МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г. ЗЕРНОГРАДЕ
(Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

Кафедра «Эксплуатация
энергетического оборудования
и электрические машины»

В.Н. Беленов, Н.Е. Пономарёва, Е.А. Шабаев, Романовец М.М.

ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Лабораторный практикум

Зерноград – 2024

УДК [62-83:62-5:636](075.8)

Печатается по решению методического совета
энергетического факультета
Азово-Черноморского инженерного института – филиала
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Донской государственный аграрный университет»
в г. Зернограде

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент ***Токарева А.Н.,***
кандидат технических наук, доцент ***Луханин В.А.***

Электропривод и электрооборудование: лабораторный практикум / В.Н. Беленов, Н.Е. Пономарёва, Е.А. Шабаев, Романовец М.М. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024. – 119 с.

Издание содержит методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электропривод и электрооборудование» для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия для профилей подготовки «Технические системы в агробизнесе», «Технологическое оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» и «Экономика и управление производством».

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры ЭЭО и ЭМ.
Протокол № 8 от 21.02.2024 г.

Рассмотрено и одобрено методической комиссией
по направлению подготовки 35.03.06 и 35.04.06 Агроинженерия
инженерно-технологического факультета.
Протокол № 7 от 29.03.2024 г.

© В.Н. Беленов, Н.Е. Пономарёва,
Е.А. Шабаев, М.М. Романовец, 2024
© Азово-Черноморский инженерный
институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
Правила работы в лаборатории 5
Правила безопасности при выполнении лабораторных работ 6
Лабораторная работа № 1. Исследование механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения 7
Лабораторная работа № 2. Управление пуском двигателя постоянного тока параллельного возбуждения 15
Лабораторная работа № 3. Подготовка к пуску и пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором 24
Лабораторная работа № 4. Исследование регулировочных характеристик асинхронного электродвигателя при изменении подводимого напряжения 30
Лабораторная работа № 5. Пуск трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в трехфазном и однофазном режимах 38
Лабораторная работа № 6. Исследование аппаратов защиты 46
Лабораторная работа № 7. Исследование аппаратуры управления 54
Лабораторная работа № 8. Изучение схем автоматизированного управления насосными установками 62
Лабораторная работа № 9. Моделирование электрических схем управления электроприводами поточных линий 70
Лабораторная работа № 10. Исследование работы люминесцентной лампы с индуктивным балластом 76
Лабораторная работа № 11. Исследование характеристик компактных люминесцентных и светодиодных ламп 84
Лабораторная работа № 12. Изучение устройства и исследование основных характеристик источников ультрафиолетового излучения 92
Лабораторная работа № 13. Изучение устройства и исследование характеристик «светлых» источников инфракрасного излучения 99
Лабораторная работа № 14. Изучение устройства и исследование характеристик сварочного трансформатора СТ-300 104
Лабораторная работа № 15. Исследование работы электрокалориферной установки 112
ЛИТЕРАТУРА 118

ВВЕДЕНИЕ

Современное сельскохозяйственное производство немыслимо без применения электротехнологического оборудования, в котором происходит преобразование электрической энергии в другие виды: механическую, тепловую, энергию оптического излучения и т.д.

Особую роль в повышении эффективности сельскохозяйственного производства играет электропривод. Около 69% вырабатываемой в стране электроэнергии потребляется электроприводом. Основными достоинствами электропривода являются: широкий диапазон мощностей (от сотых долей Вт до десятков тысяч кВт) и угловых скоростей вращения (от долей оборота вала в минуту до нескольких сотен тысяч оборотов в минуту), простота автоматизации и эксплуатации, регулирования угловой скорости вращения, высокий КПД.

Благодаря этим достоинствам электропривод широко используется для привода разнообразных машин и механизмов: оборудования для приготовления и раздачи кормов, удаления навоза, поддержания параметров микроклимата производственных объектов, в системах водоснабжения.

Важную роль в сельскохозяйственном производстве играет оптическое излучение. В осветительных установках используется видимая часть оптического излучения, а сами установки выполняют две функции: основную – создание световой среды, необходимой для обеспечения жизнедеятельности и наибольшей продуктивности животных и птицы, и дополнительную – обеспечение условий зрительной работы обслуживающего персонала.

Широкое применение в различных технологических процессах на объектах АПК находят и ультрафиолетовая и инфракрасная области спектра. Так, область ультрафиолетового излучения УФ-А используется для оценки качества продуктов, УФ-В влияет на обменные процессы в организме животных, а УФ-С используется для обеззараживания воздуха, жидких сред и различных поверхностей. Источники инфракрасного излучения используются в процессах обработки кормов, пастеризации молока, как средства локального обогрева животных.

В различных областях сельскохозяйственного производства используются установки, связанные с использованием электрического нагрева: нагрев сопротивлением, дуговой, индукционный, диэлектрический нагрев.

Материал, изложенный в практикуме, направлен на формирование у студентов умений и навыков, связанных с реализацией современных тенденций применения электрооборудования, умений и навыков реализовывать современные технологии, умений и навыков проведения экспериментальных исследований электрооборудования.

Лабораторные работы являются одной из важнейших составных частей учебного процесса при формировании специалиста любого профиля. Лабораторная работа позволяет глубже воспринимать процессы, описываемые в теории, убеждаться на практике в достоверности теоретических закономерностей и относиться к ним с большим доверием.

ПРАВИЛА РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИИ

1. К занятиям в лаборатории допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности и расписавшиеся в журнале.

2. Лабораторные работы выполняются на стендах бригадами студентов численностью не менее двух человек.

3. Перед выполнением лабораторной работы производится проверка подготовки студентов к данной работе. При успешном ответе на вопросы преподавателя и наличии бланков отчетов (тетрадей) с вычерченными схемами и таблицами студент допускается к выполнению лабораторной работы. При выполнении очередной лабораторной работы необходимо иметь также полностью оформленный отчет по предыдущей работе. В противном случае студент не допускается к выполнению лабораторной работы.

4. После допуска к лабораторной работе студенты на лабораторном стенде при необходимости собирают электрическую схему. Собранная схема предъявляется для проверки преподавателю. По его разрешению студенты допускаются к выполнению лабораторной работы.

5. Студент обязан бережно обращаться с оборудованием, аппаратурой и приборами. Запрещается делать какие-либо дополнительные надписи на приборах, стендах и столах.

6. Выполнив лабораторную работу, студенты должны отключить электропитание стенда и разобрать схему.

7. В случае нарушения внутреннего распорядка и техники безопасности студент отстраняется от выполнения лабораторной работы.

8. Повторное выполнение лабораторной работы возможно только при наличии разрешения заведующего кафедрой или декана факультета.

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

При выполнении лабораторных работ необходимо выполнять следующие правила безопасности.

1. Перед началом сборки схемы следует убедиться в том, что переключатель питания стенда находится в выключенном состоянии.

2. Производить сборку и разборку схемы разрешается только при отключенном напряжении питания. Выполнять какие-либо пересоединения в схемах под напряжением запрещается.

3. Убедиться в исправности изоляции соединительных проводов. Не использовать провода без наконечников.

4. Подача напряжения на стенд производится только после проверки схемы преподавателем и с его разрешения, а также после предупреждения о включении.

5. Если в процессе работы требуется неоднократное включение и отключение установки, то эти операции должны выполняться только одним студентом. В аварийных случаях отключение стенда от напряжения питания может быть произведено любым из студентов.

6. Запрещается касаться любых токоведущих частей лабораторной установки независимо от того, под каким напряжением они находятся.

7. Обнаружив любую неисправность лабораторного стенда, оборудования, необходимо немедленно отключить питание стенда и сообщить об этом преподавателю.

8. Запрещается оставлять без надзора работающую лабораторную установку.

9. Студент несет персональную ответственность за нарушение порядка и правил безопасности в лаборатории.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы: приобрести практические навыки в выполнении опытов по снятию данных и построению механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения для различных режимов работы. Получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о механических характеристиках двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

Общие сведения

Механическая характеристика ДПТ выражается уравнениями:

$$\omega = \frac{U}{C_м \Phi} - \frac{MR_{ац}}{C_м^2 \Phi^2}; \quad (1.1)$$

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{MR_{ац}}{C_e C_м \Phi^2}, \quad (1.2)$$

где ω и n – угловая скорость и частота вращения вала, рад/с и об/мин;

U – напряжение питания электродвигателя, В;

Ф – основной магнитный поток машины, Вб;

$R_{ац}$ – сопротивление якорной цепи, Ом;

C_e и $C_м$ – соответственно конструктивная постоянная ЭДС и момента машины постоянного тока.

$$C_e = \frac{pN}{60a}; \quad (1.3)$$

$$C_м = \frac{pN}{2\pi a}, \quad (1.4)$$

где p – число пар полюсов;

N – количество активных проводников обмотки якоря;

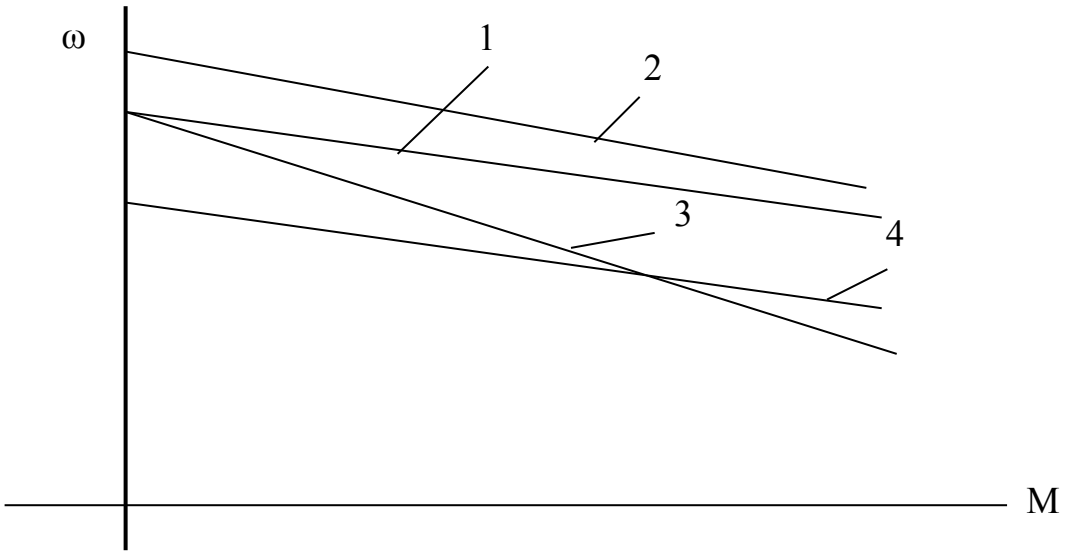
a – число параллельных ветвей в обмотке якоря.

Из выражений (1.1) и (1.2) следует, что механические характеристики ДПТ независимого возбуждения представляют собой прямые линии, наклон которых зависит от величины сопротивления якорной цепи $R_{ац}$.

Естественная характеристика двигателя постоянного тока получается при отсутствии внешних сопротивлений в якорной цепи и номинальных значениях напряжения и потока возбуждения. При изменении одного из перечисленных параметров получаются искусственные регулировочные характеристики (рисунок 1.1). Для двигателей постоянного тока независимого возбуждения возможны следующие режимы работы:

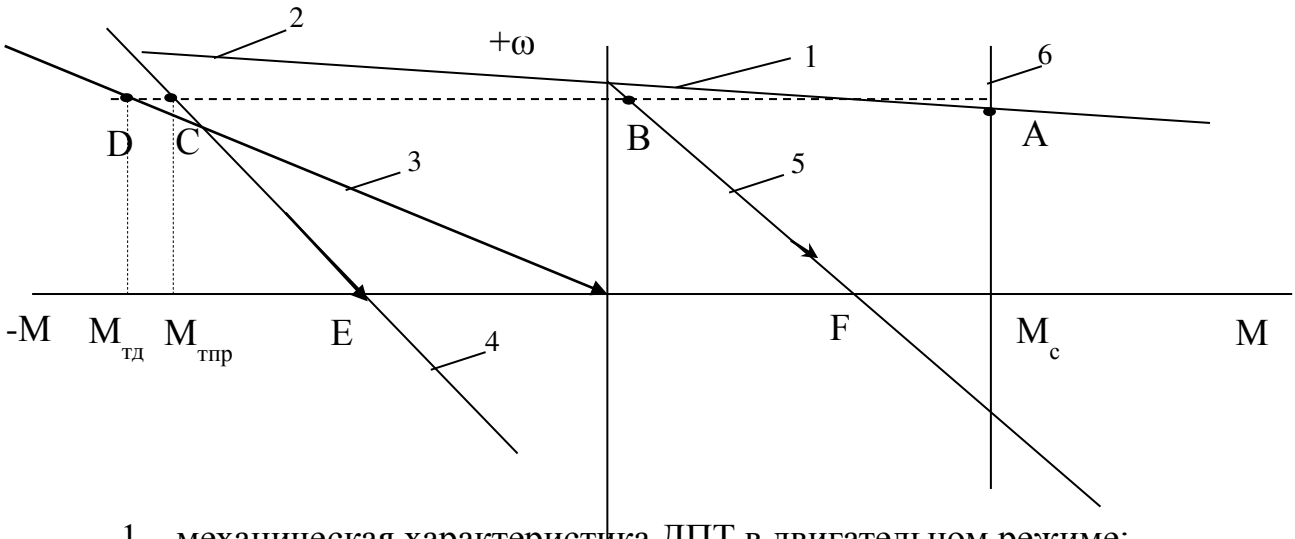
- двигательный;
- режим рекуперативного торможения с отдачей энергии в сеть;

– режим торможения противовключением;
– режим динамического торможения.



1 – естественная механическая характеристика; 2 – характеристика при изменении потока возбуждения; 3 – характеристика при введении добавочного сопротивления в цепь якоря; 4 – характеристика при изменении подводимого напряжения

Рисунок 1.1 – Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения: естественная и регулировочные



1 – механическая характеристика ДПТ в двигательном режиме;
2 – механическая характеристика при рекуперативном торможении;
3 – механическая характеристика при динамическом торможении;
4 – противовключение сменой полярности; 5 – противовключение введением $R_{пр}$; 6 – механическая характеристика рабочей машины

Рисунок 2 – Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения в тормозных режимах

Режим рекуперативного торможения наступает при частоте вращения якоря, превышающей частоту вращения идеального холостого хода. В этом случае ЭДС якоря становится больше напряжения сети и ток якоря изменяет своё направление по отношению к току в двигательном режиме.

$$I_а = \frac{U - E_а}{R_{ац}}, \qquad (1.5)$$

где $E_а$ – ЭДС якоря, В.

В связи с изменением направления тока якоря свое направление изменяет и электромагнитный момент электродвигателя, он становится тормозящим:

$$\omega = \frac{U}{C_м \Phi} + \frac{MR_{ац}}{C_м^2 \Phi^2}. \qquad (1.6)$$

Характеристики ДПТ в этом режиме, являясь продолжением характеристик в двигательном режиме, располагаются во втором квадранте осей координат (зависимость 2, рисунок 1.2).

Торможение противовключением может быть получено двумя способами:

– изменением полярности на обмотке якоря или обмотке возбуждения;

– включением в цепь якоря добавочного сопротивления.

При торможении противовключением по первому способу изменяется знак тока, а соответственно и знак момента, знак скорости сохраняется:

$$I_а = \frac{-U - E_а}{R_{ац}}, \qquad (1.7)$$

$$\omega = -(\frac{U}{C_м \Phi} + \frac{MR_{ац}}{C_м^2 \Phi^2}). \qquad (1.8)$$

В этом случае характеристика также располагается во втором квадранте (участок [CE] зависимости 4, рисунок 1.2). При достижении двигателем скорости, равной нулю, его необходимо отключить от сети. В противном случае произойдёт реверсирование двигателя.

Торможение противовключением по второму способу может происходить, например, в режиме тормозного спуска в приводе подъёмного устройства, когда двигатель включен на подъем, а момент, развиваемый грузом, заставляет привод вращаться в сторону спуска груза.

При введении в цепь якоря сопротивления $R_{пр}$ двигатель из точки A перейдёт в точку B. Так как в точке B момент, развиваемый двигателем, меньше момента сопротивления рабочей машины, угловая скорость двигателя начнёт падать. Но так как в точке F момент двигателя все еще меньше момента сопротивления, направление вращения изменяется. При этом способе торможения изменяет знак скорость двигателя при сохранении знака момента (зависимость 5, рисунок 1.2).

$$I_а = \frac{U + E_а}{R_а + R_{пр}},$$

(1.9)

$$\omega = \frac{U}{C_м \Phi} - \frac{M(R_а + R_{пр})}{C_м^2 \Phi^2}. \qquad (1.10)$$

Динамическое торможение ДПТ наступает при отключении обмотки якоря от сети и замыкании ее на некоторое сопротивление $R_Т$. Обмотка возбуждения при этом остаётся подключённой к сети. Якорь продолжает вращаться за счёт сил инерции, электродвигатель переходит в генераторный режим, но энергия, вырабатываемая при этом, преобразуется в тепловую, выделяемую на $R_Т$ и $R_Я$.

В режиме динамического торможения ЭДС якоря не изменяет своего направления по сравнению с двигательным режимом, но так как напряжение сети равно U=0, то ток якоря, изменив свое направление, действует согласно ЭДС. В этом режиме ток якоря и момент описываются следующими соотношениями:

$$I_а = \frac{-E_а}{R_{ац}}; \qquad (1.11)$$

$$\omega = -\frac{M(R_а + R_{пр})}{C_м^2 \Phi^2}. \qquad (1.12)$$

Характеристики ДПТ в режиме динамического торможения проходят через начало координат и располагаются во втором квадранте (зависимость 3, рисунок 1.1).

Перечисленные характеристики можно получить с помощью системы машин (рисунок 1.3). В данной системе машины М2 и М3 включены в режиме "генератор-двигатель", асинхронный двигатель М4 является разгонным для машины М3, исследуемый электродвигатель М1 является разгонным для машины М2.

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. По литературным источникам ознакомиться с принципом работы двигателя постоянного тока независимого возбуждения и способами регулирования его угловой скорости. Ознакомиться с исследуемым двигателем и оборудованием рабочего места. Записать паспортные данные испытуемого электродвигателя. Рассчитать и построить естественную механическую характеристику электродвигателя ω=f(M) по паспортным данным. Характерными точками естественной характеристики являются точка холостого хода и номинальная точка:

1. $M=0$; $\omega=\omega_0$;
2. $M=M_н$; $\omega=\omega_н$,

где ω_0 – скорость идеального холостого хода, $с^{-1}$;

$M_н$ – номинальный момент двигателя, Н·м;

$\omega_н$ – номинальная угловая скорость, $с^{-1}$.

Номинальная скорость $\omega_н$, $с^{-1}$, электродвигателя определяется по формуле

$$\omega_н = \frac{\pi n_н}{30}, \qquad (1.13)$$

где $n_н$ – номинальные обороты двигателя, об/мин.

Скорость идеального холостого хода ω_0, $с^{-1}$, электродвигателя определяется по формуле

$$\omega_0 = \omega_н \frac{U_н}{U_н - I_н R_a}, \qquad (1.14)$$

где $U_н$ и $I_н$ – номинальные значения напряжения и тока электродвигателя, В, А;

R_a – сопротивление якоря, Ом.

Сопротивление якорной цепи R_a, Ом, определяется по формуле

$$R_a = 0{,}5(1 - \eta_н)\frac{U_н}{I_н}, \qquad (1.15)$$

где $\eta_н$ – номинальное значение КПД электродвигателя.

Номинальный момент электродвигателя $M_н$, Н·м, определяется по формуле

$$M_н = \frac{P_н}{\omega_н}, \qquad (1.16)$$

где $P_н$ – номинальная мощность двигателя, Вт.

2. Собрать схему электрическую принципиальную, изображённую на рисунке 1.3, для исследования механических характеристик электродвигателя М4. Включить стенд. Разомкнуть переключатель SA1 в цепи якорей нагрузочной машины М3 и вспомогательной машины М2.

Так как реостат R2 включён по схеме потенциометра, необходимо его движок установить в крайнее положение, при котором напряжение на обмотке возбуждения машины М2 будет равняться 0, а реостат R3 вывести, т.е. установить движок так, чтобы его сопротивление равнялось 0. Включить в любой последовательности испытуемый электродвигатель М4 и вспомогательный электродвигатель М1 с помощью пусковых реостатов ПРР1 и ПРР2. Машина М3 имеет максимальный ток возбуждения, машина М2 – ток возбуждения, равный 0, следовательно, вольтметр PV2 будет показывать ЭДС машины М3. Якори машин М3 и М2 должны быть соединены между собой так, чтобы их ЭДС уравновешивали друг друга. Для этого с помощью реостата R2 добиваются того, чтобы показание вольтметра PV2 стало равным нулю. Если этого добиться нельзя, то значит полярность машин М3 и М2 не согласована. Для согласования полярности следует поменять местами выводы на якоре или обмотке возбуждения машины М2 или М3.

После выравнивания ЭДС переключателем SA1 замыкают цепь якорей М3 и М2 и исследуют электродвигатель в необходимом режиме.

Для получения естественной механической характеристики сопротивления ПРР2 в цепи якоря и R4 в цепи обмотки возбуждения машины М4 устанавливают равными 0. Нагрузка на испытуемом двигателе регулируется изменением тока обмотки возбуждения машины М2 с помощью реостата R2. Записать показания приборов в трёх положениях реостата R2.

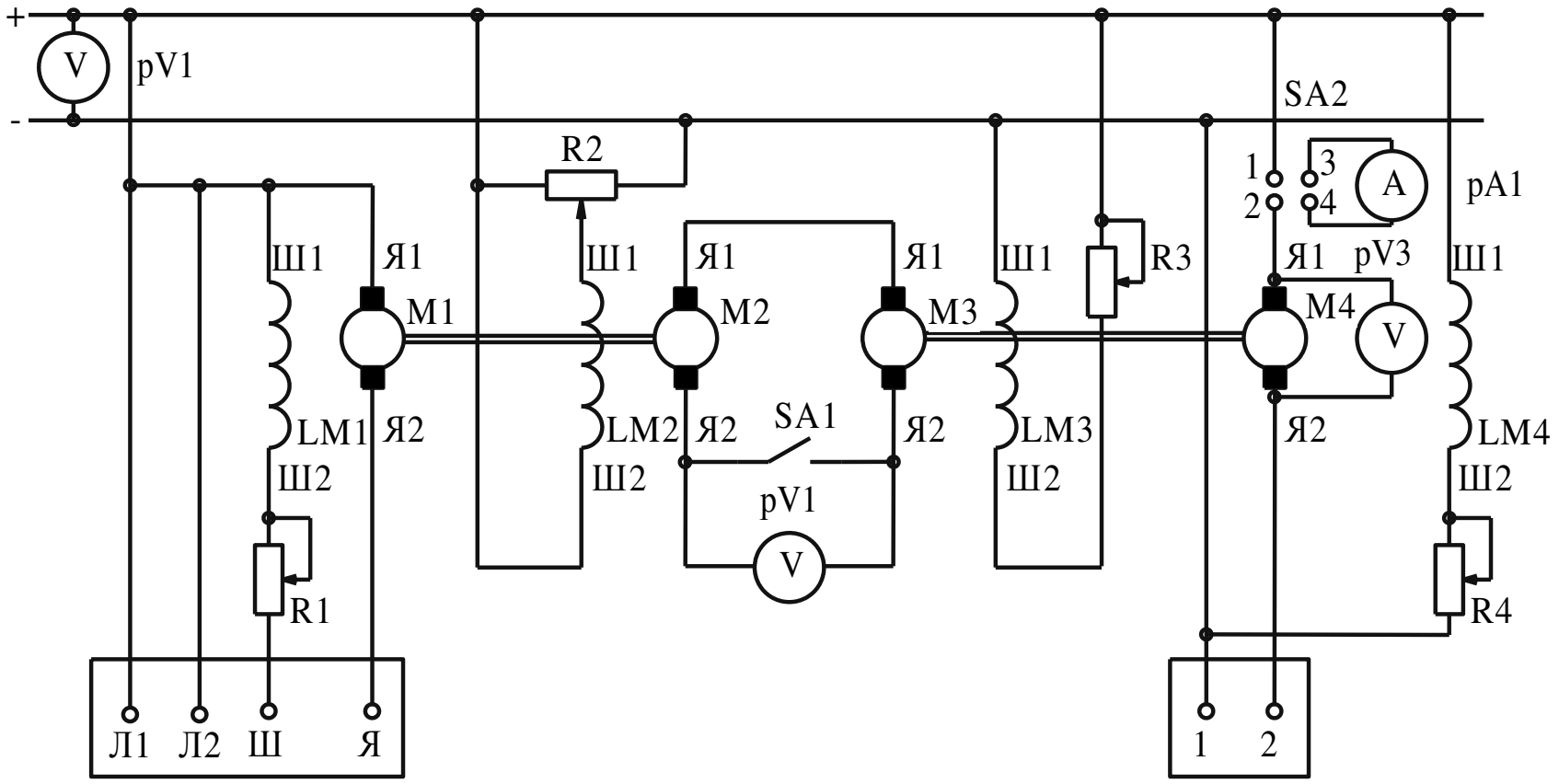


Рисунок 1.3 – Схема электрическая принципиальная нагрузочного агрегата для испытания ДПТ

Переход электродвигателя в генераторный режим осуществляется следующим образом. Значение сопротивления реостата ПРР2 в цепи якоря М4 равно 0. Постепенно изменяется значение сопротивления реостата R2 цепи обмотки возбуждения LM2 машины М2. При переходе электродвигателя в генераторный режим работы направление тока якоря изменяется на противоположное. Следовательно, и показание амперметра РА1 будет иметь отрицательный знак. Чтобы записать показания амперметра РА1, необходимо поменять полярность на нем с помощью переключателя SA2 (рисунок 1.3). Также необходимо записать показания тахометра.

Искусственные (реостатные) характеристики электродвигателя постоянного тока параллельного возбуждения получают при введении в цепь якоря испытуемого электродвигателя М4 добавочного сопротивления ПРР2.

Искусственную механическую характеристику при изменении тока возбуждения электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения получают при введении сопротивления в цепь обмотки возбуждения (реостат R4). В цепь обмотки возбуждения испытуемого электродвигателя М4 реостатом R4 вводим дополнительное сопротивление.

Данные для построения реостатных характеристик и характеристик при изменении тока возбуждения получают аналогично методике снятия данных для естественной характеристики. Результаты измерений заносятся в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Опытные данные для построения механических характеристик двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Режимы работы двигателя	Результаты измерений		Результаты расчетов	
	Ток якоря I_a, А	Частота вращения n, об/мин	Скорость электродвигателя ω, $с^{-1}$	Момент двигателя М, Н·м

3. По результатам эксперимента произвести расчёт моментов для различных режимов работы двигателя. Момент М, Н·м, на валу электродвигателя связан с током в его якорной цепи выражением

$$M = C_м Ф I_a . \quad (1.17)$$

Произведение конструктивной постоянной $C_м$ и магнитного потока Ф определяется при номинальных условиях по паспортным данным по соотношению

$$C_м Ф = M_н / I_{ан} . \quad (1.18)$$

Результаты расчётов свести в таблицу 1.1.

4. Построить естественные и искусственные механические характеристики двигателя независимого возбуждения в двигательном и генераторном режимах. Проанализировать их.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Схемы лабораторного стенда (рисунок 1.3).
2. Результаты измерений I_a и n для расчёта механических характеристик ω=f(M)ДПТ в исследуемых режимах его работы.
3. Результаты расчетов и графические зависимости ω=f(M).
4. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип работы двигателя постоянного тока.
2. Перечислите параметры, при изменении которых получают искусственные регулировочные характеристики.
3. Изобразите механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения: естественную и регулировочные.
4. Как изменится значение скорости идеального холостого хода двигателя при изменении потока, напряжения, сопротивления в якорной цепи, тока якоря двигателя?
5. Сколько характерных точек имеет механическая характеристика двигателя постоянного тока независимого возбуждения? Как по паспортным данным рассчитываются координаты этих точек?
6. Перечислите возможные режимы работы двигателя постоянного независимого возбуждения.
7. Как изменится вид механической характеристики при введении в якорную цепь добавочного сопротивления, при изменении потока, при изменении напряжения?

Лабораторная работа № 2

УПРАВЛЕНИЕ ПУСКОМ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Цель работы: изучение способов пуска двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, ознакомление с принципами построения схем автоматизированного управления пуском двигателя постоянного тока.

Общие сведения

Пуск двигателя постоянного тока прямым включением его на напряжение сети допустим только для двигателей малой мощности, у которых падение напряжения в якоре представляет относительно большую величину и пик тока в начале пуска в 4–6 раз превышает номинальное значение.

Прямой пуск двигателей постоянного тока средней и большой мощности совершенно недопустим. Сопротивление якоря таких машин обычно очень мало. Оно рассчитывается так, чтобы падение напряжения на якоре не превышало 2–10% от напряжения сети, на которое рассчитан двигатель. Ток в якорной цепи определяется сопротивлением якорной цепи, напряжением сети U, ЭДС E, индуцированной в обмотках якоря.

$$I = \frac{U - E}{R_a}, \qquad (2.1)$$

где R_a – сопротивление якоря.

В свою очередь величина ЭДС может быть определена по соотношению

$$E = C_e \cdot \Phi \cdot \omega, \qquad (2.2)$$

где C_e – конструктивная постоянная ЭДС;

Φ – магнитный поток машины;

ω – угловая скорость.

Так как в начальный момент угловая скорость $\omega=0$, приложенное напряжение U будет уравновешиваться только падением напряжения IR_a, поэтому начальный пик тока будет достигать $(10–50)I_н$. Такое превышение начального пускового тока недопустимо, так как это ведёт к перегреву обмоток, появлению слишком большого пускового момента, который оказывает на якорь и подвижную часть электропривода ударное воздействие, что может привести к механическому повреждению движущихся частей электропривода. Но основным фактором, ограничивающим пусковой ток двигателя постоянного тока, является нарушение коммутации, опасность появления на коллекторе «кругового огня», что создаёт пожароопасность и может привести к оплавлению коллектора. Поэтому пуск двигателей средних и больших мощностей производят при помощи пускового реостата, который ограничивает ток при пуске до допустимых по условиям коммутации и механической прочности значений.

Сопротивление пускового реостата подбирают таким, чтобы при пуске вручную или автоматически ток изменялся от максимального значения, рав-

ного (1,8–2,5)$I_н$ – в начале работы, до минимального значения (1,1–1,5)$I_н$ – в конце работы и перед переключением на другое положение пускового реостата. Ток якоря после включения двигателя при сопротивлении реостата $R_д$ составляет:

$$I = \frac{U}{R_а + R_д}. \qquad (2.3)$$

Пуск двигателя постоянного тока производится при последовательном уменьшении сопротивления реостата, обычно – путём перевода рычага реостата с одного неподвижного контакта реостата на другой и выключения секций; уменьшение сопротивления может производиться и путём замыкания накоротко секций контакторами, срабатывающими по заданной программе.

В зависимости от материала, из которого изготавливаются реостаты, они делятся на жидкостные и металлические. Последние получили наибольшее распространение.

Промышленностью выпускаются пусковые и пускорегулирующие реостаты типа РП, РЗП и РЗР для двигателей постоянного тока со встроенным контактором, который используется для защиты от понижения напряжения, и максимальным токовым реле для зашиты от перегрузок по току. Реостаты РП, РЗП и РЗР выпускаются на напряжения постоянного тока 110, 220 и 440 В, на максимальную мощность двигателей при 110 В – до 19 кВт, при 220 и 440 В – до 42 кВт.

Резисторы пускового реостата выполняются на фарфоровых каркасах или в виде рамочных элементов. Переключающее устройство выполняется в виде плоского контроллера с самоустанавливающимся мостиковым контактом. Контроллер, малогабаритный контактор и максимальное реле мгновенного действия устанавливаются на обшей панели.

Пусковые реостаты состоят из следующих основных систем: системы дугогашения, системы запуска двигателя и системы защиты. Схема включения двигателя параллельного возбуждения с помощью реостата РП-2522 с максимальной и минимальной защитой показана на рисунке 2.1.

Запуск двигателя постоянного тока параллельного возбуждения происходит в следующем порядке. При установке щётки реостата на 4-й контакт катушка реле KV1 получает питание, реле срабатывает и замыкает свои контакты. При этом якорь двигателя подключается к сети через полностью введённые пусковые сопротивления. Одновременно получает питание обмотка возбуждения.

После срабатывания реле KV1 и полного выведения пусковых сопротивлений катушка KV1 будет получать питание через экономическое сопротивление R2, которое снижает ток катушки до величины, достаточной для удержания реле KV1 во включённом положении. Это повышает коэффициент возврата реле KV1 и позволяет сократить размеры катушки и всего реле.

Для отключения двигателя от сети необходимо перевести щётку реостата против часовой стрелки из положения «ход» в положение «стоп». При этом катушка реле KV1 отключит двигатель от сети. В этом случае экономическое сопротивление R2 предотвращает короткое замыкание цепи управления.

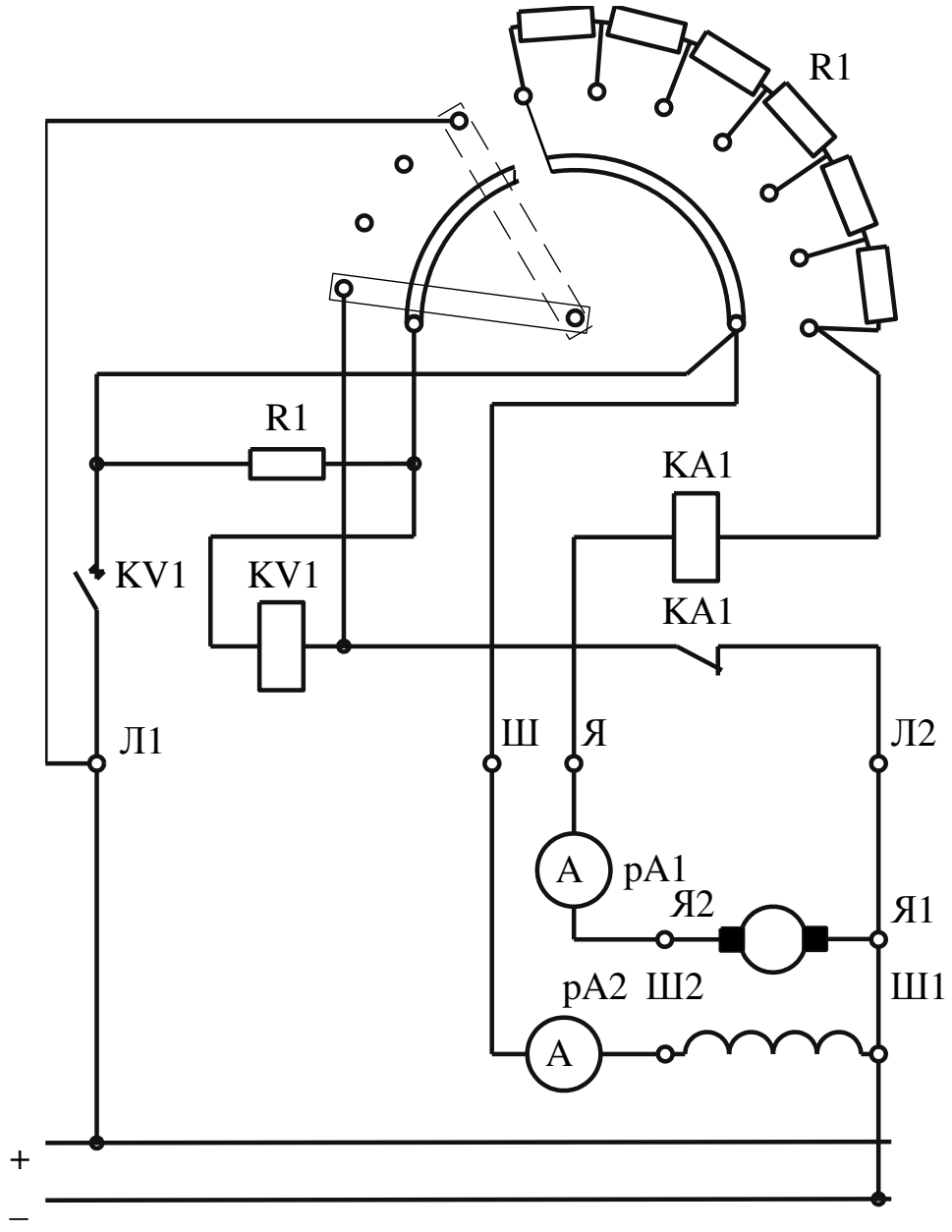


Рисунок 2.1 – Схема электрическая принципиальная пускового реостата РП-2522

При исчезновении напряжения или снижении его до 65% от номинального реле KV1 отключает двигатель от сети. Для повторного включения щётка реостата также переводится в положение «стоп» и затем в положение «ход».

Пусковой реостат снабжён следующими видами защит: нулевой, максимальной, максимально-нулевой, максимально-минимальной. Нулевую защиту в пусковых реостатах применяют для предотвращения включения двигателя на полное напряжение сети при выведенном пусковом сопротивлении в цепи якоря.

Минимальная защита по своему действию аналогична нулевой, но для неё устанавливают определённые пределы срабатывания. Например, срабатывание минимальной защиты должно происходить при снижении напряжения сети до 65–75% номинального. Заводская регулировка срабатывания

минимальной защиты при выпуске составляет 50% номинального напряжения.

Максимальная токовая защита характеризуется тем, что при увеличении тока в силовой цепи сверх установленного значения эта цепь отключается под действием аппарата или комплекта аппаратов и не может самопроизвольно выключиться. Осуществляется максимальная защита двигателя токовым реле мгновенного действия. Это реле должно быть отстроено от пусковых токов:

$$I_{ср.р.м.} \geq 1{,}2 I_{м.п.}, \quad (2.4)$$

где $I_{м.п.}$ – максимальный пусковой ток;

$I_{ср\ р.м.}$ – ток срабатывания реле максимального тока.

При пуске с полной нагрузкой

$$I_{м.п.} = (1{,}4–2{,}5)\ I_{н}. \quad (2.5)$$

Поэтому максимальное реле должно срабатывать при токах

$$I_{ср\ р.м.} = (1{,}7–3) I_{н}. \quad (2.6)$$

Процесс запуска двигателя постоянного тока может быть автоматизирован. Для выявления возможности автоматизации процесса пуска двигателя постоянного тока параллельного возбуждения рассмотрим пусковую диаграмму двигателя постоянного тока (рисунок 2.2).

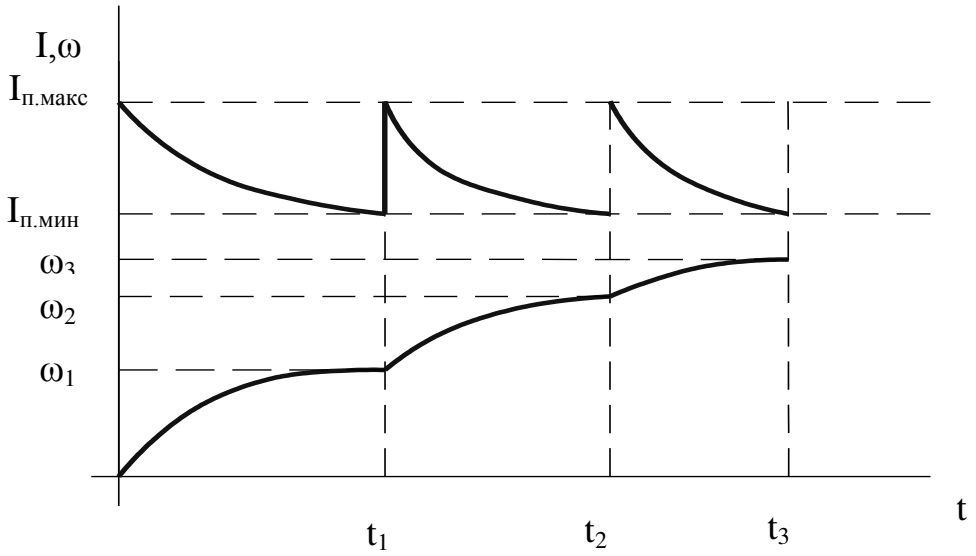


Рисунок 2.2 – Пусковая диаграмма двигателя с тремя ступенями

В процессе пуска за время, равное t_1, ток якоря изменяется от значения $I_{п.макс}$ до $I_{п.мин}$, при достижении которого происходит отключение ступеней пускового реостата. Также происходит изменение угловой скорости. Так, в момент пуска угловая скорость равна 0, а в момент отключения сопротивления r_3 она достигает значения ω_1. Кроме того, выражение (2.2) устанавливает прямопропорциональную зависимость между ЭДС якоря Е и угловой скоростью. Таким образом, запуск двигателя постоянного тока можно осуществить в функции тока, угловой скорости и времени.

Управление в функции тока предусматривает изменение тока в якорной цепи двигателя в установленных пределах. Пределы регулирования тока устанавливаются токовым реле КА1 (рисунок 2.3). Схемой предусмотрен пуск двигателя в три ступени.

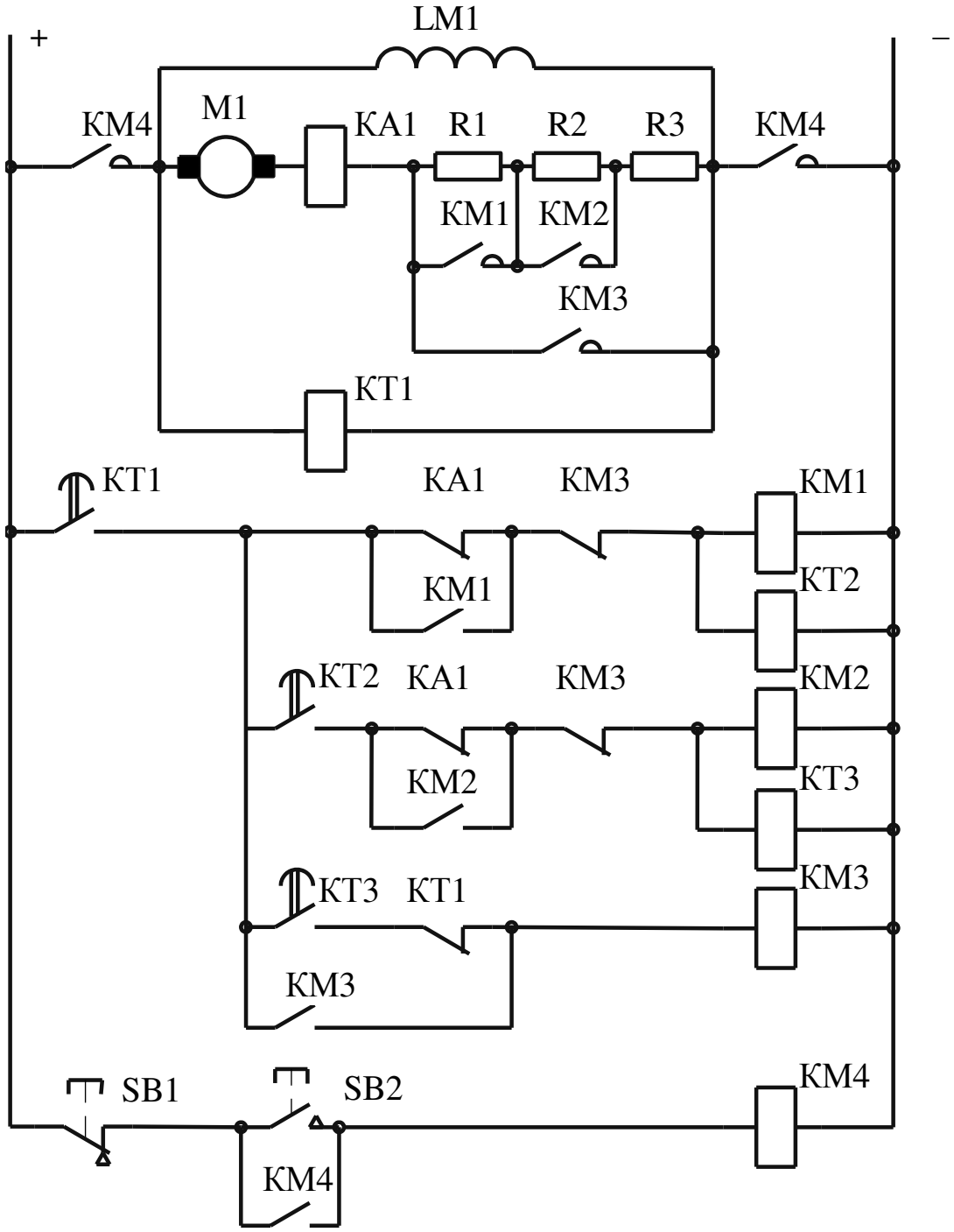


Рисунок 2.3 – Схема управления пуском ДПТ независимого возбуждения в функции тока

Запуск производится в следующем порядке. При нажатии кнопки SB2 получает питание катушка пускателя КМ4. Замыкающий контакт КМ4 шунтирует кнопку SB2, а силовые контакты подают питание в якорную цепь двигателя и на обмотку возбуждения. Пусковые сопротивления полностью введены. Одновременно подаётся питание на катушку реле тока КА1 и катушку реле

времени КТ1. Так как в этот момент происходит резкое увеличение тока в якорной цепи двигателя до значения $I_{п.макс}$ (рисунок 2.2), реле КА1 размыкает свои контакты в цепи питания катушек магнитных пускателей КМ1, КМ2 и КМ3. Через 1–2 секунды после срабатывания КА1 замыкается контакт реле времени КТ1. При снижении тока до величины $I_{п.мин}$ (рисунок 2.2) реле КА1 замыкает свои контакты в цепи питания пускателей КМ1, КМ2, КМ3, но получает питание только катушка пускателя КМ1, так как контакты реле времени КТ2 и КТ3 разомкнуты. Магнитный пускатель КМ1 замыкает свой контакт в якорной цепи двигателя, при этом из неё исключается пусковое сопротивление R1. Одновременно получает питание катушка реле времени КТ2. При закорачивании сопротивления R1 в якорной цепи ток опять возрастает до величины $I_{п.макс}$ и токовое реле КА1 размыкает свои контакты, однако, катушка пускателя КМ1 остаётся под напряжением, так как в её цепи контакт КА1 зашунтирован блокирующим контактом КМ1. Через выдержку времени реле времени КТ2 замыкает свой контакт, и при снижении тока до величины $I_{п.мин}$ контакт реле КА1 замыкается и получают питание катушки магнитного пускателя КМ2 и реле времени КТ3. Шунтируется вторая ступень пусковых сопротивлений R2. Аналогично срабатывает система шунтирования третьей ступени.

Схема управления в функции скорости представлена на рисунке 2.4. Исходя из пусковой диаграммы, шунтирование первой ступени должно происходить при угловой скорости ω_1, второй – при угловой скорости ω_2, а третьей – при угловой скорости ω_3 (рисунок 2.2). Этим значениям угловой скорости соответствуют величины ЭДС E_1, E_2 и E_3.

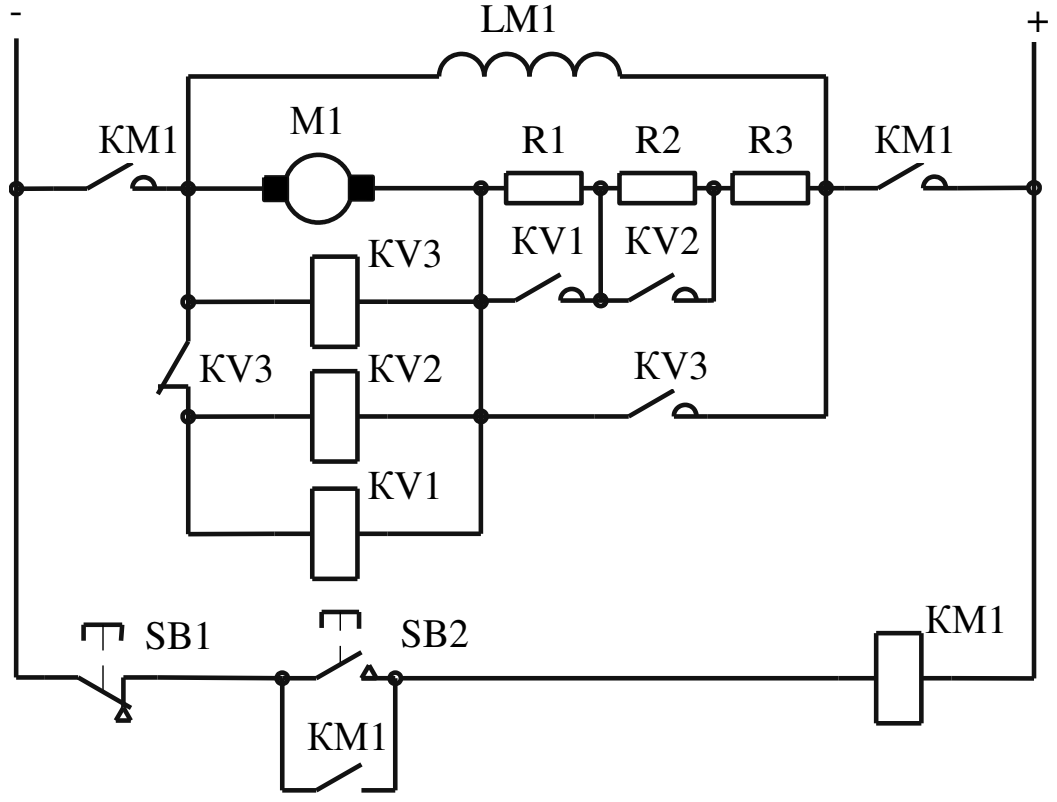


Рисунок 2.4 – Схема электрическая принципиальная управления пуском ДПТ независимого возбуждения в функции скорости

При нажатии на кнопку SB2 получает питание катушка магнитного пускателя КМ1. Пускатель своим блокирующим контактом шунтирует кнопку SB2 и, замыкая силовые контакты, подключает двигатель к сети. Пусковые сопротивления введены. Реле напряжения KV1, KV2, KV3 включены таким образом, что на них подаётся ЭДС якоря. При достижении якорем двигателя угловой скорости ω_3 ЭДС якоря достигает величины E_3, которая соответствует напряжению срабатывания реле напряжения KV1. При этом контакт KV1 замыкается, шунтируя первую ступень пусковых сопротивлений R1. Реле KV2 и KV3 не срабатывают, так как настроены на более высокое напряжение. Они срабатывают соответственно при достижении двигателем угловой скорости ω_2 и ω_1, которым соответствуют значения ЭДС E_2 и E_1.

При достижении угловой скорости ω_1 шунтируются все пусковые сопротивления. Якорь двигателя включается на сетевое напряжение. Размыкающие контакты KV3 отключают катушки реле напряжения KV1 и KV2.

Изменения угловой скорости и тока в процессе пуска происходят в течение определённого промежутка времени.

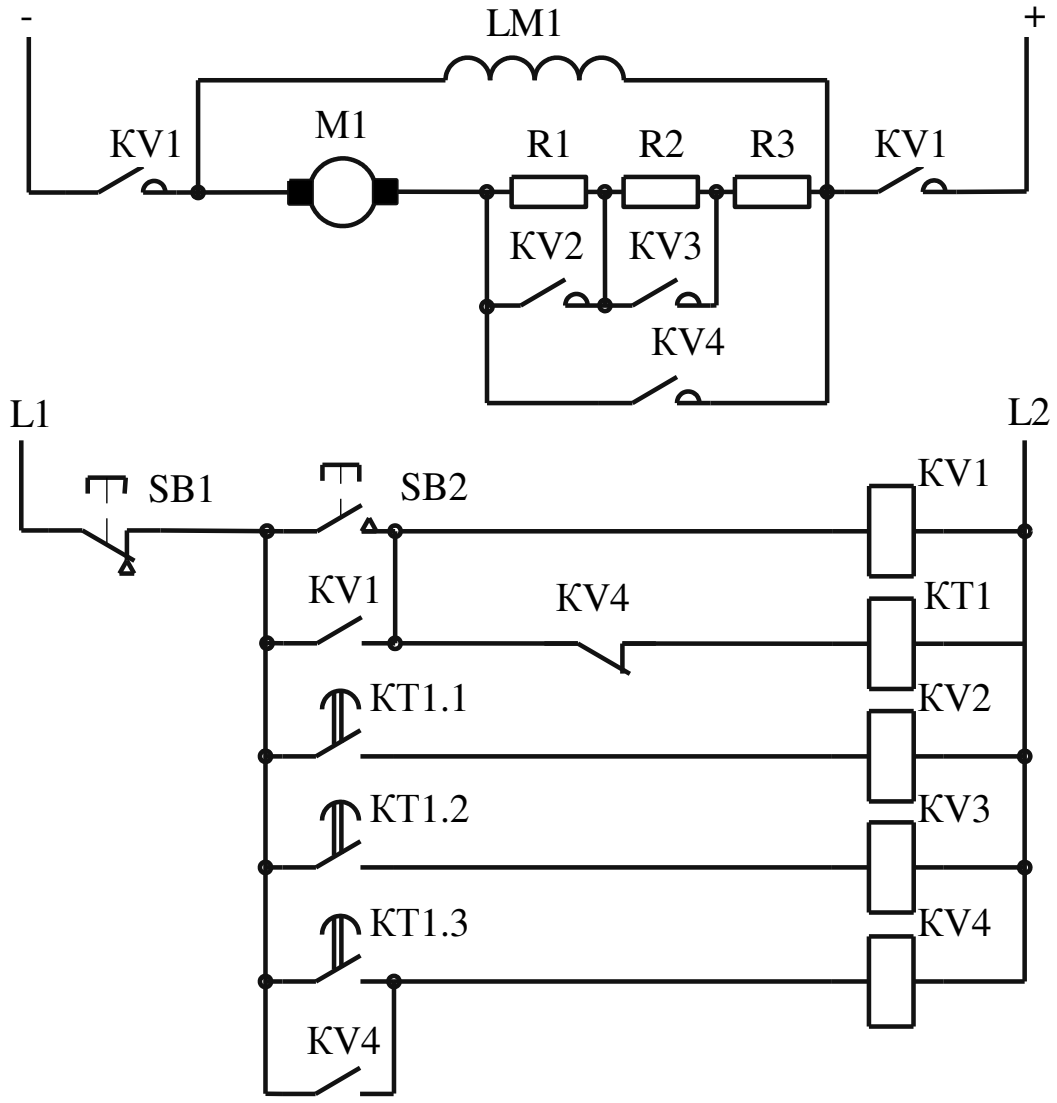


Рисунок 2.5 – Схема управления пуском двигателя постоянного тока в функции времени

Так, например, изменение угловой скорости от 0 до ω_1 происходит за время t_1, от ω_1 до ω_2 – за время t_2–t_1 и от ω_2 до ω_3 – за время t_3–t_2. Для управления пуском двигателем постоянного тока в три ступени используют программное реле времени (рисунок 2.5).

Схема управления пуском двигателя постоянного тока в функции времени работает следующим образом. При нажатии на кнопку SB2 получают питание катушки реле KV1 и KT1. Реле KV1 своим блокирующим контактом мгновенно шунтирует кнопку SB1, одновременно через замкнувшиеся силовые контакты питание поступает на якорь и обмотку возбуждения двигателя. Происходит запуск двигателя при полностью введённых ступенях пускового реостата. Через выдержку времени t_1 замыкаются контакты реле времени KT1.1, питание получает реле KV2, из цепи якоря выводится сопротивление R1. Аналогичным образом питание получают реле KV3 и KV4. При срабатывании реле KV4 якорь двигателя включается на сетевое напряжение.

Выбор схемы управления пуском ДПТ производится с учётом конкретных условий работы электропривода, мощности двигателя, условий его пуска и т.д.

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. Изучить конструкцию и назначение пусковых реостатов.
2. Ознакомиться со схемой пускового реостата. Собрать схему (рисунок 2.1) для запуска двигателя постоянного тока с пусковым реостатом.
3. Произвести запуск двигателя при помощи пускового реостата. Величину тока в якорной цепи при запуске необходимо контролировать по амперметру pA1. Скорость перемещения скользящего контакта по клеммам реостата выбирается такой, чтобы пусковой ток колебался в небольших пределах. Необходимо учесть, что длительная работа на промежуточной ступени реостата недопустима, так как в пусковых реостатах сопротивления ступеней реостата не рассчитаны на длительный режим.
4. Изучить принципы автоматизированного пуска двигателя и схемы запуска в функциях тока, скорости и времени.
5. Для ознакомления со способами автоматизации пуска двигателя постоянного тока собрать схему электрическую принципиальную управления пуском двигателя в функции времени, представленную на рисунке 2.5. Произвести запуск двигателя по этой схеме.
6. Оформить отчёт о работе.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Электрические схемы, изображённые на рисунках 2.1, 2.3–2.5.
2. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Поясните, почему не допускается прямой пуск двигателей постоянного тока.
2. В каких пределах поддерживается величина пускового тока?
3. Назначение, устройство и принцип действия пусковых реостатов.
4. Какие виды защит имеют реостаты и как они осуществляются?
5. Назначение экономического сопротивления в пусковом реостате.
6. На какой клемме происходит запуск пускового реостата? Почему?
7. На какой клемме происходит отключение пускового реостата? Почему?
8. По каким параметрам можно автоматизировать процесс управления пуском двигателя постоянного тока?
9. Поясните, как происходит запуск двигателя по схеме в функции времени.
10. Поясните, как происходит запуск двигателя по схеме в функции тока.
11. Поясните, как происходит запуск двигателя по схеме в функции скорости.
12. На какой клемме происходит отключение пускового реостата? Почему?

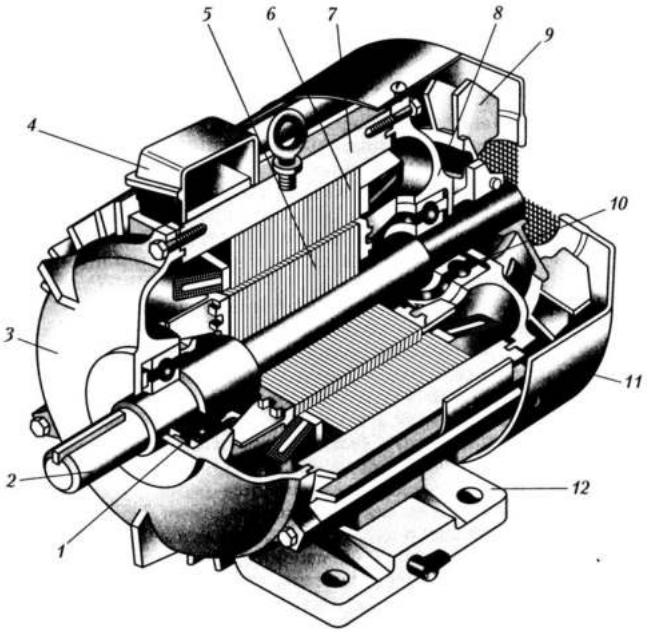
Лабораторная работа № 3

ПОДГОТОВКА К ПУСКУ И ПУСК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы: изучить способы и схемы включения асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, приобрести навыки маркировки обмоток АД.

Общие сведения

Асинхронные двигатели получили в промышленности и сельскохозяйственном производстве широкое применение благодаря ряду существенных преимуществ по сравнению с другими типами двигателей. Асинхронный двигатель прост и надёжен в эксплуатации, так как не имеет коллектора, асинхронные двигатели дешевле и значительно легче двигателей постоянного тока.



1, 10 – подшипники; 2 – вал;
3, 8 – подшипниковые щиты;
4 – коробка выводов;
5 – сердечник ротора с обмоткой;
6 – сердечник статора с обмоткой;
7 – корпус; 9 – вентилятор;
11 – кожух вентилятора;
12 – лапы

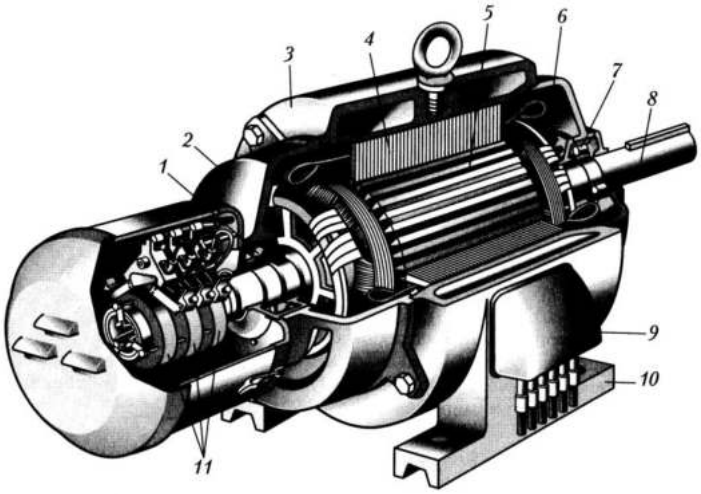
Рисунок 3.1 – Устройство трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Асинхронный двигатель состоит из двух основных частей: неподвижного статора и вращающегося ротора, разделённых воздушным зазором. Каждая из этих частей имеет сердечник и обмотку. При этом обмотка статора включается в сеть и является первичной, а обмотка ротора – вторичной. Обмотка ротора не имеет электрической связи с обмоткой статора. Между этими обмотками существует только магнитная связь, и энергия из обмотки статора передается в обмотку ротора магнитным полем. В этом отношении асинхронная машина аналогична трансформатору.

По своей конструкции асинхронные двигатели разделяют на два вида: двигатели с короткозамкнутой обмоткой ротора (рисунок 3.1) и двигатели с фазной обмоткой ротора (рисунок 3.2).

Неподвижная часть двигателя – статор состоит из корпуса 7 и сердечника 6 с обмоткой. С целью ослабления вихревых токов сердечник делают шихтованным из тонколистовой электротехнической стали (обычно толщиной 0,5 мм). Пластины сердечника статора покрываются слоем изоляционного лака, собираются в пакет и скрепляются специальными скобами или продольными сварными швами по наружной поверхности пакета. Такая конструкция сердечника способствует значительному уменьшению вихревых токов, возникающих в процессе перемагничивания сердечника вращающимся магнитным полем.

Сердечник ротора также имеет шихтованную конструкцию. Пластинки, из которых собирается ротор, имеют на своей поверхности тонкую плёнку оксида. Это является достаточной изоляцией, ограничивающей вихревые токи, так как величина их невелика. Обмотка ротора, называемая «беличье колесо», представляет собой ряд алюминиевых или медных стержней, расположенных в пазах сердечника ротора, замкнутых с двух сторон короткозамкнутыми кольцами. Одновременно со стержнями обмотки отливаются и короткозамкнутые кольца и вентиляционные лопатки.



1, 7 – подшипники;
2, 6 – подшипниковые щиты;
3 – корпус;
4 – сердечник статора с обмоткой;
5 – сердечник ротора с обмоткой;
8 – вал;
9 – коробка выводов; 10 – лапы;
11 – контактные кольца

Рисунок 3.2 – Устройство трёхфазного асинхронного двигателя с фазным ротором

Другая разновидность трёхфазных асинхронных двигателей – двигатели с фазным ротором – конструктивно отличается устройством ротора. Обмотка ротора выполняется аналогично обмотке статора. Эту обмотку соединяют звездой, а ее концы присоединяют к трём контактным кольцам, расположенным на валу и изолированным друг от друга и от вала. Для осуществления электрического контакта с обмоткой вращающегося ротора на каждое контактное кольцо накладываются обычно две щётки, располагаемые в щёткодержателях.

Питание подаётся на концы статорных обмоток, выведенных в коробку выводов. Под действием напряжения по статорным обмоткам начинает протекать ток. Так как обмотки в пространстве сдвинуты под углом в 120 элек-

трических градусов и токи, протекающие по обмоткам, сдвинуты относительно друг друга на 1/3 периода, создаётся вращающееся магнитное поле. Магнитное поле статора, пронизывая обмотку ротора, наводит в нем ЭДС. А так как обмотка ротора представляет собой короткозамкнутую цепь, то в ней под действием ЭДС будет протекать ток. При взаимодействии магнитного поля статора и тока ротора создаётся вращающий электромагнитный момент.

Маркировка выводов статорных обмоток асинхронного двигателя может быть выполнена одним из следующих методов: методом проб, методом трансформации или методом разомкнутого треугольника. Метод трансформации подробно рассматривается в разделе «Методика выполнения работы». В соответствии с методом проб, после того как определены выводы отдельных фаз, по одному из выводов от каждой обмотки соединяют в общую точку, а другие выводы включают в сеть. Если двигатель будет работать нормально, то в общей точке оказались все три «конца», а к сети подсоединены «начала» обмоток. Если двигатель работает ненормально (сильно гудит и вращается с малой скоростью), то в общей точке оказались либо два «начала» и один «конец», либо одно «начало» и два «конца». В этом случае не следует держать двигатель включённым в сеть. После этого меняют выводы одной из фаз и снова включают в сеть. Если и на этот раз двигатель работает ненормально, то возвращают на прежнее место выводы этой фазы и меняют местами выводы следующей и так далее. Максимальное число проб при этом способе – три.

По методу разомкнутого треугольника обмотки соединяются последовательно друг с другом, свободные концы подключаются к источнику питания. После этого вольтметром с пределом измерения до 250 В замеряют уровень напряжения на каждой обмотке. Если показания вольтметра во всех трёх случаях одинаковые, то в местах соединения встречаются конец одной обмотки с началом другой.

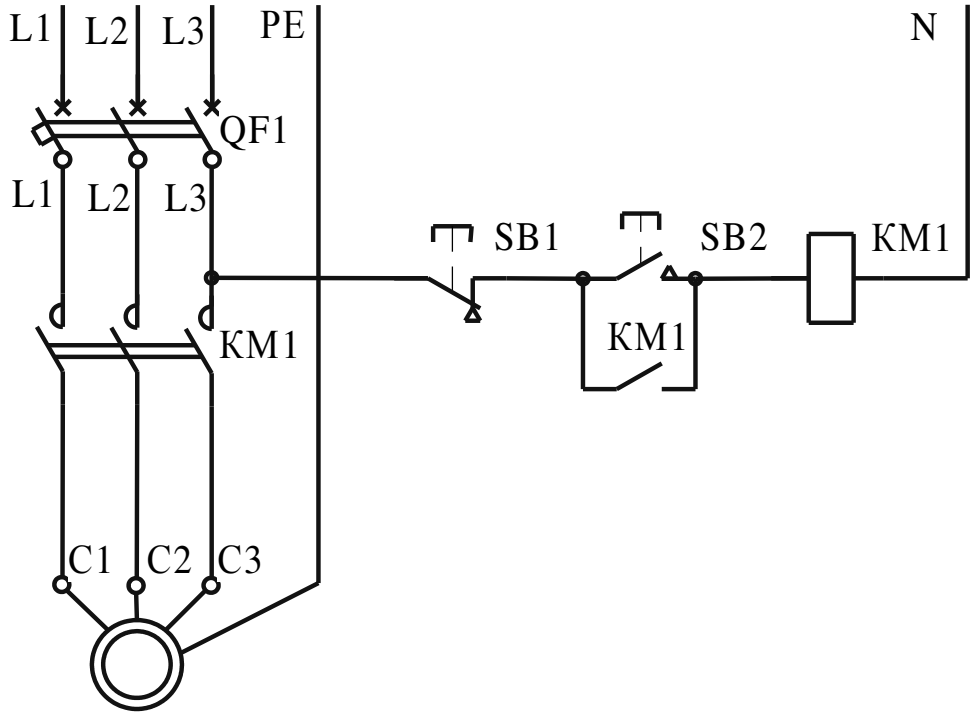


Рисунок 3.3 – Нереверсивная схема управления асинхронным двигателем

Простейшая нереверсивная схема управления асинхронными двигателями представлена на рисунке 3.3. Схема работает следующим образом. При нажатии кнопки SB2 «Пуск» замыкается цепь питания катушки магнитного пускателя КМ1, который срабатывает и своими силовыми контактами КМ1 подключает к сети двигатель М1. Одновременно замыкаются контакты КМ1, шунтирующие кнопку SB2 «Пуск», чем обеспечивается питание обмотки контактора при отпускании этой кнопки.

Отключение двигателя выполняется нажатием кнопки SB1 «Стоп». При этом размыкается цепь питания катушки магнитного пускателя КМ1, что приводит к размыканию всех его силовых контактов КМ1, отключающих двигатель от сети, и контактов, шунтирующих кнопку SB1.

При отпускании кнопки SB1 её контакты замыкаются, но цепь катушки пускателя КМ1 остаётся разомкнутой.

При необходимости обеспечения вращения приводного вала рабочей машины как по часовой стрелке, так и против используется схема, изображённая на рисунке 3.4.

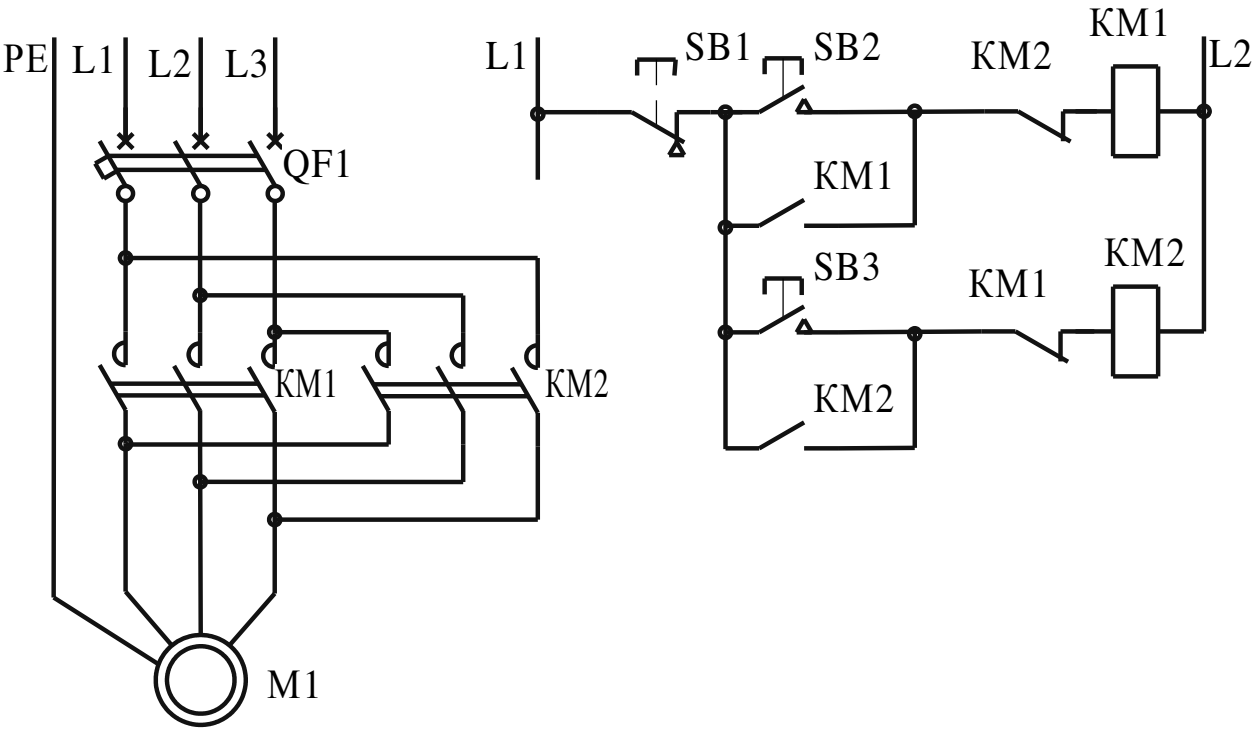


Рисунок 3.4 – Схема реверсирования двигателя
с помощью кнопок управления

Для того чтобы обеспечить вращение вала по часовой стрелке, нажимают на кнопку SB2 (рисунок 3.4). Питание получает катушка магнитного пускателя КМ1.1. Замкнувшиеся силовые контакты КМ1.1 подключают обмотку статора двигателя М1 к сети. Размыкающие контакты КМ1.1 размыкаются в цепи катушки КМ1.2, тем самым исключают возможность одновременного замыкания силовых контактов КМ1.1 и КМ КМ1.2, а следовательно, возникновения короткого замыкания в силовой цепи.

Для отключения двигателя нажимают кнопку SB1. Обратное вращение двигателя обеспечивается при нажатии на кнопку SB3.

Программа и методика выполнения лабораторной работы

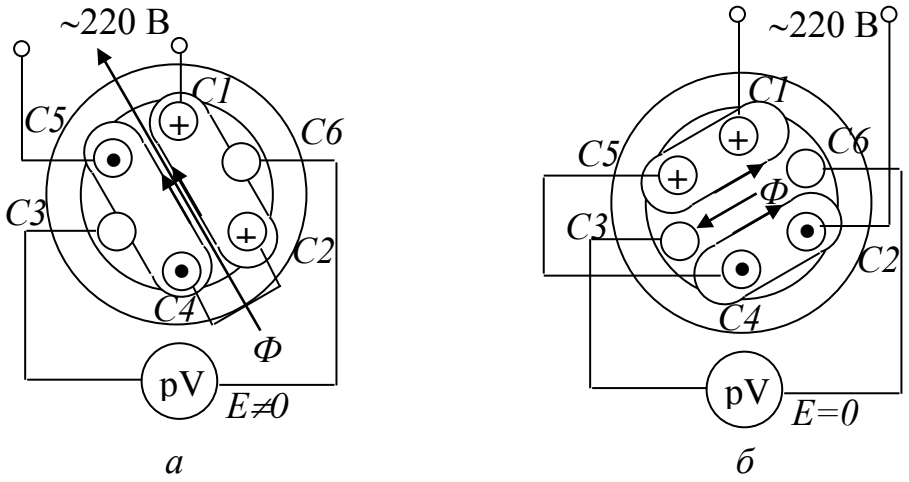
1. Осмотреть двигатель и дать заключение об исправности механической части двигателя. Для этого проверить затяжку болтов и гаек подшипниковых щитов и коробки выводов. Осмотреть контактные соединения на зажимах электродвигателя. Окислившиеся или подгоревшие контакты разобрать, зачистить контактные поверхности до металлического блеска. Проверить отсутствие заедания в подшипниках электродвигателя или заедания ротора за статор путём поворота от руки вала электродвигателя. Проверить осевой разбег подшипников, он должен быть не более 0,2–0,4 мм.

2. Произвести проверку электрической части двигателя, которая включает в себя: проверку наличия маркировки выводов статора; проверку мегомметром уровня изоляции обмоток относительно корпуса и между собой. Для новых или отремонтированных двигателей в холодном состоянии сопротивление изоляции должно быть не менее 4 МОм.

3. В случае отсутствия маркировки произвести определение «начала» и «конца» обмоток статора. Для этого при помощи мультиметра определяют принадлежность выводов обмоткам статора. Определение «начала» и «конца» обмоток статора выполняют одним из двух способов: методом проб или методом трансформации.

В соответствии с методом проб, после того, как определены выводы отдельных обмоток, по одному из выводов от каждой обмотки соединяют в общую точку, а другие выводы включают в сеть. Если двигатель будет работать нормально, то есть он развивает необходимые обороты и не гудит, то в общей точке оказались все три «конца» С4, С5, С6, а к сети подсоединены «начала» С1, С2, С3. Если двигатель работает ненормально (сильно гудит, вибрирует, идёт рывками, ротор вращается с малой скоростью), то в общей точке оказались либо два «начала» и один «конец», либо одно «начало» и два «конца». В этом случае не следует долго держать двигатель включённым в сеть. После этого меняют местами выводы одной из обмоток и снова подключают статор к сети. Если и на этот раз двигатель работает ненормально, то возвращают на прежнее место выводы этой обмотки и меняют местами выводы следующей и т.д. Максимальное число «проб» при этом способе – три.

По методу трансформации одну из обмоток подключают к вольтметру с малым пределом измерения (30–60 В), две другие обмотки соединяют последовательно и включают в сеть 220 В. Если «конец» одной обмотки оказался соединённым с «началом» другой, то вольтметр покажет напряжение. Это значит, что суммарный магнитный поток Ф, образуемый этими обмотками, будет пересекать третью обмотку и наводить в ней ЭДС (рисунок 3.5 *а*). Если же в общей точке соединённых последовательно двух обмоток окажутся два «конца» или два «начала», то общий магнитный поток будет направлен вдоль плоскости третьей обмотки, ЭДС в ней не наводится, и вольтметр покажет ноль (рисунок 3.5 *б*). Таким образом, если вольтметр покажет напряжение на третьей обмотке, то помечают «концы» и «начала» последовательно соединённых обмоток. Аналогичным способом определяют «начало» и «конец» третьей обмотки.



а *б*

Рисунок 3.5 – Маркировка концов обмоток по методу трансформации

4. Произвести прямой пуск двигателя по схеме «звезда» и по схеме «треугольник» с учётом произведённой маркировки двигателя.

5. Собрать нереверсивную схему управления асинхронным электродвигателем, представленную на рисунке 3.3. Произвести запуск двигателя.

6. Собрать реверсивную схему управления асинхронным электродвигателем, представленную на рисунке 3.4. Произвести запуск двигателя.

7. Оформить отчёт о работе.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Результаты маркировки обмоток двигателя.
2. Электрические схемы, изображённые на рисунках 3.3 и 3.4.
3. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные элементы конструкции асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

2. В чем состоит отличие асинхронного электродвигателя с фазным ротором от асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?

3. Почему сердечники и статора и ротора имеют шихтованную конструкцию?

4. Сформулируйте условия создания кругового вращающегося магнитного поля.

5. Поясните принцип работы асинхронного двигателя.

6. Поясните порядок определения «начала» и «концов» обмоток методом «проб».

7. Поясните порядок определения «начала» и «концов» обмоток по методу «разомкнутого треугольника».

8. Поясните порядок определения «начала» и «концов» обмоток методом «трансформации».

9. Изобразите нереверсивную схему управления асинхронным двигателем.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПОДВОДИМОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы: исследование регулировочных характеристик асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором при изменении подводимого напряжения. Получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о естественной и искусственных механических характеристиках асинхронного двигателя.

Общие сведения

Асинхронные двигатели (АД) получили в промышленности весьма широкое применение благодаря ряду существенных преимуществ по сравнению с другими типами электродвигателей. АД просты и надёжны в эксплуатации. Их надёжность обусловлена отсутствием скользящих контактов (коллектора или контактных колец). Асинхронные двигатели дешевле и значительно легче двигателей постоянного тока. Поэтому они составляют основу электроприводов рабочих машин во всех отраслях производства.

При выводе уравнения механической характеристики асинхронного двигателя необходимо обратиться к упрощённой схеме замещения (рисунок 4.1).

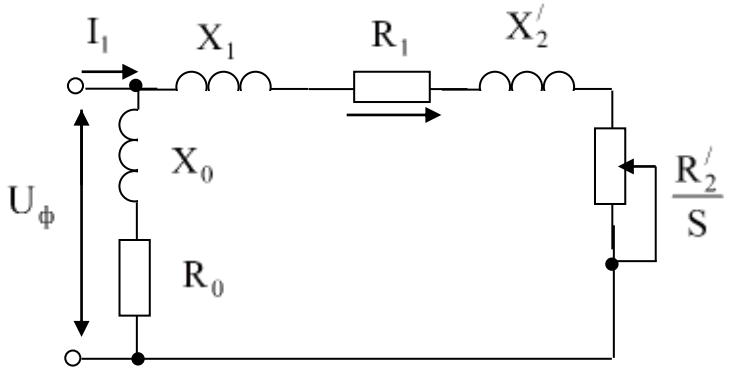


Рисунок 4.1 – Упрощённая схема замещения асинхронного электродвигателя

В соответствии со схемой замещения находим выражение для приведённого вторичного тока:

$$I_2' = \frac{U_ф}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{S})^2 + (X_1 + X_2')^2}}\ , \qquad (4.1)$$

где R_1, R_2' – соответственно активное фазное сопротивление обмотки статора и обмотки ротора, приведённое к обмотке статора, Ом;

R_0, X_0 – активное и реактивное сопротивление контура намагничивания;

X_1, X_2' – первичное и вторичное приведённое сопротивление рассеяния;

S – текущее значение скольжения двигателя.

Электромагнитная мощность, передаваемая через воздушный зазор от статора к ротору, может быть выражена как через механические, так и через электрические параметры:

$$P_{эм} = M\omega_1 = 3(I_2')^2 \frac{R_2'}{S}, \tag{4.2}$$

откуда

$$M = \frac{3(I_2')^2 R_2'}{\omega_1 S}. \tag{4.3}$$

Подставив значение I_2' в выражение (4.3), получим уравнение механической характеристики асинхронного двигателя:

$$M = \frac{3U_ф{}^2 R_2'}{\omega_1 \left((R_1 + \frac{R_2'}{S})^2 + (X_1 + X_2')^2\right) S}. \tag{4.4}$$

В свою очередь скорость вращения магнитного поля зависит от частоты питающей сети f_1 и числа пар полюсов p:

$$\omega_1 = \frac{2\pi \cdot f}{p}. \tag{4.5}$$

Таким образом, из выражений (4.4) и (4.5) следует, что угловую скорость вращения асинхронного двигателя можно регулировать: изменением напряжения на зажимах двигателя, введением добавочного сопротивления в цепь статора или ротора, изменением числа пар полюсов и изменением частоты питающей сети.

Расчёт механической характеристики асинхронного двигателя M=f(ω) производится на основании формулы Клосса:

$$M = \frac{2M_к\left(1 + \frac{R_1}{cR_2'}S_к\right)}{\frac{S_к}{S} + \frac{S}{S_к} + 2\frac{R_1}{cR_2'}S_к}, \tag{4.6}$$

где $M_к$ – максимальный критический момент, Н·м;

$S_к$ – скольжение, соответствующее максимальному критическому моменту;

c – коэффициент перехода от Т-образной схемы замещения АД к Г-образной.

В практических расчётах чаще используется соотношение следующего вида [10, 14]:

$$M = \frac{M_к(2+q)}{\frac{S_к}{S} + \frac{S}{S_к} + q}, \tag{4.7}$$

где

$$q = 2\frac{R_1}{cR_2'}S_к. \tag{4.8}$$

Максимальный (критический) момент двигателя $M_к$ рассчитывается по номинальному моменту двигателя $M_н$ и его перегрузочной способности $\mu_к$:

$$M_к = M_н \cdot \mu_к . \tag{4.9}$$

Значение критического скольжения $S_к$ и параметра q с достаточной степенью точности могут быть определены по соотношениям:

$$S_к = \frac{\sqrt{S_н} + \sqrt{\frac{\mu_к - 1}{\mu_1 - 1}}}{\frac{1}{\sqrt{S_н}} + \sqrt{\frac{\mu_к - 1}{\mu_1 - 1}}}; \tag{4.10}$$

$$q = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{S_к}} - \sqrt{S_к}\right)^2}{\mu_1 - 1} - 2, \tag{4.11}$$

где $S_н$ – номинальное скольжение;

$\mu_к$ – кратность критического момента.

$$\mu_1 = \frac{\mu_к}{\mu_п}, \tag{4.12}$$

где $\mu_п$ – кратность пускового момента.

Характерными точками механической характеристики асинхронного электродвигателя являются: точка пуска с координатами ω=0; $M=M_п$; точка, соответствующая минимальному моменту на пусковой ветви $M=M_{мин}$, а угловая скорость соответствует скольжению S=0,8; критическая точка с координатами $\omega_к$ и $M=M_к$; номинальная точка $\omega=\omega_н$, $M=M_н$; точка холостого хода, в которой $\omega=\omega_1$, а M=0 (рисунок 4.2).

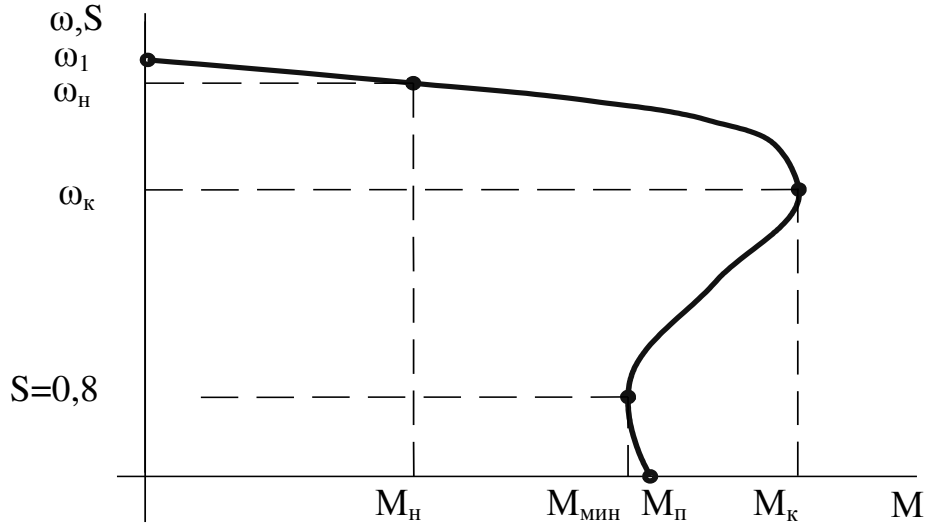


Рисунок 4.2 – Механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Величины пускового и минимального моментов определяются по соотношениям:

$$M_п = M_н \cdot \mu_п; \quad (4.13)$$

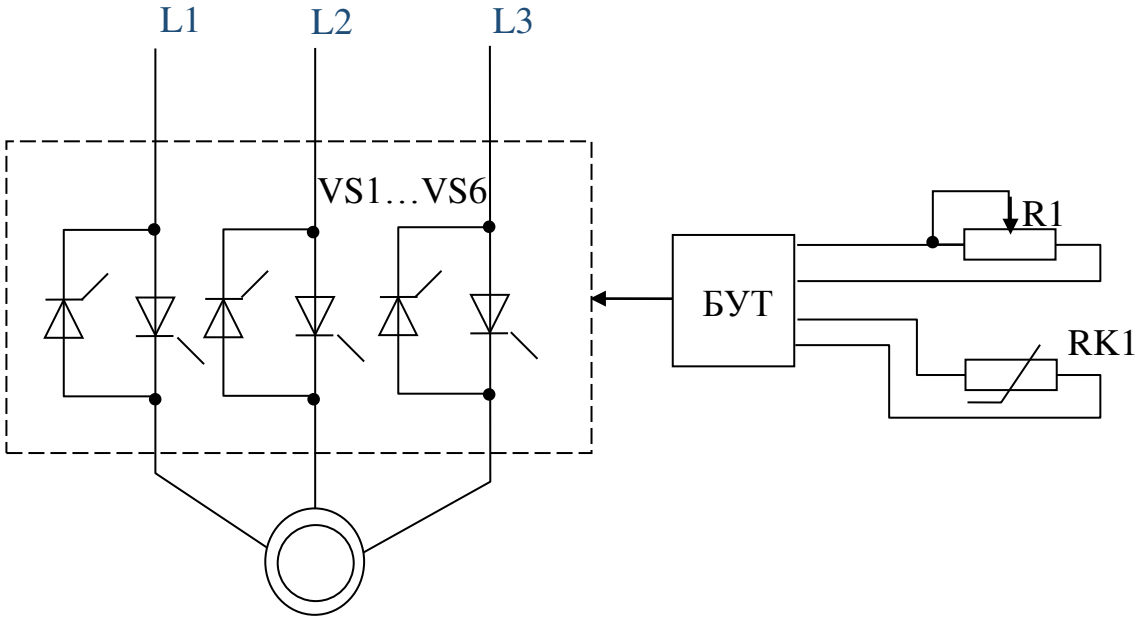
$$M_{мин} = M_н \cdot \mu_м. \quad (4.14)$$

Механическую характеристику рассчитывают по выражениям (4.6) либо (4.7), задаваясь значениями S от 0 до 0,6. Угловая скорость, соответствующая принятым значениям скольжения, определяется с учётом этих скольжений и скорости вращения магнитного поля:

$$\omega = \omega_1 \cdot (1 - S) \ . \quad (4.15)$$

Как уже отмечалось выше, один из способов регулирования механической характеристики асинхронного двигателя – изменение подводимого напряжения. Изменение напряжения на зажимах электродвигателя может быть реализовано при помощи различных технических средств: тиристорных регуляторов напряжения (ТРН), автотрансформаторов, дросселей насыщения, введения резисторов в цепь статора.

Плавное регулирование угловой скорости электродвигателя при помощи ТРН можно произвести по схеме, приведённой на рисунке 4.3. Поступающий на ТРН сигнал управления воздействует на угол открытия тиристоров, а значит влияет на величину напряжения на обмотках статора. При закрытии тиристоров электродвигатель отключается от сети. Но поскольку коммутация тиристоров происходит с большой частотой и система обладает инерционностью, устанавливается некоторая средняя угловая скорость вращения $\omega_{ср}$, которая растёт с увеличением напряжения на обмотках статора. Изменение напряжения может производиться в ручном режиме с помощью резистора R1 или в автоматическом – с помощью термосопротивления RK1, например, при регулировании напряжения на зажимах двигателей вентиляторов, установленных внутри животноводческого помещения.



БТ – блок тиристоров; БУТ – блок управления тиристорами

Рисунок 4.3 – Схема электрическая принципиальная регулирования напряжения на зажимах электродвигателя с помощью тиристорного регулятора напряжения

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом работы асинхронного двигателя и способами регулирования его угловой скорости. Ознакомиться с исследуемым двигателем и оборудованием рабочего места. Записать паспортные данные испытуемого электродвигателя. Рассчитать и построить естественную и регулировочную механические характеристики электродвигателя ω=f(M) по семи точкам (пяти характерным и двум дополнительным) по паспортным данным.

При расчёте естественной характеристики необходимо воспользоваться соотношениями (4.7)–(4.15).

Из выражения (4.4) следует, что момент, развиваемый двигателем, зависит от приложенного напряжения в квадрате. Поэтому данные для построения искусственной характеристики получают путём пересчёта значений момента естественной характеристики $M_{е.х.}$ по следующему соотношению:

$$M_{и.х.} = M_{е.х.}\left(\frac{U_и}{U_е}\right)^2. \qquad (4.16)$$

Промежуточные данные и результаты расчётов естественной и регулировочных характеристик следует занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты расчетов естественной и регулировочной характеристик асинхронного электродвигателя по паспортным данным

ω	S	$S/S_к$	$S_к/S$	$S/S_к+S_к/S+q$	$M_{кр}(2+q)$	$M_{е.х.}$	$M_{и.х.}$
0 … $ω_1$							

2. Собрать схему, изображённую на рисунке 4.4. Соединить обмотки двигателя по схеме «треугольник». В этом случае при системе питания 127/220 В на обмотки двигателя будет подаваться линейное напряжение, по величине соответствующее номинальному напряжению обмоток. Снять данные для построения естественной характеристики. Нагрузку на испытуемый двигатель создаёт генератор, в цепь якоря которого включены лампы накаливания. Изменение нагрузки достигается включением разного количества ламп. Плавное регулирование нагрузки производится реостатом R1 в цепи обмотки возбуждения генератора. Изменяя нагрузку на валу электродвигателя, снять показания приборов и занести в таблицу 4.2.

Повторить эксперимент при соединении обмоток двигателя по схеме «звезда». В этом случае на обмотки двигателя будет подаваться фазное напряжение 127 В.

Расчётные величины таблицы 4.2 определяются следующим образом. Угловая скорость электродвигателя

$$\omega = \frac{\pi n}{30}. \qquad (4.17)$$

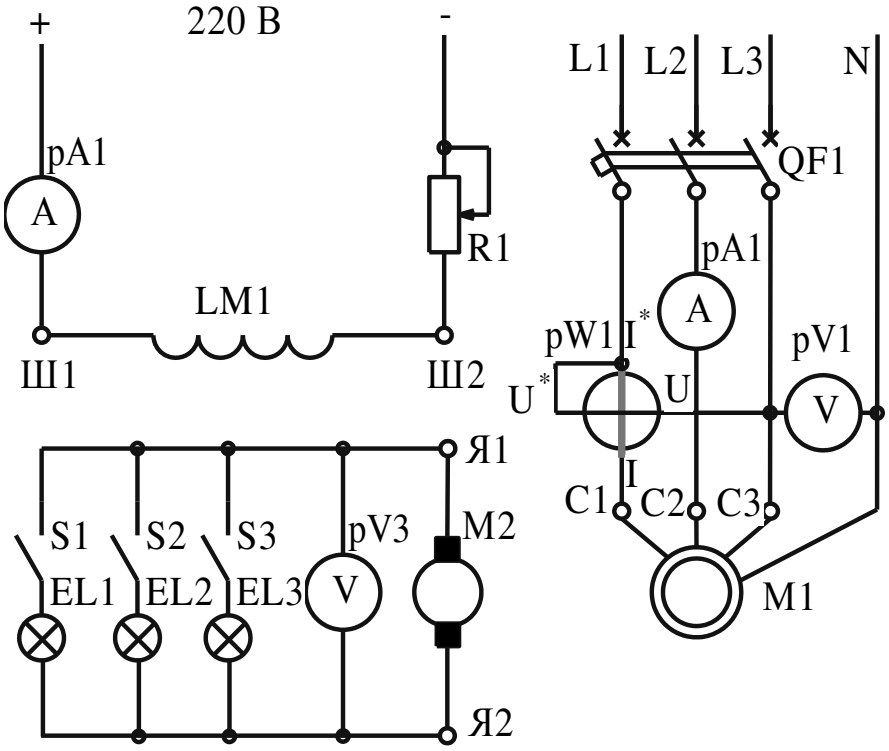


Рисунок 4.4 – Схема электрическая принципиальная испытательного стенда

Таблица 4.2 – Параметры для построения экспериментальных естественной и регулировочной характеристик

Данные опыта					Расчетные данные					
Номер опыта	U_1, В	I_1, А	P_1, Вт	n, об/мин	ω, $с^{-1}$	η	P_2, Вт	M, Н·м	S	cosφ
Естественная характеристика										
1										
2										
3										
4										
5										
Регулировочная характеристика										
1										
2										
3										
4										
5										

Мощность на валу электродвигателя в Вт:

$$P_2=P_1\cdot\eta, \qquad (4.18)$$

где P_1 – мощность, потребляемая электродвигателем из сети (по показаниям ваттметра PW).

Величина КПД определяется по графику (рисунок 4.5).

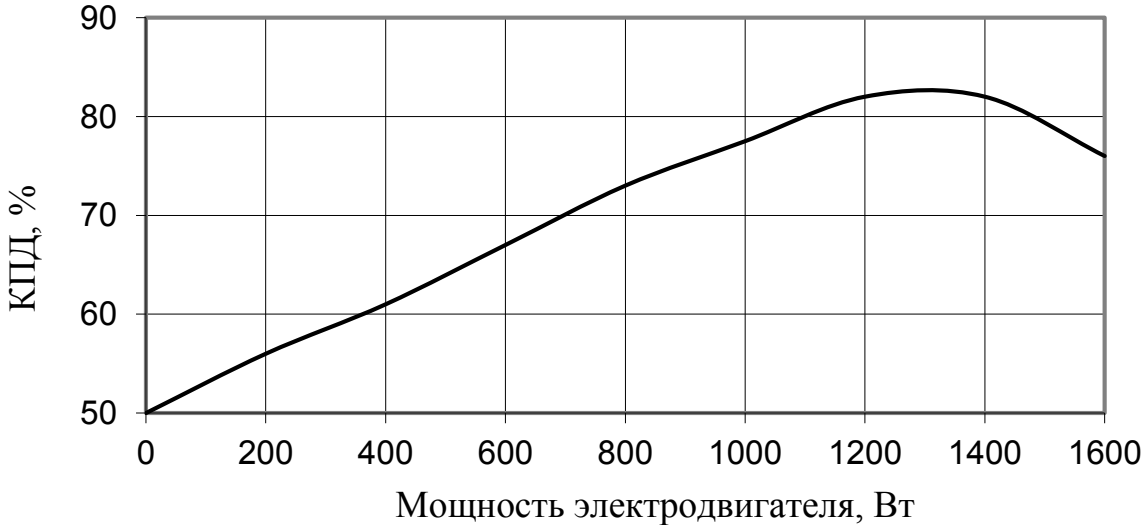


Рисунок 4.5 – Зависимость $\eta=f(P_1)$ для асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором АИР80А4ЭБСУ2

Текущее значение момента на валу электродвигателя в Н·м будет равно:

$$M=\frac{P_2}{\omega}. \qquad (4.19)$$

Текущее значение скольжения

$$S_x=\frac{n_1-n_x}{n_1}. \qquad (4.20)$$

Величина коэффициента мощности

$$\cos\varphi=\frac{P_1}{\sqrt{3}U_л I_1}. \qquad (4.21)$$

3. По результатам расчётов и экспериментов построить графические зависимости $\omega=f(M)$.

4. Оформить отчёт по работе, сделать выводы.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Схемы лабораторного стенда (рисунок 4.4).

2. Результаты расчёта механических характеристик $\omega=f(M)$ асинхронного электродвигателя естественной и регулировочной (таблица 4.1), графические зависимости, полученные по результатам расчетов.

3. Таблица 4.2 с результатами экспериментальных исследований и данными для построения экспериментальных естественной и регулировочной характеристик $\omega=f(M)$.

4. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Почему асинхронные электродвигатели получили широкое применение?
2. Перечислите способы регулирования угловой скорости асинхронного двигателя.
3. Изобразите механическую характеристику асинхронного двигателя.
4. Какие характерные точки имеет механическая характеристика асинхронного двигателя?
5. Обосновать целесообразность регулирования угловой скорости асинхронного двигателя изменением подводимого напряжения.
6. Как изменяется момент на валу асинхронного двигателя при изменении напряжения?

Лабораторная работа № 5

ПУСК ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ В ТРЕХФАЗНОМ И ОДНОФАЗНОМ РЕЖИМАХ

Цель работы: ознакомление со способами и схемами пуска асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в трёхфазном и однофазном режимах, приобретение умений и навыков управления пуском асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Общие сведения

В зависимости от мощности двигателя пусковой ток двигателя может превышать номинальный ток от 3 до 7,5 раз. Поэтому в отличие от двигателей постоянного тока они допускают прямой пуск.

Основной причиной, ограничивающей прямое включение двигателя в сеть, являются недостаточная мощность сети и ударное механическое воздействие на подвижные части двигателя и рабочей машины.

Пуск непосредственным включением в сеть применяется для асинхронных двигателей малой и средней мощности. Предельная мощность двигателя для прямого включения в сеть определяется в каждом конкретном случае, в зависимости от допустимой нагрузки для этой сети и условиями пуска двигателя (пуск в режиме холостого хода или под нагрузкой). Включение двигателей в сеть, питающую другие силовые и осветительные устройства, не должно вызывать падения напряжения, превышающее допустимое значение.

Схемы управления асинхронными двигателями, допускающие их прямое включение в сеть, представлены на рисунках 3.3 и 3.4.

При пуске двигателей от источников соизмеримой мощности может возникнуть ситуация, когда падение напряжения в линии превысит 20%, это осложнит пуск самого двигателя и может отразиться на работе уже работающих установок. Это объясняется зависимостью между моментом, развиваемым двигателем, и величиной питающего напряжения (см. выражение 4.4).

В отличие от асинхронных двигателей с фазным ротором, у которых возможно ограничение тока за счёт введения добавочных сопротивлений в цепь ротора, конструкция асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором этого не допускает. Поэтому основным средством уменьшения пускового тока в соответствии с выражением (4.4) является временное (на время пуска) понижение напряжения U_1, подводимого к обмотке статора. На этом основаны все специальные способы пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Однако следует помнить, что с понижением напряжения U_1 уменьшается пусковой момент двигателя, который пропорционален квадрату этого напряжения. Поэтому пуск асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при пониженном напряжении допускается лишь для случаев пуска без нагрузки или с небольшой нагрузкой на валу. При больших инерционных мас-

сах, приводимых в движение двигателем, снижение пускового момента может привести к тому, что момент окажется недостаточным для пуска механизма. В этом случае такой пуск двигателя неприемлем.

Для асинхронных двигателей, работающих при соединении обмотки статора «треугольником», обычно применяют метод пуска переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник» (рисунок 5.1).

При нажатии на кнопку SB2 питание получают катушки магнитных пускателей КМ1, КМ2 и реле времени КТ1. Блок-контакты КМ1 шунтируют пусковую кнопку. Замкнувшиеся силовые контакты КМ1 и КМ2 обеспечивают запуск двигателя по схеме «звезда».

Через выдержку времени контакты КТ1.1 разомкнутся, обесточится пускатель КМ1, а КТ1.2 замкнутся, питание получит катушка магнитного пускателя КМ2. Тем самым будет обеспечен переход со схемы «звезда» на схему «треугольник».

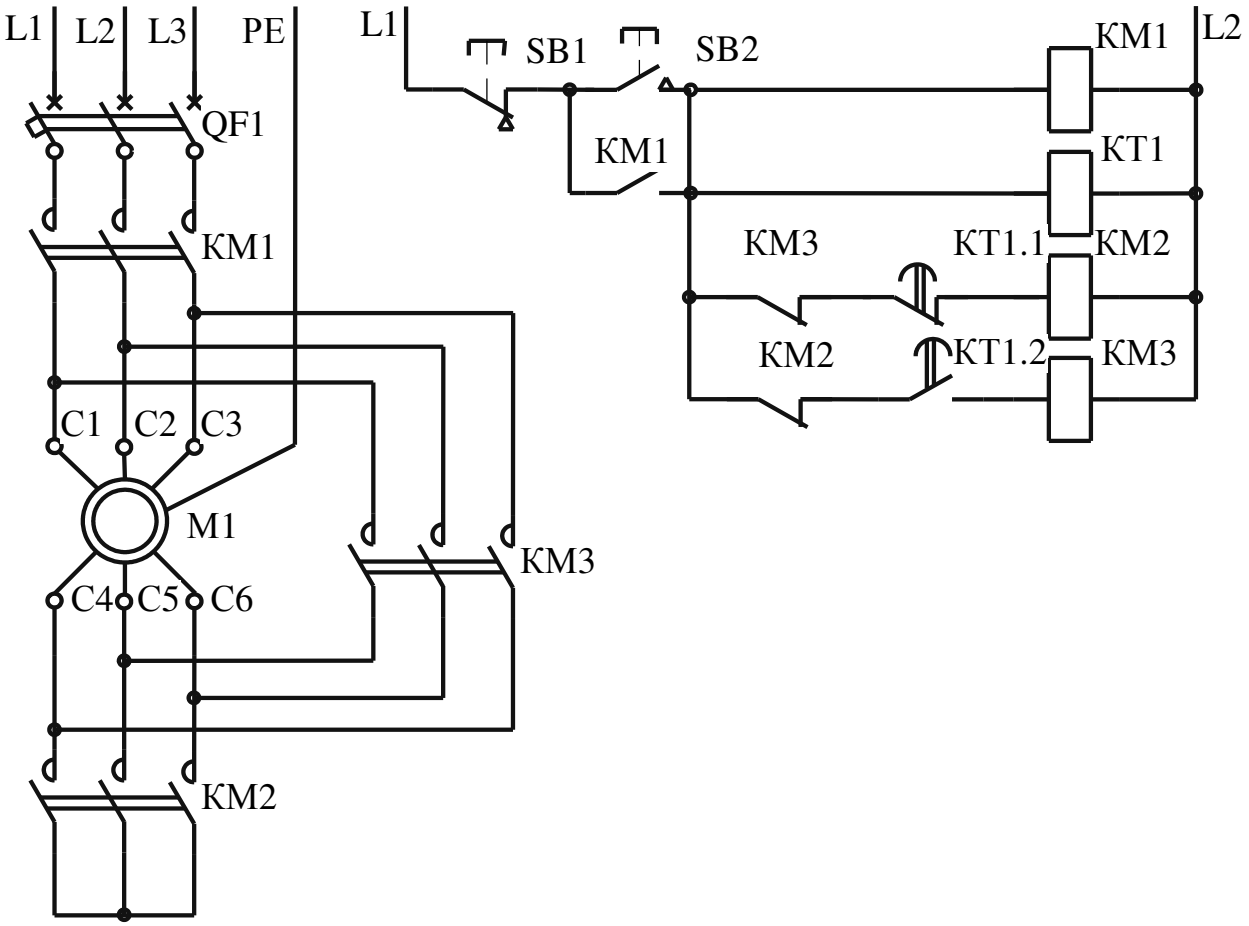


Рисунок 5.1 – Схема пуска асинхронного двигателя
с короткозамкнутым ротором

Благодаря включению обмотки статора при пуске по схеме «звезда» вместо соединения в «треугольник» при том же линейном напряжении линейный ток уменьшится в три раза, что вытекает из следующих соотношений:

— линейный ток при соединении «треугольником»:

$$I_л = I_ф\sqrt{3} = \frac{U_л\sqrt{3}}{Z_{дв}},\ \text{здесь}\ U_ф = U_л; \qquad (5.1)$$

— линейный ток при соединении «звездой»:

$$I_ф = I_л = \frac{U_л}{\sqrt{3}Z_{дв}};\ \text{здесь}\ U_ф = \frac{U_л}{\sqrt{3}}. \qquad (5.2)$$

Следовательно, ток при соединении звездой меньше тока при соединении «треугольником» в три раза. Пусковой момент при рассматриваемом способе пуска также уменьшается в три раза.

В сельскохозяйственном производстве также часто возникает необходимость применять трёхфазные асинхронные двигатели в таких условиях, когда нет трёхфазной, но есть однофазная сеть. В этом случае электродвигатель можно включать в однофазную сеть, применив специальную схему соединения обмоток. Следует учитывать, что при работе от однофазной сети трёхфазный электродвигатель может длительно развивать мощность, равную 60–65% его мощности в трёхфазном номинальном режиме.

Для пуска от однофазной сети трёхфазный электродвигатель должен быть включён по соответствующей схеме. В качестве фазосдвигающих элементов могут быть использованы активные, индуктивные или емкостные сопротивления. На рисунке 5.2 показаны наиболее рекомендуемые схемы включения трёхфазного электродвигателя в однофазную сеть, где в качестве фазосдвигающего элемента используется активное сопротивление. Из схем видно, что две фазные обмотки являются рабочими, а третья – пусковой. Она вместе с активным сопротивлением R1 и пусковой кнопкой SB1 и образуют пусковую ветвь электродвигателя.

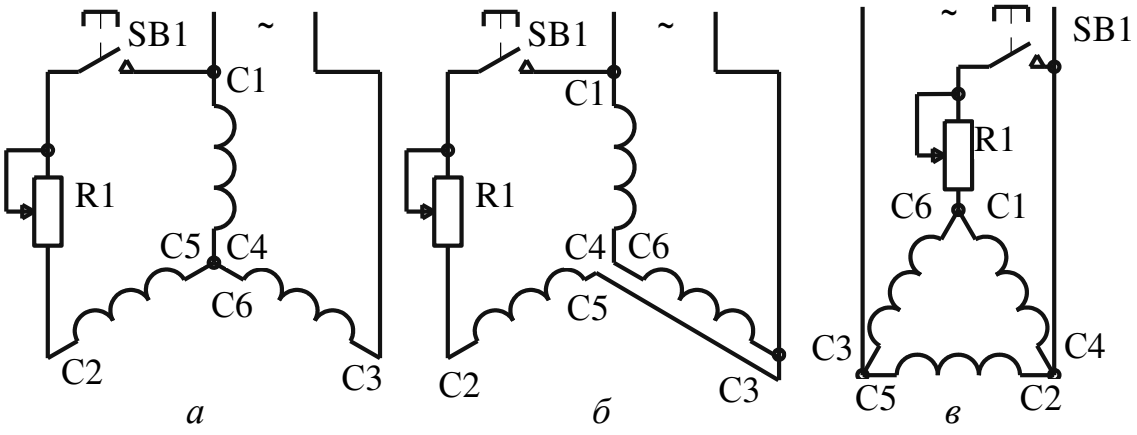


Рисунок 5.2 – Схема включения трёхфазного электродвигателя в однофазную сеть при помощи сопротивления

Наилучшие эксплуатационные показатели имеют трёхфазные электродвигатели, которые включаются в однофазную сеть при помощи конденсаторов. В этом случае можно получить вращающееся магнитное поле, близкое к

круговому. Начальный вращающийся момент электродвигателя при пуске с конденсатором в цепи пусковой обмотки значительно превосходит момент, получаемый при включении активного сопротивления или индуктивности. Схемы включения электродвигателей в однофазную сеть при помощи конденсаторов представлены на рисунке 5.3.

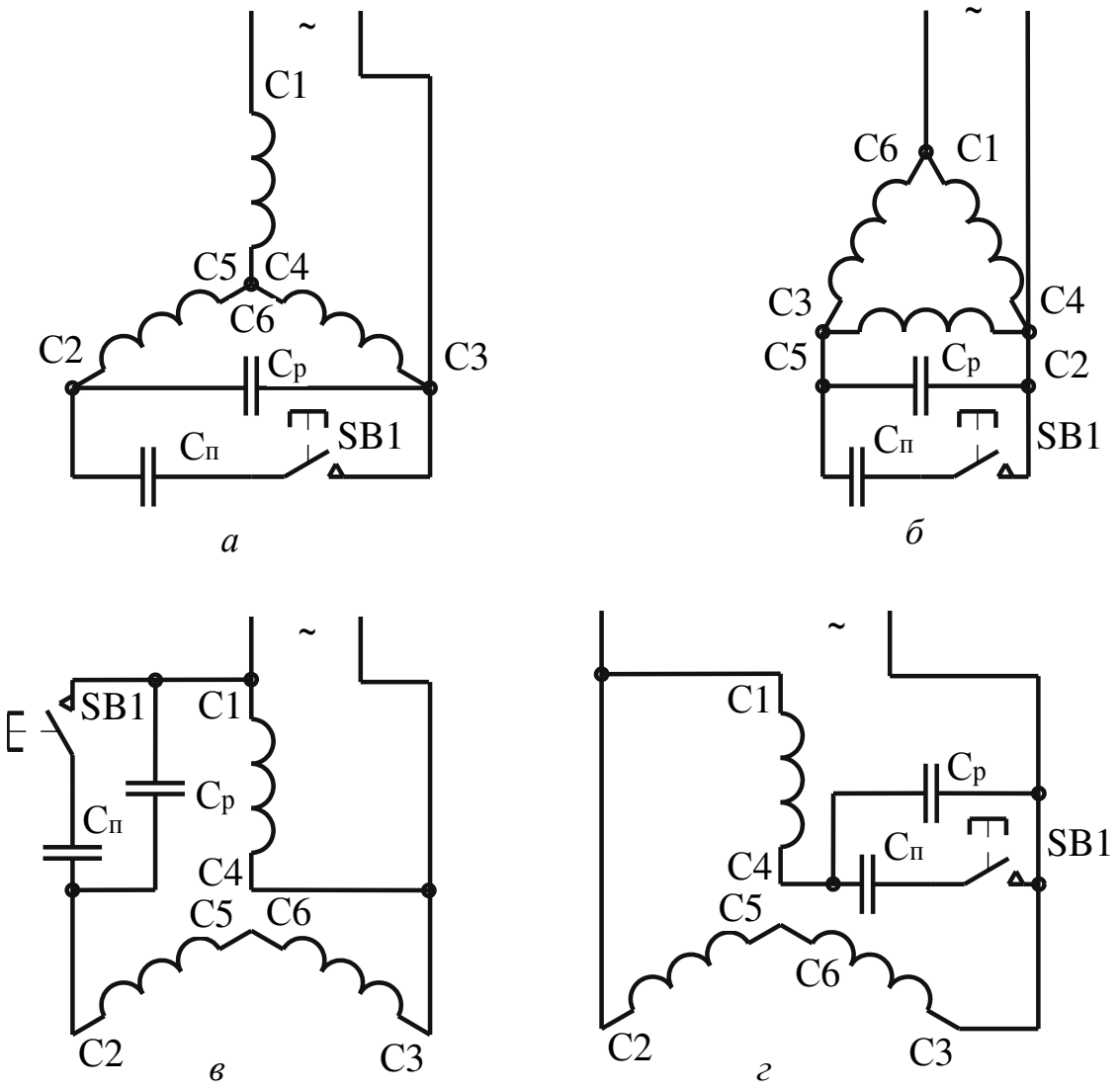
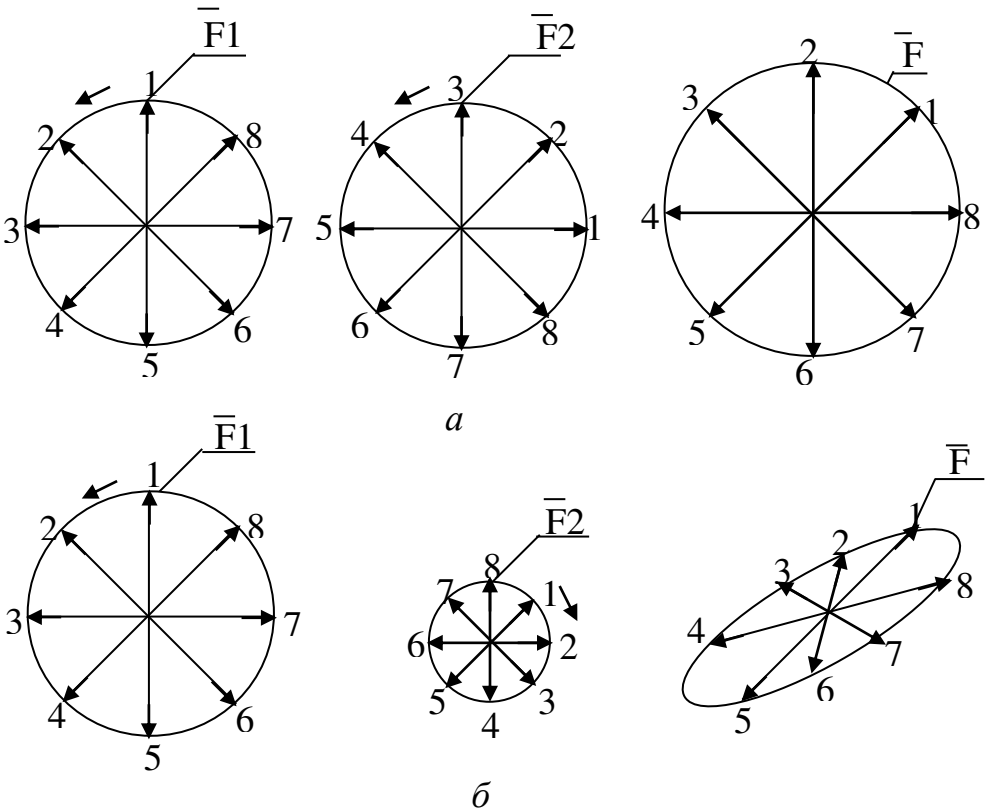


Рисунок 5.3 – Схемы включения асинхронных электродвигателей в однофазную сеть при помощи конденсаторов

Необходимость применения дополнительных средств для работы трёхфазного двигателя в однофазном режиме объясняется тем, что однофазный режим работы является режимом, в котором один из фазных проводов оборван. Остановив трёхфазный двигатель, работающий в однофазном режиме, легко убедиться в том, что пустить его в ход непосредственно включением в сеть однофазного тока невозможно. Вращающий момент при пуске оказывается равным нулю. Это обусловлено характером магнитного поля статора.

Поле статора может быть представлено в виде двух полей, вращающихся с одной и той же синхронной скоростью в противоположных направлениях. Взаимодействие вращающихся полей с токами ротора приводит к образованию вращающихся моментов, направленных в противоположные стороны. Неподвижный ротор по отношению к этим полям находится в одинаковых условиях, вращающие моменты полностью уравновешивают друг друга. Таким образом, трёхфазный двигатель в однофазном режиме не имеет начального пускового момента.

Если провернуть ротор, то прямое поле (то, которое совпадает с направлением вращения ротора) наводит в его обмотке токи небольшой частоты (2–3 Гц) и создаёт момент $M_{пр}$. Встречному полю соответствуют токи повышенной частоты (около 100 Гц) и тормозной момент $M_{обр}$. Каждое из вращающихся магнитных полей является круговым. Результирующее магнитное поле, обусловленное результирующей МДС (произведение напряжённости магнитного поля на длину катушки), становится эллиптическим (рисунок 5.4 *б*).



а

б

а – суммарное магнитное поле – эллиптическое;
б – суммарное магнитное поле – круговое

Рисунок 5.4 – Диаграммы вращающихся магнитных полей

Это объясняется тем, что частота тока в роторе пропорциональна скольжению:

$$f_2 = S \cdot f_1, \tag{5.3}$$

где f_1 – частота питающей сети, Гц;

S – скольжение.

$S_{пр} \langle S_{обр}$, так как

$$S_{пр} = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}, \qquad (5.4)$$

$$S_{обр} = \frac{(n_1 - (-n_2))}{n_1} = \frac{n_1 + n_1 - n_1 + n_2}{n_1} = 2 - S_{пр}. \qquad (5.5)$$

Таким образом, индуктивное сопротивление обмотки ротора току $I'_{2обр}$ во много раз больше ее активного сопротивления и ток $I'_{2обр}$ является почти чисто индуктивным. Он оказывает сильное размагничивающее действие на обратное поле $\Phi_{обр}$. В результате обратное поле и обусловленный им момент $M_{обр}$ оказываются значительно ослабленными и ротор однофазного двигателя вращается в направлении прямого поля под действием момента М.

Для получения кругового вращающегося магнитного поля посредством двух обмоток на статоре необходимо, чтобы:

– МДС рабочей и пусковой обмоток быть равны и сдвинуты в пространстве относительно друг друга на 90 электрических градусов;

– токи в рабочей и пусковой обмотках статора должны быть сдвинуты по фазе относительно друг друга на 90^0.

При соблюдении указанных выше условий вращающееся поле статора становится круговым, что соответствует наибольшему вращающему моменту двигателя (рисунок 5.4 *а*). При частичном нарушении какого-либо из условий поле статора становится эллиптическим (рисунок 5.4 *б*), содержащим обратную составляющую. Обратная составляющая поля создаёт тормозной момент и ухудшает пусковые свойства двигателя.

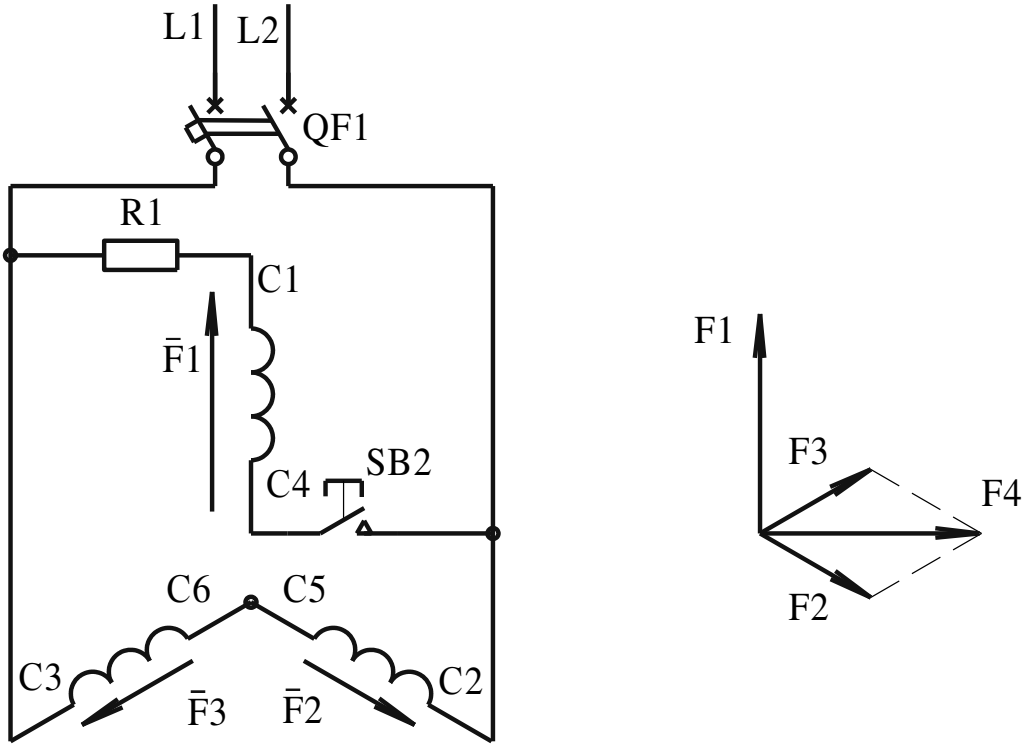


Рисунок 5.5 – Получение пространственного сдвига между МДС при включении трёхфазного двигателя в однофазном режиме

Получение пространственного сдвига между МДС при включении трёхфазного двигателя в однофазном режиме показано на рисунке 5.5.

В отличие от однофазного двигателя, у трёхфазного нет деления на пусковую и рабочую обмотки, поэтому, чтобы запустить трёхфазный двигатель в однофазном режиме, одна обмотка статора, образованная фазой С1–С4, используется как пусковая, другая состоит из двух последовательно соединённых фаз: С2–С5,С3–С6 (рабочая). Каждая из обмоток создаёт магнитодвижущую силу соответственно F1, F2 и F3, F4 – результирующая МДС всей рабочей обмотки. В этом случае между МДС пусковой обмотки и результирующей МДС рабочей обмотки получается угол сдвига 90^0.

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться со способами уменьшения пусковых токов у асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Собрать схему, представленную на рисунке 5.6, и произвести запуск двигателя с переключением обмоток при пуске со схемы «звезда» на схему «треугольник».

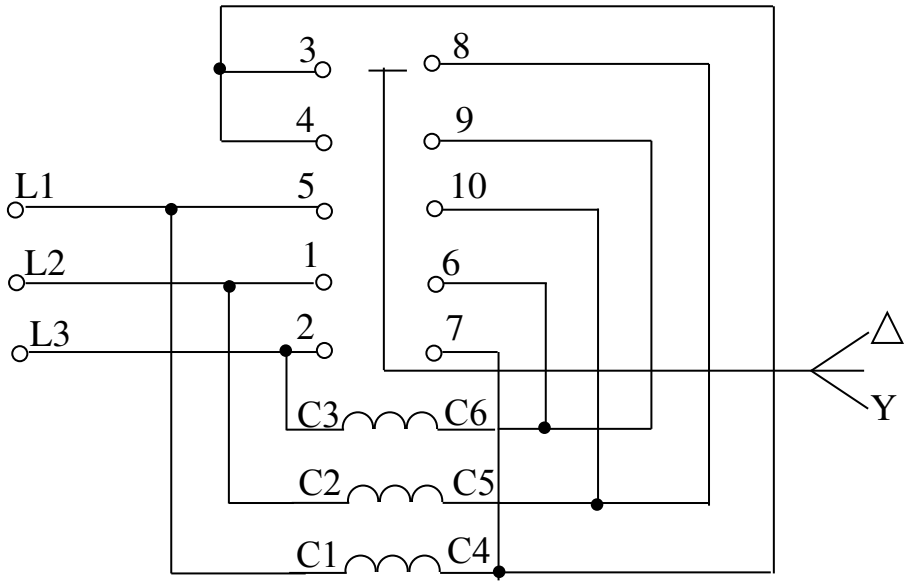


Рисунок 5.6 – Схема переключения обмоток двигателя со «звезды» на «треугольник»

2. Изучить способы пуска трёхфазного двигателя в однофазном режиме.

3. Выбрать схему включения асинхронного электродвигателя для работы в однофазном режиме с использованием в качестве фазосдвигающего устройства конденсаторов. Величина ёмкости для выбранной схемы определяется по соотношениям (5.6)–(5.9).

Для схемы (рисунок 5.3 *а*):

$$C_р = 2800\frac{I_н}{U_н}; U_{р.к.} \approx U_н. \qquad (5.6)$$

Для схемы (рисунок 5.3 *б*):

$$C_р = 4800\frac{I_н}{U_н}; U_{р.к} \approx U_н. \quad (5.7)$$

Для схемы (рисунок 5.3 *в*):

$$C_р = 1600\frac{I_н}{U_н}; U_{р.к.} \approx 1{,}15U_н. \quad (5.8)$$

Для схемы (рисунок 5.3 *г*):

$$C_р = 2740\frac{I_н}{U_н}; U_{р.к.} \approx 2U_н, \quad (5.9)$$

где $I_Н$; $U_Н$ – номинальные фазный ток и напряжение, указанные в паспорте двигателя.

Значение пусковой ёмкости выбирают в 2–3 раза больше рабочей.

Осуществить реверс двигателя, используемого в однофазном режиме. Для этого необходимо изменить порядок чередования фаз подводимого напряжения на обмотках статора. Например, в схеме, изображенной на рисунке 5.3 *а*, можно питающий провод отключить от С3 и подключить к С2 или цепь с конденсаторами подключить к клеммам двигателя С1 и С2.

4. Оформить отчёт по работе.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Схемы, изображённые на рисунках 5.1, 5.3 и 5.6.

2. Результаты расчёта ёмкости для выбранной схемы включения трёхфазного двигателя в однофазном режиме.

3. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Чем характеризуется прямой пуск двигателя?

2. В каких случаях целесообразно использовать способ уменьшения пусковых токов за счёт уменьшения подводимого к статору напряжения? Какие ограничения накладываются на применение этого способа?

3. В каком соотношении находятся пусковые моменты и токи электродвигателя при схемах соединения в «звезду» и «треугольник»?

4. Почему при включении трехфазного двигателя в однофазном режиме необходимо использовать дополнительные средства?

5. Какие сопротивления используются в качестве фазосдвигающих устройств при включении трёхфазного двигателя в однофазном режиме? Кого использовать целесообразнее и почему?

6. Назовите условия создания кругового вращающегося поля при включении трёхфазного двигателя в однофазном режиме.

7. Как обеспечить реверсирование двигателя при его включении в однофазном режиме?

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ

Цель работы: ознакомление с конструкцией, принципом работы защитных аппаратов, приобретение практических навыков выбора аппаратов защиты и исследование их характеристик.

Общие сведения

Анализ работы асинхронных двигателей показывает, что в производственных условиях возникают разнообразные аварийные ситуации. К основным аварийным ситуациям относятся:

- перегрузка;
- короткое замыкание (режим заклинивания вала);
- несимметрия напряжения (частный случай несимметрии – неполнофазные режимы);
- работа при пониженном напряжении;
- затяжной пуск;
- ухудшение охлаждения;
- увлажнение изоляции.



Рисунок 6.1 – Основные функциональные связи при аварийных режимах работы электродвигателей

Большинство из указанных аварийных режимов сопровождаются повышением тока во всех или двух фазах, что негативно сказывается на состоянии изоляции, происходит ее тепловое старение. Согласно известному правилу Монзингера превышение температуры обмотки статора над номинальным значением на каждые 10 ^{0}C, 13 ^{0}C соответственно для классов изоляции B и F сокращает срок службы изоляции в два раза.

С точки зрения влияния длительных превышений тока на изоляцию следует различать сравнительно небольшие – до 50% и большие – более 50%. При больших перегрузках изоляция быстро разрушается под действием высокой температуры.

Для защиты электродвигателей от этих аварийных режимов используются различные аппараты защиты. К наиболее распространённым защитным аппаратам относятся автоматические выключатели, плавкие предохранители, тепловые реле.

Аппараты защиты выбирают по следующим основным параметрам:

– номинальному напряжению;

– номинальному току;

– по времени срабатывания при возникновении токов однофазного короткого замыкания;

– предельной коммутационной способности;

– селективности.

При этом должны выполняться условия:

$$U_{н.ап} \geq U_н; \quad (6.1)$$

$$I_{н.ап} \geq I_{расч}; \quad (6.2)$$

$$I_{откл.ап} > I_к^{(з)}, \quad (6.3)$$

где $U_{н\,ап}$, $U_н$ – соответственно номинальные напряжения аппарата и сети, В;

$I_{н\,ап}$, $I_{расч}$ – соответственно номинальный ток аппарата и расчётный ток потребителей, А;

$I_{откл\,ап}$ – максимальное значение тока короткого замыкания, которое аппарат способен отключить несколько раз, оставаясь в исправном состоянии (это значение тока короткого замыкания называют предельной коммутационной способностью выключателя, ПКС), А;

$I_к^{(3)}$ – максимально возможное значение трёхфазного тока короткого замыкания в месте установки аппарата, А.

Величина расчётного тока одиночного определяется с учетом коэффициента загрузки. При $k_з<1$ расчётный ток для одиночного потребителя

$$I_{расч} = I_н, \quad (6.4)$$

где $I_н$ – номинальный ток потребителя, А.

Расчётный ток для группы потребителей определяют исходя из условий одновременной их работы в технологическом цикле

$$I_{расч} = \sum_{i=1}^{n} I_{н_i}, \quad (6.5)$$

где $\sum_{i=1}^{n} I_{н_i}$ – максимальная сумма номинальных токов одновременно работающих n электродвигателей, А.

Номинальный ток двигателя определяется по соотношению

$$I_н = \frac{P_н}{\sqrt{3} \cdot U_л \cdot \cos\varphi_н \cdot \eta_н}, \quad (6.6)$$

где $\eta_н$, $\cos\varphi_н$ – соответственно КПД и коэффициент мощности двигателя при номинальной нагрузке.

При $k_з > 1$ расчетный ток для одиночного потребителя равен его рабочему току:

$$I_{раб} = \frac{P_н \cdot k_з}{\sqrt{3} \cdot U_л \cdot \cos\varphi_з \cdot \eta_з}, \quad (6.7)$$

где $\eta_з$, $\cos\varphi_з$ – соответственно КПД и коэффициент мощности двигателя при загрузке $k_з$.

Автоматические выключатели ВА47-29 имеют два типа защиты: от перегрузки и коротких замыканий. Они предназначены для защиты распределительных и групповых цепей, имеющих различную нагрузку:

– электроприборы, освещение – выключатели с характеристикой В;

– двигатели с небольшими пусковыми токами (компрессор, вентилятор) – выключатели с характеристикой С;

– двигатели с большими пусковыми токами (подъемные механизмы, насосы) – выключатели с характеристикой D.



Рисунок 6.2 – Общий вид автоматического выключателя ВА47-29

Характеристика автоматического выключателя указывает на величину тока срабатывания электромагнитного расцепителя (тока отсечки).

Выбор автоматических выключателей производится по следующим условиям:

$$U_{на} \geq U_н; \quad (6.8)$$

$$I_{на} \geq I_{расч}; \quad (6.9)$$

$$I_{нрасц} \geq I_{расч}; \quad (6.10)$$

$$I_{со} \geq k_н I_{max}, \quad (6.11)$$

где $U_{на}$, $U_н$ – соответственно номинальное напряжение автоматического выключателя и сети, В;

$I_{на}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{н\ расц}$ – номинальный ток расцепителя, А;

I_{max} – максимальный ток в линии, А;

$k_н$ – коэффициент надежности.

Для одного электродвигателя

$$I_{max} = I_n . \qquad (6.12)$$

Для группы электродвигателей при определении максимального тока учитываются условия их запуска, то есть одновременность и очерёдность. Если двигатели запускаются одновременно, то

$$I_{max} = \sum_{i=1}^{m} I_{п_i} , \qquad (6.13)$$

в общем случае

$$I_{max} = I_{n_{нб}} + \sum_{i=1}^{m} I_{н_i} , \qquad (6.14)$$

где $I_{п\ нб}$ – пусковой ток электродвигателя наибольшей мощности в группе электродвигателей, А.

Предохранители плавкие серии ППНИ типа общего применения предназначены для защиты промышленных электроустановок и кабельных линий от перегрузки и короткого замыкания и выпускаются на номинальные токи от 2 до 630 А. Используются в однофазных и трёхфазных сетях напряжением до 660 В частоты 50 Гц.

Благодаря современной конструкции, технологии изготовления и качеству применяемых материалов в предохранителях ППНИ снижены потери мощности по сравнению с предохранителями ПН-2 более чем на 30%.



Рисунок 6.3 – Общий вид предохранителей ППНИ

Предохранители выбираются по следующим условиям:

$$U_{н\,пр} \geq U_н ; \qquad (6.15)$$

$$I_{н\,пр} \geq I_{расч} ; \qquad (6.16)$$

$$I_в \geq \frac{I_{пуск}}{\alpha} , \qquad (6.17)$$

где $U_{н\ пр}$ – номинальное напряжение предохранителя, В;

$I_{н\ пр}$ – номинальный ток предохранителя, А;

α – коэффициент, зависящий от условий пуска.

При времени пуска 2–5 с (пуск лёгкий) α=2,5, для тяжёлых условий пуска (около 10 с) α=1,6–2.

Соотношение (6.17) соответствует прямому пуску двигателя. В том случае, если запуск двигателя производится с переключением при пуске со Y на Δ, либо применяется шунтирование предохранителей при пуске, либо используется двигатель с фазным ротором и для ограничения пускового тока в цепь ротора вводится добавочное сопротивление, ток плавкой вставки определяется по величине тока двигателя, соответствующей пусковым условиям.

Современные тепловые реле выпускаются под соответствующие серии магнитных пускателей. Так, например, электротепловое реле серии РТИ (рисунок 6.4) устанавливается непосредственно на контакторах серии КМИ. Оно предназначено для защиты электродвигателей от перегрузки, асимметрии фаз, затянутого пуска и заклинивания ротора.



Рисунок 6.4 – Реле электротепловое серии РТИ

Для того чтобы тепловое реле выполняло свою защитную функцию, необходимо, чтобы оно было правильно выбрано и правильно настроено. Тепловые реле могут настраиваться на специальных стендах, тепловое реле можно также настроить не демонтируя его, используя в качестве нагрузочного устройства защищаемый двигатель.

Настройка реле по второму способу состоит в том, что от питающих проводов отключают две фазы электродвигателя и одну из фаз подключают к нулевому проводу, при этом по двум фазам электродвигателя и нагревательным элементам тепловой защиты будет протекать $I_{пров}=(2,5–3)I_{н}$. Если время срабатывания отлично от времени срабатывания, найденного по времятоковой характеристике, то необходимо произвести регулирование с помощью регулировочного винта.

Реле считается правильно настроенным, если оно в соответствии с ГОСТ 16308-84 срабатывает при токе, равном 1,2 номинального тока несрабатывания, за время не более 20 мин (после прогрева реле номинальным током несрабатывания до установившегося теплового состояния.). Тепловое реле с ручным возвратом может быть возвращено в исходное положение, если воздействие на орган возврата произведено не менее, чем через 1,5 мин после срабатывания реле. Реле с самовозвратом должно возвращаться в исходное положение за время не более 4 мин. после срабатывания.

При выборе теплового реле должно соблюдаться условие

$$I_{н\,трасц} \geq I_{расч}, \qquad (6.18)$$

где $U_{нп}$ – номинальное напряжение, на которое рассчитан пускатель, А;

$I_{нп}$ – номинальный ток силовых контактов пускателя, А;

$I_{н\ т\ расц}$ – номинальный ток теплового расцепителя теплового реле, А.

Описанные выше средства защиты не обеспечивают всестороннюю защиту электродвигателей от основных аварийных режимов в сельском хозяйстве, поэтому часто рекомендуется применение специальных видов защит.

К таким видам защит могут быть отнесены температурные и фазочувствительные устройства защиты.

Встроенная температурная защита (УВТЗ) предназначена для отключения электродвигателей при любых аварийных режимах: длительной перегрузке, обрыве фазы, заклинивании ротора двигателя или механизма, повышении температуры окружающей среды, нарушении охлаждения, если температура обмотки статора достигает опасного значения.

При применении УВТЗ в лобовую часть статорной обмотки двигателя встраивают три терморезистора с положительным ТКС (позисторы) типа СТ1-17 (в каждую фазу по одному), соединяют их последовательно и подключают к устройству управления. При заданной температуре их сопротивление возрастает скачкообразно, что служит сигналом для устройства управления, которое отключает двигатель.

Несмотря на очевидные достоинства, температурные защиты обладают тем недостатком, что они не обеспечивают достаточной быстроты срабатывания при некоторых аварийных режимах (заклинивании вала, несимметричных режимах). Этого недостатка лишены УВТЗ-5 и УВТЗ-5М, которые являются комбинацией температурной и фильтровой защиты.

Фазочувствительная защита. В основе принципа работы фазочувствительной защиты лежит измерение угла сдвига фаз между токами нагрузки электродвигателя. Для измерения этого угла из трехфазных токов нагрузки электродвигателя формируется два измеряемых напряжения при помощи фазовращательных трансформаторов.

Устройство ФУЗ-М надёжно защищает электродвигатель от обрыва фазы, заклинивания ротора и перегрузок, однако не реагирует на некоторые косвенные аварийные режимы – это недостаточный теплообмен двигателя с окружающей средой, частые реверсы и пуски, снижение сопротивления изоляции.

В универсальном фазочувствительном устройстве защиты ФУЗ-У благодаря объединению фазового, токового и температурного принципов выявления аварийных режимов вышеуказанные недостатки частично устраняются, так как устройство ФУЗ-У снабжается позистором, устанавливаемым на корпусе.

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. Изучить назначение, устройство и принцип действия аппаратов защиты.

2. Ознакомиться с оборудованием рабочего места. Собрать схему для исследования защитных характеристик теплового реле, изображённую на рисунке 6.5.

В соответствии с ГОСТ 16308-84 необходимо перед проведением испытаний прогреть тепловое реле номинальным током несрабатывания, для этого установить SA1 в положение «Установка тока» и установить автотрансформатором TV1 ток, равный $I_н$. Перевести переключатель в положение «Испытание» и прогреть тепловое реле. Через 5 минут вернуть переключатель в положение «Установка тока».

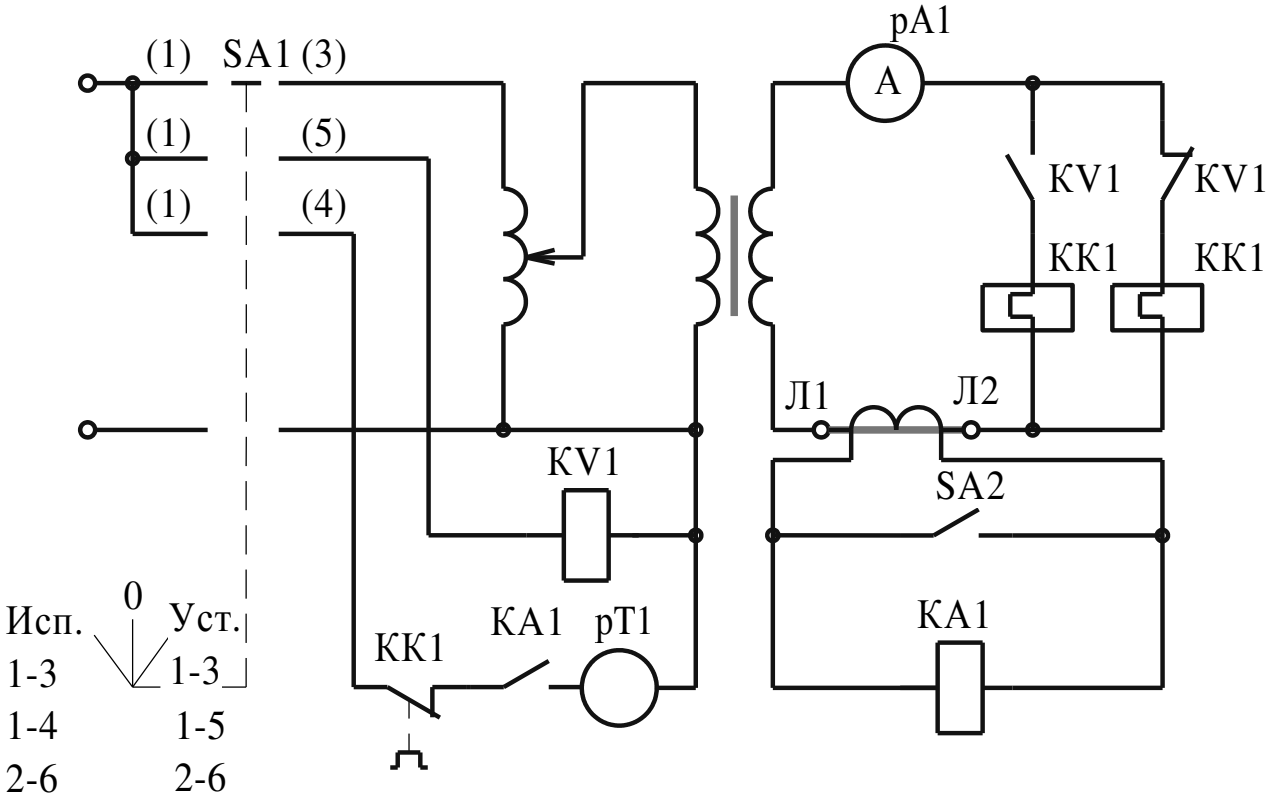


Рисунок 6.5 – Схема электрическая принципиальная для исследования тепловых реле

При помощи автотрансформатора TV1 установить ток, равный 1,2 $I_н$. Переводом переключателя SA1 в положение «Испытание» дождаться срабатывания теплового реле. Если время срабатывания оказалось более 20 мин, произвести регулирование тока уставки переводом регулятора и повторить испытание.

3. Снять защитную характеристику теплового реле. Для этого в положении переключателя SA1 «Установка тока» установить необходимый для испытания ток, а переводом в положение «Испытание» добиться срабатывания теплового реле. Через четыре минуты путём нажатия на кнопку самовозврата вернуть тепловое реле в исходное положение.

Повторить испытания при другом токе. Результаты испытаний занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты испытаний теплового реле

$I/I_{н.э.}$	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Ток, А						
Время, с						

4. По данным опыта построить защитную характеристику теплового реле $t=f(I/I_{н\,э})$. Сравнить полученную характеристику с паспортной.

5. Оформить отчёт по работе.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Схема, изображённая на рисунке 6.5.
2. Результаты испытания теплового реле (таблица 6.1).
3. Защитная характеристика теплового реле $t=f(I/I_{н\,э})$.
4. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды аварийных режимов.
2. Какие аппараты применяются для защиты от коротких замыканий?
3. Какие аппараты применяются для защиты от токовых перегрузок?
4. Опишите устройство и принцип действия предохранителя, теплового реле, автомата.
5. Назовите условия выбора предохранителя, теплового реле, автомата.
6. Какие бывают расцепители автоматов, какие функции выполняют и как они работают?
7. Назначение время-токовых характеристик защитных аппаратов.
8. Как выполняется настройка теплового реле в соответствии с ГОСТ?
9. Как выполняется настройка теплового реле, когда в качестве нагрузочного устройства используется защищаемый двигатель?

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы: ознакомление с конструкцией, принципом работы аппаратуры управления.

Общие сведения

К аппаратуре управления могут быть отнесены рубильники, выключатели, переключатели, кнопочные станции, магнитные пускатели, конечные выключатели и другие аппараты.

Рубильники и переключатели используют для ручного (неавтоматического) замыкания и размыкания электрических цепей напряжением до 660 В. Их устанавливают на панелях распределительных щитов, в шкафах и ящиках. Они могут быть одно-, двух- и трёхполюсными.

Тип рубильника или переключателя обозначается соответственно буквами Р и П – привод осуществляется от центральной рукоятки, РБ или ПБ – рубильники или переключатели с боковой рукояткой. Здесь буква Б указывает на наличие боковой рукоятки. Кроме того, наличие второй буквы означает, что рубильники снабжены дугогасительными камерами.

Первая цифра после букв указывает число полюсов, а вторая – номинальный ток аппарата (1-100 А; 2-250 А; 4-400 А; 6-600 А).

Рубильник имеет два фиксированных положения: «включено» (верхнее положение рукоятки) и «отключено» (нижнее положение рукоятки).

Пакетные выключатели и переключатели используют для переключения с требуемой программой коммутации цепей управления, сигнализации, в измерительных цепях и т.д. Так, например, переключатели кулачковые типа ПКП (рисунок 7.1) используются в электрических цепях переменного тока напряжением до 400 В и выпускаются с номинальными токами 10, 25, 32, 63 и 100 А. Элементами такого выключателя являются пакеты, состоящие из системы неподвижных и подвижных контактов и фибровых пластин. Все пакеты разделены друг от друга изоляционными прокладками. Подвижные контакты перемещаются с помощью валика с пластмассовой рукояткой. В каждом положении подвижная часть пакетного выключателя фиксируется посредством пружинного механизма, что предотвращает самопроизвольное перемещение подвижной части.



Рисунок 7.1 – Переключатель серии ПКП

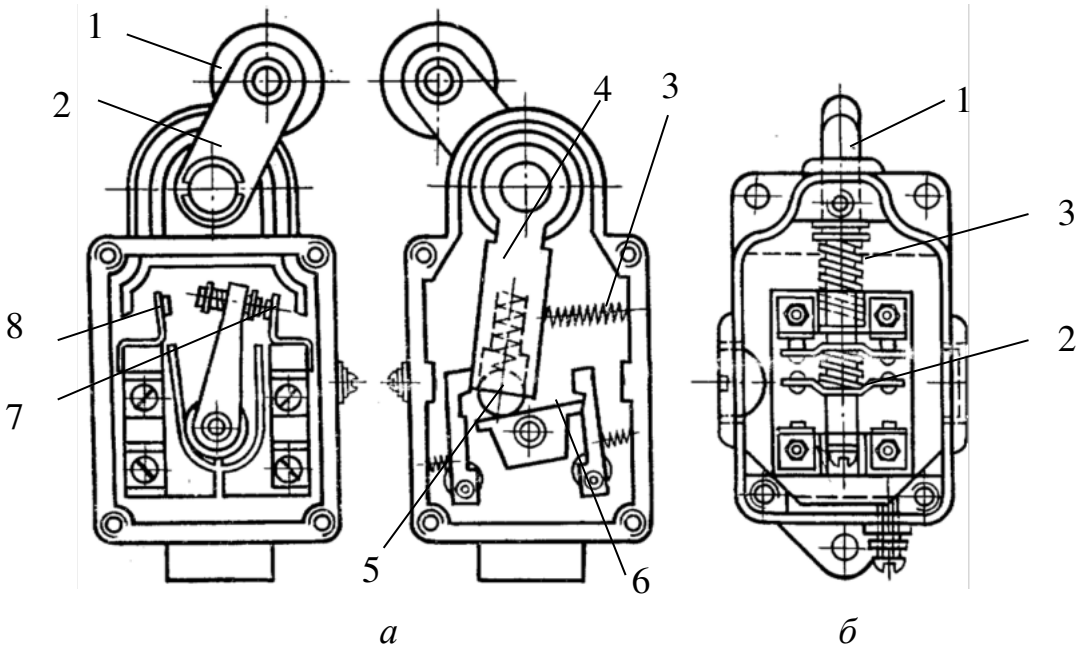
Кнопки управления применяют в цепях управления электроприводами для включения электромагнитных устройств. Кнопки обычно имеют одну или две пары контактов. Управление кнопкой осуществляется нажатием на толкатель, который, совершая поступательное движение, замыкает или размыкает контакты (рисунок 7.2). Кнопки бывают с самовозвратом толкателя или без самовозврата. Чаще всего возврат толкателя кнопки осуществляется повторным его нажатием.



Рисунок 7.2 – Кнопка управления

Путевые переключатели (выключатели) – это контактные устройства, переключающие электрические цепи, когда движущаяся часть какого-либо механизма достигнет заданного пространственного положения, требующего изменения режима работы электропривода (остановки, реверса, изменения скорости движения и т.п.).

В зависимости от способа механического воздействия путевые выключатели подразделяют на рычажные (рисунок 7.3 *а*) и штоковые (рисунок 7.3 *б*).



а *б*

Рисунок 7.3 – Конечные выключатели: рычажный (*а*) и штоковый (*б*)

Штоковый конечный выключатель работает следующим образом. При воздействии объекта на шток 1 подвижные контакты 2, перемещаясь вниз, размыкают одну пару (верхнюю) и замыкают другую пару неподвижных контактов (нижнюю). Когда шток освобождается от механического воздей-

ствия объекта, подвижные контакты под действием пружины 3 возвращаются в исходное положение. Основной недостаток путевого выключателя штокового типа – скорость перемещения контактов зависит от скорости перемещения контролируемого объекта, механически воздействующего на шток. Поэтому при малой скорости контакты размыкаются медленно, что приводит к возникновению электрической дуги на размыкающихся контактах и их быстрому разрушению.

Этот недостаток устранён у путевых выключателей рычажного типа, имеющих контактный механизм моментного действия, скорость срабатывания которого не зависит от скорости перемещения объекта. При нажатии на ролик 1 рычаг 2 поворачивается на оси и через систему спиральных пружин 3 поворачивает поводок 4. При этом ролик 5, сжимая пружину, перемещается по планке 6 вправо. В итоге подвижный контакт размыкается с контактом 7 и замыкается с контактом 8.

Реле являются наиболее распространёнными элементами, применяемыми в цепях управления электроприводами для выполнения функций управления и защиты. Принцип действия любого реле состоит в том, что при внешнем воздействии реле дискретно (скачкообразно) переходит из одного устойчивого состояния в другое, при этом исполнительный орган реле (контактная группа) замыкает, размыкает или переключает электрические контакты.

Реле могут быть классифицированы по следующим признакам:

– по типу управляющего сигнала выделяются реле: постоянного тока, которые в свою очередь делятся на: нейтральные реле, для которых полярность управляющего сигнала не имеет значения; поляризованные реле, чувствительные к полярности управляющего сигнала; комбинированные реле, реагирующие как на наличие (отсутствие) управляющего сигнала, так и на его полярность; переменного тока;

– по допустимой нагрузке на контакты;

– по времени срабатывания;

– по типу исполнения: электромеханические реле; электромагнитные реле (обмотка электромагнита неподвижна относительно сердечника); герконовые реле; магнитоэлектрические реле (обмотка электромагнита с контактами подвижна относительно сердечника); термореле; электродинамические реле; ферродинамические реле, индукционные реле, статические реле, ферромагнитные реле, полупроводниковые реле;

– по контролируемой величине: реле напряжения, токовые реле, реле мощности, реле давления, реле контроля изоляции.

Электромагнитные реле составляют наиболее многочисленную группу приборов, применяемых для коммутации устройств управления электроприводом. Электромагнитные реле являются устройствами дистанционного управления.

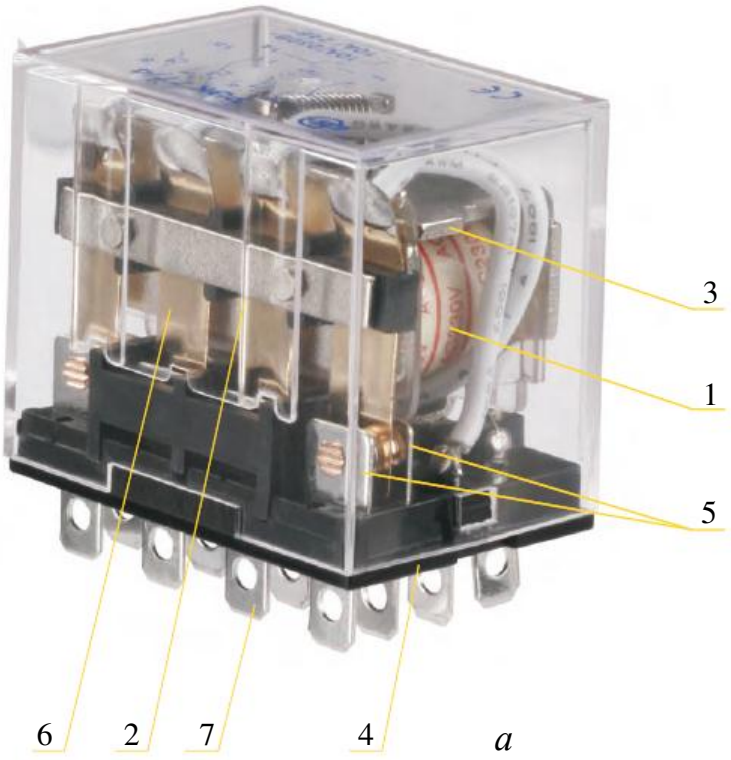
Рассмотрим конструкцию и принцип действия электромагнитного контактного реле управления (рисунок 7.4). Такое реле представляет собой сочетание электромагнита и контактной группы. Электромагнит состоит из ка-

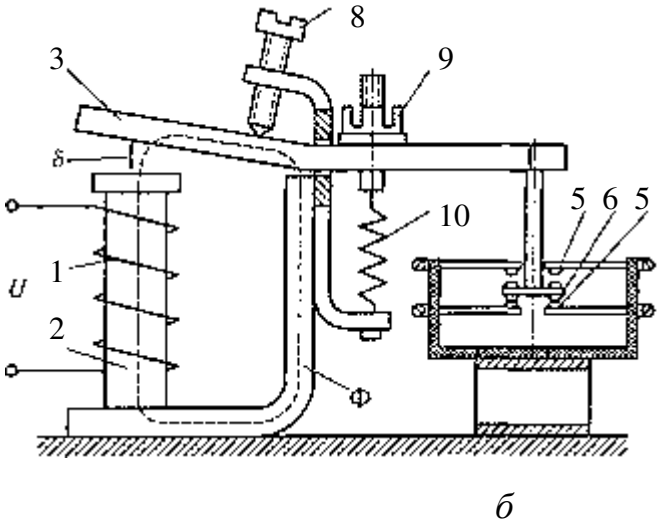
тушки 1, магнитопровода 2 с подвижной частью, называемой якорем 3, пластмассового основания 4. Контактная группа состоит из неподвижных контактов 5, соединённых с выводящими контактами 7, и подвижных контактов 6.

В последнее время широкое распространение получили реле модульной серии. Такие реле соединяются с розеточными модульными разъёмами, устанавливаемыми на 35 мм монтажной DIN-рейке.

Работают электромагнитные реле следующим образом. При подаче напряжения U определённого значения на клеммы катушки 1 по ней протекает ток, который создаёт намагничивающую силу. При этом в магнитной системе реле наводится магнитный поток Ф и на якоре 3 появляется тяговое усилие. Под действием тягового усилия якорь, преодолевая противодействие пружины 7, притягивается к сердечнику, т.е. происходит механическое перемещение якоря на размер воздушного зазора δ. В результате изменяется положение подвижных контактов 6. При снятии сигнала напряжения с клемм катушки реле возвращается в исходное положение.

Таким образом, реле может находиться в одном из двух устойчивых состояний: состояние «сработано», при наличии на клеммах катушки напряжения определённого уровня, и состояние «отпущено», когда напряжение на клеммах катушки реле отсутствует или его величина меньше установленного значения.





а – модульной серии РЭК77;
б – схема, поясняющая принцип работы реле

Рисунок 7.4 – Реле промежуточное

Регулировочными элементами реле являются винт 8 и гайка 9. Так, при затяжке пружины 10 гайкой 9 увеличивается усилие, противодействующее

повороту якоря при срабатывании реле, что ведёт к повышению напряжения (тока) срабатывания. Такой же эффект наблюдается и от увеличения воздушного зазора δ посредством винта 8.

Электромагнитное реле характеризуется следующими параметрами.

Напряжение (ток) срабатывания реле – наименьшее значение напряжения на клеммах катушки или наименьшее значение тока в ней, при которых якорь надёжно притягивается к сердечнику, а контакты переходят из разомкнутого состояния в замкнутое, и наоборот. В паспорте реле указано номинальное напряжение, на которое рассчитано включение катушки, несколько превышающее напряжение срабатывания. Этим обеспечивается надёжность срабатывания реле.

Напряжение (ток) отпускания реле – наибольшее напряжение на клеммах катушки или наибольший ток в ней, при которых тяговое усилие, действующее на якорь, уменьшается до значения, необходимого для надёжного отпадания якоря от сердечника, а контакты переходят из замкнутого состояния в разомкнутое, и наоборот.

Коэффициент возврата реле – отношение напряжения (тока) отпускания к напряжению (току) срабатывания.

Время срабатывания реле – промежуток времени с момента подачи напряжения срабатывания на катушку реле до момента переключения его контактов.

Время отпускания реле – промежуток времени с момента снятия напряжения с катушки реле до момента возвращения контактов в исходное положение.

Уставка реле – величина напряжения или тока, на которые отрегулировано реле и при которых оно срабатывает или отпускает.

По времени срабатывания или времени отпускания реле подразделяют на быстродействующие (время срабатывания < 50 мс) и нормальные (время срабатывания < 50–250 мс). Для получения времени срабатывания или отпускания больше 250 мс применяют специальные реле, называемые реле времени.

По своему назначению контакты реле подразделяют на:

– замыкающие (включающие) – при срабатывании реле контакты замыкаются, а при отпущенном состоянии реле они разомкнуты;

– размыкающие (выключающие) – при срабатывании реле контакты размыкаются, а при отпущенном состоянии реле они замкнуты;

– переключающие – при срабатывании реле контакты переключают управляемую цепь, для чего на каждой коммутируемой цепи находятся три переключаемых контакта, средний и два крайних, при этом средний контакт относительно одного из крайних является замыкающим, а относительно другого – размыкающим.

Частным случаем электромагнитных реле являются контакторы и магнитные пускатели. Их назначение состоит в дистанционном управлении силовых электрических цепей. Магнитный пускатель – один из самых распространенных представителей аппаратуры управления.

Рассмотрим конструкцию и принцип работы пускателей на примере пускателей серии КМИ. Пускатели КМИ (рисунок 7.5) являются электромагнитными аппаратами переменного тока, магнитные системы которых разделены на две части: неподвижную 2, эластично закреплённую в основании из пластмассы 1, и подвижную 3, механически соединённую с траверсой 7 с подвижными контактами. Управление работой пускателя осуществляется с помощью многовитковой катушки 4, расположенной на среднем стержне неподвижной части Ш-образной магнитной системы.

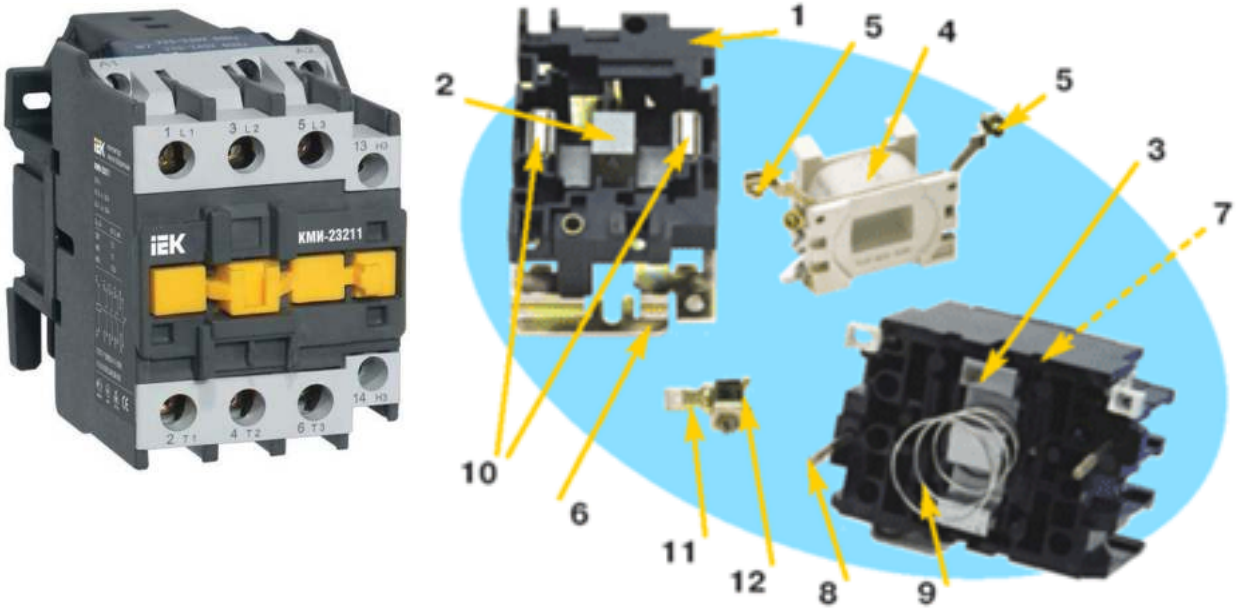


Рисунок 7.5 – Магнитный пускатель КМИ

Под воздействием электромагнитного поля втягивающей катушки 4, возникающего при протекании через нее тока, происходит смыкание магнитной системы и преодолевается противодействие возвратной пружины 9 и пружин контактных мостиков. Для предотвращения детонации предусмотрены массивные короткозамкнутые алюминиевые кольца 10, запрессованные в полюсные наконечники неподвижной части магнитной системы.

Пускатели на номинальные токи свыше 25 А снабжаются металлической платформой 6. Крепление подвижной части пускателя к неподвижной осуществляется с помощью крепёжных винтов 8. Для фиксации внешних проводников используются присоединительные зажимы 12.

Магнитные пускатели могут осуществить нулевую защиту потребителей. Нулевая защита действует при исчезновении или резком снижении напряжения питающей сети. В подобных режимах электродвигатель должен отключаться от сети и оставаться в этом состоянии и при восстановлении напряжения. Чтобы его включить, нужно нажать на кнопку пуск. Под номинальным током пускателя понимают наибольший ток продолжительного режима работы, который определяет условия допустимого нагрева элементов главной цепи.

Программа работы и методика выполнения работы

1. Изучить конструкцию и назначение аппаратуры управления (рубильников, пакетных выключателей и переключателей, конечных выключателей, кнопочных станций, электромагнитных реле, магнитных пускателей).

2. Для определения коэффициента возврата магнитного пускателя собрать схему, представленную на рисунке 7.6.

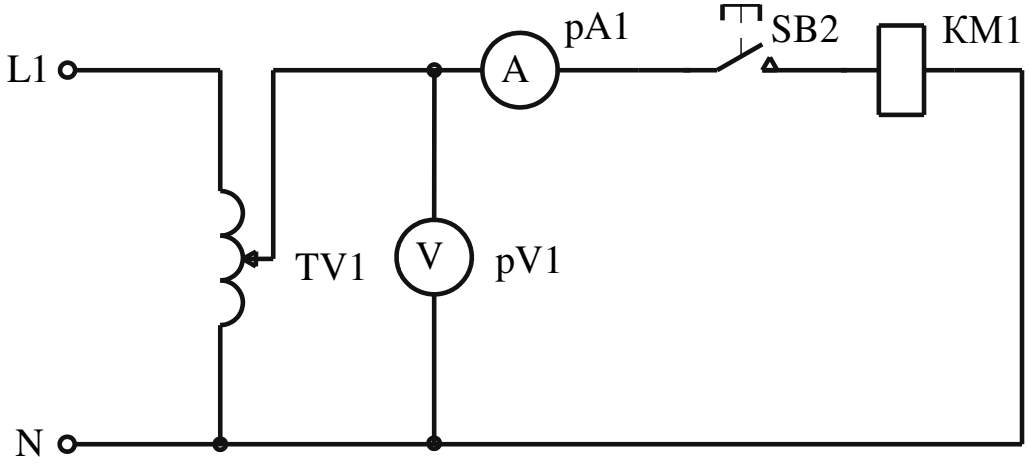


Рисунок 7.6 – Схема для определения напряжения срабатывания и отпускания

При нажатой кнопке SB2 плавно увеличивая напряжение, подаваемое на катушку КМ1 пускателя, зафиксировать момент чёткого его срабатывания $U_{ср}$. Затем поднять напряжение до 220 В и плавно уменьшать его до момента отключения пускателя, показания вольтметра при этом будут соответствовать напряжению отпускания $U_{отп}$.

Испытания следует повторить 5 раз. Значения напряжений $U_{ср}$ и $U_{отп}$ для каждой повторности занести в таблицу 7.1. Определить средние значения напряжений срабатывания и отпускания.

Таблица 7.1 – Результаты замеров $U_{ср}$ и $U_{отп}$

Параметр	Номер повторности					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
$U_{ср}$, В						
$U_{отп}$, В						

3. По средним значениям напряжений рассчитать коэффициент возврата

$$К_{в} = \frac{U_{отп}}{U_{сраб}}. \qquad (7.1)$$

4. Оформить отчёт по работе.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Схема, изображённая на рисунке 7.6.
2. Результаты замеров $U_{ср}$ и $U_{отп}$ (таблица 7.1).
3. Результаты определения коэффициента возврата.
4. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите аппараты, относящиеся к аппаратуре управления.
2. Поясните назначение и принцип работы штоковых конечных выключателей. Укажите их недостатки.
3. По каким признакам классифицируются реле?
4. Поясните назначение, устройство, принцип работы магнитного пускателя.
5. Какую защитную функцию выполняют магнитные пускатели?
6. Как расшифровывается буквенно-цифровое обозначение магнитных пускателей?
7. Что такое напряжение срабатывания?
8. Что такое напряжение отпускания?
9. Дайте определение коэффициенту возврата.

Лабораторная работа № 8

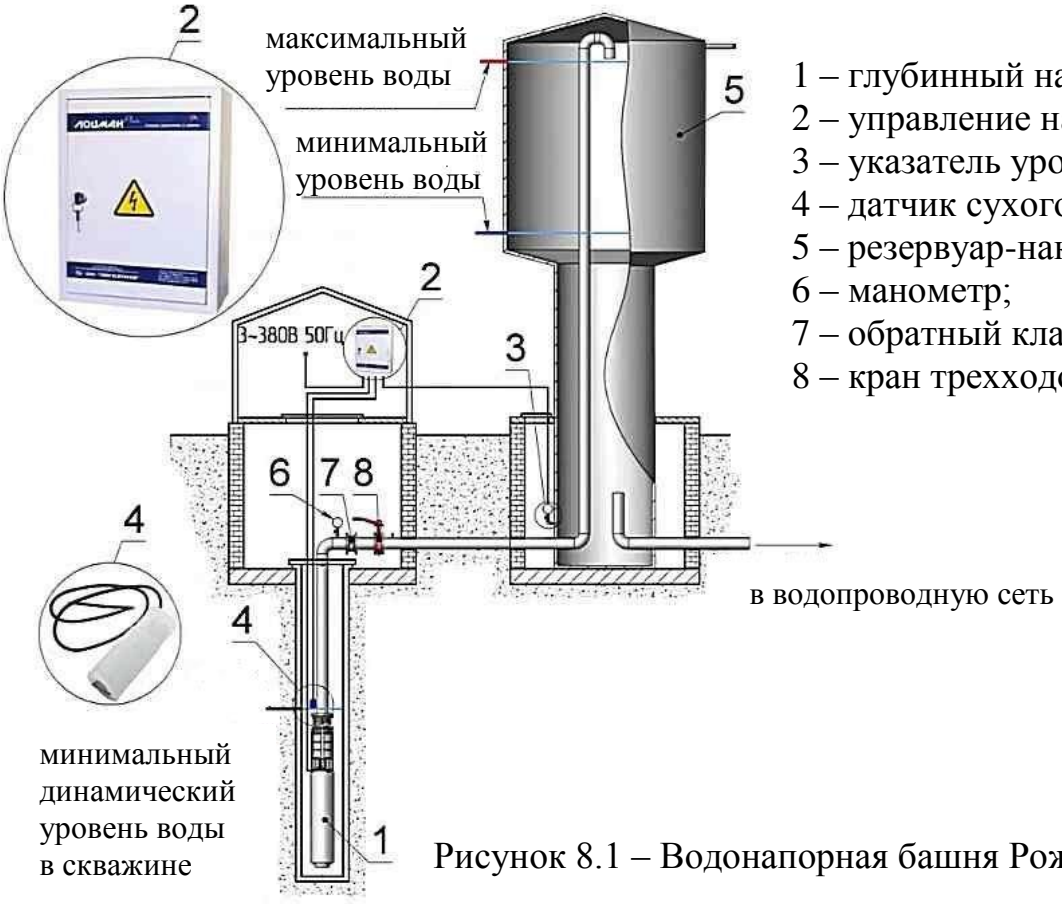
ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Цель работы: изучение устройства, режимов работы и принципов автоматизации систем водоснабжения сельскохозяйственных объектов.

Общие сведения

В сельском хозяйстве воду используют для нужд населения и поения животных, приготовления пищи и кормов, полива растений, тушения пожаров и других производственных целей. Для подъёма и раздачи воды в необходимом количестве без непосредственного участия человека применяют водонасосные установки, состоящие из водоприёмников, очистительных сооружений, резервуаров чистой воды или водонапорных башен, соединительной водопроводной сети и электронасосов со станциями управления.

Для забора воды из источников и подачи её потребителям на объектах АПК используют установки трёх типов: электронасосные установки с напорно-регулирующим резервуаром, установленным на башне; безбашенные насосные установки с воздушно-водяным котлом; установки, обеспечивающие подачу воды непосредственно в водопроводную сеть. До 90% насосных установок сельскохозяйственного водоснабжения составляют башенные водокачки Рожновского с погружными электронасосами типа ЭЦВ (рисунок 8.1).



1 – глубинный насос;
2 – управление насосом;
3 – указатель уровня;
4 – датчик сухого хода;
5 – резервуар-накопитель;
6 – манометр;
7 – обратный клапан;
8 – кран трехходовой

Рисунок 8.1 – Водонапорная башня Рожновского

Автоматизация насосных станций предусматривает автоматический пуск и остановку насосов, включение насосов по определённой программе, автоматическое регулирование подачи насосов, включение резервного насоса, защиту электродвигателей, сигнализацию нормальной работы и аварийной остановки, измерение давления, уровня воды, силы тока двигателя, напряжения. Для водонасосных установок предусматривают автоматическое управление в зависимости от уровня воды в приёмном резервуаре (башне), защиту электронасосного агрегата от «сухого хода», защиту электродвигателя от перегрузки, от работы на двух фазах и короткого замыкания, сигнализацию нормальной работы и аварийного отключения, измерение тока в цепи двигателя, измерение давления в магистрали.

Для управления автоматизированной насосной станцией, а также для контроля процесса работы используются различные реле.

Реле контроля заливки насоса и струйные реле дают сигнал на отключение контактора, который управляет двигателем в случае отсутствия потока воды в напорном патрубке.

Реле уровня необходимы для включения и отключения насосного агрегата при изменении уровня воды в водонапорной ёмкости. По принципу работы реле уровня могут быть поплавковыми, кондуктометрическими (электродными) и датчиками давления с механическими первичными преобразователями (мембранными, сильфонными, с манометрической трубчатой пружиной).

Реле давления контролируют давление в трубопроводе и отключают двигатель от питания при затянувшемся пуске, срыве вакуума и разрыве трубопровода.

Контроль уровня воды в баке водонапорной башни осуществляется кондуктометрическими датчиками. Принцип работы таких датчиков основан на свойстве воды проводить электрический ток. На электроды датчиков подают пониженное напряжение, не более 24 В. Внутри центрального электрода расположен нагревательный элемент, который включают в холодное время года для исключения обмерзания электродов и отказа их работы, поэтому датчик работает при температуре от –40 ^{0}С до + 35 ^{0}С.

В сельскохозяйственном водоснабжении наряду с башенными водокачками широко применяются и безбашенные с воздушно-водяным котлом. Эти установки рекомендуется применять на скважинах с дебитом не менее максимального часового расхода суточного графика потребления воды.

Режим работы привода определяется подачей насоса $Q_н$ и регулирующим объёмом бака $V_р$.

Продолжительность работы агрегата $t_р$, ч:

$$t_р = \frac{V_р}{Q_н - Q_р}, \qquad (8.1)$$

где $V_р$ – регулирующий объем бака, м^3;

$Q_н$ – производительность насоса, м^3/ч;

$Q_р$ – расход воды, м^3/ч.

Продолжительность паузы в работе агрегата t_0, ч:

$$t_0 = \frac{V_р}{Q_р}. \quad (8.2)$$

Длительность одного цикла $t_ц$, ч:

$$t_ц = t_р + t_о. \quad (8.3)$$

Частота включений двигателя Z, 1/ч:

$$Z = \frac{1}{t_ц}. \quad (8.4)$$

Относительная продолжительность включения ε зависит от отношения расхода к подаче насоса:

$$\varepsilon = \frac{Q_р}{Q_н} = \frac{t_р}{t_ц}. \quad (8.5)$$

При расходе воды, равном половине производительности насоса, и при относительной продолжительности включения ε = 0,5 частота будет максимальной. Для этого случая график работы насосного агрегата представлен на рисунке 8.2.

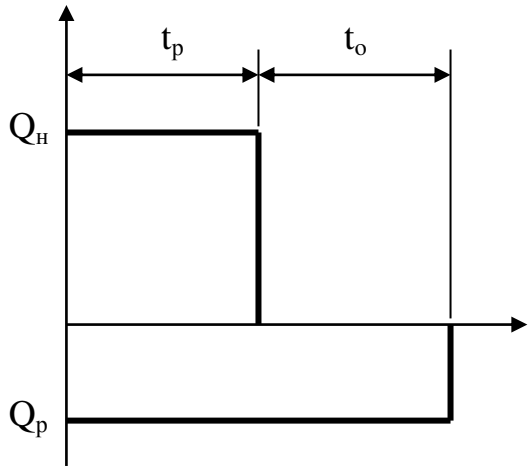


Рисунок 8.2 – График работы насосного агрегата

Из вышеизложенного вытекает, что для обеспечения нормальной работы привода необходимо определённое соотношение регулирующего объёма и подачи насоса. Увеличение максимальной частоты включения ведет к уменьшению рабочего объёма. Уменьшение Z_{max} приведёт к увеличению ε и увеличению срока службы двигателя. Поэтому допустимое число включений в час принимают равным 2–6.

Если ε < 0,1, при полном цикле работы 10 мин, то можно считать, что двигатель, выбранный к данному насосу, будет работать в кратковременном режиме. Если же ε > 0,1, то – в повторно-кратковременном режиме.

Технологическая схема безбашенной водонапорной установки представлена на рисунке 8.3.



1 – центробежный насос;
2 – воздушный дисковый клапан;
3 – водопроводная сеть; 4 – пружинный клапан;
5 – воздушно-водяной котел;
6 – реле давления;
7 – предохранительный клапан;
8 – распределительная сеть; 9 – шкаф управления

Рисунок 8.3 – Технологическая схема автоматической водоподъемной установки ВУ-7-65 с погружным насосом

На рисунке 8.4 изображена схема автоматизированного управления электроприводом безбашенной насосной установки с использованием электроконтактного манометра. Схема допускает работу в ручном и автоматическом режимах.

При работе в автоматическом режиме (переключатель SA 1 в положении А) в случае уменьшения давления замкнётся контакт SP1.1, срабатывает магнитный пускатель КМ1 и включается электронасос. По мере увеличения уровня воды в водонапорном баке возрастает давление и при достижении определённого его значения, соответствующего верхнему уровню, замыкаются контакты SP 1.2, срабатывает реле KV1, которое размыкающими контактами отключает катушку магнитного пускателя КМ1. Электродвигатель насоса останавливается. Если после пуска электронасосного агрегата не будет требуемого давления по какой-либо причине, то контакты SP2 другого

датчика давления остаются замкнутыми и через выдержку времени реле КТ1 отключит катушку магнитного пускателя КМ1.

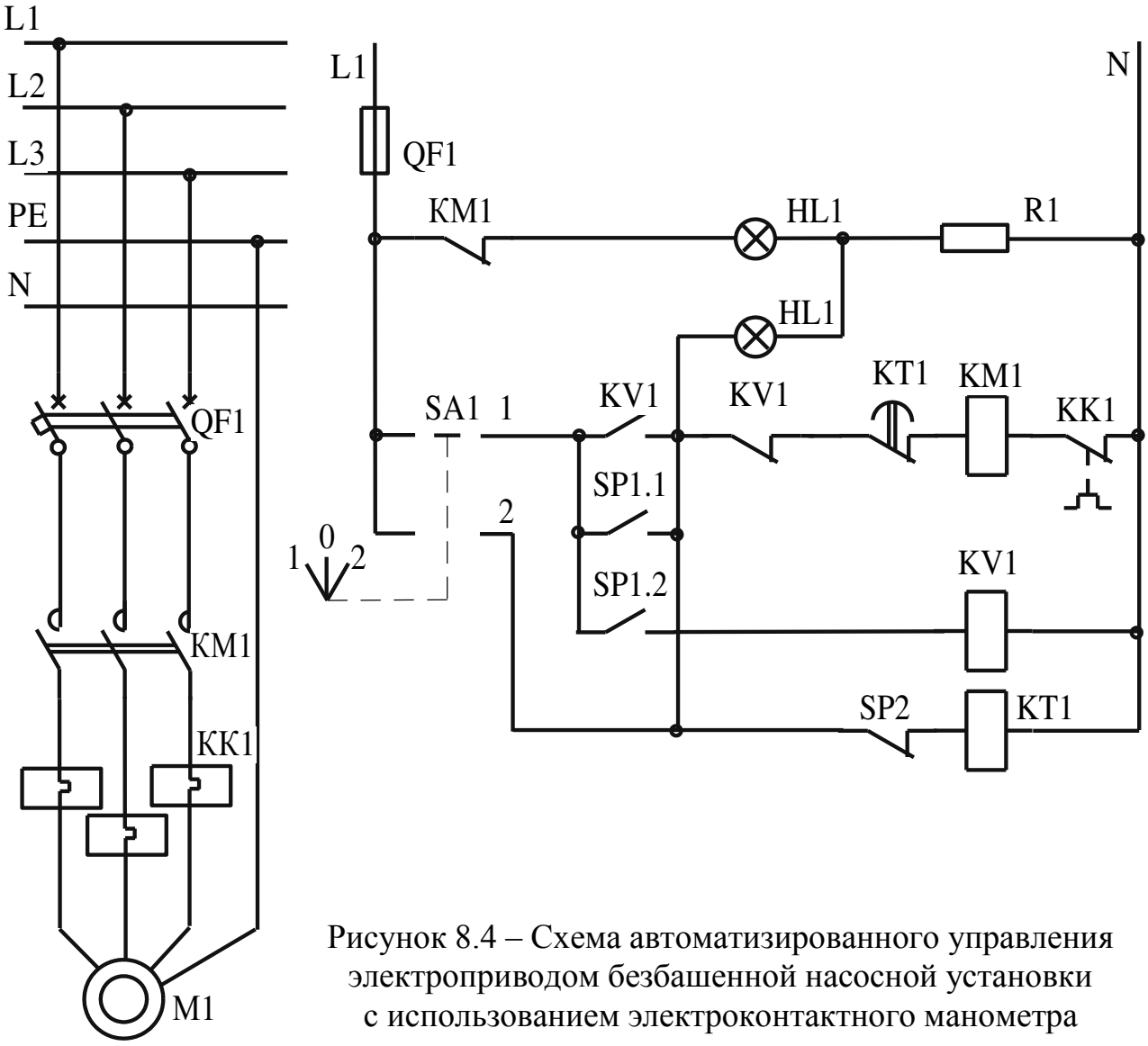


Рисунок 8.4 – Схема автоматизированного управления электроприводом безбашенной насосной установки с использованием электроконтактного манометра

Для защиты электродвигателя от перегрузок предназначено тепловое реле КК1. Защита электродвигателя от коротких замыканий осуществляется при помощи предохранителей FU1–FU3.

На рисунке 8.5 представлена схема автоматизированного управления электроприводом насосной установки с напорно-регулирующим резервуаром. Схема предусматривает ручное управление (ключ SA1 разомкнут) и автоматическое – с помощью кондуктометрического датчика.

Для пуска агрегата нажимают на кнопку SB2. Напряжение подаётся на катушку промежуточного реле KV1 и катушку магнитного пускателя КМ1. Реле KV1 своими замыкающими контактами блокирует кнопку SB2.

Пускатель КМ1, срабатывая, включает насосный агрегат. Насос начинает закачивать воду в напорную ёмкость. При достижении водой контактов верхнего уровня SL1 получает питание катушка промежуточного реле KV2,

которая замыкает свой замыкающий контакт в цепи SL2, а размыкающим – отключает магнитный пускатель КМ1 (насосный агрегат отключается). При расходе воды из напорной ёмкости сначала размыкаются контакты SL1, а при снижении уровня воды ниже нижнего уровня – и контакты SL2. Реле KV2 обесточивается, поэтому замкнётся размыкающий контакт KV2 в цепи КМ1. Пускатель КМ1 получит питание и включит в работу насосный агрегат. Цикл повторится снова.

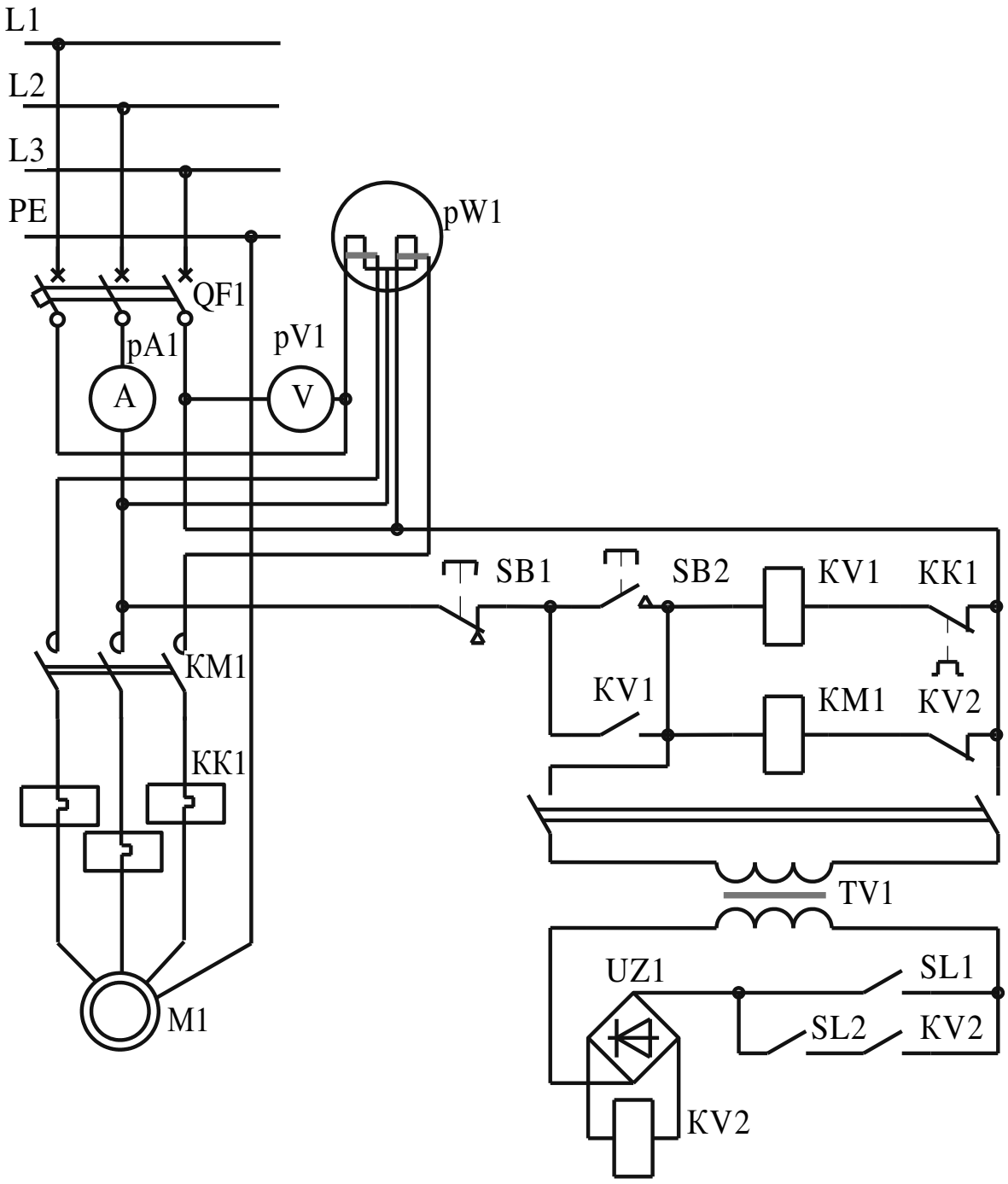


Рисунок 8.5 – Схема автоматизированного управления электроприводом насосной установки с напорно-регулирующим резервуаром

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться со схемами автоматизированного управления насосными агрегатами. Собрать схему, изображённую на рисунке 8.5. Убедиться в нормальной работе насосной установки в ручном и автоматическом режимах.

2. Определить производительность насоса. Для этого в автоматическом режиме замерить время заполнения регулирующего объема $t_р$. Производительность насоса $Q_н$, м^3/с, будет равна:

$$Q_н = \frac{V_р}{t_р}, \qquad (8.6)$$

где $V_р$ – регулирующий объем, вычисляется по результатам замеров, м^3.

Измерить время $t_о$, время отключения, в течение которого регулирующий объем освободится от воды.

С учётом соотношений (8.3) и (8.5) рассчитать относительную продолжительность ε и по ней определить режим работы двигателя насоса.

3. Определить расчётную мощность $P_{расч}$, Вт, электродвигателя для насосной установки:

$$P_{расч} = \frac{\gamma Q_н H_н}{\eta_н \eta_п}, \qquad (8.7)$$

где γ – удельный вес жидкости, н/м^3;

$Q_н$ – производительность насоса, м^3/с;

$H_н$ – напор насоса, м;

$\eta_н$ – КПД насоса: для центробежных насосов $\eta_н$ = 0,5–0,8; для поршневых насосов $\eta_н$ = 0,5–0,6; для вихревых насосов $\eta_н$ = 0,25–0,5;

$\eta_п$ – КПД передачи.

Удельный вес жидкости γ, Н/м^3:

$$\gamma = \rho \cdot q, \qquad (8.8)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м^3;

q – ускорение свободного падения, м/с^2.

Напор насоса $H_н$, м, определяется по формуле

$$H_н = H_г + \Sigma h_в + h_{тр}, \qquad (8.9)$$

где $H_г$ – геометрический напор, равный расстоянию по вертикали между наименьшим расчётным уровнем воды в колодце и максимальным уровнем воды в водонапорном баке, м;

$\Sigma h_в$ – сумма местных потерь во всасывающем трубопроводе, м;

$h_{тр}$ – потери напора на трение, м.

Номинальная мощность двигателя $P_н$, Вт, определяется с учетом коэффициента запаса $k_з$:

$$P_н = P_{расч} \cdot k_з. \qquad (8.10)$$

Коэффициент запаса принимается с учётом рекомендаций таблицы 8.1.

Таблица 8.1 – Значения коэффициента запаса

P, кВт	≤ 1	2	3	4	5	8	≥10
$k_з$,о.е.	1,7–2	1,5	1,33	1,22	1,2	1,12	1,05–1,1

4. С учётом соотношения (8.4) определить максимальное число пусков Z_{max} агрегата в час.

5. Записав при работе агрегата значение потребляемой из сети мощности P_1, определить величину коэффициента загрузки $k_з$:

$$k_з = \frac{P_1 \cdot \eta}{P_н}, \qquad (8.11)$$

где $P_н$ – номинальная мощность двигателя, кВт;

η – КПД двигателя, принимается по таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Значения КПД двигателя при различной загрузке

$P/P_н$, %	25	50	75	100	125
КПД, %	40,0	55,0	63,0	65,0	61,5

6. Вычислить коэффициент мощности cosφ при данном коэффициенте загрузки:

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}UI}. \qquad (8.12)$$

7. Оформить отчёт о работе.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Электрические схемы, изображённые на рисунках 8.4 и 8.5.
2. Расчёт мощности электродвигателя для привода насосного агрегата.
3. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Какие типы электронасосных установок вы знаете?
2. Какие реле и датчики используются для контроля процесса работы насосной установки?
3. Перечислите типы датчиков, используемых для контроля уровня воды в водонапорной ёмкости.
4. На чем основан принцип работы кондуктометрических датчиков?
5. Поясните работу схемы автоматизированного управления электроприводом безбашенной насосной установки с использованием электроконтактного манометра (рисунок 8.4).
6. Поясните работу схемы автоматизрованного управления электроприводом насосной установки с напорно-регулирующим резервуаром (рисунок 8.5).
7. Перечислите параметры, от которых зависит мощность двигателя для привода насосного агрегата.

Лабораторная работа № 9

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ

Цель работы: ознакомление с основными требованиями, предъявляемыми к схемам управления электроприводами поточных линий, приобретение навыков сборки и наладки схем.

Общие сведения

Автоматизация технологических электроустановок, используемых в сельском хозяйстве, позволяет повысить надёжность и увеличить срок службы технологического оборудования, облегчить и улучшить условия труда работающих.

Схемы управления позволяют обеспечить автоматизированную работу как отдельных потребителей, так и поточных линий.

Поточная линия – это система рабочих машин, механизмов и аппаратов, выполняющих один законченный технологический цикл, который характеризуется поточностью, непрерывностью и ритмичностью процесса.

Система машин – это совокупность разных рабочих машин, механизмов и аппаратов, увязанных между собой по производительности, скорости движения и времени действия для законченного технологического или производственного цикла. При этом через механизмы связи одна машина задает работу другой и таким образом обеспечивается поточность производства, условия его автоматизации и безопасности эксплуатации.

Некоторые технологические процессы и поточные линии требуют, чтобы пуску технологического оборудования предшествовала звуковая или световая сигнализация. На рисунке 9.1 изображён один из вариантов выполнения предупредительной сигнализации.

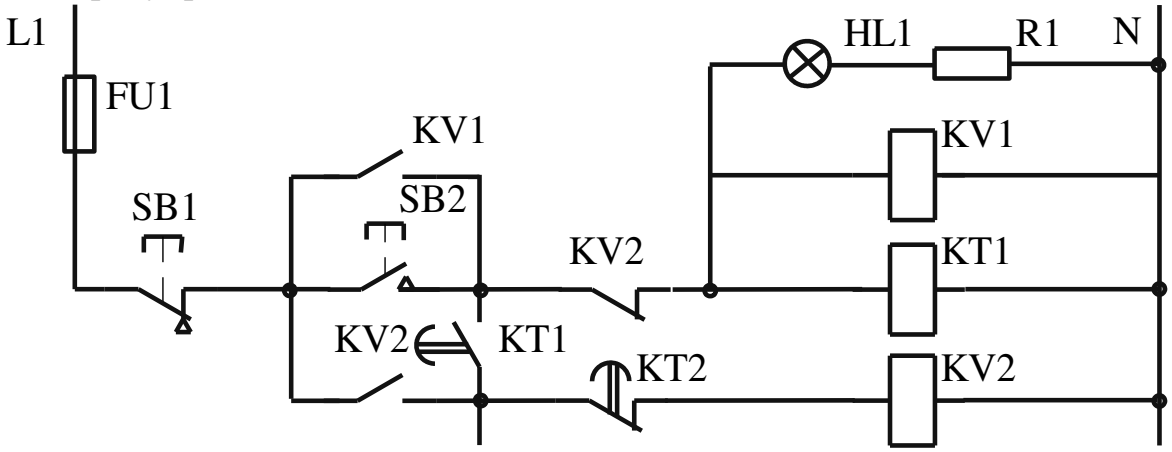


Рисунок 9.1 – Пускосигнальное звено

Для облегчения повторных запусков двигателей механизмов поточных технологических линий целесообразно использовать звено «рабочего останова» (рисунок 9.2). Элементы, входящие в состав данного звена, обеспечивают

отключение механизмов после очистки их от продукта. Таким образом, повторное включение механизмов, вследствие отсутствия в них продукта, будет происходить при существенно меньших нагрузках.

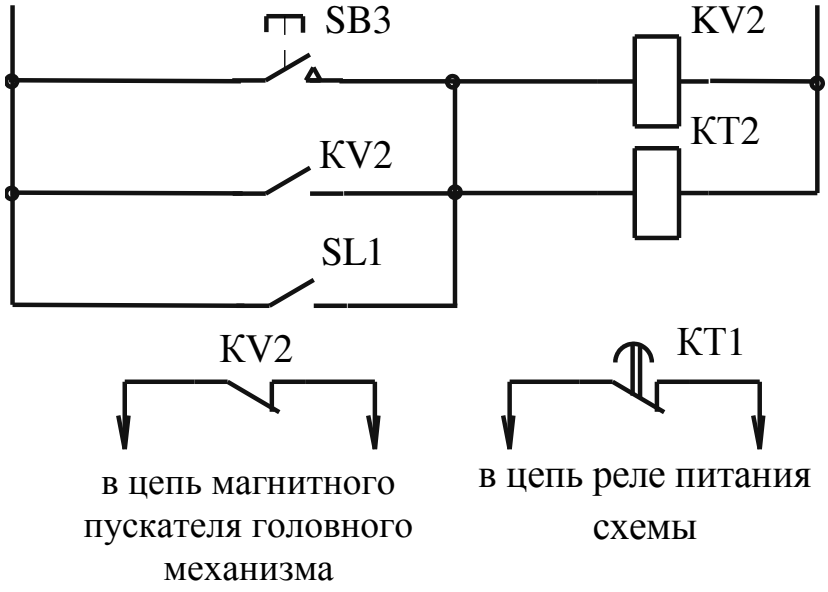


Рисунок 9.2 – Звено рабочего останова

С учетом изложенного выше, а также с учетом тенденций перевода объектов АПК на промышленный метод производства, подбор всех элементов поточных линий для различных производственных объектов следует вести с учетом непрерывности и соответствующей ритмичности производства. При этом концентрация машин и оборудования, размещение их на различных отметках, в разных местах, взаимосвязь и регламентированная последовательность их работы обуславливают введение централизации и автоматизации управления и вместе с тем предъявляют ряд требований к схемам управления электроприводами машин.

1. При необходимости пуску механизмов поточной линии должен предшествовать звуковой и (или) световой предупредительный сигнал, который длится 8–10 с.

2. В схемах управления электроприводами должна быть предусмотрена мгновенная остановка всех механизмов – аварийный стоп.

3. Для защиты от перегрузок электродвигателей и других механизмов в схеме должны быть предусмотрены защитные аппараты (например, тепловые реле) с размыкающими контактами в цепи катушек магнитных пускателей, управляющих электродвигателями и механизмами.

4. Пуск электродвигателей и аппаратов, последовательно включаемых машин и механизмов, должен производиться против движения продукта в тракте поточной линии. При пуске должны обеспечиваться условия разгона инерционных машин и механизмов.

5. Останов (рабочий стоп) осуществляется по ходу движения продукта в следующей последовательности: головной механизм (заслонка, шибер, затвор и др.), затем с выдержкой времени все машины, освободившиеся от

продукта. При рабочем отключении схемы в первую очередь (без выдержки времени) должны отключаться все машины, работающие на загрузку линии, и с выдержкой времени – действующие на отгрузку.

6. Схемы управления должны быть простыми и надёжными, иметь однотипные устройства с наименьшим количеством элементов.

7. Схемы должны обеспечивать гибкость и удобство управления. С помощью простых переключений переходить ко всем предусмотренным режимам работы с обеспечением световой и звуковой сигнализации. Например, для удобства управление осуществляют с нескольких мест.

8. Электрические схемы управления и блокировок составляют таким образом, чтобы обеспечить контроль неисправности схемы и быстрое нахождение неисправностей.

9. Схемы, наряду с рабочим режимом, должны иметь режимы для наладочных и ремонтных работ, то есть обеспечивать возможность включения отдельных электроприводов.

10. При большой протяжённости поточной линии и (или) невозможности визуального контроля работы отдельных ее элементов необходимо предусмотреть световую сигнализацию функционирования всех машин и механизмов. В схемах управления линиями с большим количеством элементов для наглядности используют мнемосхемы со световой сигнализацией.

Программа работы и методика выполнения работы

1. Ознакомиться с основными принципами управления поточными линиями.

2. Ознакомиться с работой поточной линии на примере процесса загрузки бункеров кормоцеха зерном, технологическая схема которой представлена на рисунке 9.3.

В состав данной поточной линии входят:

– завальная яма, снизу которой установлен секторный затвор 1;

– зерновая нория 2;

– реверсивный надбункерный шнек 3;

– электромагнитные плоские надбункерные затворы 4А и 4Б;

– бункеры 5А и 5Б для хранения зерна с мембранными датчиками верхнего уровня 6А и 6Б.

Технологическая линия работает в следующем порядке. Зерно из автомашины сгружается в завальную яму с помощью автомобилеподъемника. Из завальной ямы через секторный затвор 1 зерно поступает в норию 2. Далее оно поднимается норией и выгружается в реверсивный надбункерный шнек 3. Реверсивным надбункерным шнеком 3 зерно через открывающиеся электромагнитные плоские затворы 4А или 4Б загружается в бункеры кормоцеха 5А или 5Б.

Данной технологической схемой предусмотрено два режима работы:

– заполнение зерном бункера 5А (1 поток: 1→2→3В→4А→5А);

– заполнение зерном бункера 5Б (2 поток: 1→2→3Н→4Б→5Б).

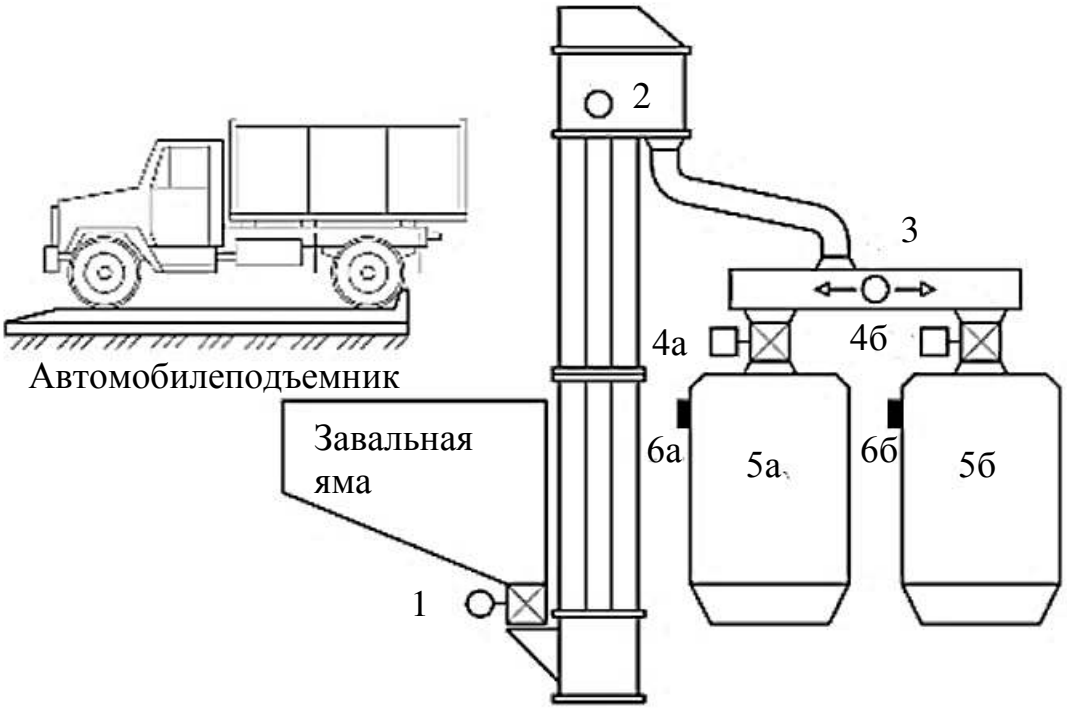


Рисунок 9.3 – Технологическая схема поточной линии загрузки бункеров зерном

3. Ознакомиться с работой автоматизированной схемы управления электроприводами данной поточной линии (рисунок 9.4).

Схема работает следующим образом. При нажатии на кнопку SB1 получает питание реле времени КТ1, промежуточное реле KV1 и загорается световое табло HL1, сигнализирующее о запуске поточной линии. Контакты выключателя SB1 после срабатывания реле KV1 шунтируются его замыкающим контактом KV1. По истечении данной выдержки времени (порядка 10 сек.) замыкается контакт КТ1 реле времени КТ1, напряжение подается на промежуточное реле KV2, которое блокирует себя замыкающим контактом KV2. Размыкающим контактом KV2 это реле разрывает цепи реле КТ1, KV1 и табло HL1, подача предупредительного сигнала прекращается.

Замыкающим контактом KV2 через контакты многопозиционного переключателя SA2 напряжение подается на катушку магнитного пускателя КМ1 электромагнита плоского затвора 4А, контакты которого замкнут цепь питания магнитного пускателя КМ2 электродвигателя шнека 3. Начнется движение шнека 3 вперед. Пускатель КМ2 своими контактами КМ2 подает напряжение на катушку магнитного пускателя КМ5 электродвигателя нории 2. В свою очередь контакты КМ5, замыкаясь через переключатель SA2 и переключающие контакты датчика уровня SQ3, подадут напряжение на катушку магнитного пускателя КМ6 электромагнита секторного затвора завальной ямы 1. Таким образом, пуск производится против движения обрабатываемого продукта.

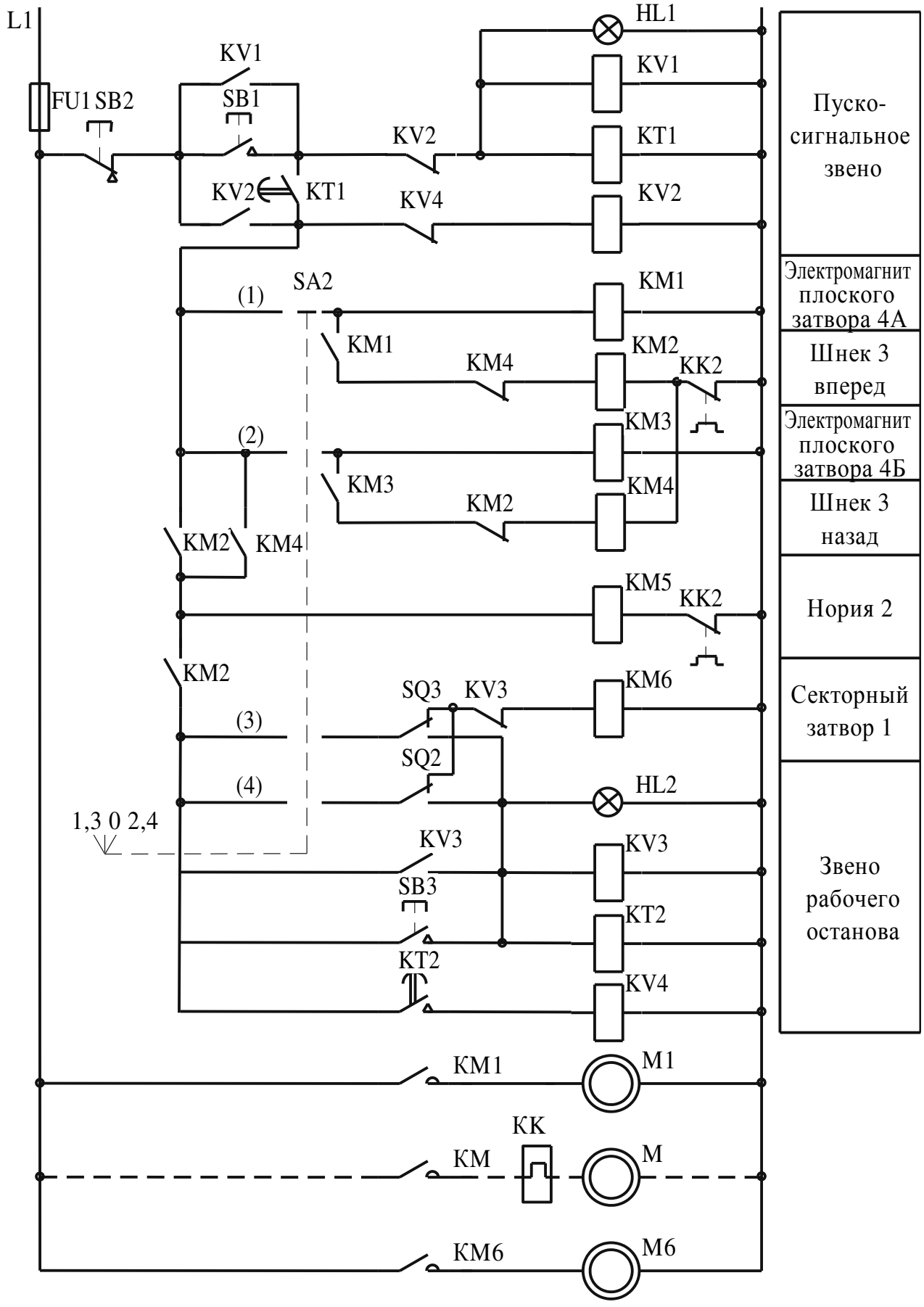


Рисунок 9.4 – Схема электрическая принципиальная управления поточной линией загрузки зерна в бункера кормоцеха

По заполнении бункера срабатывает датчик уровня зерна, переключая свой контакт SQ3. При этом загорится световое табло HL2, сигнализирующее о наполнении бункера. Отключится катушка магнитного пускателя КМ6, и закроется секторный затвор завальной ямы 1. Подача зерна в норию 2 прекращается. Одновременно с катушкой КМ6 получает питание реле времени КТ2, которое через выдержку времени, необходимую для очистки тракта от продукта, замкнет свои контакты, подавая напряжение на промежуточное реле KV4. Реле KV4 разрывает цепь питания реле KV2 и возвращает схему в исходное положение

Схемой предусмотрена рабочая остановка поточной линии. Для этого нажимают на кнопочный выключатель SB3. Работа схемы аналогична работе при срабатывании датчика SQ3.

При установке переключателя SA2 в третью позицию будет происходить загрузка зерна в бункер 5Б.

4. Собрать схему, изображённую на рисунке 9.4, проверить работу схемы в различных режимах работы.

5. Оформить отчёт по работе.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Схемы, изображённые на рисунках 9.3 и 9.4.
2. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое поточная линия?
2. Назовите основные требования, предъявляемые к схемам управления электроприводами машин.
3. Опишите работу автоматизированного электропривода поточной линии загрузки зерна в приёмные бункеры.
4. Опишите работу электрической схемы при загрузке зерна в бункер 5А или 5Б.
5. Возможна ли загрузка одновременно в оба бункера? Опишите работу схемы при нажатии кнопки «рабочий стоп».
6. Как происходит отключение механизмов при заполнении бункера и срабатывании датчика верхнего уровня?

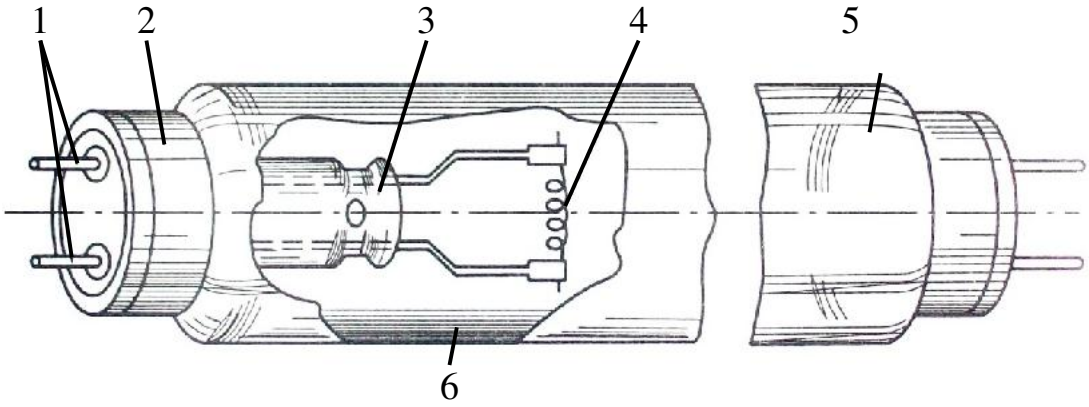
Лабораторная работа № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ С ИНДУКТИВНЫМ БАЛЛАСТОМ

Цель работы: ознакомление с устройством и принципом работы люминесцентных ламп низкого давления, изучение работы схемы включения люминесцентной лампы с индуктивным балластом.

Общие сведения

Основным источником излучения в люминесцентных лампах являются люминофоры, возбуждаемые излучением электрического разряда. Люминесцентная лампа – это типичный разрядный источник света низкого давления, в котором разряд происходит в смеси паров ртути и инертного газа, чаще всего – аргона.



1 – контактные штырьки; 2 – цоколь; 3 – стеклянная ножка; 4 – электрод; 5 – колба; 6 – слой люминофора

Рисунок 10.1 – Конструкция люминесцентной лампы

Колба 5 люминесцентной лампы выполняется из стекла и представляет собой цилиндр. Цилиндр может быть прямым или изогнутым в виде кольца, буквы U или более сложной фигуры. В торцевые концы цилиндра герметично впаяны стеклянные ножки 3, на которых с внутренней стороны смонтированы электроды 4 (рисунок 10.1). Электроды по конструкции представляют собой биспираль или триспираль и изготавливаются из вольфрамовой проволоки. С наружной стороны электроды подпаяны к контактным штырькам 1 цоколя 2.

Из колб люминесцентных ламп воздух тщательно откачивается через штенгель (откачную трубку), впаянный в одну из ножек. После откачки объем колбы заполняется инертным газом и в него вводится ртуть в виде небольшой капли (масса ртути в одной лампе обычно около 30–80 мг) или в виде так называемой амальгамы, то есть сплава ртути с висмутом, индием и другими металлами. Вся цилиндрическая часть колбы с внутренней стороны покрыта тонким слоем люминофора 6.

Введение инертного газа облегчает зажигание разряда в лампе, предохраняет электроды от разрушения и увеличивает интенсивность излучения разряда. Электрический разряд начинается в атмосфере инертного газа, а затем по мере испарения ртути продолжается в её парах при низком давлении. Слой люминофора, поглощая ультрафиолетовое излучение, за счет полученной энергии начинает испускать видимый свет. В зависимости от природы люминофора меняется спектр испускаемого ими света.

Таким образом, преобразование электроэнергии можно разделить на два этапа: преобразование электрической энергии в процессе электрического разряда в парах ртути в энергию ультрафиолетового излучения и преобразование ультрафиолетового излучения в видимый свет.

Изменяя состав люминофора можно менять оттенок свечения лампы. Для обеспечения нужд осветительной техники среди многочисленных цветовых оттенков, которые можно получить с помощью люминофора галофосфата кальция, для люминесцентных ламп выбраны четыре оттенка, воспроизводящие отдельные стадии дневного света:

– люминесцентные лампы дневного света, имеющие цветовую температуру 6500 К, соответствующую цветовой температуре голубого неба без солнца, получившие обозначение ЛД;

– люминесцентные лампы холодно-белого света с цветовой температурой 4800 К, что соответствует цветовой температуре дневного неба, покрытого тонким слоем белых облаков, получивших обозначение ЛХБ;

– люминесцентные лампы белого света с цветовой температурой 4200 К, соответствующей цветовой температуре яркого солнечного дня, получившие обозначение ЛБ;

– люминесцентные лампы тепло-белого света с цветовой температурой 2800 К, соответствующей цветности излучения ламп накаливания, получившие название ЛТБ.

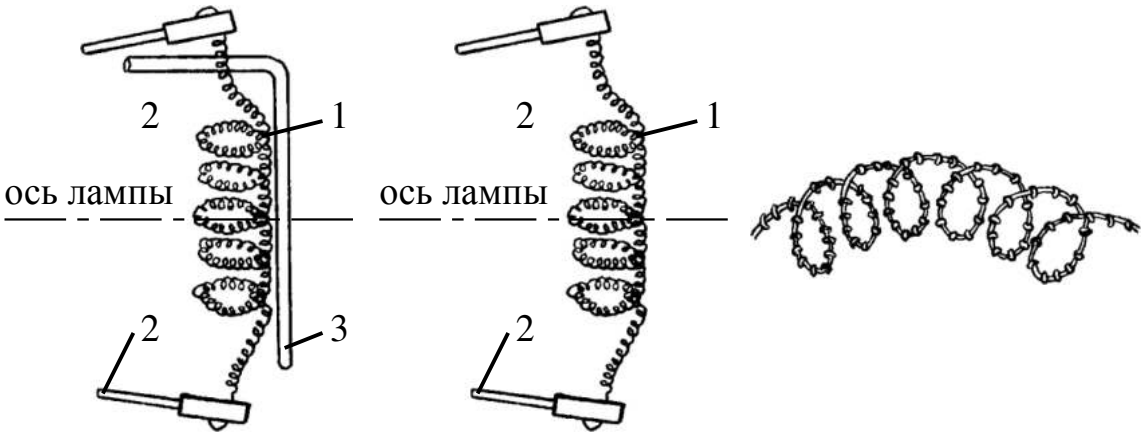
При определении оттенков цвета излучения ламп использован термин цветовой температуры. Цветовой температурой оптического излучения источника света называется температура абсолютно чёрного тела, при которой цвет рассматриваемого излучения совпадает с цветом излучения этого тела.

Спектральный состав излучения имеет важное значение, так как различные биологические объекты селективно воспринимают различные участки спектра, и этот факт нужно учитывать при выборе источника света для решения той или иной технологической задачи.

Срок службы лампы определяется не только свойствами люминофора, но и конструкцией электродов. Наиболее распространённые конструкции оксидных катодов, применяемых в люминесцентных лампах, показаны на рисунке 10.2.

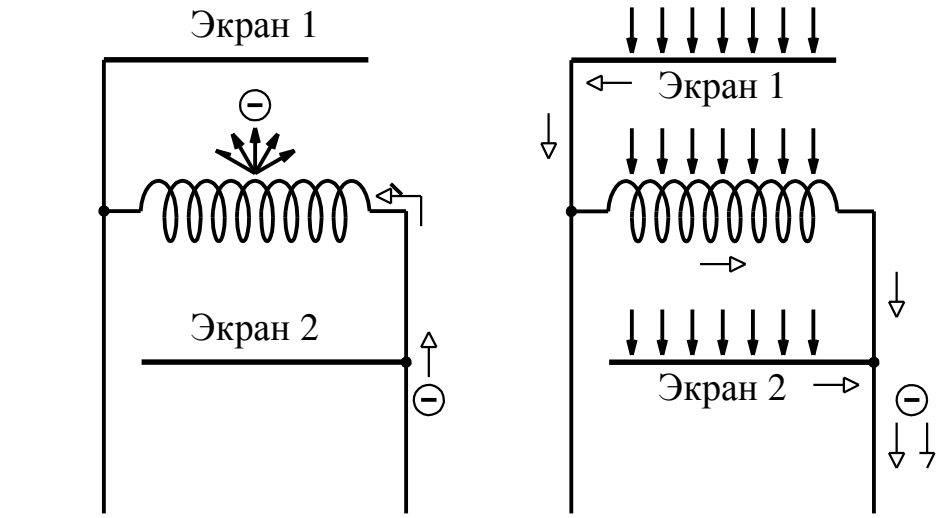
Такой тип катода называется самокалящимся в связи с тем, что поддержание на нем температуры, обеспечивающей термоэлектронную эмиссию, происходит за счёт его нагрева энергией, выделяющейся в нем самом в процессе горения лампы.

Выполнение этого условия требует создания катода небольшой теплоёмкости, что, как видно из рисунков, достигается тем, что основой катода является тонкая вольфрамовая проволока, навитая в двойную или даже в тройную (рисунок 10.2 *б*) спираль.



а *б*

1 – катод; 2 – электроды; 3 – анод (ус)
а – самокалящийся оксидный катод; *б* – катод «гитарная струна»
Рисунок 2 – Конструкция катодов люминесцентных ламп



а *б*

Рисунок 10.3 – Направления движения электронов по катоду
в катодный (*а*) и анодный (*б*) полупериоды

Тройная смесь карбонатов бария, стронция и кальция наносится на эту спираль так, чтобы получить возможно более плотный и достаточно толстый слой, содержащий по возможности большее количество активного вещества. Получение плотного слоя обеспечивает возможность применения катодов без защитных экранов, служащих анодами в соответствующий полупериод работы на переменном токе и воспринимающих бомбардировку электронами, как показано на рисунке 10.3. Рыхлый слой активного вещества при отсутствии экранов был бы распылён этой бомбардировкой.

Количество активного вещества, которое содержится в оксидном слое, является ещё одним фактором, оказывающим существенное влияние на фактический срок службы ламп, поскольку это вещество расходуется в процессе её горения.

Газоразрядные лампы работают в режиме дугового разряда, падающая вольт-амперная характеристика (ВАХ) которого указывает на его неустойчивость. При непосредственном включении газоразрядной лампы в сеть с постоянным значением величины питающего напряжения без регулирующих устройств возникающий дуговой разряд сопровождается лавинообразным нарастанием тока, вплоть до полного разрушения лампы.

Лампа может быть включена в сеть только при наличии последовательно соединённого с ней балластного сопротивления, например дросселя. Дроссель представляет собой катушку индуктивности, намотанную на стальном сердечнике. Параллельно к лампе подключается зажигающее устройство – стартер, обеспечивающий предварительный подогрев электродов лампы и подачу на неё необходимого по величине зажигающего напряжения.

Стартер имеет два электрода, один из которых неподвижный, а второй подвижный, изготовленный из биметалла. Напряжение зажигания в стартере тлеющего разряда должно быть меньше напряжения сети, но больше рабочего напряжения, устанавливающегося на люминесцентной лампе при её горении. При подаче на схему напряжения сети оно полностью окажется приложенным к стартеру. Электроды стартера разомкнуты, межэлектродное расстояние достаточно для пробоя приложенным напряжением, и в стартере возникает тлеющий разряд. При появлении в стартере тлеющего разряда в цепи лампы будет протекать небольшой ток 20–50 мА. За счёт выделяемой на электродах мощности нагревается биметаллический электрод, и изгибаясь, он замыкает цепь, при этом тлеющий разряд прекращается. Через дроссель и последовательно соединённые электроды начнёт проходить ток, который будет подогревать электроды лампы. Длительность предварительного подогрева определяется временем, в течение которого электроды стартера остаются замкнутыми. Когда электроды стартера замкнуты, они остывают и размыкаются. В момент размыкания резкое уменьшение тока, протекающего через дроссель, вызывает в нем ЭДС самоиндукции, напряжение на зажимах лампы возрастает и между ее электродами в подготовленном благодаря термоэмиссии разрядном промежутке возникает электрический разряд. После зажигания лампы в цепи устанавливается ток, равный номинальному рабочему току лампы. Этот ток обусловит такое напряжение на дросселе, что напряжение на лампе станет примерно равным половине номинального напряжения сети. Так как стартер включён параллельно лампе, то напряжение на нем будет равно напряжению на горящей лампе, но в связи с тем, что оно недостаточно для зажигания тлеющего разряда в стартере, его электроды останутся разомкнутыми при горении лампы.

Дроссель в стартерных схемах выполняет следующие функции: обеспечивает достаточную и безопасную для электродов ламп величину тока, не обходимую для температурной подготовки их перед пуском; создаёт импульс

повышенного напряжения за счёт ЭДС самоиндукции, который обеспечивает зажигание лампы; стабилизирует разряд при номинальной для данной лампы величине тока; обеспечивает устойчивую работу люминесцентной лампы при отклонениях напряжения питающей сети.

При включении люминесцентной лампы в сеть переменного тока на её электроды будет подано напряжение, периодически изменяющееся по величине и по направлению. Вследствие этого каждые полпериода происходит изменение полярности электродов и в каждый полупериод происходит зажигание и погасание разряда в лампе. Следовательно, световой поток лампы будет пульсировать с двойной частотой по отношению к частоте питающего его тока (рисунок 10.4). Пульсация светового потока оценивается коэффициентом пульсации:

$$k_{п} = \frac{F_{max} - F_{min}}{2F_{ср}}, \qquad (10.1)$$

где F_{max}, F_{min}, $F_{ср}$ – соответственно наибольшее, наименьшее и среднее значение светового потока за период.

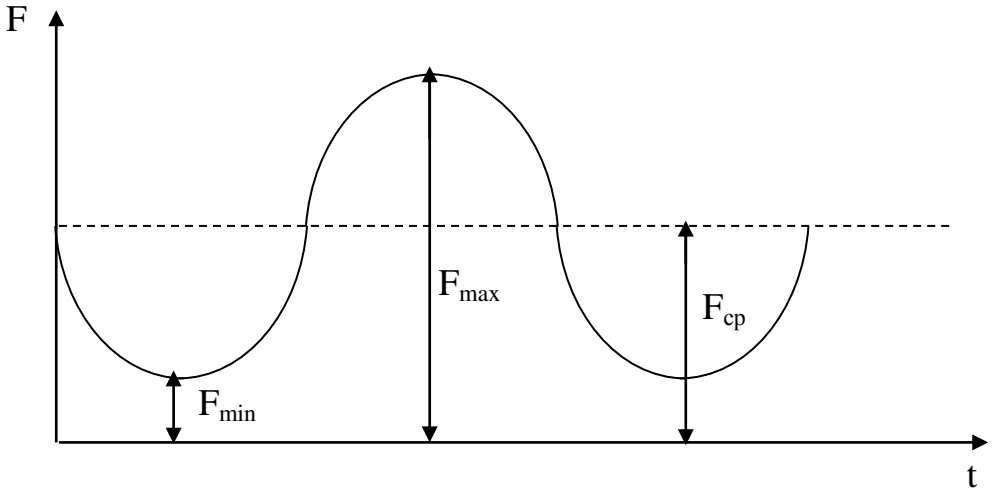


Рисунок 10.4 – Пульсации светового потока

При освещении движущихся или вращающихся предметов пульсирующим световым потоком появляется стробоскопический эффект, связанный с искажением зрительного восприятия. Если освещать таким пульсирующим световым потоком вращающийся предмет, то в том случае, если частота вращения будет совпадать с частотой пульсации светового потока или в целое число раз отличаться, то предмет будет казаться неподвижным. При меньшей частоте зрительно будет казаться, что предмет вращается в обратную сторону по сравнению с действительным направлением вращения.

Такой обман зрения опасен при работе с движущимися предметами. Кроме того, пульсация светового потока вызывает повышенное утомление зрительного аппарата и влияет на эффективность работы. Поэтому необходимо принимать меры к снижению пульсации светового потока. Для этого применяют специальные схемы включения люминесцентных ламп, позволяющих сдвинуть во времени пульсации световых потоков двух или трёх ламп, осве-

щающих одно рабочее место так, чтобы суммарный их поток имел значительно меньшую глубину пульсаций. Это достигается путём равномерного включения в каждую фазу питающей сети люминесцентных ламп. При этом пульсации световых потоков будут взаимно смещены во времени на 1/3 периода.

Выше были подробно описаны особенности работы люминесцентных ламп с электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ЭмПРА). Особенностью этих пускорегулирующих аппаратов является то, что процесс зажигания лампы составляет 1–3 с, они не обеспечивают устойчивую работу люминесцентных ламп при низких температурах, коэффициент пульсации светового потока в зависимости от типа лампы составляет 25–55%; работа с индуктивным балластом сопровождается дополнительным шумом.

Недостатки схемы ЭмПРА вызвали необходимость поиска более оптимального способа подключения. Большую часть перечисленных выше недостатков удаётся устранить при использовании электронного пускорегулирующего аппарата (ЭПРА). В этом случае используется не сетевая частота 50 Гц, а высокие частоты (ВЧ) 20–60 кГц. Блок-схема ЭПРА представлена на рисунке 10.5.

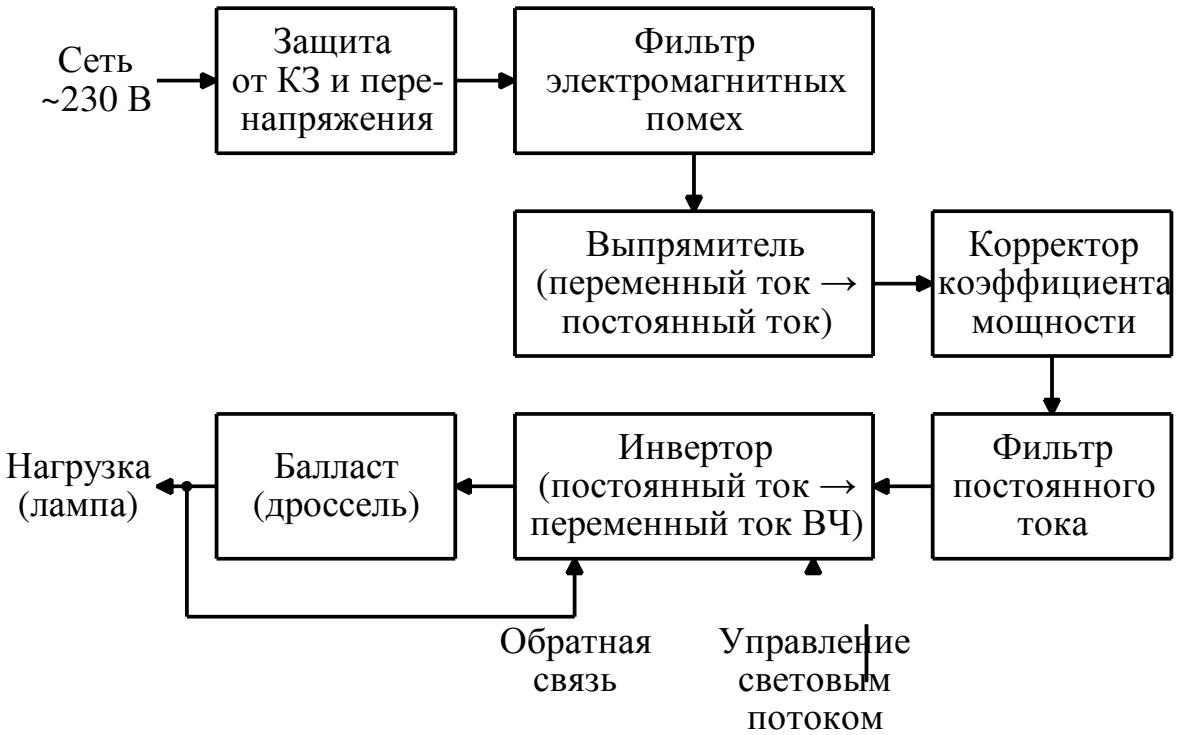


Рисунок 10.5 – Блок-схема ЭПРА

Электронный пускорегулирующий аппарат по сравнению с обычным электромагнитным имеет следующие преимущества:

– увеличение световой отдачи ламп (до 40%);
– отсутствие акустического шума и уменьшение электрических помех;
– снижение энергозатрат до 25%;
– увеличение срока службы ламп до 50%;
– увеличение коэффициента мощности до 0,96;
– значительное повышение комфорта освещения за счет увеличения частоты до десятков кГц.

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. Изучить устройство люминесцентных ламп, используя методические указания, и имеющиеся на рабочем месте разрезы люминесцентных ламп.

2. Собрать схему, представленную на рисунке 10.6. Постепенно увеличивая напряжение на зажимах лампы, определить напряжение зажигания лампы. Изменяя подводимое напряжение через каждые 10 В, произвести замеры напряжения на лампе $U_л$ и тока лампы $I_л$. Результаты замеров занести в таблицу 10.1.

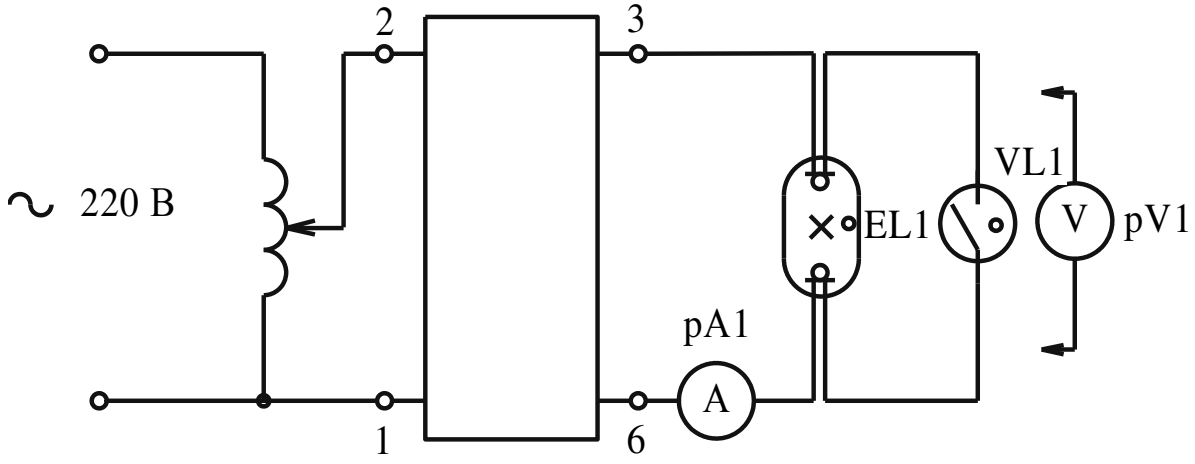


Рисунок 10.6 – Одноламповая схема включения люминесцентной лампы со стартером тлеющего разряда

Таблица 10.1 – Результаты экспериментальных исследований

$U_с$,В							
$U_л$,В							
$I_л$,А							

3. По полученным данным построить зависимости $U_л=f(U_с)$ и $I_л=f(U_с)$.

4. Присоединить выводы двигателя вентилятора к автотрансформатору. Изменяя напряжение, подводимое к электродвигателю от автотрансформатора, определить число оборотов, при которых будет наблюдаться стробоскопический эффект.

5. Оформить отчёт по работе.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Электрическая схема, изображённая на рисунке 10.6.

2. Таблица 10.1 с результатами экспериментальных исследований $U_л=f(U_с)$ и $I_л=f(U_с)$. Графические зависимости $U_л=f(U_с)$ и $I_л=f(U_с)$.

3. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Чем и для каких целей наполнена трубка люминесцентной лампы?
2. С какой целью трубка люминесцентной лампы с внутренней стороны покрывается слоем люминофора?
3. Как устроены электроды люминесцентной лампы?
4. Какую роль играет оксидный слой, нанесенный на электроды?
5. Что такое цветовая температура?
6. Каким образом получают различные цветовые оттенки излучения люминесцентных ламп?
7. От чего зависит срок службы люминесцентных ламп?
8. Почему люминесцентные лампы в отличие от ламп накаливания не могут работать без балластного сопротивления?
9. Поясните назначение элементов схемы включения люминесцентной лампы в сеть с электромагнитным балластом.
10. Как влияют пульсации светового потока на производительность труда?
11. Почему пульсации светового потока приводят к травмам?
12. Что такое коэффициент пульсации?
13. В каком диапазоне находится частота тока, питающего люминесцентную лампу при использовании электронных пускорегулирующих аппаратов?
14. Из каких блоков состоит электронный пускорегулирующий аппарат?
15. В чем заключаются преимущества электронных пускорегулирующих аппаратов?

Лабораторная работа № 11

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПАКТНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ И СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Цель работы: изучение влияния напряжения сети на светотехнические и энергетические характеристики компактных люминесцентных и светодиодных ламп.

Общие сведения

В настоящее время в системах освещения широко используются компактные и светодиодные лампы.

Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) делятся на две группы: с внешним (рисунок 11.1 *а*) и со встроенным электронным ПРА (рисунок 11.1 *б*). Цоколи у ламп первой группы имеют два или четыре внешних штырька. В двухштырьковые цоколи встроены стартеры, и для включения ламп с такими цоколями нужен только дроссель соответствующего типа. С электронными ПРА такие лампы работать не могут, так как встроенные стартеры и помехоподавляющие конденсаторы мешают работе электронных схем. Лампы с четырёхштырьковыми цоколями могут включаться как с обычными дросселями и внешними стартерами, так и с электронными ПРА. Некоторые типы ламп большой мощности могут работать только с электронными ПРА.

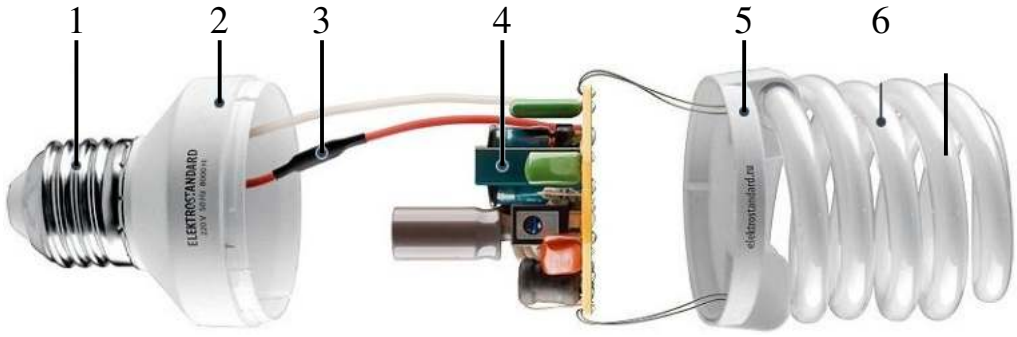


а *б*

Рисунок 11.4 – Компактные люминесцентные лампы с внешним (*а*) и с интегрированным ПРА (*б*)

В России выпускаются КЛЛ мощностью от 5 до 36 Вт с двухштырьковыми цоколями G23 со встроенным стартером или с четырехштырьковыми цоколями 2G7 (мощностью 5, 7, 9 и 11 Вт) или 2G11 (18, 24 и 36 Вт). Производством таких ламп занимаются и ведущие европейские (Osram, Philips), американские (General Electric, Sylvania) и китайские фирмы.

Компактные лампы второй группы со встроенным электронным пускорегулирующим аппаратом выпускаются с традиционными цоколями Е14 и Е27 (рисунок 11.2) и обладают целым рядом преимуществ перед лампами накаливания: их световая отдача примерно в 5 раз выше, срок службы в 8–10 раз больше, лампы просто вкручиваются в стандартные патроны, не мигают при включении. Их большая цена по сравнению с лампами накаливания окупается за 2–3 года при работе ламп около 3-х часов в сутки.



1 – цоколь; 2, 5 – элементы корпуса лампы; 3 – предохранитель;
4 – электронный пускорегулирующий аппарат; 6 – колба лампы
Рисунок 11.5 – Конструкция компактной люминесцентной лампы

Лампы с интегрированным ПРА также классифицируются по мощности и цветности излучения. Как и у ламп первой группы, какого-либо единства в обозначении интегрированных КЛЛ нет – каждая фирма использует свою систему обозначений. По международной системе *ILCOS* все КЛЛ со встроенным пускорегулирующим аппаратом должны называться *FSQ*.

Одним из направлений совершенствования компактных люминесцентных ламп стала разработка индукционных ламп. Индукционные лампы – безэлектродные газоразрядные лампы, в которых первичным источником света служит плазма, возникающая в результате ионизации газа высокочастотным магнитным полем. Электронный ПРА преобразует напряжение сети в высокочастотное, которое питает индуктор 2. Под действием высокочастотного электромагнитного поля в разрядном объеме 1, представляющем собой стеклянную колбу, наполненную инертным газом и ртутью и покрытую изнутри люминофором, возникает разряд.

Различают два типа конструкции индукционных ламп по способу размещения индуктора:

– индукционная лампа с внешним индуктором (рисунок 11.3);
– индукционная лампа со встроенным индуктором.

Отсутствие прямого контакта электродов с газовой плазмой позволяет назвать лампу безэлектродной. Отсутствие металлических электродов внутри баллона с газом значительно увеличивает срок службы и улучшает стабильность параметров.

Достоинства индукционных люминесцентных ламп:

– длительный срок службы, свыше 60 тыс. ч;

– светоотдача более 90 лм/Вт;

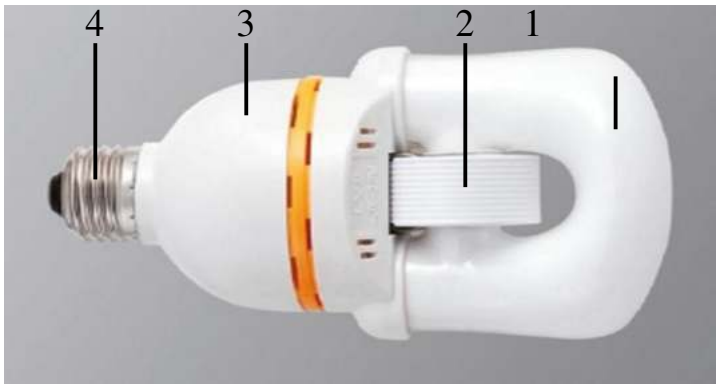
– относительно небольшое снижение светового потока после длительного использования (после 60 тыс. ч уровень светового потока составляет свыше 70% от первоначального);

– мгновенное включение/выключение;

– надежно зажигаются и работают при температурах от –25 до +50 °С;

– неограниченное количество циклов включения/выключения;

– высокий индекс цветопередачи: $Ra > 80$ (комфортное освещение, мягкий и естественный излучаемый свет, что благоприятно сказывается на восприятии оттенков цветов).



1 – газоразрядная трубка, покрытая изнутри люминофором;
2 – магнитное кольцо или стержень из феррита с индукционной катушкой;
3 – корпус лампы с размещенным внутри ЭПРА; 4 – цоколь

Рисунок 11.6 – Индукционная лампа

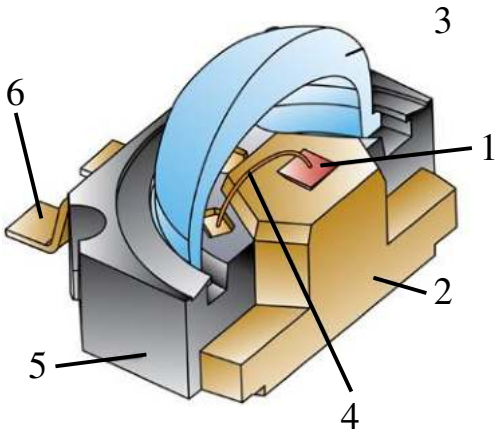
Основы развития светодиодных источников света были заложены в начале 20 века. Факт свечения некоторых полупроводниковых материалов (вернее, границы между проводником и полупроводником) при прохождении электрического тока впервые в 1920 году наблюдал русский инженер О.В. Лосев. Однако это свечение было очень слабым и практического применения долго не находило.

В начале 60-х годов появились первые приборы, использующие этот эффект, индикаторные элементы со слабым красным, а через несколько лет и зелёным свечением. Приборы получили название светодиодов. В качестве полупроводникового материала в них использовались арсениды алюминия, индия и смеси этих веществ. Световая отдача светодиодов в те годы составляла не более 0,1 лм/Вт (в 100 раз ниже, чем у ламп накаливания), срок службы измерялся сотнями часов, и, естественно, они даже не рассматривались как источники света в общепринятом понимании. Положение коренным образом начало меняться в конце 80-х годов благодаря работам Ж.И. Алфёрова и других учёных, когда были созданы принципиально новые полупроводниковые материалы, позволившие сразу на порядки увеличить мощность, световую отдачу и срок службы светодиодов.

Световая отдача современных светодиодов белого свечения находится в диапазоне 120–180 лм/Вт, а срок службы – от 30 до 100 тыс. ч.

Принцип работы светодиодов основан на эффекте инжекционной электролюминесценции. Свечение возникает при рекомбинации электронов и дырок в электронно-дырочном p-n-переходе, который создаётся при соединении двух полупроводников разного типа проводимости. Материал n-типа легируется электронами, p-типа – дырками. При подаче напряжения электроны и дырки начинают перемещаться. В области полупроводника, прилегающей непосредственно к p-n-переходу (контакту), инжектируются избыточные носители тока – электроны или дырки; их рекомбинация сопровождается оптическим излучением.

Типичное устройство светодиода показано на рисунке 11.4.



1 – светоизлучающий кристалл; 2 – теплоотвод; 3 – линза; 4 – проводник; 5 – наружная часть корпуса; 6 – катод

Рисунок 11.4 – Устройство мощного светодиода

Основу светодиодов составляет полупроводниковый кристалл 1, расположенный на проводящей подложке. К кристаллу и подложке подводится электрическое напряжение через проводники 4. Кристалл с подложкой закреплены на теплоотводе 2. От внешних воздействий кристалл защищен корпусом 5 из прозрачной эпоксидной смолы или поликарбоната. Верхняя часть корпуса, как правило, делается в виде купола с определенной кривизной и исполняет роль линзы 3, формирующей световой пучок. Иногда вместо купола делаются «линзы Френеля», то есть наборы кольцевых концентрических микролинз на общем плоском основании. Внутренняя часть корпуса и линза формируют световой поток, излучаемый кристаллом, надлежащим образом, поэтому в светильниках со светодиодами обычно не требуется применение дополнительной оптической системы, как для других источников света.

Для питания светодиодов нужен постоянный ток низкого напряжения, величина которого зависит от цветности излучения: у красных светодиодов это 1,9–2,1 В, у зеленых – 2,5–3,1 В, у синих и белых – 2,9–3,7 В.

Светодиоды белого свечения содержат синий светоизлучающий кристалл с максимальной длиной волны около 450 нм, покрытый слоем желтого люминофора. Различных оттенков белого света добиваются с помощью люминофора. В светодиодных лампах используют в основном светодиоды белого света с коррелированной цветовой температурой 2500–6500 К.

Для использования в целях освещения LED должны быть объединены в светодиодный модуль. Светодиодный модуль (LED module) – устройство, используемое в качестве источника света, состоящее из одного или более светодиодов, установленных на общей плате с полным набором оптических, теплоотводящих компонентов, драйверов, устройств крепления.

Светодиодные модули могут быть независимыми, в том числе со встроенными устройствами управления, и неразъемными, то есть сконструированные как незаменяемая часть светильника. Если светодиодный модуль со встроенным устройством управления имеет цоколь, то его считают лампой. Для питания светодиодных модулей осветительных приборов используют драйверы, которые понижают сетевое напряжение и стабилизируют ток через светодиоды.

Кроме длительного срока службы и высокой, сопоставимой с газоразрядными источниками света, световой отдачей, современные светодиоды имеют и другие достоинства:

– высокую надежность;

– высокую ударную и вибрационную устойчивость (отсутствует стеклянная колба, а поликарбонатное стекло, применяемое в светодиодах, выдерживает значительные ударные нагрузки);

– разнообразие цветов, (светодиоды позволяют получить всевозможные оттенки цвета без специальных фильтров);

– направленность излучения (угол свечения от очень узкого светового пучка в 3° до равномерного свечение в полусфере на 180°);

– регулируемую интенсивность освещения в диапазоне от 0 до100%;

– абсолютную устойчивость к многократным включениям и выключениям;

– климатическую независимость (работают при температуре от –40 до +60 °С);

– мгновенное включение при подаче питающего напряжения и поддержание стабильного светового потока при широком диапазоне температур и любой влажности окружающей среды.

Недостатками светодиодов являются:

– малая единичная мощность, приводящая к необходимости использования большого их количества для создания необходимой освещенности;

– низкое напряжение питания, требующее включения светодиодов только со специальными понижающими трансформаторами и выпрямителями или со светодиодными драйверами;

– довольно высокая цена, особенно белых и синих.

Типовая конструкция светодиодной лампы представлена на рисунке 11.5. В современных светодиодных лампах преимущественно применяются SMD-светодиоды на алюминиевой печатной плате 1. Питание светодиодов осуществляется от электронного светодиодного драйвера 2. Для охлаждения светодиодов используется радиатор 3. Мягкое равномерное свечение лампы создается с помощью рассеивателя 4, который выполнен из матового стекла. Цоколь 6 светодиодной лампы установлен на диэлектрическом основании 5.



1 – алюминиевая печатная плата с SMD-светодиодами; 2 – драйвер;
3 – элементы радиатора; 4 – рассеиватель; 5 – основание цоколя; 6 – цоколь
Рисунок 11.5 – Конструкция светодиодной лампы с цоколем Е27

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями, изучить устройство и принцип действия компактной люминесцентной лампы, пользуясь наглядными пособиями на лабораторном месте.

2. Собрать схему, изображённую на рисунке 11.6.

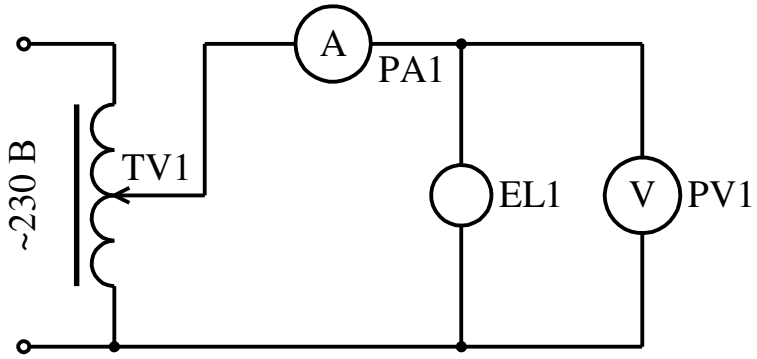


Рисунок 11.6 – Схема электрическая для снятия характеристик компактной люминесцентной и светодиодной ламп

3. Снижая с помощью ЛАТРа напряжение $U_л$, подаваемое на лампу, с 230 В до 170 В, выполнить измерения тока $I_л$, потребляемого лампой, и освещённости Е под светильником на уровне стола. Результаты измерений занести в таблицу 11.1.

Таблица 11.1 – Результаты измерений

$U_Л$, В	230	220	210	200	190	180	170
$I_Л$, А							
Е, лк							

4. По результатам измерений (таблица 11.1) определить потребляемую активную мощность лампы $P_л$, величину светового потока лампы $F_л$, и её световую отдачу η для каждого значения напряжения $U_л$. Для этого необходимо воспользоваться выражениями (11.1)–(11.3).

$$P_л = U_л I_л \cos\varphi_н ; \quad (11.1)$$

$$F_л = F_н \frac{E}{E_н}; \quad (11.2)$$

$$\eta = F_л / P_л , \quad (11.3)$$

где $\cos\varphi_н$ – номинальный коэффициент мощности КЛЛ, о.е.;

$F_н$ – номинальный световой поток лампы, лм;

$E_н$ – освещенность, создаваемая светильником при номинальном напряжении 230 В, лк.

Результаты расчетов занести в таблицу 11.2.

Таблица 11.2 – Результаты расчетов

$U_Л$, В	230	220	210	200	190	180	170
$P_Л$, Вт							
$F_Л$, лм							
η, лм/Вт							

5. По данным таблиц 11.1 и 11.2 построить полученные зависимости $I_л=f(U_c)$, $E=f(U_c)$, $P_л=f(U_c)$, $F_л=f(U_c)$, $\eta=f(U_c)$.

6. Повторить пункты 1–5, исследовать характеристики лампы.

7. Сделать выводы по проделанной работе. В выводах необходимо отразить, каким образом уровень напряжения, подаваемого на лампу, сказывается на величине тока, мощности, световом потоке и световой отдаче лампы.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Электрическая схема, изображённая на рисунке 11.6.
2. Таблицы 11.1 и 11.2.
3. Графические зависимости $I_л=f(U_c)$, $E=f(U_c)$, $P_л=f(U_c)$, $F_л=f(U_c)$, $\eta=f(U_c)$.
4. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. На какие две группы можно разделить все компактные люминесцентные лампы?
2. Опишите устройство и принцип действия компактной люминесцентной лампы.
3. Какими преимуществами обладают компактные люминесцентные лампы с интегрированным аппаратом включения по сравнению с лампами накаливания?
4. Поясните конструкцию и принцип работы индукционной лампы.

5. В чем заключаются преимущества индукционных люминесцентных ламп?

6. На чем основан принцип работы светодиодов?

7. Опишите устройство светодиодов.

8. Перечислите достоинства светодиодов.

9. Назовите недостатки светодиодов.

10. Каких значений достигает световая отдача современных светодиодов?

11. Как изменяются основные характеристики светодиодной лампы при изменении напряжения питания?

Лабораторная работа № 12

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: ознакомление с устройством и принципом работы источников ультрафиолетового излучения, исследование характеристик газоразрядных источников ультрафиолетового излучения.

Общие сведения

Ультрафиолетовое излучение – один из факторов внешней среды, оказывающих большое влияние на жизнедеятельность живых организмов.

Биологическое действие УФ-излучения на организм сельскохозяйственных животных проявляется через фотохимические реакции в кожных покровах, слизистых оболочках и органах зрения, а также через воздействие озона, окислов азота и аэроионов, возникающих при УФ-облучении.

Ультрафиолетовое излучение в зависимости от длин волн по-разному воздействует на биологические объекты, вследствие чего подразделяется на три подобласти. Излучение в диапазоне от 380 до 315 нм, называемое длинноволновым УФ-излучением (область А), обладает сравнительно небольшой биологической активностью. Оно вызывает пигментацию кожи и оказывает определенное положительное влияние на организм животных и птицы.

Средневолновое УФ-излучение области В лежит в диапазоне от 315 до 280 нм. Излучение области УФ-В вызывает покраснение облученных участков кожи (эритему), обладает антирахитным действием, то есть способствует превращению провитамина D в витамин D, способствующий усвояемости кормов, накоплению достаточного количества кальция в организме, а следовательно, лучшей сохранности молодняка.

Коротковолновое УФ-излучение области С имеет длину волны 280–200 нм. Это излучение используется как фактор бактерицидного воздействия на вредные микроорганизмы. УФ-излучение с длиной волны менее 280 нм, имеющее большую энергию квантов, воздействуя на бактерии, приводит к коагуляции содержащихся в них белковых веществ и гибели бактерий. Наибольшей бактерицидной эффективностью обладает излучение с длиной волны 265 нм.

К искусственным источникам ультрафиолетового излучения относятся газоразрядные лампы низкого давления типа ЛЭ, ЛЭР, ЛЭО, ДБ, ДБМ, ДБК, ДРБ, ЛУФТ, ЛУФЧ, высокого давления ДРТ, ДРВЭД, ксеноновые лампы, эксилампы, ультрафиолетовые светодиоды.

Для получения излучения в области УФ-А и УФ-В используются люминесцентные эритемные лампы типа ЛЭ и её модификации. Внешне они ничем не отличаются от люминесцентных осветительных ламп такой же мощности. Они имеют форму трубки, которая изготавливается из увиолевого стекла, имеющего высокий коэффициент пропускания для излучений с дли-

нами волн диапазона 280–380 нм, внутренняя поверхность трубки покрывается слоем люминофора. Излучение УФ-С в спектре эритемных ламп практически отсутствует, на излучение УФ-В приходится 37%, на излучение УФ-А – 33%, а на долю видимого излучения – 30% энергии излучения ламп. Спектр излучения лампы ЛЭ представлен на рисунке 12.1.

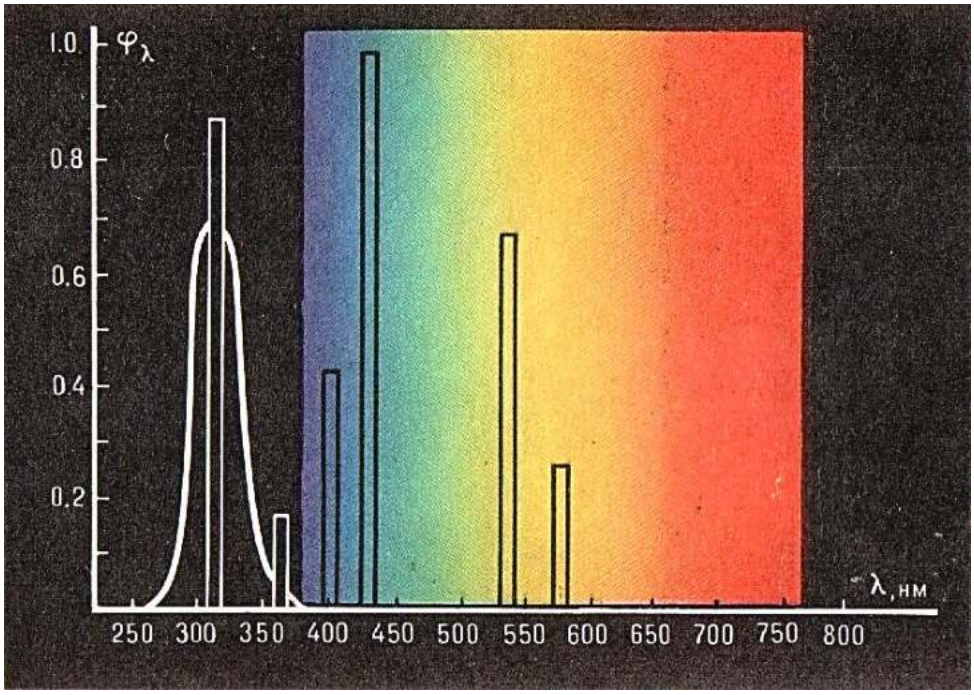


Рисунок 12.1 – Спектральная плотность излучения лампы ЛЭ

Эритемные лампы типа ЛЭР (рефлекторные) предназначены для использования в помещениях с повышенной пыльностью и под слоем люминофора имеют отражающий слой. Этот слой направляет поток излучения в сторону продольного выходного окна, составляющего треть поверхности лампы.

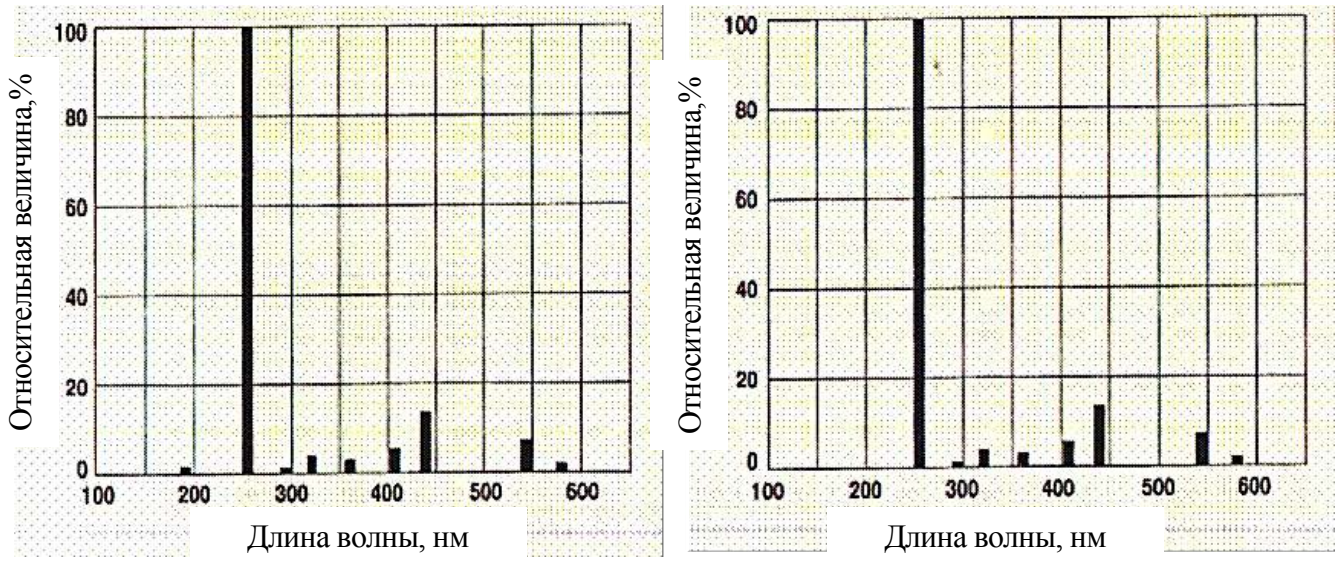
Влияние отклонения напряжения, влияние окружающей среды на основные характеристики этих ламп аналогично влиянию этих параметров на работу люминесцентных ламп, работающих в видимом диапазоне оптического излучения.

Бактерицидные лампы ДБ отличаются от люминесцентных осветительных ламп такой же мощности отсутствием люминофора и свойствами специального увиолевого стекла колбы. Спектр излучения ламп ДБ – линейчатый, причём до 80% потока излучения приходится на излучение с длиной волны 254 нм.

Дальнейшее совершенствование источников ультрафиолетового излучения низкого давления идет по пути увеличения прозрачности трубки лампы. На рисунке 12.2 представлены спектральные характеристики ламп ДБК и ДБМ.

Эти лампы при одной и той же мощности имеют более чем в 1,5 раза больший бактерицидный поток, чем лампы ДБ. Это обстоятельство позволяет создавать бактерицидные облучатели с лучшими технико-экономическими показателями.

Если в спектре излучения источника присутствует спектральная линия с длиной волны 185 нм, то в результате ее взаимодействия с молекулами кислорода воздуха образуется озон. Поэтому использование этих ламп требует контроля содержания озона в воздушной среде. У безозонных ламп за счет изготовления колбы из специального материала (кварцевое стекло с покрытием) исключается выход излучения с длиной волны 185 нм.



а *б*

Рисунок 12.2 – Спектральная плотность излучения лампы ДБК (*а*) и ДБМ (*б*)

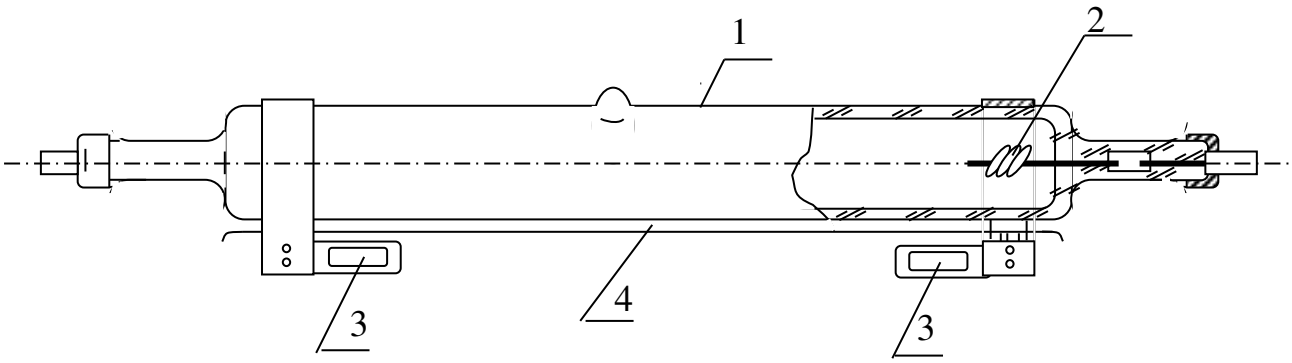
Для УФ-области А создана и выпускается большая группа ламп типа ЛУФТ, ЛУФЧ мощностью от 4 до 80 Вт. Конструкция ламп базируется на стандартных полуфабрикатах, используемых в конструкциях обычных типов ламп. Максимум плотности излучения этих ламп приходится на диапазон 350–400 нм.

К источникам ультрафиолетового излучения высокого давления, используемым в сельском хозяйстве, относятся лампы ДРТ, ДРВЭД.

Колба лампы ДРТ 1 выполнена из тугоплавкого кварцевого стекла, обладающего высоким коэффициентом пропускания ультрафиолетового излучения. По концам в колбу вварены вольфрамовые активированные самокалящиеся электроды 2. Полость колбы заполняется аргоном и дозированным количеством ртути. Для крепления к арматуре служат металлические держатели 3, между которыми расположена лента из медной фольги 4, предназначенная для облегчения зажигания разряда (рисунок 12.3).

Лампа ДРТ генерирует мощный поток УФ-излучения в диапазоне длин волн от 240 нм до границы видимого излучения (рисунок 12.4).

В связи с широким диапазоном ультрафиолетового излучения, создаваемого лампами ДРТ, эти лампы являются многоцелевыми источниками оптического излучения, поэтому в условиях сельскохозяйственного производства используются в облучательных установках для восполнения УФ-недостаточности у животных и птицы, для обеззараживания различных сред и в установках предпосевной обработки семенного материала.



1 – колба лампы; 2 – самокалящиеся электроды;
3 – металлические держатели; 4 – лента из медной фольги
Рисунок 12.3 – Конструкция лампы ДРТ

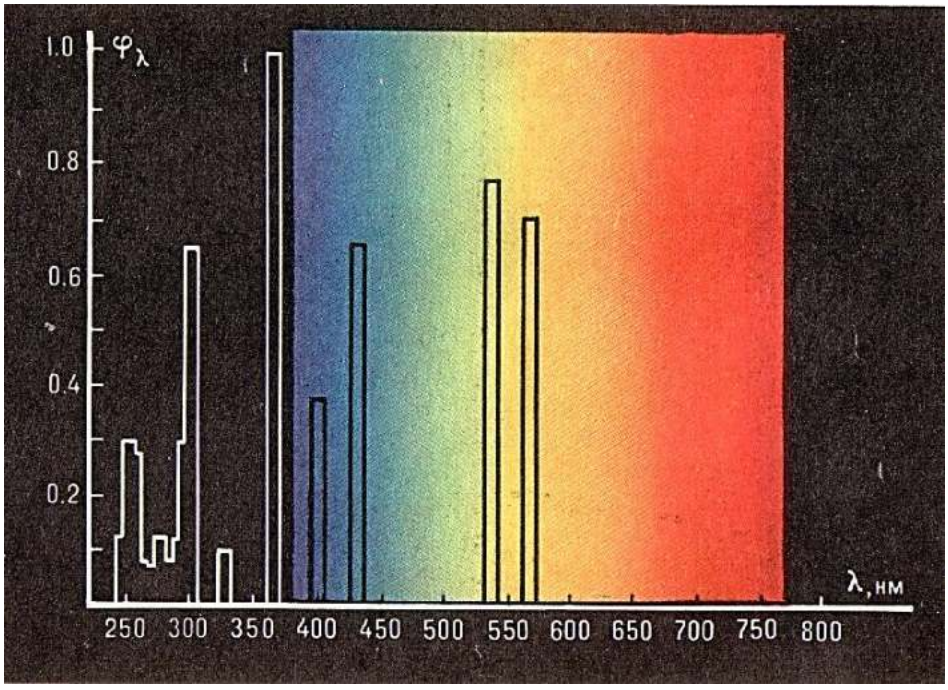


Рисунок 12.4 – Спектральная плотность излучения лампы

Эти лампы имеют при небольших габаритах большую единичную мощность, но обладают низкой бактерицидной отдачей и малым сроком службы, а необходимый режим горения наступает через 5–10 минут после их зажигания.

В качестве источников ультрафиолетового излучения могут быть использованы светодиоды. К настоящему времени созданы различные типы диодов, излучающих в диапазоне от 200 до 400 нм. При этом работы по созданию диодов ближнего УФ-диапазона (380–400 нм) на основе InGaN оказались весьма успешны, уже сейчас они могут считаться основными источниками для применения в этой спектральной области. Создать эффективный светодиод для коротковолновой области оказалось значительно сложнее. В итоге КПД типичного УФ-светодиода бактерицидного диапазона составляет 1%, достигая у лучших образцов 2%. При этом мощность излучения лучших образцов, работающих в области УФ-С, составляет 50 мВт.

Таким образом, большой ресурс (~10000–30000 часов) и неплохие спектральные характеристики УФ-светодиодов нивелируются низким КПД, небольшой удельной излучаемой мощностью и высокой стоимостью. И хотя УФ-светодиоды не первый год привлекают внимание как возможная альтернатива ртутным лампам для обеззараживания воды и применения в пищевой промышленности, с технической точки зрения они смогут стать полноценной заменой ртутных ламп низкого давления лишь после повышения эффективности до 25–40%. Также необходимо снижение стоимости УФ-светодиодов как минимум на порядок для полноценной замены ртутных источников по технико-экономическим показателям.

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. Пользуясь рекомендуемой литературой, изучить устройство ЛЭ, ЛЭР, ЛЭО, ДБ, ДБМ, ДБК, ДРБ, ЛУФТ, ЛУФЧ, высокого давления ДРТ, ДРВЭД. Заполнить таблицу 12.1.

Таблица 12.1 – Основные характеристики газоразрядных источников ультрафиолетового излучения

Параметры	Тип источника излучения		
	ЛЭ-30	ДБ-30	ДРТ-400
Номинальная мощность, Вт			
Номинальное напряжение, В			
Срок службы, ч			
Срок службы, ч			
Световой поток, лм			
Эритемный поток, эр			
Бактерицидный поток, б			
Область излучения, нм			
Область применения			

2. Собрать схему, представленную на рисунке 12.5. Изменяя подводимое напряжение через каждые 10 В, произвести замеры напряжения на лампе $U_л$ и тока лампы $I_л$. Результаты замеров занести в таблицу 12.2.

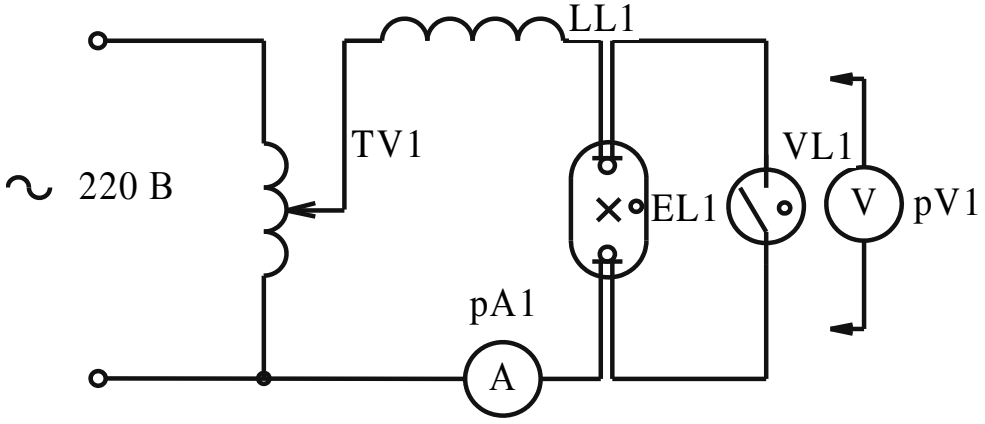


Рисунок 12.5 – Схема электрическая принципиальная для снятия характеристик ламп ЛЭ-30 и ДБ-30

Таблица 12.2 – Результаты экспериментальных исследований

$U_с$, В							
$U_л$, В							
$I_л$, А							

3. По полученным данным построить зависимости $U_л=f(U_с)$ и $I_л=f(U_с)$.

4. Собрать схему, представленную на рисунке 12.6, для исследования лампы ДРТ в процессе розжига. Подать питание на схему и засечь время. Зафиксировать показания амперметра и вольтметра в момент зажигания лампы и через каждые 30 секунд до тех пор пока разряд не стабилизируется. Полученные значения занести в таблицу 12.3.

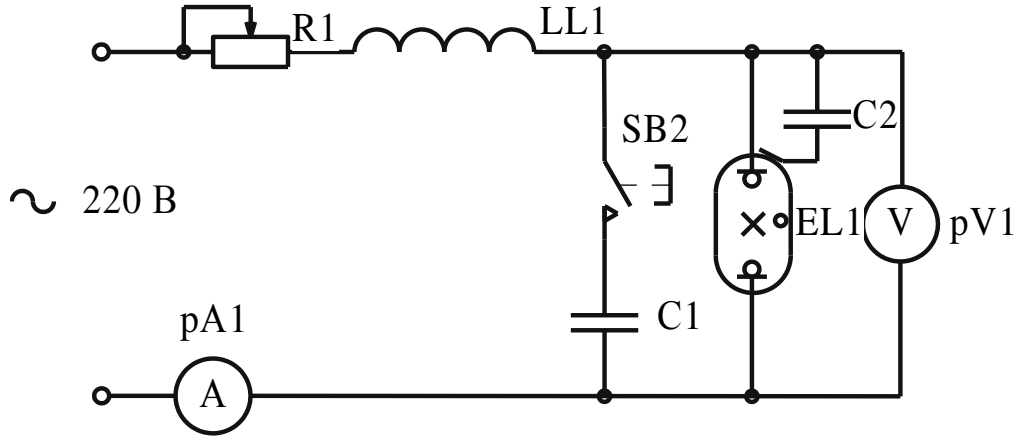


Рисунок 12.6 – Схема электрическая принципиальная для исследования параметров лампы ДРТ в процессе розжига

Таблица 12.3 – Результаты исследования параметров лампы ДРТ в процессе розжига

t, с	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$U_л$, В													
$I_л$, А													

5. По полученным данным построить зависимости $U_л=f(t)$ и $I_л=f(t)$.

6. Оформить отчёт по работе.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Электрические схемы, изображённые на рисунках 12.5 и 12.6.

2. Таблица 12.1 с информацией об основных характеристиках газоразрядных источников УФ-излучения.

3. Таблица 12.2 с результатами экспериментальных исследований $U_л=f(U_с)$ и $I_л=f(U_с)$. Графические зависимости $U_л=f(U_с)$ и $I_л=f(U_с)$.

4. Таблица 12.3 с результатами экспериментальных исследований $U_л=f(t)$ и $I_л=f(t)$. Графические зависимости $U_л=f(t)$ и $I_л=f(t)$.

5. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. На какие области делится УФ-излучение?
2. Назвать диапазон длин волн и пояснить, в чем проявляется действие каждой подобласти на биологические объекты.
3. Устройство, конструкция и принцип действия ламп ЛЭ, ЛЭР.
4. Устройство, конструкция и принцип действия ламп ДБ.
5. Каков спектр излучения ламп ЛЭ?
6. Каков спектр излучения ламп ДБ?
7. Поясните конструкцию лампы ДРТ.
8. Каков спектр излучения ламп ДРТ?
9. Назовите недостатки ламп ДРТ.
10. За какое время стабилизируется разряд ламп ДРТ?
11. Почему светодиоды, работающие в бактерицидном диапазоне, пока не получили практического применения?

Лабораторная работа № 13

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК «СВЕТЛЫХ» ИСТОЧНИКОВ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: ознакомление с устройством и принципом работы источников инфракрасного излучения, исследование характеристик «светлых» источников инфракрасного излучения.

Общие сведения

Область спектра электромагнитных излучений с длинами волн от 780 нм до 1 мм относится к области инфракрасного излучения. Источники инфракрасного излучения по спектральному составу делятся на «светлые» и «темные».

«Светлые» источники испускают частично видимое излучение и значительную долю коротковолнового и средневолнового излучения. «Светлые» источники конструкцией и принципом действия практически не отличаются от ламп накаливания. Основными элементами конструкции этих ламп является колба специального профиля, соединённая с цоколем цоколевочной мастикой. В колбе располагается стеклянная ножка, в верхнюю часть которой впаиваются молибденовые крючки, на которых в свою очередь крепится нить накала. Внутренняя поверхность колбы играет роль отражателя. В отличие от осветительных ламп тело накала ИК-ламп рассчитано на меньшую температуру (Т=2270–2770 К) для увеличения доли ИК-излучения в полном потоке ламп и сокращения доли видимого излучения. Максимум спектральной плотности излучения смещён в длинноволновую часть спектра и приходится на излучение с длиной волны 1000–1400 нм (рисунок 13.1). Такие лампы преобразуют в ИК-излучение до 70% потребляемой мощности. Промышленность выпускает инфракрасные зеркальные лампы ИКЗК 220-250, ИКЗС 220-250-1, ИКЗ 220-500-1.

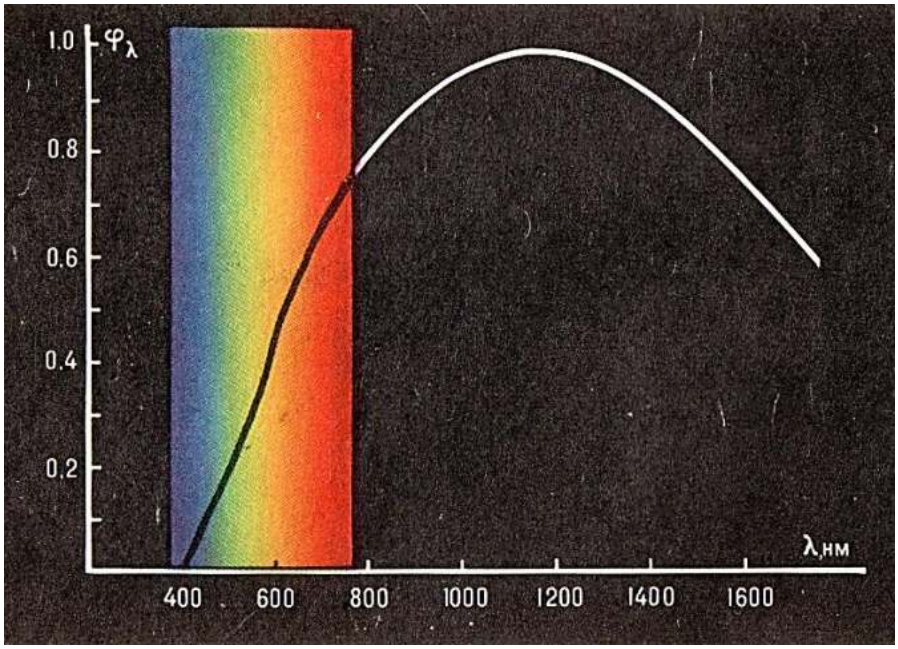


Рисунок 13.1 – Спектральная плотность излучения инфракрасной лампы ИКЗК 220-250

К «светлым» источникам относятся также трубчатые излучатели. Их колба выполняется в форме цилиндра, и тело накала располагается вдоль оси трубки. Частный случай таких излучателей – кварцевые галогенные лампы. За счёт введения дозированного количества йода достигается ряд положительных эффектов: высокая удельная плотность излучения; стабильность потока излучения (в течение срока службы значение потока излучения в конце срока службы составляет 98% начального). Промышленностью выпускаются кварцевые галогенные лампы КГ220-1000-1, КИ 220-1000. Срок службы галогенных ламп составляет от 2000 до 5000 ч.

«Темные» источники ИК-излучения представляют собой тонкостенную металлическую трубку, внутри которой находится нихромовая спираль. Свободное пространство между трубкой и спиралью заполняется изоляционной массой окисью алюминия или периклазом (кристаллическая окись магния), которые хорошо проводят теплоту. Торцы трубки заливаются влагонепроницаемым нагревостойким лаком. В зависимости от размеров и сечения нагревательной спирали можно регулировать температуру наружной поверхности трубки (673–1023 К). Спектр излучения «темных» источников находится в диапазоне длин волн 1400–10000 нм и имеет слабовыраженный максимум в диапазоне 3500–4000 нм (рисунок 13.2).

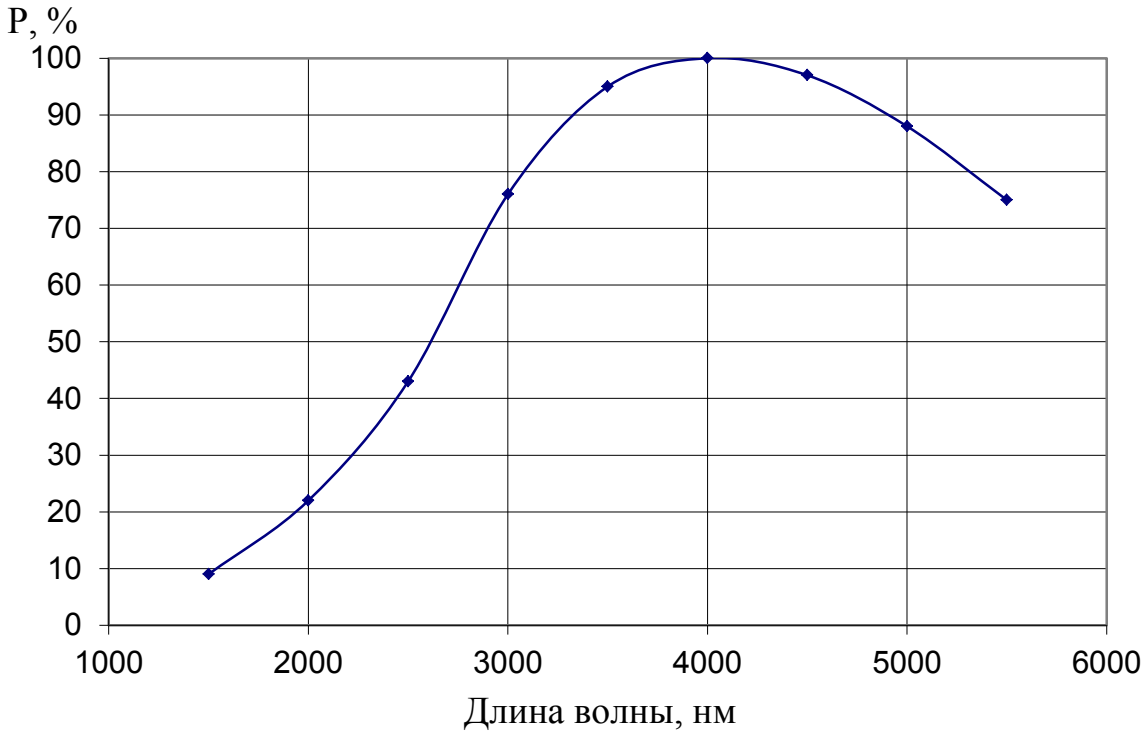


Рисунок 13.2 – Спектральная характеристика ТЭНа

Для целей ИК-обогрева промышленностью выпускаются ТЭНы с единичной мощностью 400–800 Вт на напряжение 220 В.

Инфракрасное излучение, так же, как и ультрафиолетовое, делится на три области: ИК-А с длиной волны 780–1400 нм; ИК-В с длиной волны 1400–3000 нм и ИК-С с длиной волны 3000–10^6нм. Но независимо от спектрального диапазона все области инфракрасного излучения оказывают тепловое воздействие. В сельскохозяйственном производстве источники ИК-излучения

используются для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур, сушки сельскохозяйственных продуктов, но чаще всего в качестве средств локального обогрева с целью создания необходимого температурного режима в зоне обитания животных. В отличие от других средств обогрева, инфракрасное излучение не только предохраняет животное от переохлаждения, но и вызывает усиление биологических процессов в организме, способствует повышению защитных сил организма. Под влиянием инфракрасного излучения в организме происходит активизация кроветворных органов и наблюдается увеличение в крови числа эритроцитов, содержания гемоглобина, повышается уровень иммунобиологической активности организма. Поток ИК-излучения, достигая тела животного, частично отражается, но остальная его часть поглощается кожей и подкожной тканью, создавая тепловой эффект.

Различие между областями ИК-излучения заключается в глубине проникновения излучения и доле поглощённой и отражённой составляющих. Так, например, глубина проникновения излучения в области ИК-С в кожу и подкожные ткани животного достигает 25 мм, 34% излучения отражается. Излучение области ИК-С практически полностью поглощается (отражается всего 6% потока излучения, упавшего на поверхность кожи), но глубина проникновения не превышает 0,5 мм.

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. Изучить устройство и принцип действия источников ИК-излучения.

2. Собрать схему, изображённую рисунке 13.3, для исследования характеристик «светлых» источников ИК-излучения.

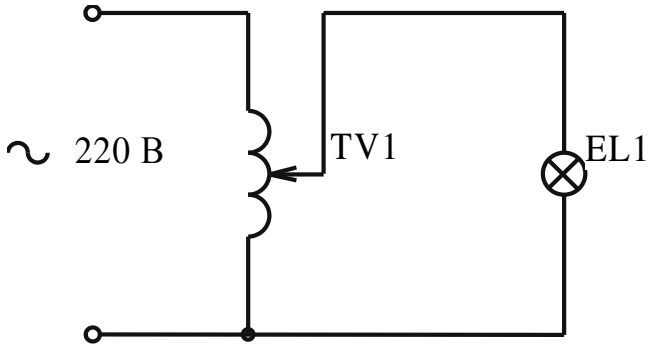


Рисунок 13.3 – Схема для исследования «светлых» источников инфракрасного излучения

3. Изменяя автотрансформатором напряжение от 60 В до 250 В, снять зависимость освещённости от напряжения сети $E=f(U_c)$. Измерения освещённости следует выполнить непосредственно под источником. Результаты измерений занести в таблицу 13.1.

По полученным данным произвести пересчёт показаний люксметра в инфракрасную облучённость, Вт/м^2, по соотношению

$$\Phi = \frac{E}{683K}, \qquad (13.1)$$

где $E_{ик}$ – инфракрасная облучённость, Вт/м^2;

E – освещённость, лк;

683 – коэффициент перевода светотехнических величин в энергетические;

K – коэффициент, K=2,5–2,6.

Результаты расчётов также занести в таблицу 13.1.

Таблица 13.1 – Результаты исследования «светлых» источников ИК-излучения

U, В	60	80	100	120	140	160	180	200	220
E, лк									
$E_{ИК}$, Вт/м^2									

4. По полученным данным построить зависимости $E_{ИК}$=f(U).

5. Для получения зависимости ИК-облучённости поверхности от расстояния от оси излучателя произвести измерения освещённости в точках, расположенных на расстоянии 0; 5; 10; 15 и 20 см от оси излучателя. Результаты измерений занести в таблицу 13.2.

Таблица 13.2 – Зависимость ИК-облучённости поверхности, отстоящей на расстоянии 1 м от облучателя, от расстояния от оси излучателя

Расстояние от оси симметрии излучателя, см	0	5	10	15	20
Освещённость, лк					
Облучённость, Вт/м^2					

6. По данным таблицы 13.2 построить зависимость $E_{ИК}$=f(l).

7. Оформить отчёт по работе.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Электрическая схема, изображённая на рисунке 13.3.

2. Таблицы 13.1 и 13.2 с результатами экспериментальных исследований и расчётов.

3. Графические зависимости $E_{ИК}$=f(U), $E_{ИК}$=f(l).

4. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. На какие области делится инфракрасное излучение? Назовите диапазоны длин волн для каждой области.

2. В чем проявляется действие инфракрасного излучения на биологические объекты?

3. Перечислите источники, относящиеся к «светлым» источникам инфракрасного излучения.

4. Перечислите основные элементы конструкции «светлых» источников.

5. На какой диапазон длин волн приходится максимум плотности излучения «светлых» источников?

6. Какие положительные эффекты достигаются за счёт введения дозированного количества йода внутрь трубчатых излучателей?

7. Перечислите основные элементы конструкции «темных» источников.

8. На какой диапазон длин волн приходится спектр излучения «темных» источников?

9. Назовите области применения источников инфракрасного излучения.

Лабораторная работа № 14

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СТ-300

Цель работы: изучение устройства, принципа действия и экспериментальное определение характеристик сварочного трансформатора СТ-300.

Общие сведения

Электрическая дуга – это устойчивый самостоятельный разряд в газах или парах металлов, характеризующийся высокой плотностью тока и высокой плотностью тепловой энергии, передаваемой нагреваемому телу потоком ускоренных в электрическом поле заряженных частиц.

Прохождение электрического тока в ионизированных газах не сопровождается электролизом, поэтому для дугового нагрева используется и переменный, и постоянный ток.

Температура электрической дуги находится в диапазоне 5000–12000 ^{0}C. Возбуждение дуги происходит при первоначальном касании электрода и детали. В этот момент происходит короткое замыкание источника сварочного тока, и в этом месте происходит выделение большого количества тепловой энергии, которое приводит к расплавлению металла в месте контакта. В начальный момент времени напряжение источника падает почти до нуля (см. рисунок 14.1) и ток резко увеличивается до $I_{пик}$, а затем уменьшается до установившегося значения тока короткого замыкания $I_к$ (период $\tau_к$).

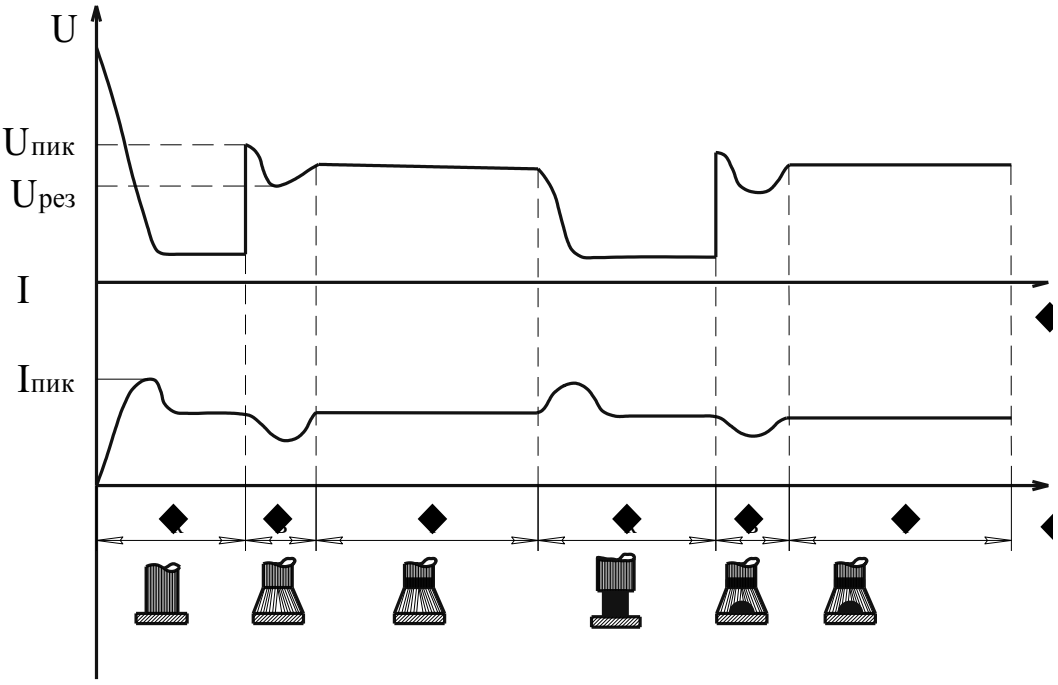


Рисунок 14.1 – Диаграммы напряжений и тока сварочной дуги на постоянном токе

При отводе электрода расплавленный мостик металла в месте касания резко уменьшает свое сечение и под действием большой силы тока испаряет-

ся. Происходит термическая ионизация паров металла и газа. При этом значительно увеличивается сопротивление электрической цепи, в сварочном генераторе появляется ЭДС самоиндукции, увеличивающая напряжение до значения $U_{пик}$. Затем напряжение падает до значения $U_{рез}$ и потом возрастает до рабочей величины $U_д$. Эти явления происходят за время от начала отрыва электрода до возникновения дуги $\tau_в$.

В течение времени τ_2 дуга горит устойчиво. В этот период образуется капля расплавленного металла, которая, увеличиваясь до определенных размеров, переходит с электрода на деталь, и происходит короткое замыкание дугового промежутка. После отрыва капли дуга вновь зажигается и повторяется уже рассмотренный цикл.

В одну секунду от электрода отрывается до 20–70 капель, поэтому описанные явления происходят в очень короткие промежутки времени. Особое значение имеет быстрое восстановление напряжения после отрыва капли.

Дуга может возникнуть вновь лишь при напряжении не менее 25 В. Время восстановления напряжения после короткого замыкания до величины 25 В не должно превышать 0,05 с.

Устойчивость горения дуги поддерживается благодаря ионизации соударением, фотоионизации, термоэлектронной эмиссии. Основную роль играет ионизация соударением.

Сущность ионизации соударением заключается в следующем. Электроны покидают катод вследствие разогрева падающих на него положительных ионов, инфракрасного излучения дуги и воздействия электрического поля. Ускоряясь в электрическом поле, они приобретают запас кинетической энергии и при соударении с нейтральными молекулами газа или паров металла ионизируют их. При соударении разнородных по знаку ионов происходит их рекомбинация с образованием нейтральных атомов и молекул и выделением затраченной на их ионизацию энергии в виде электромагнитных излучений.

Электрическая дуга может быть классифицирована по ряду признаков:

по роду среды, в которой происходит дуговой разряд:

– открытая дуга, горящая в воздухе;
– закрытая дуга, горящая под флюсом;
– дуга, горящая в среде защитных газов;

по роду тока:

– дуга постоянного тока;
– дуга переменного тока.

Наиболее распространёнными источниками переменного сварочного тока являются сварочные трансформаторы.

Для электрической дуговой сварки применяются трансформаторы со вторичным напряжением, обеспечивающим надёжное зажигание и устойчивое горение дуги. Для ручной сварки используются трансформаторы с напряжением при холостом ходе 60–75 В и при номинальной нагрузке 30 В.

Напряжение холостого хода не должно превышать 80 В. Повышение напряжения холостой работы трансформатора нежелательно, так как увеличивается опасность поражения током сварщика.

Также должны выполняться следующие требования.

1. Напряжение источника тока должно быть не меньше напряжения зажигания дуги $U_д$. При сварке постоянным током металлическим электродом напряжение зажигания дуги составляет 30–35 В, для угольного электрода это напряжение повышается до 45–55 В. При сварке переменным током напряжение зажигания составляет 50–60 В.

2. Ток короткого замыкания в сварочной цепи должен незначительно превышать величину рабочего сварочного тока: $I_{раб}<I_к<2\ I_{раб}$. При большей кратности тока короткого замыкания источник сварочного тока получает чрезмерную перегрузку, а режим сварки расстраивается вследствие перегрева расплавленного металла. При величине тока короткого замыкания, меньшей рабочего тока, условия сварки ухудшаются, так как в моменты коротких замыканий вследствие уменьшения тока и сопротивления места короткого замыкания происходит охлаждение свариваемого участка. Практически кратность тока короткого замыкания бывает в пределах 1,2–1,4.

3. Источник тока должен позволять регулировать силу тока сварочной дуги. В зависимости от толщины свариваемых деталей требуется различная тепловая мощность сварочной дуги, а следовательно, и различная величина сварочного тока. В связи с этим источник сварочного тока должен давать серию характеристик, тогда в зависимости от величины требуемого сварочного тока можно работать на той или иной характеристике источника тока и получать необходимую длину дуги.

4. Источник сварочного тока должен обладать достаточной крутизной внешней характеристики для обеспечения устойчивого горения дуги. Это требование выдвигается условием устойчивости горения дуги при наличии неизбежных колебаний тока и напряжения дуги.

5. Для непрерывного горения дуги переменного тока в сварочной цепи должна быть индуктивность, обеспечивающая угол сдвига фаз, при котором $\cos\varphi=0{,}35–0{,}45$.

Для регулирования сварочного тока может быть использован один из следующих способов:

- введение резистивной или индуктивной нагрузки во вторичную обмотку сварочного аппарата;
- изменение количества витков первичной и вторичной обмоток;
- изменение магнитного потока аппарата для сварки;
- использование полупроводниковых приборов.

Ступенчатое регулирование может быть обеспечено, например, за счёт переключения числа витков первичной и вторичной обмоток. Характеристики для этого способа регулирования изображены на рисунке 14.2.

При этом методе регулировка характеристик дуги осуществляется благодаря изменению коэффициента трансформации. Дополнительные отводы от вторичной обмотки позволяют изменить коэффициент трансформации.

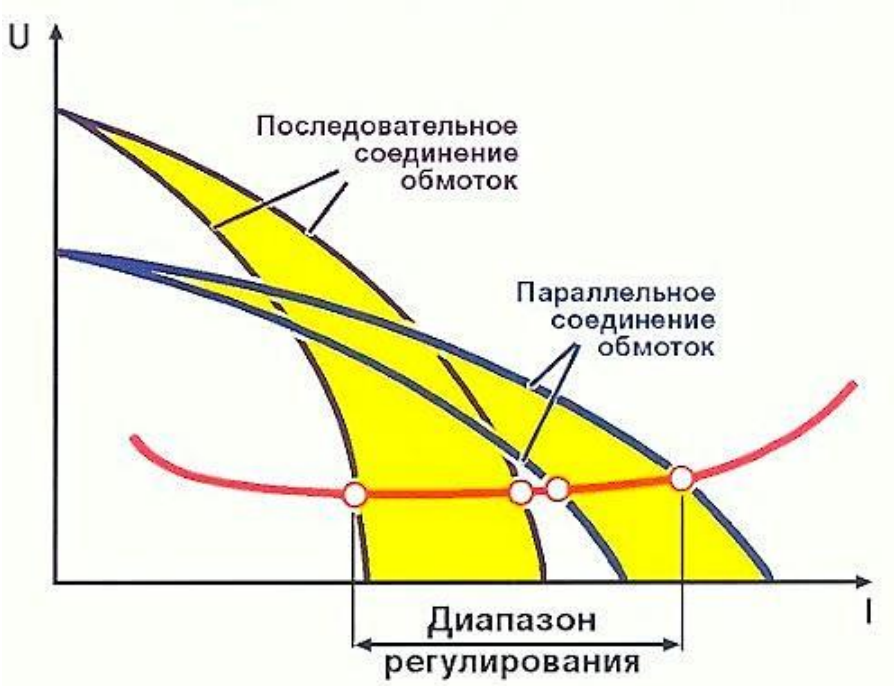


Рисунок 14.2 – Характеристики при ступенчатом регулировании сварочного тока за счет переключения числа витков первичной и вторичной обмоток

Для плавного регулирования изменяется магнитный поток аппарата за счет регулирования размеров зазора в катушке дросселя или изменения расстояния между обмотками трансформатора (рисунок 14.3).

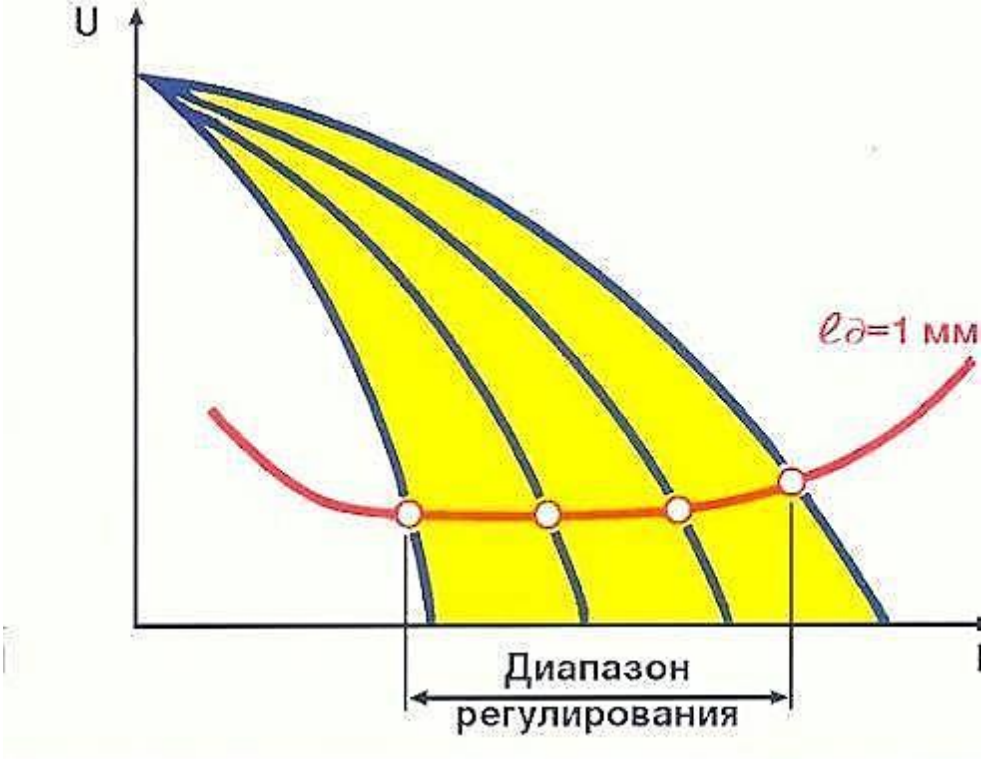
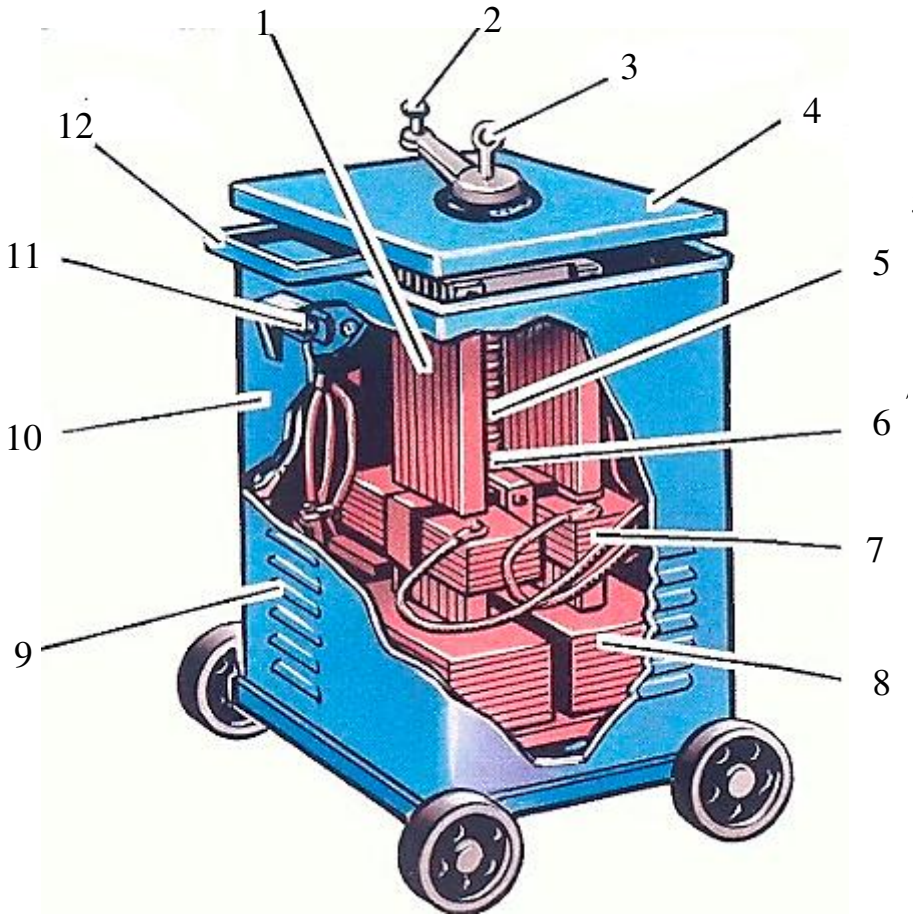


Рисунок 14.3 – Характеристики при плавном регулировании сварочного тока за счет изменения в катушке дросселя или между обмотками

Сварочный трансформатор, в конструкции которого реализован данный способ регулирования, изображён на рисунке 14.4.



1 – магнитопровод; 2 – рукоятка; 3 – рым-болт; 4 – крышка корпуса; 5 – вертикальный винт с ленточной резьбой; 6 – ходовая гайка винта; 7 – вторичная обмотка трансформатора; 8 – первичная обмотка трансформатора; 9 – жалюзи охлаждения; 10 – корпус; 11 – зажим для присоединения проводов сварочной цепи; 12 – ручка

Рисунок 14.4 – Сварочный трансформатор

Регулирование сварочного тока происходит следующим образом. При нагрузке трансформатора вокруг его первичной 1 и сварочной 2 обмоток (рисунок 14.5) создаются магнитные потоки, которые, складываясь, создают основной магнитный поток Ф трансформатора. Не все магнитные силовые линии замыкаются по железному сердечнику и пронизывают обе обмотки. Часть из них ответвляется и замыкается через воздух. Эти магнитные потоки $\Phi_{\delta 1}$ и $\Phi_{\delta 2}$, пронизывающие только какую-либо одну обмотку и не связанные с общим магнитным потоком, называются потоками рассеивания. Потоки рассеивания индуктируют в соответствующих обмотках ЭДС, самоиндукции, которые направлены против основной ЭДС, и противодействуют прохождению токов I_1 и I_2, создающих магнитные потоки $\Phi_{\delta 1}$ и $\Phi_{\delta 2}$, т.е. они создают индуктивные сопротивления обмоток. На этих сопротивлениях падает часть напряжения. С увеличением тока увеличиваются потоки $\Phi_{\delta 1}$ и $\Phi_{\delta 2}$ и, следова-

тельно, ЭДС самоиндукции. Поэтому с увеличением тока будет увеличиваться падение напряжения. Для обеспечения крутопадающей внешней характеристики трансформатора СТ-300 необходимо увеличить индуктивные сопротивления его обмоток 1 и 2, т.е. увеличить потоки рассеивания $\Phi_{\delta 1}$ и $\Phi_{\delta 2}$, передвигая обмотку 2 относительно обмотки 1. Для этой цели первичную 1 и вторичную 2 обмотки помещают на одном стержне (обмотки 1 и 2 распределены по стержням трансформатора), но с некоторым расстоянием между ними.

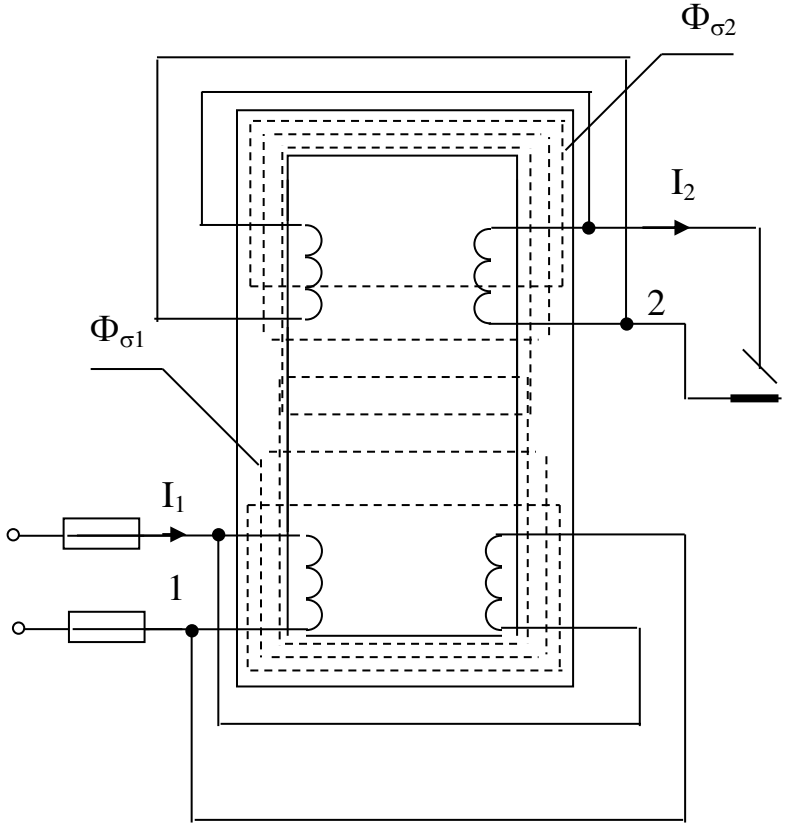


Рисунок 14.5 – Схема распределения токов и магнитных потоков в трансформаторе

Регулирование величины сварочного тока достигается изменением расстояния между обмотками 1 и 2 поворотом рукоятки винта. С увеличением расстояния, между обмотками 1 и 2 большее число магнитных силовых линий замыкается только вокруг вторичной обмотки 2, не охватывая обмотки 1, что приводит к увеличению потока рассеивания $\Phi_{\delta 2}$ и увеличению индуктивного сопротивления обмотки 2, следовательно, уменьшению сварочного тока. С уменьшением расстояния между обмотками сварочный ток увеличивается.

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия сварочного трансформатора. Записать паспортные данные трансформатора (таблица 14.1).

2. Собрать схему, представленную на рисунке 14.6.

Таблица 14.1 – Паспортные данные трансформатора СТ-300

Наименование показателя	Значение
Напряжение первичное, В	300
Напряжение вторичное при х.х., В	63
Напряжение вторичное рабочее, В	30
Сварочный ток при ПВ=60%, А	300
Пределы регулирования сварочного тока, А	110–300
Мощность, кВ·А	24

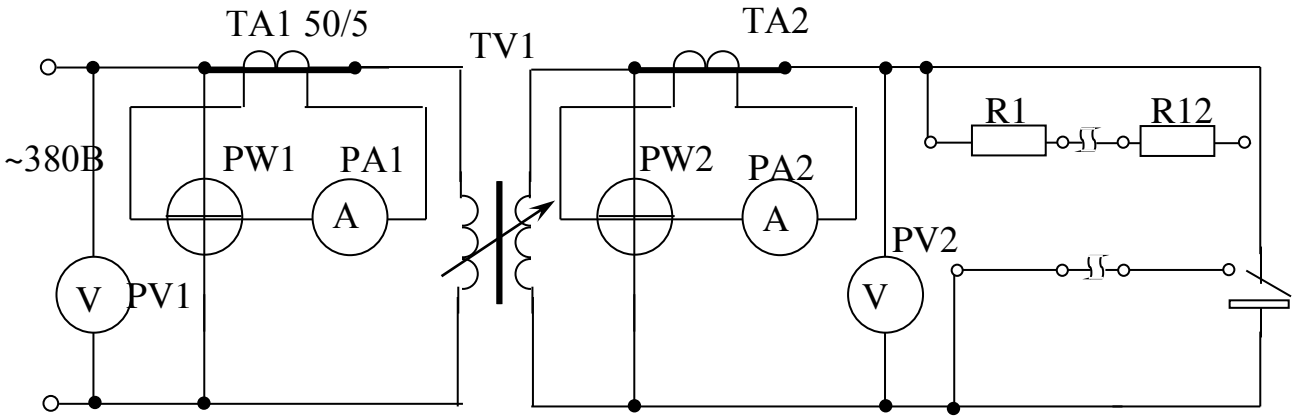


Рисунок 14.6 – Схема электрическая принципиальная
для снятия внешних характеристик трансформатора

3. Для проведения измерений установить регулятор тока трансформатора в положение 110 А, провести пять опытов: режим холостого хода, три рабочих режима на трех указанных преподавателем сопротивлениях и режим короткого замыкания. Электрическую дугу можно считать активным сопротивлением, поэтому сопротивление дуги, которое определяется длиной дуги и ее сечением, имитируется нагрузочными сопротивлениями R_1, R_2… R_n.

В ходе эксперимента необходимо замерить первичное и вторичное напряжения (U_1 и U_2), первичный и вторичный токи (I_1 и I_2), мощность (P_1 и P_2). Результаты замеров занести в таблицу 14.2.

Повторить опыт в положении регулятора тока 190 А.

4. Вычислить коэффициент трансформации К, КПД трансформатора $\cos\varphi_1$ и $\cos\varphi_2$. Результаты вычислений также занести в таблицу 14.2. Все замеры и расчеты выполнять с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов тока ТА1 и ТА2.

5. По полученным данным построить характеристики $U_2=f(I_2)$.

6. Оформить отчет и сделать выводы по работе. В выводах отразить, как влияет выбранный способ регулирования сварочного тока на вид внешней характеристики.

Таблица 14.2 – Результаты исследования внешних характеристик сварочного трансформатора СТ-300

Режим работы		Положение подвижной обмотки	Опытные данные						Результаты расчетов			
			U_1	I_1	P_1	U_2	I_2,	P_2	η	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	К
Холостой ход		110										
		190										
Режим с нагрузкой	R_1	110										
	R_2											
	R_3											
	R_1	190										
	R_2											
	R_3											
Короткое замыкание		110										
		190										

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Схема, изображённая на рисунке 14.6.
2. Таблицы 14.1 и 14.2.
3. Графические зависимости $U_2=f(I_2)$.
4. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение электрической дуги.
2. Как электрическая дуга классифицируется по роду среды?
3. Какие требования предъявляются к сварочным трансформаторам?
4. В каком соотношении должны находиться ток короткого замыкания и рабочий сварочный ток? Почему?
5. Каким должен быть коэффициент мощности в сварочной цепи? Почему?
6. Почему сварочный трансформатор должен давать серию внешних характеристик?
7. Перечислите способы регулирования сварочного тока.
8. Какие требования предъявляются к внешним характеристикам сварочного трансформатора и почему?
9. Каким должно быть напряжение холостого хода трансформатора? Почему?

Лабораторная работа № 15

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы: исследование работы электрокалориферной установки.

Общие сведения

Микроклимат производственных помещений характеризуется различными показателями. Их можно разделить на: физические, химические и биологические. Наибольшую группу составляют физические показатели микроклимата, к ним относятся: температура воздуха и внутренних поверхностей ограждающих конструкций, влажность воздуха, скорость и направление движения воздушных потоков, уровень освещённости, уровень производственного шума, степень ионизации воздуха.

Для предварительного подогрева приточного воздуха и выполнения требований по газовому составу и влажности используются электрокалориферные установки.

Электрокалориферная установка в своем составе имеет две основных составляющих – нагревательные элементы ТЭНы и вентилятор.

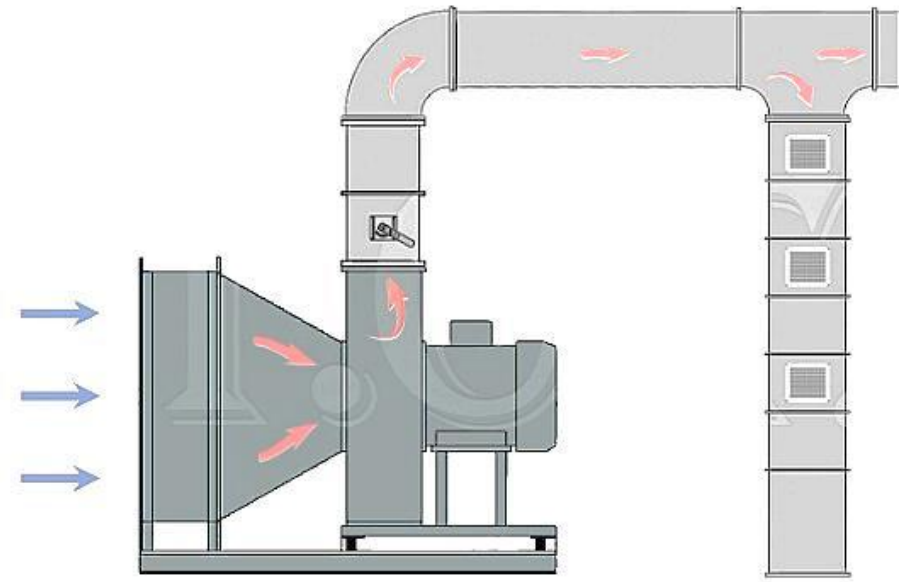


Рисунок 15.1 – Принцип работы электрокалориферных установок

Принцип работы электрокалориферных установок заключается в том, что забираемый приточный наружный воздух проходит через электрокалорифер, в котором он подогревается, и подаётся центробежным вентилятором в систему воздуховодов. Для более равномерного обдува ТЭНов электрический калорифер расположен со стороны всасывания вентилятора.

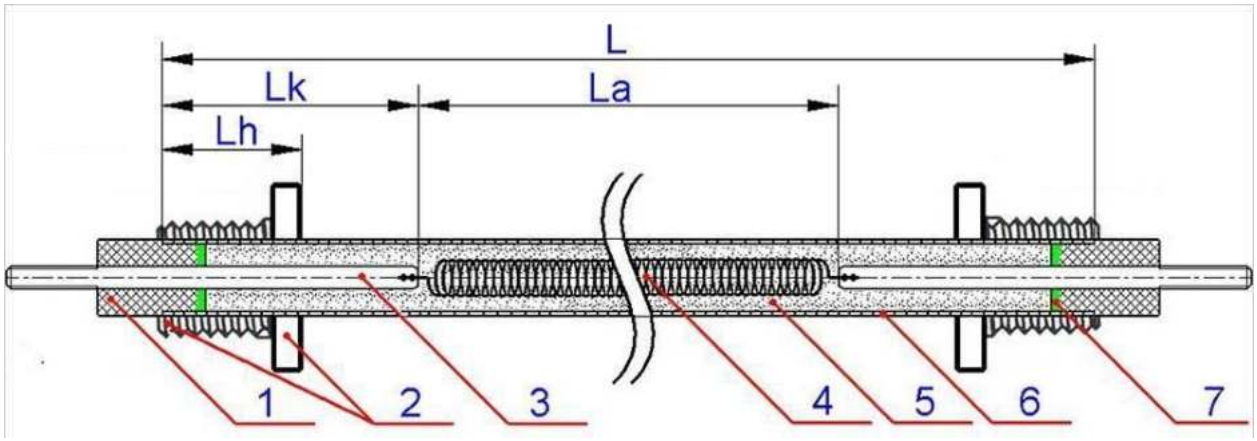
Электрокалориферные установки используются для сушки зерна, сена (метод активного вентилирования) и других сельскохозяйственных продуктов, а также для обогрева производственных помещений.

В сельскохозяйственном производстве используются электрокалориферы серии СФОА, СФОЦ. В частности, электрические воздухонагревательные установки СФОЦ подразделяются на семь типоразмеров. Каждая из моделей приточных воздушных агрегатов рассчитана на нагрев определённого объема воздуха в час. Диапазон производительности по воздуху установок варьируется от 400 до 18000 $м^3$/ч, тепловая мощность – от 15 до 247,5 кВт.

В электрокалориферных установках источниками теплоты являются нагревательные элементы ТЭНы (рисунок 15.2), устанавливаемые в потоке воздуха, создаваемом вентилятором.

ТЭНы являются примером нагревателей косвенного нагрева сопротивлением. При протекании по нагревающей спирали, выполненной из нихромовой или фехралевой проволоки, выделяется количество энергии, пропорциональное квадрату этого тока и сопротивлению спирали.

Для нагрева газообразных сред для увеличения теплоотдачи от ТЭНов применяют их оребрение.



1 – керамический изолятор; 2 – крепежный штуцер; 3 – контактный стержень; 4 – нагревающая спираль; 5 – периклаз; 6 – трубчатая оболочка; 7 – герметик

Рисунок 15.2 – Трубчатый электронагреватель (ТЭН)

Предельно допустимая температура поверхности нагревателей электрокалориферных установок в среднем составляет 170–180 ^{0}С. При этой температуре кислород воздуха не выгорает, что соответствует санитарно-гигиеническим требованиям.

В процессе работы электротермической установки мощность электрических нагревателей можно регулировать, например, изменяя напряжение питания $U_н$ или сопротивление нагревателя $R_н$. Наиболее просто мощность регулировать ступенчато, переключая нагревательные элементы электротермических установок на различные схемы соединения. При этом изменяются либо число подключённых к сети элементов и их общее сопротивление, либо напряжение на каждом из них.

В данной работе исследуется теплообмен между нагретой проволокой и воздухом, который характеризуется коэффициентом теплоотдачи α, пред-

ставляющим собой количество теплоты, отдаваемой с одного квадратного метра поверхности нагретого тела в течение одной секунды при разности температур между телом и окружающим воздухом, равной 1°С, Дж/м^2·с·°С.

При расчётах электрических калориферов с проволочными нагревательными элементами необходимо знать зависимость величины коэффициента теплоотдачи α от скорости воздуха и диаметра выбранной проволоки. Такая зависимость может быть получена экспериментальным путём.

В установившемся режиме, когда количество теплоты, выделяемое на нагревательном сопротивлении, равно количеству теплоты, получаемой воздухом, уравнение теплового баланса будет иметь вид:

$$\alpha \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot \Delta t = F \cdot \upsilon \cdot c \cdot (t_к - t_н), \qquad (15.1)$$

где d – диаметр проволоки в м (в установке проволока d = 1 мм);

L – длина проволоки в м (в установке длина проволоки L = 45 м);

Δt – перепад температур между проволокой и средним значением температуры воздуха на входе в калорифер и его выходе;

F – сечение воздухопровода в месте установки нагревательных элементов, м;

υ – скорость воздуха, м/с, измеряется анемометром;

С – объемная теплоёмкость воздуха, равная 1300 Дж/м^3·°С;

$t_к$, $t_н$ – конечная и начальная температуры воздуха, °С.

Температура проволоки $t_{пр}$ определяется с помощью термопары и милливольтметра. Переводной коэффициент 0,0695 mВ/°С.

$$\alpha = \frac{F \cdot \upsilon \cdot c \cdot (t_к - t_н)}{\pi \cdot d \cdot L \cdot \Delta t}, Вт / м^2 \cdot ^\circ С. \qquad (15.2)$$

В практических расчетах калориферов для определения коэффициента теплоотдачи можно пользоваться эмпирической формулой профессора Аше:

$$\alpha = 2{,}9 \cdot \frac{\upsilon^{0{,}466}}{d^{0{,}534}}, Вт / м^2 \cdot ^\circ С. \qquad (15.3)$$

Нагревательные элементы калорифера рассчитываются на работу в движущемся воздушном потоке. Снижение скорости воздуха приводит к увеличению температуры проволоки. Поэтому в нагревательных установках должна быть обеспечена блокировка, не позволяющая включение нагревательных элементов до того, как будет включён в работу вентилятор.

Программа и методика выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с устройством и работой электрической калориферной установки.

2. Собрать электрическую схему, изображённую на рисунке 15.3. Обратить внимание на блокировку нагревательных элементов. Опробовать её действие. Перед включением нагревательных элементов проверить правильность направления вращения вентилятора.

3. Включить установку в работу при полностью открытой заслонке.

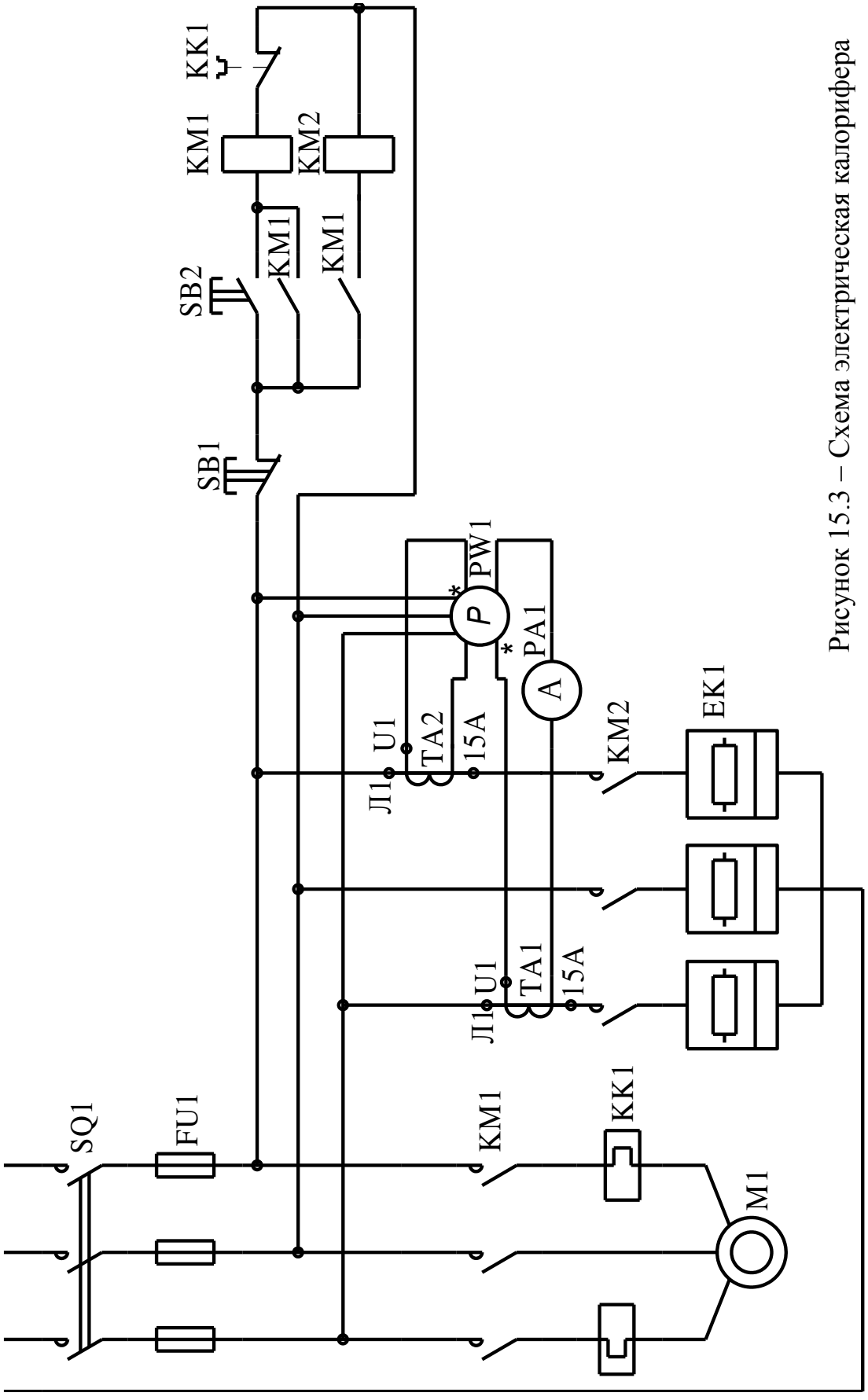


Рисунок 15.3 – Схема электрическая калорифера

Измерить скорость воздуха на выходе из калорифера и температуру воздуха до и после нагревательных элементов и температуру проволоки. Температура воздуха на входе в электрокалорифер измеряется ртутным термометром, а на выходе – с помощью терморезистора и регулятора температуры. Температура поверхности проволоки определяется с помощью термопары, закреплённой на поверхности нихромовой проволоки.

Повторить измерения при заслонке, закрытой на 1/4, 1/2, 3/4F. Показания приборов записываются в таблицу 15.1.

Таблица 15.1 – Результаты экспериментальных исследований влияния параметров, характеризующих работу калорифера, на коэффициент теплоотдачи

F	υ	$t_к$	$t_н$	α	α по Аше	P	$t_{пр}$	Δt
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. F								
2. 3/4 F								
3. 1/2 F								
4. 1/4 F								

4. Выполнить расчёт коэффициента теплоотдачи. Для этого необходимо воспользоваться соотношениями 15.2 и 15.3.

5. Рассчитать значение КПД калориферной установки:

$$\eta = \frac{L \cdot c \cdot (t_к - t_н)}{P}, \qquad (15.4)$$

где $L = F \cdot \upsilon$ – производительность вентилятора в $м^3/с$;

P – общая мощность в Вт.

Результаты расчётов занести в таблицу 15.2.

Таблица 15.2 – Исходные данные и результаты расчётов КПД калориферной установки

L	$t_к$	$t_н$	P	$\eta_к$

6. Построить кривые зависимостей коэффициента теплоотдачи и температуры проволоки от скорости воздуха, рассчитанных по формулам (15.2) и (15.3).

7. Определить удельную поверхностную мощность нагревательной проволоки, $Вт/см^2$, для всех четырёх замеров по формуле

$$P_{уд} = \frac{P}{S}, \qquad (15.5)$$

где S – боковая поверхность нагревательной проволоки.

8. Оформить отчёт и сделать выводы по работе. В выводах необходимо отразить характер влияния параметров, характеризующих работу калорифера, на коэффициент теплоотдачи.

Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Электрическая схема, изображённая на рисунке 15.3.
2. Таблицы 15.1 и 15.2.
3. Графические зависимости коэффициента теплоотдачи и температуры проволоки от скорости воздуха.
4. Краткие выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Каково устройство электрического калорифера?
2. Перечислите основные элементы конструкции ТЭНа.
3. Перечислите способы регулирования мощности электрокалориферной установки.
4. Как влияет скорость воздушного потока на коэффициент теплоотдачи α?
5. Как в схеме управления электрокалориферной установкой осуществляется блокировка нагревательных элементов? Для чего она нужна?
6. Как определяется температура нагревательной проволоки?
7. Чему равно рекомендуемое значение предельно допустимой температуры поверхности нагревателей электрокалориферных установок? Почему?

ЛИТЕРАТУРА

1. Епифанов А.П. Электропривод в сельском хозяйстве: учебное пособие / А.П. Епифанов, А.Г. Гущинский, Л.М. Малайчук. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 224 с. – ISBN 978-5-8114-1020-0. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/130484.

2. Епифанов А.П. Электропривод: учебник / А.П. Епифанов, Л.М. Малайчук, А.Г. Гущинский. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 400 с. – ISBN 978-5-8114-1234-1. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/168426.

3. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: учебное пособие / Г.В. Никитенко. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-1468-0. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/211193.

4. Острецов В.Н. Лекции по курсу «Электропривод и электрооборудование»: учебное пособие / В.Н. Острецов. – Вологда: ВГМХА им. Н.В. Верещагина, 2015. – 156 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/130822.

5. Электропривод и электрооборудование: учебники и учебные пособия для высших учебных заведений / А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева, И.Р. Владыкин, С.И. Юран. – М.: КолосС, 2008. – 328 с.

6. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Часть 1: Светотехника: учебное пособие / В.С. Газалов. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра», 2004. – 344 с.

7. Соколовский Э.И. Светотехника. Электрические источники света: учебное пособие / Э.И. Соколовский. – Рязань: РГРТУ, 2013. – 136 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/168036.

8. Юдаев И.В. Расчет электротермических процессов и оборудования: учебное пособие / И.В. Юдаев, С.В. Машков, М.Р. Фатхутдинов. – Самара: СамГАУ, 2018. – 218 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book.

9. ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем. – М.: Стандартинформ, 2011. – 23 с.

Учебное издание

Беленов Виталий Николаевич
кандидат технических наук

Пономарёва Наталья Евдокимовна
кандидат технических наук, доцент

Шабаев Евгений Адимович
кандидат технических наук, доцент

Романовец Михаил Михайлович

Электропривод и электрооборудование

Лабораторный практикум

Редактор Н.П. Лучинкина
Компьютерная верстка Н.Е. Пономарева
Художественный редактор С.П. Вдовикина

Подписано в печать 15.04.2024 г.
Формат 60×84/16. Усл. п. л. 6,92. Тираж 50 экз. Заказ № 30.

Отдел информационных технологий и издательской деятельности
Азово-Черноморского инженерного института – филиала
ФГБОУ ВО Донской ГАУ
347740, г. Зерноград Ростовской области, ул. Советская, 15.