Назовите недостатки поточных линий.
7. Определите порядок выбора магнитных пускателей.

Лабораторная работа №12

Изучение принципиальной электрической схемы скважного насоса

Цель работы: приобретение навыков чтения электрических схем и изучение особенностей управления рабочими механизмами в автоматизированном цикле работы.

Краткая теория

Скважный насос предназначен для подачи воды из скважины в накапливаемую емкость – бак. Представлена электрическая схема, которая предусматривает принцип эксплуатации насоса без типового выбора элементов привода (выпускаемых промышленностью). Схема учитывает технологические требования в автоматическом режиме эксплуатации с соблюдением условий безопасности.

Выполнение работы заключается в изучении чтения предлагаемой принципиальной электрической схемы для определения правильного функционирования насоса в зависимости от различных воздействий внешней среды.

Управление насосом содержит силовую часть электрической схемы насоса и схему управления электроприводом, содержащую коммутационные элементы, элементы управления по сигналам датчиков, средств защиты и сигнализации.

Запуск насоса в эксплуатацию предусмотрен с двух постов, местный и дистанционный, поскольку скважина, как правило, находится на значительном расстоянии. Учитываются ремонтные и наладочные условия с местного поста управления. С дистанционного поста осуществляются оперативные мероприятия и контроль сигнализацией. Функционирование датчиков уровня и сухого хода исходит из конструктивных технических особенностей и технологической надежности при эксплуатации.

По электрической схеме необходимо разобраться с принципом автоматического функционирования насоса с учетом воздействия помех.

Принципиальная схема насоса с учетом технологических требований представлена на рис.12.1.

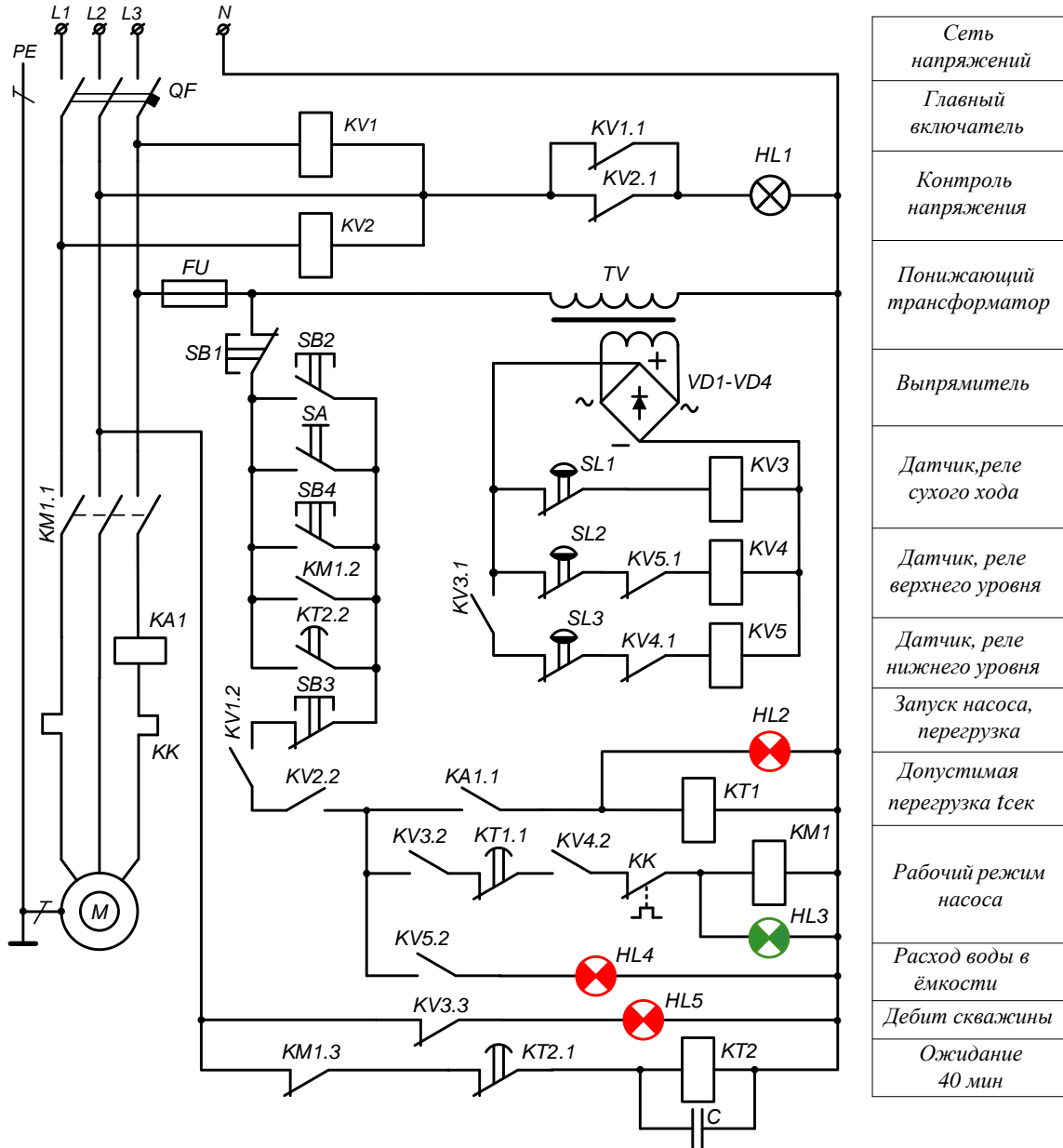


Рис.12.1. Схема электрическая принципиальная управления скважным насосом

- Попробуйте определить в представленной схеме назначение и принцип работы совокупных элементов привода.

- Прочитайте приведенную схему порядка работы скважного насоса в автоматическом режиме.

Ваши выводы изложить в письменном виде с указанием преимуществ и недостатков.

Контрольные вопросы

1. Назначение датчиков $SL1 \div SL3$.
2. Назначение реле $KT1$ и $KT2$.
3. Причины возникновения допустимой перегрузки насоса, кроме пускового режима.
4. Назначение реле $KV1$, $KV2$ и $KV3$ в схеме контроля.
5. Порядок автоматического отключения насоса при срабатывании датчика $SL2$.
6. Объясните назначение емкости C .
7. Объясните назначение трансформатора TV .
8. Объясните назначение выпрямительного моста $BD1 \div BD4$.
9. Назначение датчика сухого хода.
10. Перечислите влияние внешних условий на автоматическое отключение скважного насоса.
11. При каких условиях внешних воздействий скважный насос автоматически включится?
12. На каких элементах выполнена нулевая защита?
13. На каких элементах выполнена перегрузочная защита?
14. Объясните возможный способ подачи воды в зимних условиях без утепления трассы водоподвода.
15. Объясните эксплуатацию насоса по принципиальной схеме управления.

Заключение

Лабораторный практикум рассматривает основы электропривода и электрооборудования и способствует приобретению практических навыков работы в АПК. Отдельное внимание уделено понятию пятипроводной системы сетей $0,4кВ$ для потребителя, которая внедряется с 2003 года. Представлено обобщенное определение пусковых токов по заданной мощности для наиболее распространенных асинхронных двигателей с частотой вращения ротора $3000об/мин$, с учетом последних выпускаемых модификаций. Дается возможность сопоставления двигателя с рабочей нагрузкой по уточненной механической характеристике, представленной в системе СИ по методике Южно - Уральского государственного аграрного университета.

Представленная аппаратная защита электропривода рекомендуется для использования в приводах роботизированных устройств АПК, поскольку не зависит от программных электронных сбоев.

Практикум по электроприводу дает необходимое представление об использовании электропривода в производственных и аварийных ситуациях.

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Епифанов А. П. Электропривод [Электронный ресурс] : учебник / Епифанов А. П., Малайчук Л. М., Гуцинский А. Г — Санкт-Петербург: Лань, 2012. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com>
2. Иванов, И.И. Электротехника и основы электроники [Электронный ресурс] : учебник / И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.Я. Фролов. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 736 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com>
3. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов :[учебное пособие] Г. В. Никитенко. - Москва : Лань, 2013. - 224с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>
4. Фролов. Ю.М, Шелякин В.П., Проектирование электропривода промышленных механизмов. Санкт-Петербург, М., Краснодар 2014с. . — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>
5. Юнусов, Г.С. «Электропривод производственных механизмов»: Учебное пособие / Г.С. Юнусов, А.В. Михеев, М.М. Ахмадеева. - СПб.: Изд-во Лань, 2013. - 224 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Епифанов, А.П. Электропривод в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.П. Епифанов, А.Г. Гуцинский, Л.М. Малайчук. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com>
2. Волков В.С. Электроника и электрооборудование транспортных и транспортно-технологических комплексов : учебник В. С. Волков. - М. : Академия, 2011. - 368с.
3. Воробьев В. А. «Практикум по электроприводу сельскохозяйственных машин и установок»: Изд-во: КолосС - 2009 – 208 с.
4. Илимбетов Р.Ю., Копылов А.Г. «Электропривод и электрооборудование. Электрические машины и электропривод»: лабораторный практикум. – Пермь, Изд. ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2007. – 70 с.
5. Кужеков С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию : С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - Ростов н/Д : Феникс, 2010. – 492 с.
6. Правила устройства электроустановок. Издание 7. Глава 1.7 Заземление и защитные меры электробезопасности. Изд. 2016 [elec.ru>library/direction/pue/glava-1-7.html](http://elec.ru/library/direction/pue/glava-1-7.html)
7. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (в ред. на 19.02.2016). – СПб,: Изд-во ДЕАН, 2016. – 176 с.
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Издание 6, обновлено 2010г. [energ2010.ru>Doc/Elektro/PTEEP/](http://energ2010.ru/Doc/Elektro/PTEEP/)
9. ГОСТ Р 52002-2003 Электротехника. Термины и определения основных понятий: стандарт//КонсультантПлюс: справ. Правовая система [Электронный ресурс] . – электрон. дан. - URL: www.consultant.ru/
10. ГОСТ 2.702-2011 ЕСКД Правила выполнения электрических схем

Учебное издание

Боровских Сергей Михайлович,
Дорофеева Ирина Сергеевна

ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Лабораторный практикум

Подписано в печать 04.04.2018
Формат 60×84 ¹/₁₆ Усл. печ. л. 7,07

Тираж 70 экз. Заказ № 56

ИИЦ "Прокрость"

Пермского государственного аграрно-технологического университета
имени академика Д.Н. Прянишникова,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23
тел. (342) 217-95-42