

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электрооборудования
сельскохозяйственных предприятий

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Практикум

*для студентов, обучающихся по специальностям
1-74 06 05-01 Энергетическое обеспечение
сельского хозяйства (электроэнергетика),
1-53 01 01-09 Автоматизация технологических процессов
и производств (сельское хозяйство)*

Минск
БГАТУ
2010

УДК 621.316.9(07)
ББК 31.26я7
А22

*Рекомендовано научно-методическим советом агроэнергетического
факультета БГАТУ.
Протокол № 11 от 18 июня 2009 г.*

Составители:
кандидат технических наук, доцент *В. В. Гурин*,
аспирант *Е. В. Лавцевич*,
аспирант *П. А. Равинский*

Рецензенты:
кандидат технических наук, профессор кафедры электроснабжения БГАТУ
Г. И. Янукович;
заведующий лабораторией РУП «Белорусский теплоэнергетический институт»,
доктор технических наук, профессор *Е. П. Забелло*

Автоматическая защита электрооборудования : практикум /
А22 сост. : В. В. Гурин, Е. В. Лавцевич, П. А. Равинский. – Минск :
БГАТУ, 2009. – 196 с.
ISBN 978-985-519-298-6.

В практикуме изложены общие вопросы организации работы студентов в лаборатории автоматической защиты электрооборудования и содержание 8 практических занятий и 10 лабораторных работ с приложениями.

Для студентов вузов и ССУЗов, обучающихся по специальностям 1-74 06 05-01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика), 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство).

УДК 621.316.9(07)
ББК 31.26я7

ISBN 978-985-519-298-6

© БГАТУ, 2010

ВВЕДЕНИЕ

Надежность работы электрооборудования в сельскохозяйственном производстве остается низкой.

В процессе эксплуатации электрооборудование подвергается воздействию перенапряжений, которые могут вызвать пробой изоляции.

Увлажнение электрооборудования приводит к повышенным токам утечки, которые могут быть опасны для людей и животных. В некоторых условиях токи утечки могут вызвать пожар.

В электрических цепях возможен режим сверхтоков, который опасен для электрооборудования и так же может привести к пожару.

Некоторое электрооборудование, например, электродвигатели, подвержено перегрузкам, загрязнению, питается пониженными, асимметричными, или неполнофазными напряжениями, которые приводят его к выходу из строя. Чтобы предотвратить эти неприятные последствия используют средства автоматической защиты электрооборудования.

В настоящем практикуме изложены общие вопросы организации работы студентов в лаборатории автоматической защиты электрооборудования, содержание 8 практических занятий и 10 лабораторных работ с приложениями.

Издание будет полезно не только студентам БГАТУ, но и ССУЗов, обучающимся по соответствующим специальностям.

1. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ В ЛАБОРАТОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

1.1. Общие положения

Студент, выполняющий лабораторную работу, обязан:

изучить настоящие правила и принять их к обязательному исполнению;

соблюдать правила внутреннего распорядка, утвержденные ректором университета;

соблюдать требования техники безопасности (ТБ), охраны труда и сохранности лабораторного оборудования и приборов, расписаться в журнале по ТБ;

предупреждать нарушения требований безопасности со стороны товарищей;

выполнять все требования руководителя, относящиеся к соблюдению правил техники безопасности, порядку выполнения работ, а также требования по сохранности лабораторного оборудования и приборов;

заблаговременно готовиться к предстоящему занятию в лаборатории, используя инструкции и методические указания к работам и рекомендуемую литературу;

при выполнении лабораторной работы находиться только на своем рабочем месте, не трогать оборудование и приборы, не относящиеся к работе, соблюдать тишину и порядок.

Запрещается:

а) без разрешения трогать или переносить со стола на стол аппараты, приборы и другие предметы;

б) заниматься делами, непосредственно не связанными с выполняемой работой;

в) садиться на столы, ставить ноги на электрические машины, установки или другое оборудование.

При нарушении настоящих правил или требований руководителя студент может быть отстранен от проведения работ и вновь допущен к ним лишь с разрешения заведующего кафедрой или декана.

При всякой порче машин, приборов, аппаратов и другого оборудования, или засорении рабочего места студент обязан во внеурочное время устранить повреждение или привести в порядок рабочее место.

За порчу инвентаря и оборудования лаборатории, вызванную несоблюдением настоящих правил, студент несет материальную ответственность.

1.2. Правила техники безопасности

При выполнении работ в лаборатории студенты обязаны помнить о возможности поражения электрическим током и необходимости соблюдения правил техники безопасности. Невыполнение правил безопасности, неосторожное обращение с аппаратурой, невнимательность и, как следствие, случайное прикосновение к токоведущим частям схем могут повлечь за собой серьезные несчастные случаи.

Поэтому при работе в лаборатории автоматической защиты электрооборудования, имеющей разнообразное электротехническое оборудование и вращающиеся электрические машины, нужно соблюдать особую осторожность и следующие основные правила техники безопасности.

1. Электрическую схему можно собирать только при отключенном автоматическом выключателе.

2. Включать схему под напряжение разрешается только после ее проверки преподавателем или лаборантом.

3. О включении схемы надо сделать предупреждение присутствующим, убедиться, что никто не касается токоведущих или вращающихся частей.

4. Любые изменения в схеме можно делать только при отключенной электрической сети.

5. В процессе проведения опытов категорически запрещается прикасаться к неизолированным точкам схемы.

6. Во избежание случайного прикосновения к неизолированным точкам схемы *запрещается*:

а) пользоваться временным соединением двух или нескольких проводов скручиванием;

б) включать или отключать схему разрывом цепи проводов вместо выключателя;

в) применять провода с поврежденной изоляцией;

г) перемещать измерительные приборы без снятия напряжения;

д) располагать при записи показаний тетради на измерительных приборах;

е) оставлять без наблюдения включенные установки;

ж) заходить за установленные ограждения.

7. При срабатывании автоматического выключателя студенты с помощью преподавателя устраняют причину возникновения перегрузки или короткого замыкания, включают схему снова под наблюдением преподавателя.

8. При проведении опытов необходимо следить, чтобы в процессе работы никто из присутствующих не приближался к вращающимся частям.

9. Категорически запрещается касаться рукой или ногой вращающихся частей электродвигателей или электромагнитных тормозов для их торможения.

10. При несчастном случае немедленно отключить установку от сети и оказать первую помощь пострадавшему. Аптечка скорой помощи находится в аппаратной лаборатории. В случае необходимости вызвать скорую помощь по телефону 103.

11. В случае пожара немедленно отключить электропитание лаборатории и принять меры к ликвидации пожара. Вводной выключатель лаборатории находится в аппаратной лаборатории. Ящик с песком находится в цокольном этаже, а огнетушитель – у дверей лаборатории.

В случае необходимости вызвать пожарную команду по телефону 101.

Перед началом работы в лаборатории студенты проходят инструктаж по технике безопасности и расписываются в специальном журнале. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к работе в лаборатории не допускаются.

1.3. Порядок выполнения и защиты лабораторных работ

1. Работы выполняются бригадами по 2–3 человека в соответствии с графиком прохождения лабораторных работ.

2. К работе в лаборатории допускаются студенты, представившие заготовку предстоящей работы, отчет по предыдущей работе и сдавшие отчеты по ранее выполненным работам. Заготовка предстоящей работы должна включать титульный лист с наименованием работы, схему установки, таблицы, в которые будут заноситься результаты опытов, и свободную страницу или две для записи паспортных данных приборов и оборудования, необходимых расчетов

и пояснений. Там же приводятся вопросы самоподготовки, заданные преподавателем, и ответы на них.

Перед началом опыта преподаватель проверяет подготовленность бригады к работе путем опроса по содержанию и методике выполнения опыта.

Предварительная подготовка к выполнению работы проводится вне лаборатории с использованием методических указаний и рекомендуемой литературы.

3. Объем выполняемой в лаборатории работы определяется преподавателем, включает в себя экспериментальную и расчетную части. Преподаватель может изменить объем и характер опытов.

4. При выполнении работы студенты должны сначала ознакомиться с основным оборудованием и вспомогательной аппаратурой, записать их паспортные данные, затем подобрать электроизмерительные приборы с учетом рода тока и ожидаемых значений измеряемых величин, записать основные данные приборов. При необходимости собрать электрическую схему и пригласить преподавателя или лаборанта для проверки схемы и включения установки в работу.

При сборке электрической схемы следует руководствоваться следующими правилами: вначале соединить все последовательные цепи от зажимов рубильника (автомата) до испытуемой машины, затем подключить параллельные цепи и цепи управления. Не следует использовать длинные провода там, где можно обойтись короткими проводниками. Собранный схема проверяется всеми студентами, выполняющими данную работу. При этом необходимо обратить особое внимание на целостность соединительных проводов, плотность контактов, затяжку соединительных клемм, положение рукояток аппаратов управления и ползунков реостатов (в соответствии с инструкцией к лабораторной работе).

Затем включить схему под напряжение и проделать опыт, не производя записей, чтобы ознакомиться с характером протекания изучаемых процессов.

Произвести необходимые измерения и занести их результаты в черновик. Записи в черновик и последующая обработка опытов должны производиться индивидуально каждым студентом. При замерах следует иметь в виду, что характер экспериментальных кри-

вых с достаточной для лабораторных работ точностью может быть отражен по результатам 4–5 замеров. Меньшее число замеров может привести к искажению действительного характера кривой.

Показать результаты опыта преподавателю. Только при правильных результатах опыта и с разрешения преподавателя можно приступить к следующему опыту.

После окончания всей работы черновики сдаются на проверку и подпись преподавателю. Черновики хранятся до сдачи зачета по лабораторной работе и предъявляются совместно с отчетом при защите работы. Без черновика отчет не принимается.

После подписи черновиков, с разрешения преподавателя необходимо разобрать схему, уложить на место провода, приборы, привести в порядок рабочее место. Если в работе использовались конденсаторы, то перед разборкой схемы их следует разрядить путем соединения выводов проводником.

В оставшееся свободное время следует оформлять выполненную работу. Уходить из лаборатории до звонка можно только с разрешения преподавателя.

Защита отчета по выполненной лабораторной работе проводится, как правило, в конце занятия, в часы, отведенные на выполнение работы, или на консультации. Принимаются к защите отчеты, оформленные с учетом требований, изложенных ниже. Отчет, выполненный небрежно, с ошибками, подлежит переделке, защищается в дополнительное время (например, на консультации).

По каждой лабораторной работе выставляется оценка. На основании ряда оценок выводится средняя оценка по циклу лабораторных работ, которая учитывается при зачете.

При сдаче отчета преподаватель опрашивает студента в объеме материала выполненной работы. Работа засчитывается в том случае, если студент показывает знание цели, физической сущности, методики выполненной работы, использованных машин и оборудования и может объяснить и проанализировать полученные результаты.

Студент, выполнивший все работы и своевременно сдавший отчеты по ним, получает зачет по лабораторной части курса.

Пропущенные лабораторные работы отрабатываются в конце цикла работ в специально назначенное преподавателем время.

1.4. Требования к оформлению отчета по лабораторной работе

Отчет о выполненной работе составляется каждым студентом самостоятельно и должен быть представлен преподавателю перед началом очередного занятия.

Как правило, отчет оформляется на нескольких листах бумаги в клеточку из обычной ученической тетради. Первый лист отчета – титульный (см. образец ниже).

На обратной стороне листа указываются цель и программа работы. Последующие листы используются для изображения схем опытов, таблиц, графиков. На последней странице записываются выводы по работе, содержащие критическую оценку опытов, число и роспись исполнителя. Все листы отчета склеиваются или сшиваются, включая и лист с вопросами и ответами по самоподготовке, и нумеруются. Каждый отчет представляется отдельно.

Разрешается все работы оформлять в отдельной тетради. Тогда обложка тетради оформляется по приведенному ниже образцу, с той лишь разницей, что указывается «Отчеты по лабораторным работам дисциплины «Автоматическая защита электрооборудования»».

Образец оформления титульного листа

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра ЭСХП

*Лаборатория автоматической
защиты электрооборудования*

ОТЧЕТ

Лабораторная работа №___

(название работы)

Выполнил: студент 4 курса
_____ группы

(Ф.И.О.)

Принял:

(Ф.И.О.)

2010

10

К каждой схеме составляется спецификация на оборудование и приборы в соответствии с ЕСКД по следующей форме:

Позиционное обозначение	НАИМЕНОВАНИЕ	Количество	Примечание
QF	Автоматический выключатель А-63М	1	10 А

Кроме спецификации, в отчете приводятся основные технические данные оборудования, выписанные из его паспортного щитка или из данных, приведенных в методичке или на стойке приборов.

Схемы и графики выполняют аккуратно, карандашом, с применением линеек, лекал, циркуля. Все условные обозначения в электрических схемах должны соответствовать ГОСТу. Схемы и графики должны быть пронумерованы и иметь подписанные надписи.

Построение графиков можно выполнять на листах в клеточку, но лучше всего выполнять их на миллиметровой бумаге. Масштаб нужно выбирать таким образом, чтобы в принятой единице длины содержалось 1, 2 или 5 измеряемых единиц или их десятых долей. По экспериментальным данным наносятся точки в виде кружков, треугольников или звездочек (для каждой функции свои обозначения), через которые проводится плавная, усредненная кривая. На одном графике допускается изображать несколько различных функций одного и того же аргумента (обычно не более трех). При этом масштабы выбираются таким образом, чтобы кривые разместились равномерно по всему полю рисунка. Для каждого графика ось функции наносится отдельно, с указанием размерности, например, для момента M , Н·м. Вдоль осей проставляются размерные единицы, причем цифровые значения осей в выполняемых работах начинаются, обычно, с нуля.

1.5. Порядок выполнения и защиты практических занятий

1. Практические занятия выполняются группой студентов в соответствии с графиком проведения практических занятий.

2. К практическим занятиям допускаются студенты, выполнившие задания предыдущих занятий.

3. Предварительная подготовка к выполнению работы проводится вне лаборатории с использованием методических указаний и рекомендуемой литературы.

4. В начале занятия преподаватель опрашивает студентов по вопросам самоподготовки.

5. Объем выполняемой в лаборатории работы определяется преподавателем. Он может изменить объем работы.

6. После окончания всей работы тетрадь с отчетом сдается на проверку преподавателю.

7. В оставшееся свободное время следует оформлять следующее задание. Уходить из лаборатории до звонка можно только с разрешения преподавателя.

8. Защита отчета по выполненному практическому занятию проводится, как правило, в конце занятия, в часы, отведенные на выполнение работы или на консультации. Принимаются к защите решения задачи, оформленные с учетом требований, изложенных ниже. Отчет, выполненный небрежно, с ошибками, подлежит переделке и защищается в дополнительное время (например, на консультации).

При сдаче практического занятия преподаватель опрашивает студента в объеме материала выполненной работы. Работа засчитывается в том случае, если студент показывает знание цели, методики выполнения работы, может ответить на контрольные вопросы, объяснить и проанализировать полученные результаты.

9. По каждому практическому занятию выставляется оценка; на основании ряда оценок выводится средняя оценка по циклу практических занятий, которая учитывается при зачете.

10. Пропущенные практические занятия отрабатываются студентом самостоятельно и защищаются на консультации.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Практическое занятие № 1

РАСЧЕТ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ВНУТРЕННИХ СЕТЕЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

Знать значения токов короткого замыкания (КЗ) необходимо для выбора аппаратов защиты электрических цепей от сверхтоков. Расчет токов короткого замыкания является распространенной задачей на производстве.

Цель занятия

Освоить методику расчета тока КЗ внутренних сетей зданий и сооружений по ГОСТ 28249–93.

Задача занятия

Расчитать начальное значение периодических составляющих токов трехфазного и однофазного КЗ для электрической сети, расчетная схема которой представлена на рисунке 1.1.

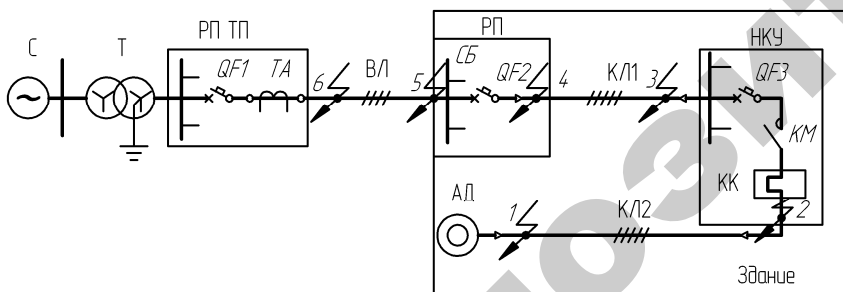


Рисунок 1.1. Расчетная схема электрической сети
(для КЗ на зажимах электродвигателя)

Требования к исходному уровню знаний

Студенты должны знать закон Ома для цепи переменного тока, понятия активного, индуктивного и полного сопротивлений, треугольник сопротивлений, понятие о схемах замещения электрических цепей, о последовательностях токов или напряжений при асимметрии сети.

Контрольные вопросы самопроверки

1. Запишите закон Ома для цепи переменного тока.
2. Нарисуйте треугольник сопротивлений.
3. Запишите формулу для расчета полного сопротивления.
4. Какие последовательности различают при асимметрии токов или напряжений?

Методические указания

1. Зарисуйте расчетную схему (рисунок 1.1).
2. Выпишите исходные данные по своему варианту из таблицы 1.1.
3. Зарисуйте схему замещения для расчета токов трехфазного КЗ (прямой последовательности), рисунок 1.2.

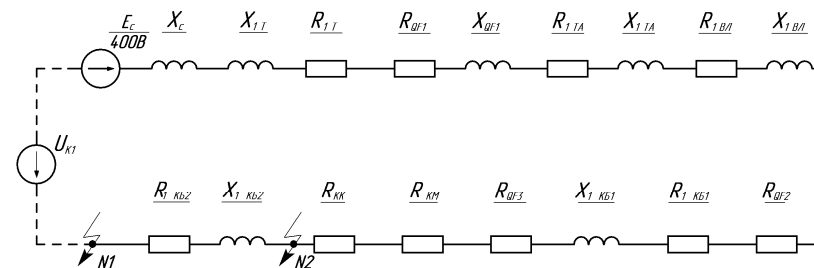


Рисунок 1.2. Схема замещения для расчета токов трехфазного КЗ
(прямой последовательности)

В этой схеме каждый элемент имеет индуктивные и активные сопротивления, или только активные. Возле каждого сопротивления проставлена дробь, в числителе которой указывается вид сопротивления (активное или индуктивное) и к какому элементу схемы оно относится, а в знаменателе – величина этого сопротивления в мОм (определяется далее расчетом). Схема замещения составляется отдельно для прямой и нулевой последовательности.

Таблица 1.1 – Исходные данные к задаче

Вариант	Элементы расчетной схемы													
	Т		QF1	ТА	ВЛ		QF2	КБ1		QF3	КМ	КК	КБ2	
	$S_{н.т.}$ кВА	Схема обмоток	$I_{н.}$ А	Класс точно- сти 1.0	провод	Длина $L_{ВЛ}$ м	$I_{н.}$ А	Кол-во жил и их сечение	Длина $L_{КБ1}$ м	$I_{н.}$ А	$I_{н.}$ А	$I_{н.}$ А	Кол-во жил и их сечение	Длина $L_{КБ2}$ м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	100	Y/Y	50	50/5	A-16	100	25	4·10+1·6	7	6	4	4	4·2,5	10
2	160	Y/Y	70	75/5	A-25	120	40	4·16+1·10	7	8	10	6,3	4·2,5	12
3	250	Y/Y	100	100/5	A-35	140	63	4·25+1·16	7	10	10	10	4·2,5	14
4	400	Y/Y	100	100/5	A-35	160	63	4·25+1·16	7	13	25	12,5	4·2,5	16
5	630	Y/Y	140	150/5	A-50	180	80	4·35+1·16	7	16	25	16	4·2,5	18
6	100	Δ/Y	70	75/5	A-25	100	40	4·10+1·6	7	20	25	16	4·2,5	20
7	160	Δ/Y	100	100/5	A-35	120	63	4·25+1·16	7	25	25	20	4·2,5	22
8	250	Δ/Y	140	150/5	A-50	140	80	4·35+1·16	7	32	40	20	4·6+1·6	10
9	400	Δ/Y	140	150/5	A-50	160	80	4·35+1·16	7	40	40	25	4·6+1·6	12
10	630	Δ/Y	200	200/5	A-70	180	100	4·35+1·16	7	2	4	4	4·2,5	14
11	100	Y/Y	100	100/5	A-35	100	63	4·25+1·16	7	3	4	4	4·2,5	16
12	160	Y/Y	140	150/5	A-50	120	80	4·35+1·16	7	4	10	5	4·2,5	18
13	250	Y/Y	200	200/5	A-70	140	100	4·16+1·10	10	5	10	6,3	4·2,5	20
14	400	Y/Y	200	200/5	A-70	160	100	4·16+1·10	10	6	10	8	4·2,5	22
15	630	Y/Y	140	150/5	A-50	180	80	4·25+1·16	10	8	10	8	4·2,5	24
16	100	Δ/Y	50	50/5	A-16	100	25	4·10+1·6	10	10	10	10	4·2,5	26
17	160	Δ/Y	70	75/5	A-25	120	40	4·16+1·10	10	13	25	12,5	4·2,5	28
18	250	Δ/Y	100	100/5	A-35	140	63	4·25+1·16	10	16	25	12,5	4·2,5	30

Окончание таблицы 1.1

19	400	Δ/Y	100	100/5	A-35	160	63	4·25+1·16	10	25	16	16	4·2,5	10
20	630	Δ/Y	200	200/5	A-70	180	100	4·35+1·16	10	32	25	25	4·6+1·6	15
21	100	Y/Y	70	75/5	A-25	100	40	4·6+1·6	5	16	6,3	6,3	4·2,5	20
22	160	Y/Y	100	100/5	A-35	120	63	4·10+1·6	5	16	10	10	4·2,5	25
23	250	Y/Y	140	150/5	A-50	140	80	4·16+1·10	5	32	25	25	4·6+1·6	30
24	400	Y/Y	140	150/5	A-50	160	80	4·25+1·16	5	32	16	16	4·2,5	35
25	630	Y/Y	140	150/5	A-50	180	80	4·16+1·10	5	32	25	25	4·6+1·6	10
26	100	Δ/Y	100	100/5	A-35	100	63	4·10+1·6	5	16	10	10	4·2,5	20
27	160	Δ/Y	140	150/5	A-50	120	80	4·25+1·16	5	32	25	25	4·6+1·6	30
28	250	Δ/Y	200	200/5	A-70	140	100	4·35+1·16	5	32	25	25	4·6+1·6	40
29	400	Δ/Y	200	200/5	A-70	160	100	4·35+1·16	5	40	16	16	4·2,5	50
30	630	Δ/Y	200	200/5	A-70	180	100	4·35+1·16	5	25	16	10	4·2,5	60

1. Вычислить сопротивления схемы замещения:

1) **энергосистемы**. Ее сопротивления $X_{1c} = 0,1X_{1T}$;

2) **силового трансформатора**. Его сопротивления X_{1T} и R_{1T} находят из таблицы 1.2;

Таблица 1.2 – Активные и индуктивные сопротивления трансформаторов 10(6)/0,4 кВ [5]

Мощность трансформатора $S_{нт}$, кВА	Напряжение КЗ u_k , %	Индуктивное сопротивление прямой и обратной последовательностей X_{2T} , мОм	Активное сопротивление прямой и обратной последовательностей $R_{1T} = R_{2T}$, мОм	Полное сопротивление токам однофазного КЗ $Z_m^{(1)}/3$, мОм	Индуктивное сопротивление нулевой последовательности X_{0T} , мОм	Активное сопротивление нулевой последовательности R_{0T} , мОм	Схема соединения обмоток трансформатора
100	4,5	64,7	31,5	260	581,8	253,9	Звезда/звезда с нулем
160	4,5	41,7	16,6	162	367	150,8	
250	4,5	27,2	9,4	104	234,9	96,5	
400	4,5	17,1	5,5	65	148,7	55,6	
630	5,5	13,6	3,1	43	96,2	30,3	
1000	5,5	8,5	2,0	27	60,6	19,1	
1000	8,0	12,6	2,0	33,6	72,8	19,1	
1600	5,5	4,9	1,3	16,6	37,8	11,9	
100	4,5	66	36,3	75,3	66	36,3	Треугольник/звезда с нулем
160	4,5	43	19,3	47	43	19,3	
250	4,5	27	10,7	30	27	10,7	
400	4,5	17	5,9	18,7	17	5,9	
630	5,5	13,50	3,4	14	13,50	3,4	
1000	5,5	8,60	2,0	9	8,60	2,0	
1000	8,0	12,65	1,9	12,8	12,65	1,9	
1600	5,5	5,40	1,1	5,7	5,40	1,1	

3) **автоматического выключателя QF1**. Его сопротивления X_{1QF1} и R_{1QF1} находят по таблице 1.3;

Таблица 1.3 – Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей серии АЗ700, «Электрон», ВА [4], размещенных в распределительном устройстве трансформаторных подстанций

Номинальный ток выключателей, А	Сопротивление катушек и контактов, мОм	
	$R_{1OF} = R_{2OF} = R_{0OF}$	$X_{1OF} = X_{2OF} = X_{0OF}$
50	7	4,5
70	3,5	2,0
100	2,15	1,2
140	1,3	0,7
200	1,1	0,5
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13

Примечания:
 1. Значения для больших токов приведены [4];
 2. Значения для меньших токов определяют по формуле (1.2) или по данным, приведенным в [2], см. материал далее по тексту.

4) **трансформатора тока ТА**. Его сопротивление находят по таблице 1.4 для класса точности 1,0;

Таблица 1.4 – Сопротивления первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока [4]

Коэффициент трансформации трансформатора тока	Сопротивление первичной обмотки многовиткового трансформатора, мОм, при классе точности			
	1,0		3,0	
	$X_{1ТА} = X_{2ТА} = X_{0ТА}$	$R_{1ТА} = R_{2ТА} = R_{0ТА}$	$X_{1ТА} = X_{2ТА} = X_{0ТА}$	$R_{1ТА} = R_{2ТА} = R_{0ТА}$
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	1,3
100/5	2,7	1,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,75	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0,17	0,19
300/5	0,3	0,2	0,08	0,088
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

5) **воздушной линии ВЛ-04 кВ**. Ее сопротивление находят по формулам:

$$R_{1ВЛ} = R_{1\text{ уд.вл}} \cdot L_{вл},$$

$$X_{1ВЛ} = X_{1\text{ уд.вл}} \cdot L_{вл}. \quad (1.1)$$

Удельные сопротивления алюминиевых проводов воздушной линии 0,4 кВ $R_{1\text{ уд.вл}}$ и $X_{1\text{ уд.вл}}$ приведены в таблице 1.5;

Таблица 1.5 – Удельные сопротивления алюминиевых проводов воздушной линии 0,4 кВ токам прямой (обратной) последовательности [4], мОм/м

Марка провода	$r_{1\text{ уд.вл}} = r_{2\text{ уд.вл}}$	*1 $x_{1\text{ уд.вл}} = x_{2\text{ уд.вл}}$	Марка провода	*2 $r_{1\text{ уд.вл}} = r_{2\text{ уд.вл}}$	$x_{1\text{ уд.вл}} = x_{2\text{ уд.вл}}$
A-16	1,96	0,333	A-120	0,27	0,292
A-25	1,27	0,319	A-150	0,21	0,287
A-35	0,91	0,308	-	-	-
A-50	0,63	0,297	-	-	-
A-70	0,45	0,283	-	-	-
A-95	0,33	0,274	-	-	-

*1 – при среднearифметическом расстоянии между проводами 0,4 м;
*2 – при среднearифметическом расстоянии между проводами 0,6 м.

6) **автоматического выключателя QF2**. Его сопротивление (в Ом) определяют по формуле: $R_{QF2} = \frac{349}{I_n}$, (1.2)

где I_n – номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, А;

7) **кабеля КБ1**, питающего НКУ. Его сопротивление (в Ом) находят по формуле:

$$R_{1КБ1} = R_{1\text{ уд.к}} \cdot L_{КБ1},$$

$$X_{1КБ1} = X_{1\text{ уд.к}} \cdot L_{КБ1}, \quad (1.3)$$

где $R_{1\text{ уд.к}}$ и $X_{1\text{ уд.к}}$ находят по таблице 1.6;

Таблица 1.6 – Удельные сопротивления кабеля с алюминиевыми жилами в непроводящей оболочке, мОм/м [4]

Количество жил и их сечение, мм ²	$R_{1\text{ уд.к}} = R_{2\text{ уд.к}}$	$X_{1\text{ уд.к}} = X_{2\text{ уд.к}}$	$R_{0\text{ уд.к}}$	$X_{0\text{ уд.к}}$
4x2,5	15,384	0,102	19,000	2,695
4x4+1x2,5	9,610	0,098	11,710	2,321
4x6+1x6	6,410	0,094	8,710	2,165
4x10+1x6	3,840	0,088	5,900	1,992
4x16+1x10	2,400	0,084	4,390	1,714
4x25+1x16	1,540	0,072	3,420	1,384
4x35+1x16	1,100	0,068	2,970	1,365
4x50+1x25	0,769	0,066	2,449	1,044
4x70+1x35	0,549	0,065	2,039	0,815
4x95+1x50	0,405	0,064	1,665	0,615
4x120+1x50	0,320	0,064	1,540	0,599
4x150+1x170	0,256	0,063	1,276	0,473

8) **автоматического выключателя QF3**, находящегося в НКУ. Его сопротивление находят по формуле (1.2);

9) **переходного сопротивления контактов КМ** (в мОм) находят по формуле: $R_{км} = \frac{825}{I_n}$; (1.4)

10) **электротеплового токового реле КК**. Сопротивление нагревателей электротеплового токового реле КК находят по таблице 1.7;

Таблица 1.7 – Сопротивление нагревателей электротепловых токовых реле серии РТТ

Номинальный ток нагревательного элемента, А	Сопротивление нагревателей, мОм	Номинальный ток нагревательного элемента, А	Сопротивление нагревателей, мОм
	РТТ		РТТ
1	2	3	4
0,20	33750	6,3	44
0,32	13651	8,0	28,0
0,4	9062	10	18,5
0,5	5800	12,5	11,8

Окончание таблицы 1.7

1	2	3	4
0,63	3779	16,0	7,0
0,8	2343	20	5,0
1	1500	25	3,36
1,25	992	32	2,16
1,6	605	40	1,59
2,0	400	50	1,18
2,5	256	63	0,91
3,2	156	80	1,04
4,0	100	100	0,67
5,0	66	125	0,42

11) **кабеля КБ2, питающего двигатель.** Его сопротивление находят по формуле (1.3), где вместо длины кабеля $L_{КБ1}$ подставляют длину кабеля $L_{КБ2}$.

Вычисленные сопротивления (в мОм) подставляем в знаменатель обозначений элементов на схеме замещения (рисунок 1.2).

5. Вычисляем суммарное активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности схемы замещения для точки КЗ № 1 (рисунок 1.1).

$$R_{1,1\Sigma} = R_{ТГ} + R_{1QF1} + R_{1ТА} + R_{1ВЛ} + R_{1QF2} + R_{1КБ1} + R_{QF3} + R_{КМ} + R_{КК} + R_{1КБ2}; \quad (1.5)$$

$$X_{1,1\Sigma} = X_C + X_{ТГ} + X_{1QF1} + X_{1ТА} + X_{1ВЛ} + X_{1КБ1} + X_{1КБ2}. \quad (1.6)$$

6. Вычисляем начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ на зажимах двигателя в точке КЗ №1 по формуле:

$$I_{кз.о.№1}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \quad (1.7)$$

где $U_H = 400$ В.

7. Вычисляем суммарное активное и индуктивное сопротивления схемы замещения для точки КЗ №2 (рисунок 1.1):

$$R_{1,2\Sigma} = R_{1,1\Sigma} - R_{1КБ2}; \quad (1.8)$$

$$X_{1,2\Sigma} = X_{1,1\Sigma} - X_{1КБ2}. \quad (1.9)$$

8. Вычислим начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ на выходе НКУ, в точке КЗ №2 по формуле:

$$I_{кз.о.№2}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \sqrt{R_{1,2\Sigma}^2 + X_{1,2\Sigma}^2}}. \quad (1.10)$$

9. Составьте схему замещения для расчета токов однофазного КЗ (нулевой последовательности), рисунок 1.3.

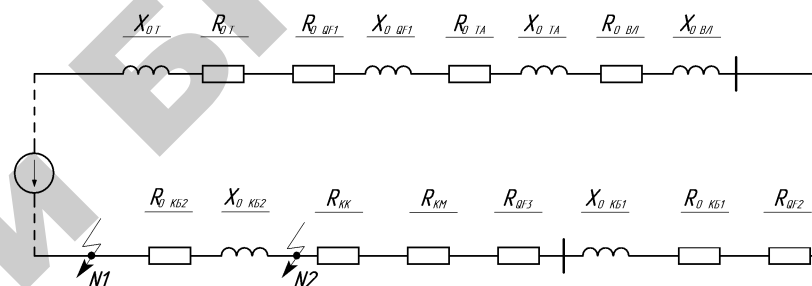


Рисунок 1.3. Схема замещения для расчета тока однофазного КЗ (нулевой последовательности)

10. Вычислите все сопротивления схемы:

1) **силовой трансформатор Т.** Его сопротивления R_{OT} и X_{OT} находят по таблице 1.2;

2) **автоматический выключатель QF1.** Его сопротивления R_{QF1} и X_{QF1} находят по таблице 1.3 или по формуле (1.2);

3) **трансформатор тока ТА.** Его сопротивления $R_{ТА}$ и $X_{ТА}$ находят по таблице 1.4;

4) **воздушная линия ВЛ-0,4 кВ.** Его сопротивления (для упрощения) определим без учета заземляющих устройств по формуле:

$$X_{0ВЛ} = X_{0,уд.вл} \cdot L_{ВЛ};$$

$$R_{0ВЛ} = R_{0,уд.вл} \cdot L_{ВЛ};$$

$$(1.11)$$

где $R_{0,уд.вл}$ и $X_{0,уд.вл}$ выбирают по таблице 1.8;

Таблица 1.8 – Удельные сопротивления алюминиевых проводов воздушной линии 0,4 кВ токам нулевой последовательности без учета заземляющих устройств [4], мОм

Сечение фазного провода, мм ²	Активное (в числителе) и индуктивное (в знаменателе) сопротивления воздушной линии ($r_{0уд.вл}/x_{0уд.вл}$) при сечении нулевого провода, мм ²				
	16	25	35	50	70
A-16	3,68/0,68	2,28/0,66	-	-	-
A-25	2,98/0,67	1,99/0,65	-	-	-
A-35	-	1,73/0,64	1,70/0,64	-	-
A-50	-	-	1,44/0,63	1,18/0,62	-
A-70	-	-	1,27/0,62	1,01/0,61	0,84/0,60

5) **автоматический выключатель QF2**. Его сопротивление нулевой последовательности равно сопротивлению прямой последовательности:

$$R_{0QF2} = R_{1QF2};$$

6) **кабель KB1**, питающий НКУ. Его сопротивления R_{0KB1} и X_{0KB1} находят по формуле:

$$X_{0KB1} = X_{0,уд.к} \cdot L_{KB1}; \quad (1.12)$$

$$R_{0KB1} = R_{0,уд.к} \cdot L_{KB1},$$

где $X_{0,уд.к}$ и $R_{0,уд.к}$ выбираются по таблице 1.6;

7) **автоматический выключатель QF3**. Его сопротивление током нулевой последовательности равно сопротивлению током прямой последовательности;

8) **электромагнитный пускатель KM**. Его сопротивление определено выше, по формуле (1.4);

9) **электротепловое токовое реле KK**. Его сопротивление определяют по таблице 1.7;

10) **кабель KB2**, по которому питается электродвигатель. Его сопротивление определяется по формуле (1.12), где вместо L_{KB1} подставляется L_{KB2} ;

11) проставить рассчитанные значения элементов схемы на рисунке 1.3;

12) вычислить суммарное активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности схемы замещения для точки КЗ №1.

$$R_{0,1\Sigma} = R_{0T} + R_{0QF1} + R_{0TA} + R_{0ВЛ} + R_{0QF2} + R_{0KB1} + R_{0QF3} + R_{KM} + R_{KK} + R_{0KB2}; \quad (1.13)$$

$$X_{0,1\Sigma} = X_{0T} + X_{0QF1} + X_{0TA} + X_{0ВЛ} + X_{0KB1} + X_{0KB2}; \quad (1.14)$$

13) вычисляем начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ для точки КЗ №1 по формуле:

$$I_{кз.0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_n}{\sqrt{(2R_{1,1\Sigma} + R_{0,1\Sigma})^2 + (2X_{1,1\Sigma} + X_{0,1\Sigma})^2}}, \quad (1.15)$$

где $R_{1,1\Sigma}$ – значение по (1.5);

$X_{1,1\Sigma}$ – значение по (1.6);

$R_{0,1\Sigma}$ – значение по (1.13);

$X_{0,1\Sigma}$ – значение по (1.14);

$U_n = 400$ В.

Содержание отчета

1. Цель занятия.
2. Задача занятия.
3. Ответы на вопросы самоподготовки.
4. Решение задачи, рисунки 1.1, 1.2, 1.3.

Контрольные вопросы

1. Запишите формулу, по которой вычисляют начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ.
2. Запишите формулу, по которой вычисляют начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ.
3. Каким образом находятся сопротивления току КЗ автоматических выключателей, электромагнитных пускателей, плавких предохранителей?

Практическое занятие № 2

ВЫБОР ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ СВЕРХТОКОВ ЦЕПЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

Плавкие предохранители широко применяются во вводно-распределительных устройствах (ВРУ), шкафах и пунктах распределительных (ШРС, ШР, ПР), в шкафах низкого напряжения (ШР-НН). Выбор плавких предохранителей для группы токоприемников является распространенной задачей на производстве.

Цель занятия

Освоить методику выбора плавких предохранителей для защиты от сверхтоков цепей комплексной нагрузки.

Задача занятия

Выбрать предохранитель, расположенный в распределительном пункте, для защиты от сверхтоков кабеля, питающего НКУ.

От НКУ получают питание электрическая калориферная установка СФОЦ и электродвигатель вентилятора М2.

Сначала включается электрический калорифер, а потом вентилятор М2. Номинальное напряжение сети 380 В. Принципиальная схема линии показана на рисунке 2.1. Технические данные электрооборудования приведены в таблицах 2.1 и 2.2.

Требования к исходному уровню знаний

Студенты должны знать закон Ома для переменного тока, о треугольнике мощностей (полной, активной и реактивной), назначении и устройстве плавких предохранителей и их параметрах.

Контрольные вопросы самоподготовки

1. Запишите закон Ома для цепи переменного тока.
2. Нарисуйте треугольник мощностей цепи переменного тока.
3. Запишите формулу, по которой находится ток в трехфазной цепи.

4. Расскажите об устройстве плавкого предохранителя.
5. Расскажите о назначении предохранителей.
6. Дайте определение номинальному току предохранителя.
7. Дайте определение номинальному току плавкой вставки.

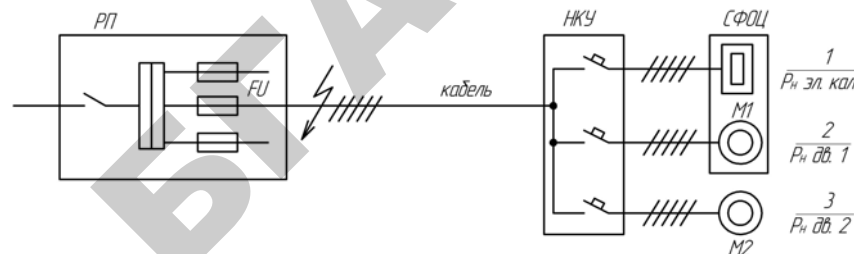


Рисунок 2.1. Принципиальная электрическая схема питания электрооборудования

Методические указания

1. Зарисуйте принципиальную схему (рисунок 2.1).
2. Выпишите исходные данные по своему варианту из таблицы 2.1.
3. Определите расчетную мощность линии при включении только СФОЦ:

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{\sum P_{\text{расч}}^2 + \sum Q_{\text{расч}}^2}, \quad (2.1)$$

где $\sum P_{\text{расч}}$ – сумма потребляемых активных мощностей, кВт;
 $\sum Q_{\text{расч}}$ – сумма потребляемых реактивных мощностей, кВар.
Для потребителя N1:

$$P_1 = P_{\text{н.эл.кал}}, \quad Q_1 = 0. \quad (2.2)$$

Для потребителя N2:

$$P_2 = \frac{k_3 P_{\text{н.дв.1}}}{\eta_{\text{н.дв.1}}}, \quad (2.3)$$

где k_3 – коэффициент загрузки; $k_3 = 0,8$.

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчетов

Вариант	Электрические приемники								$I_{K3}^{(3)}$, кА	$I_{K3}^{(1)}$, кА
	N1		N2			N3				
	$P_{н.эл.каль}$, кВт	$P_{н.дв.1}$, кВт	$\cos\varphi_{н1}$, о.е.	$\eta_{н1}$, %	$P_{н.дв.2}$, кВт	$\cos\varphi_{н2}$, кВт	$\eta_{н2}$, %	K_f , о.е.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	9,85	0,55	0,7	70,5	5,5	0,86	85,5	7,0	1	0,3
2	9,85	0,75	0,76	73,0	7,5	0,86	87,5	7,5	2	0,7
3	9,85	1,1	0,81	75,0	11,0	0,87	87,5	7,5	3	1,0
4	9,85	1,5	0,83	78,0	15,0	0,89	90,0	7,0	4	1,3
5	15,75	2,2	0,83	81,0	22,0	0,87	90,5	7,0	5	1,7
6	15,75	0,55	0,7	70,5	5,5	0,86	85,5	7,0	6	2,0
7	15,75	0,75	0,76	73,0	7,5	0,86	87,5	7,5	7	2,3
8	15,75	1,1	0,81	75,0	11,0	0,87	87,5	7,5	8	2,8
9	15,75	1,5	0,83	78,0	15,0	0,89	90,0	7,0	9	3,0
10	15,75	2,2	0,83	81,0	22,0	0,87	90,5	7,0	10	3,3
11	23,25	0,55	0,7	70,5	5,5	0,86	85,5	7,0	1	0,3
12	23,25	0,75	0,76	73,0	7,5	0,86	87,5	7,5	2	0,7
13	23,25	1,1	0,81	75,0	11,0	0,87	87,5	7,5	3	1,0
14	23,25	1,5	0,83	78,0	15,0	0,89	90,0	7,0	4	1,3
15	23,25	2,2	0,83	81,0	22,0	0,87	90,5	7,0	5	1,7
16	46,5	1,1	0,81	75,0	11,0	0,87	87,5	7,5	6	2,0
17	46,5	1,5	0,83	78,0	15,0	0,89	90,0	7,0	7	2,3
18	46,5	2,2	0,83	81,0	22,0	0,87	90,5	7,0	8	2,8

Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
19	46,5	3,0	0,83	82,0	30,0	0,87	92,0	7,0	9	3,0
20	46,5	4,0	0,84	85,0	37,0	0,89	92,5	7,5	10	3,3
21	69,0	1,1	0,81	75,0	11,0	0,87	87,5	7,0	1	0,3
22	69,0	1,5	0,83	78,0	15,0	0,89	90,0	7,0	2	0,7
23	69,0	2,2	0,83	81,0	22,0	0,87	90,5	7,0	3	1,0
24	69,0	3,0	0,83	82,0	30,0	0,87	92,0	7,0	4	1,3
25	69,0	4,0	0,84	85,0	37,0	0,89	92,5	7,5	5	1,7
26	94,0	1,1	0,81	75,0	11,0	0,87	87,5	7,0	6	2,0
27	94,0	1,5	0,83	78,0	15,0	0,89	90,0	7,0	7	2,5
28	94,0	2,2	0,83	81,0	22,0	0,87	90,5	7,0	8	2,8
29	94,0	3,0	0,83	82,0	30,0	0,87	92,5	7,5	9	3,0
30	94,0	4,0	0,84	85,0	37,0	0,89	92,5	7,5	10	3,3

Примечания:

1. Для электродвигателя M1 коэффициент загрузки равен 0,8; для электродвигателя M2 – 1,0.

2. Электродвигатель M2 при мощности до 11 кВт включается в сеть напрямую, при мощности 11 кВт и более включается путем переключения схемы Y/Δ.

Таблица 2.2 – Данные к расчету времени пуска электродвигателя

Вариант	Электродвигатель					Рабочая машина		Приведенный момент инерции электропривода $J_{пр}$, кг·м ²
	$P_{н.дв.2}$, кВт	Скольжение $S_{н.о.е.}$	Кратности моментов, о.е.			Кратность моментов сопротивления, о.е.		
			$\mu_{пуск}$	μ_{max}	μ_{min}	начального $\mu_{с.о.}$	номинального $\mu_{с.н.}$	
1	5,5	4,5	2	2,5	1,6	0,02	0,8	0,17
2	7,5	4,0	2	2,5	1,6	0,03	0,8	0,28
3	11	3,5	2	2,7	1,6	0,04	0,8	0,4
4	15	3,0	1,9	2,9	1,8	0,05	0,8	0,78
5	22	2,5	1,7	2,4	1,5	0,06	0,8	1,5
6	5,5	4,5	2	2,5	1,6	0,07	0,8	0,13
7	7,5	4,0	2	2,5	1,6	0,08	0,8	0,2
8	11	3,5	2	2,7	1,6	0,09	0,8	0,3
9	15	3,0	1,9	2,9	1,8	0,1	0,8	0,61
10	22	2,5	1,7	2,4	1,5	0,11	0,8	1,1
11	5,5	4,5	2	2,5	1,6	0,12	0,8	0,1
12	7,5	4,0	2	2,5	1,6	0,13	0,8	0,23
13	11	3,5	2	2,7	1,6	0,14	0,8	0,23
14	15	3,0	1,9	2,9	1,8	0,15	0,8	0,68
15	22	2,5	1,7	2,4	1,5	0,16	0,8	1,3
16	11	3,5	2	2,7	1,6	0,02	0,9	0,25
17	15	3,0	1,9	2,9	1,8	0,03	0,9	0,55
18	22	2,5	1,7	2,4	1,5	0,04	0,9	0,9
19	30	2,0	1,7	2,7	1,5	0,05	0,9	1,9
20	37	2,0	1,7	2,7	1,6	0,06	0,9	2,8
21	11	3,5	2	2,7	1,6	0,07	0,9	0,12
22	15	3,0	1,9	2,9	1,8	0,08	0,9	0,28
23	22	2,5	1,7	2,4	1,5	0,09	0,9	0,45
24	30	2,0	1,7	2,7	1,5	0,10	0,9	0,95
25	37	2,0	1,7	2,7	1,6	0,11	0,9	1,4
26	11	3,5	2	2,7	1,6	0,12	0,9	0,17
27	15	3,0	1,9	2,9	1,5	0,13	0,9	0,33
28	22	2,5	1,7	2,4	1,5	0,14	0,9	0,63
29	30	2,0	1,7	2,7	1,5	0,15	0,9	1,4
30	37	2,0	1,7	2,7	1,6	0,16	0,9	2,0

Примечание: Угловая синхронная скорость электродвигателя $\omega_0 = 157$ рад/с.

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_{н.1}} ; \quad (2.4)$$

$$\sin \varphi_{н.1} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{н.1}} ; \quad (2.5)$$

$$Q_2 = S_2 \sin \varphi_{н.1} . \quad (2.6)$$

Полная мощность потребителей N1 и N2 (СФОЦ)

$$S_{расч.1,2} = \sqrt{(P_1 + P_2)^2 + (Q_1 + Q_2)^2} . \quad (2.7)$$

Ток в кабеле трехфазной сети (при включении СФОЦ)

$$I_{1,2} = \frac{S_{расч.1,2}}{\sqrt{3}U_H} . \quad (2.8)$$

4. Определите пусковой ток электродвигателя M2:

– при прямом включении в сеть

$$I_{пуск.дв.2} = I_{н.дв.2} k_i ; \quad (2.9)$$

– при включении в сеть с переключением обмоток Y/Δ

$$I_{пуск.дв.2} = \frac{1}{3} I_{н.дв.2} k_i , \quad (2.10)$$

где k_i – кратность пускового тока;

$$I_{н.дв.2} = \frac{P_{н.дв.2}}{\sqrt{3}U_H \eta_{н2} \cos \varphi_{н2}} . \quad (2.11)$$

5. Определите время пуска электродвигателя M2 [1]:

– при прямом включении в сеть

$$t_n \approx \frac{J_{пр} \omega_H}{0,33 M_H (\mu_n + \mu_{min} + \mu_{кр}) - 0,33 M_H (\mu_{с.о} + \mu_{с.н})} ; \quad (2.12)$$

– при включении в сеть с переключением обмоток Y/Δ

$$t_n \approx \frac{J_{пр} \omega_H}{0,11 M_H (\mu_n + \mu_{min} + \mu_{кр}) - 0,11 M_H (\mu_{с.о} + \mu_{с.н})} , \quad (2.13)$$

где $J_{пр}$ – приведенный момент инерции электропривода, кг·м²;
 ω_n – номинальная угловая скорость ротора электродвигателя, рад/с;
 M_n – номинальный момент электродвигателя, Н·м;
 $\mu_n, \mu_{min}, \mu_{кр}, \mu_{со}, \mu_{с.н}$ – кратность моментов двигателя
и рабочей машины, о.е. (таблица 2.2).

$$\omega_n = \omega_0(1 - S_n), \quad (2.14)$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}. \quad (2.15)$$

6. Определить расчетную мощность линии после включения всех потребителей:

$$S_{расч.1,2,3} = \sqrt{(P_1 + P_2 + P_3)^2 + (Q_1 + Q_2 + Q_3)^2}, \quad (2.16)$$

где $P_3 = \frac{P_{н.дв.2}}{\eta_{н.2}}$. (2.17)

$$\sin \varphi_{н.2} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{н.2}}; \quad (2.18)$$

$$S_3 = \frac{P_3}{\cos \varphi_{н.2}}; \quad (2.19)$$

$$Q_3 = S_3 \sin \varphi_{н.2}. \quad (2.20)$$

7. Определить ток в кабеле трехфазной сети после включения всех потребителей:

$$I_{1,2,3} = \frac{S_{расч.1,2,3}}{\sqrt{3}U_n}. \quad (2.21)$$

Строим в масштабе фрагмент нагрузочной диаграммы токов на участке пуска двигателя М2. Примерный вид диаграммы изображен на рисунке 2.2.

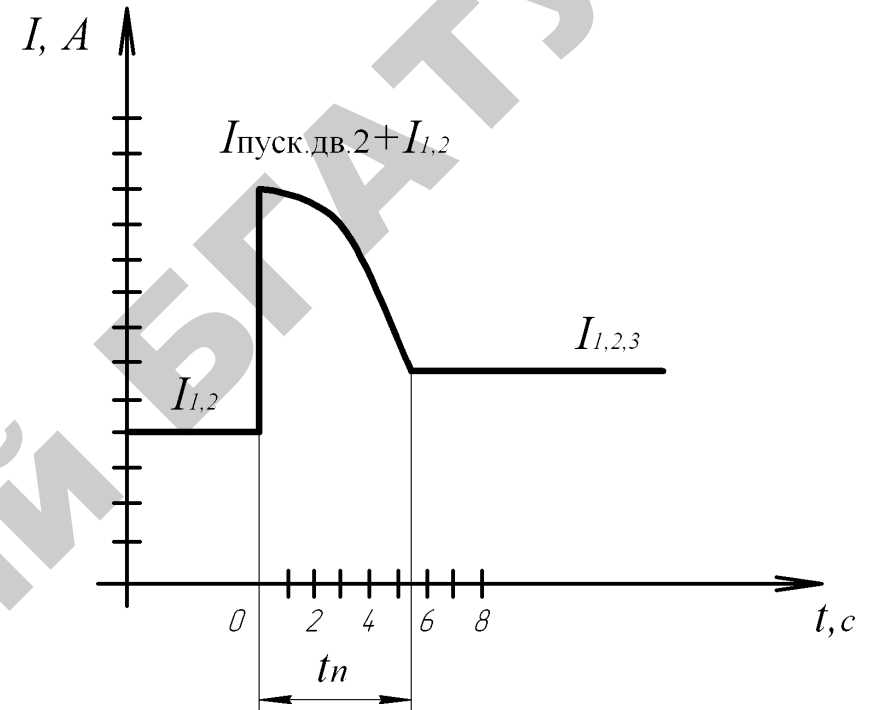


Рисунок 2.2. Фрагмент нагрузочной диаграммы на участке пуска

8. Определить номинальный ток плавкой вставки предохранителя, расположенного в РП:

$$I_{пл.вст.} \geq \frac{I_{1,2} + I_{пуск.дв.2}}{\alpha}, \quad (2.22)$$

где α – коэффициент.

$$\alpha = 0,5k_{iграф},$$

где $k_{iграф}$ определяется по рисунку 2.3 в зависимости от времени пуска.

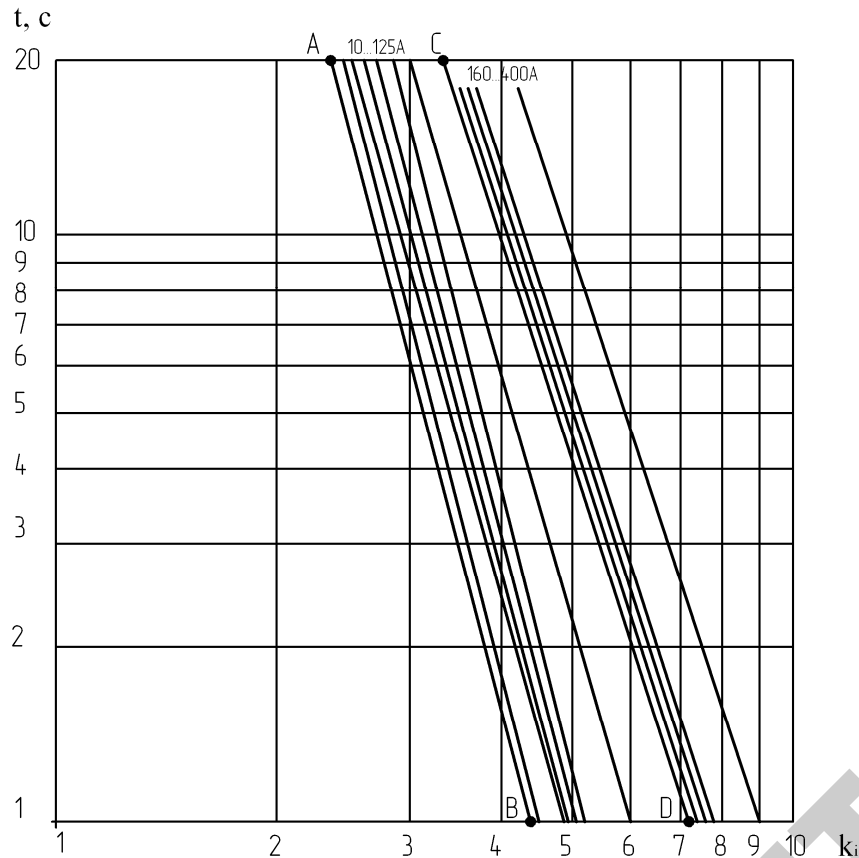


Рисунок 2.3. Зависимость времени срабатывания предохранителей серии ППНИ от кратности тока перегрузки плавкой вставки

8. Выбрать тип предохранителя, записать его условное обозначение.

Таблица 2.3 – Технические характеристики предохранителей ППНИ

Технические характеристики	Значения	
	1	2
Номинальный ток	100; 160; 250; 400; 630 А	
Типоразмеры	00; 0; 1; 2; 3	

1	2
Номинальный ток плавкой вставки	2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 355; 400; 500; 630 А
Номинальное напряжение	400; 500; 600 В
Номинальная частота	50 Гц
Классификационная группа	gG*
Номинальная отключающая способность	50 кА при 660 В, 120 кА при 500 В
Диапазон рабочих температур	от –45 °С до +60 °С
Степень защиты	IP00
Рабочее положение	вертикальное и горизонтальное
Указатель срабатывания (индикатор)	выдвижной шток (боек)
Материал контактов	медь с гальваническим покрытием сплавом олово-висмут
Стандарты	ГОСТ Р 50339, МЭК 60269
* g – защита с отключающей способностью во всем диапазоне от перегрузки и короткого замыкания; G – предохранители общего применения.	

10. Определите по время-токовой характеристике время срабатывания предохранителя от действия пускового тока электродвигателя (см. рисунок 2.4) с горячего и холодного состояний. Убедитесь, что $t_{ср} > t_{пуска}$.

11. Проверьте выбранный предохранитель на отключающую способность:

$$I_{пред.откл} > I_{КЗ}^{(3)} \quad (2.23)$$

12. Проверьте выбранный предохранитель на чувствительность к однофазному току КЗ:

$$I_{пл.вст} < \frac{I_{КЗ}^{(1)}}{3} \quad (2.24)$$

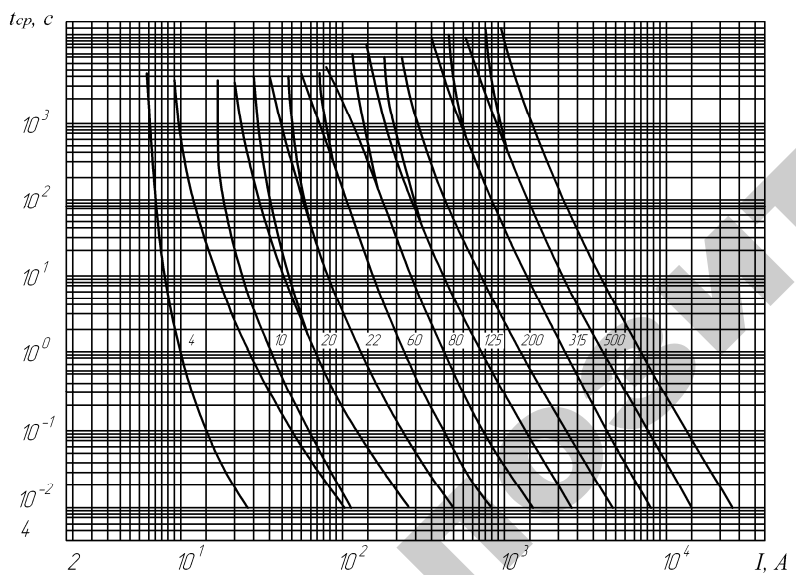
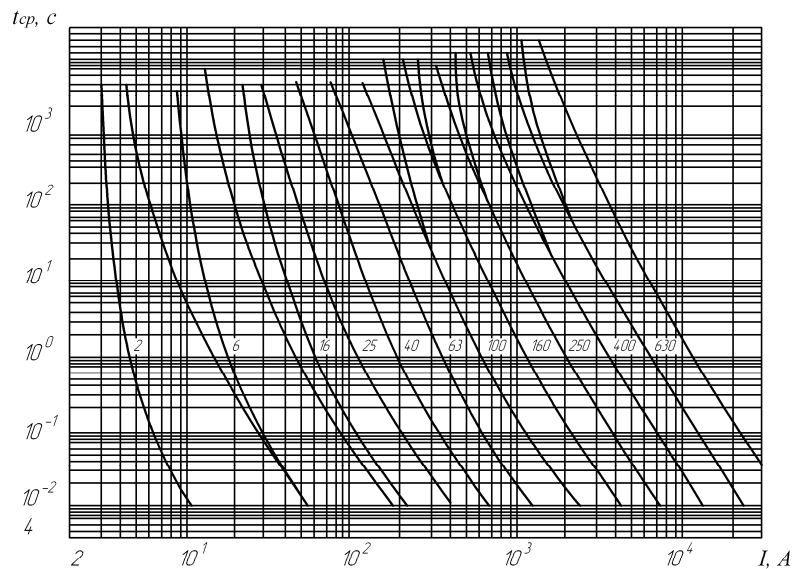


Рисунок 2.4. Время-токовые характеристики предохранителей ПНИ

13. Проверьте токоограничивающее действие предохранителя с выбранной плавкой вставкой. Установите пропускаемый предохранителем ток ($I_{пр.}$) при трехфазном КЗ, используя рисунок 2.5.

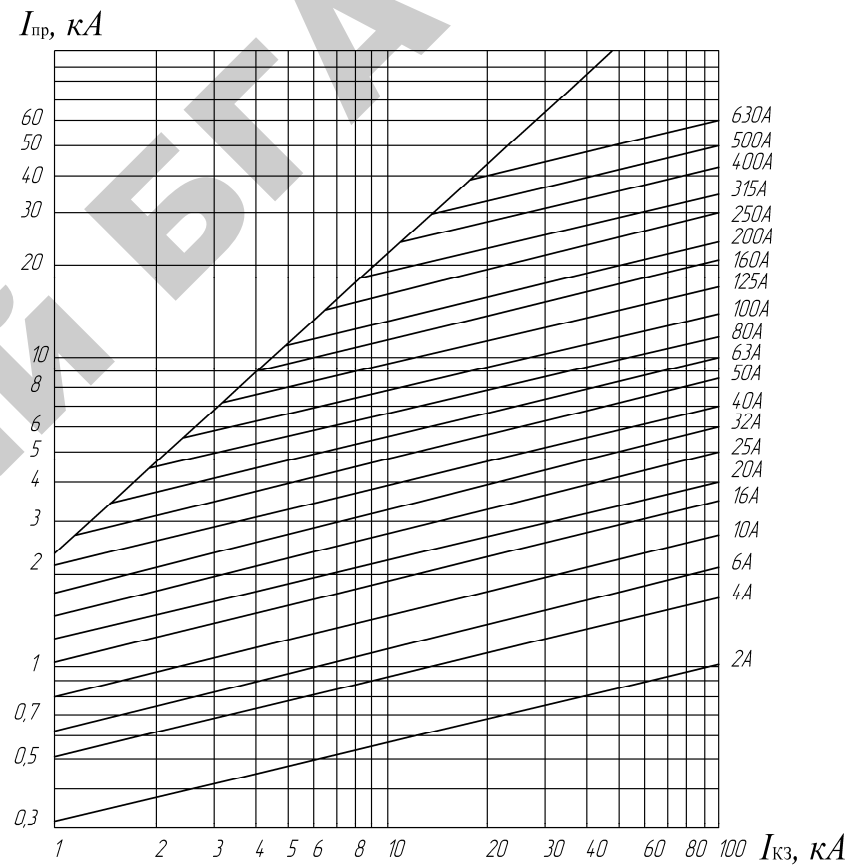


Рисунок 2.5. Характеристики токоограничения предохранителей ПНИ

Таблица 2.4 – Результаты расчетов

Вариант	$S_{1,2}$, кВА	$I_{1,2}$, А	$J_{н.дв.2}$, А	$t_{п}$, с	$S_{р.1,2,3}$, кВА	$I_{1,2,3}$, А	$I_{плавст}$, А	α	$t_{ср.горяч}$, с	$I_{пр}$, кА

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Ответы на контрольные вопросы самоподготовки.
4. Задача занятия.
5. Решение задачи и результаты расчетов (таблица 2.4).

Контрольные вопросы

1. По каким параметрам выбирается плавкий предохранитель?
2. По каким параметрам проверяется плавкий предохранитель?
3. По какой формуле вычисляется ток плавкой вставки для защиты нагревателя от токов КЗ?
4. По какой формуле вычисляется ток плавкой вставки для защиты цепей электродвигателя от токов КЗ?
5. По какой формуле вычисляется ток плавкой вставки для защиты цепей управления с электромагнитными пускателями от токов КЗ?
6. Объясните токоограничение плавких предохранителей.

Практическое занятие № 3

ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ОТ СВЕРХТОКА

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

Автоматические выключатели широко применяются во ВРУ, РП, шкафах и НКУ. Выбор автоматических выключателей является распространенной задачей на производстве. Особенно актуален выбор модульных автоматических выключателей.

Цель занятия

Освоить методику выбора автоматических выключателей для защиты от сверхтоков цепей комплексной нагрузки и электродвигателей.

Задача занятия

Выбрать автоматический выключатель, расположенный в распределительном пункте, для защиты от сверхтока кабеля, питающего НКУ. От НКУ получают питание электрическая калориферная установка СФОЦ, имеющая вентилятор М1. От НКУ получает питание также электродвигатель вентилятора М2.

Сначала включается электрический калорифер, а потом вентилятор М 2. Ожидаемая температура окружающей среды +40 °С.

Выбрать также автоматические выключатели для защиты кабеля электронагревателя, кабеля питания электродвигателя калорифера и кабеля, питающего электродвигатель вентилятора М2.

Принципиальная электрическая схема линии показана на рисунке 3.1. Технические данные электрооборудования приведены в таблице 3.1. Номинальное напряжение сети 380 В.

Требования к исходному уровню знаний

Студенты должны знать закон Ома для переменного тока, треугольник мощностей; назначение и устройство автоматических выключателей и их параметры.

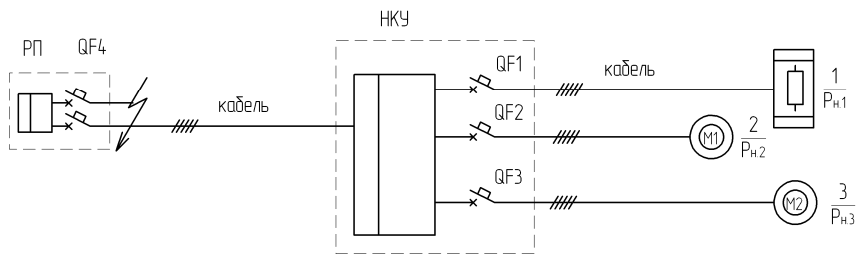


Рисунок 3.1. Принципиальная электрическая схема питания электрооборудования

Контрольные вопросы самоподготовки

1. Какие автоматические выключатели называются модульными?
2. Как устроен электромагнитный расцепитель максимального тока?
3. Какие дополнительные расцепители встречаются в автоматических выключателях?
4. Как устроен тепловой расцепитель автоматического выключателя?
5. Какие классы электромагнитных расцепителей Вы знаете?
6. Назначение автоматических выключателей различного класса.

Методические указания

1. Зарисуйте принципиальную электрическую схему (рисунок 3.1).
2. Выпишите исходные данные по своему варианту из таблицы 3.1.
3. Выберите автоматический выключатель модульного типа для цепей нагрузки № 3. Для этого выберите число полюсов и определите номинальный ток расцепителя:

$$I_{н,расц3} = \frac{I_{н3}}{K_N K_t}, \quad (3.1)$$

где I_n – номинальный ток электродвигателя, А;
 K_N и K_t – коэффициенты (см. рисунки 3.2. и 3.3).

$$I_{н3} = \frac{P_{н3}}{\sqrt{3} U_n \cdot \cos \varphi_{н3} \cdot \eta_{н3}}. \quad (3.2)$$

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчетов

Вариант	Электрические приемники								$I_{КЗ}^{(3)}$, кА	$I_{КЗ}^{(1)}$, кА
	N1	N2			N3			K_t		
	$P_{н.1}$, кВт	$P_{н.2}$, кВт	$\cos \varphi_{н2}$, о.е.	$\eta_{н2}$, %	$P_{н.3}$, кВт	$\cos \varphi_{н3}$, о.е.	$\eta_{н3}$, %			
1	9,85	0,55	0,70	70,5	5,5	0,86	85,5	7,0	1,0	0,3
2	9,85	0,75	0,76	73,0	7,5	0,86	87,5	7,5	2	0,7
3	9,85	1,1	0,81	75	11	0,87	87,5	7,5	3	1,0
4	9,85	1,5	0,83	78	15	0,89	90	7	4	1,3
5	9,85	2,2	0,83	81	22	0,87	90,5	7	4	1,3
6	4,95	0,12	0,66	63	1,1	0,81	75	5	1	0,3
7	4,95	0,18	0,64	64	1,5	0,83	77	5	2	0,7
8	4,95	0,25	0,65	68	2,2	0,83	80	6	3	1,0
9	4,95	0,37	0,69	68	3,0	0,83	82	6	4	1,3
10	4,95	0,55	0,7	70,5	4,0	0,84	84	6	4	1,3
11	12,8	0,75	0,73	72	5,5	0,85	85,5	6	1	0,3
12	12,8	1,1	0,81	75	7,5	0,86	87,5	7,5	2	0,7
13	12,8	1,5	0,83	77	11,0	0,87	87,5	7,5	3	1,0
14	12,8	2,2	0,83	80	15,0	0,88	88,5	7,0	4	1,3
15	12,8	3,0	0,83	82	18,5	0,88	89,5	7,0	4	1,3
16	1,9	0,06	0,6	50	0,55	0,7	70,5	4,5	1	0,3
17	1,9	0,09	0,6	55	0,75	0,73	72	4,5	2	0,7
18	1,9	0,12	0,66	63	1,1	0,81	75	5,0	3	1,0
19	1,9	0,18	0,64	64	1,5	0,83	77	5,0	4	1,3
20	1,9	0,25	0,65	68	2,2	0,83	80	6,0	4	1,3
21	2,4	0,09	0,6	55	1,1	0,81	75	5	1	0,3
22	2,4	0,12	0,66	63	1,5	0,83	77	5	2	0,7
23	2,4	0,18	0,64	64	2,2	0,83	80	5	3	1,0
24	2,4	0,25	0,65	68	3,0	0,83	82	6	4	1,3
25	2,4	0,37	0,69	68	4,0	0,84	84	6	4	1,3
26	3,0	0,12	0,66	63	5,5	0,85	85,5	6	1	0,3
27	3,0	0,18	0,64	64	7,5	0,86	87,5	7,5	2	0,7
28	3,0	0,25	0,65	68	11,0	0,87	87,5	7,5	3	1,0
29	3,0	0,37	0,69	68	15,0	0,88	88,5	7,0	4	1,3
30	3,0	0,55	0,73	72	18,5	0,88	89,5	7,0	4	1,3

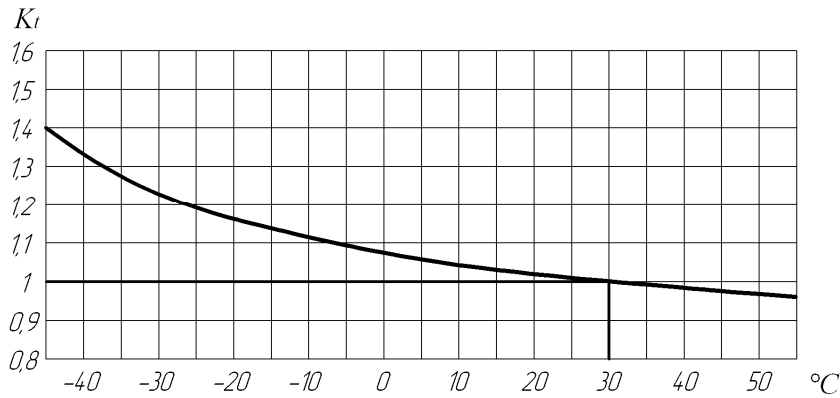


Рисунок 3.2. Нагрузочная способность при изменении температуры окружающей среды для ВА47-29 (контрольная температура калибровки тепловых расцепителей 30 °С)

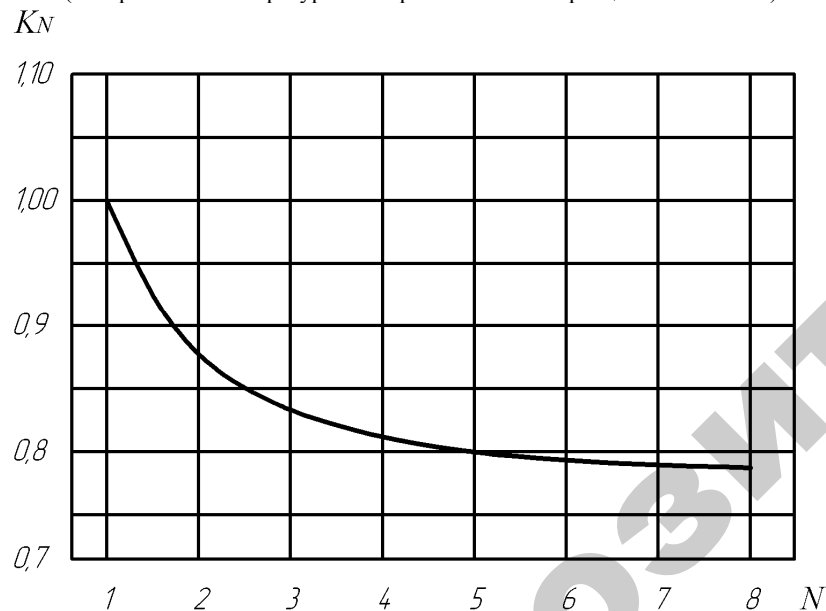


Рисунок 3.3. Нагрузочная способность для параллельно размещенных автоматических выключателей для ВА47-29

Выберите класс электромагнитного расцепителя и запишите тип его по условному обозначению.

5. Выберите автоматический выключатель модульного типа для цепей нагрузки № 2.

Сначала определите тип расцепителя, потом число полюсов, затем класс электромагнитного расцепителя. После этого определите номинальный ток расцепителя по (3.1), подставляя вместо $I_{н3}$ значение $I_{н2}$, которое определяют по формуле, аналогичной (3.2).

6. Выберите автоматический выключатель модульного типа для цепей нагрузки № 1. Обратите внимание, что электрический нагреватель не имеет пусковых токов, поэтому для него можно использовать класс расцепителя С или даже В.

$$I_{н1} = \frac{P_{н1}}{\sqrt{3}U_{н}}. \quad (3.3)$$

7. Выберем автоматический выключатель, установленный в РП, для защиты кабеля. Все три потребителя работают одновременно.

Сначала найдем полную мощность линии:

$$S_{общ} = \sqrt{(P_1 + P_2 + P_3)^2 + (Q_1 + Q_2 + Q_3)^2}. \quad (3.4)$$

Для потребителя № 1:

$$P_1 = P_{н1}; \quad Q_1 = 0. \quad (3.5)$$

Для потребителя № 2:

$$P_2 = \frac{P_{н2}}{\eta_{н2}}; \quad S_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_{н2}}; \quad \sin \varphi_{н2} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{н2}}; \quad Q_2 = S_2 \sin \varphi_{н2}. \quad (3.6)$$

Для потребителя № 3:

$$P_3 = \frac{P_{н3}}{\eta_{н3}}; \quad S_3 = \frac{P_3}{\cos \varphi_{н3}}; \quad \sin \varphi_{н3} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{н3}}; \quad Q_3 = S_3 \sin \varphi_{н3}, \quad (3.7)$$

Ток линии:
$$I_{общ} = \frac{S_{общ}}{\sqrt{3}U_{н}}. \quad (3.8)$$

Сначала выбирают автоматический выключатель по типу, потом – по числу полюсов. Далее выбирают автоматический выключатель

по классу расцепителя (кл. D) и по номинальному току расцепителя (формула (3.1)), где вместо $I_{н3}$ подставляют $I_{общ}$.

Записать условное обозначение выбранного типа автоматического выключателя.

Проверка автоматического выключателя QF4

1. Проверка на несрабатывание от пускового тока наибольшего АД:

$$I_{н.расц.30\text{ }^{\circ}\text{C}} K_{эм.мин} \geq K_{отс} I_{н.дв} k_i, \quad (3.9)$$

где $K_{эм.мин}$ – минимальная кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя выбранного класса. Например, при выборе расцепителя класса D $K_{эм.мин} = 10$;

$K_{отс}$ – коэффициент надежности отстройки от пускового тока, зависящий от уровня напряжения в точке подключения относительно номинального напряжения, от наличия апериодической составляющей в пусковом токе, от возможного разброса тока срабатывания расцепителя. Рекомендуется применять для модульных выключателей $K_{отс} = 1,25 \dots 1,45$, где 1,25 относится к внутренним сетям предприятий, а 1,45 – к подключению автоматических выключателей на вводе в здание;

$I_{н.дв}$ – номинальный ток двигателя, А;

k_i – кратность пускового тока.

2. По условию надежного отключения наибольшего тока КЗ:

$$I_{пр.откл} > I_{КЗ}^{(3)}, \quad (3.10)$$

где $I_{пр.откл}$ – предельный допустимый ток КЗ, отключаемый автоматическим выключателем без повреждения, кА, указывается в технических данных;

$I_{КЗ}^{(3)}$ – ожидаемый ток трехфазного КЗ, кА.

3. По чувствительности к однофазному току КЗ:

$$\frac{I_{КЗ}^{(1)}}{I_{н.расц.30\text{ }^{\circ}\text{C}} K_{эм.мах}} \geq 1,45, \quad (3.11)$$

где $I_{КЗ}^{(1)}$ – ожидаемый ток однофазного КЗ, кА;

$K_{эм.мах}$ – максимальная кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя выбранного класса. Например, для класса D

$K_{эм.мах}$ равна 14 или 20 (см. конкретные характеристики автоматических выключателей).

Результаты расчетов записать в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчетов

Вариант	$I_{н.расц3}, \text{ A}$	$I_{н.расц2}, \text{ A}$	$I_{н.расц1}, \text{ A}$	$I_{н.расц.общ}, \text{ A}$	$I_{пр.откл}, \text{ A}$	Типоразмер
						QF1-BA47-29...
						QF2-BA47-29...
						QF3-BA47-29...
						QF4-BA47-29...

Таблица 3.3 – Технические характеристики ВА47-29

Технические характеристики	Значения
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 50345–99, ТУ 2000 АГИЕ.641235.003
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400
Номинальный ток, А	0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
Номинальная отключающая способность, А	4 500
Напряжение постоянного тока, В/полус	48
Характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя	B, C, D
Число полюсов	1, 2, 3, 4
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP 20
Электрическая износостойкость, циклов В-О, не менее	6 000
Механическая износостойкость, циклов В-О, не менее	20 000
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм ²	25
Наличие драгоценных металлов (серебро), г/полус	0,3–0,5
Масса 1 полюса, кг	0,1
Диапазон рабочих температур, °С	–40...+50

Таблица 3.4 – Технические характеристики автоматического выключателя ВА47-100

Технические характеристики	Значения
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 50345–99, ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400
Номинальный ток I_n , А	10; 16; 25; 32; 35; 40; 50; 63; 80; 100
Номинальная отключающая способность, А	10 000
Напряжение постоянного тока, В/полюс	60
Характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя	C, D
Число полюсов	1, 2, 3, 4
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP 20
Электрическая износостойкость, циклов В-О, не менее	6 000
Механическая износостойкость, циклов В-О, не менее	20 000
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм ²	35

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Ответы на контрольные вопросы самоподготовки.
4. Задача занятия.
5. Решение задачи и результаты расчетов (таблица 3.2).

Контрольные вопросы

1. По каким параметрам выбирают автоматические выключатели?
2. По каким параметрам проверяют автоматические выключатели?
3. Какие основные типы расцепителей используются в автоматических выключателях?
4. Какую особенность выбора имеют модульные автоматические выключатели?

Практическое занятие № 4

ВЫБОР УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

В практической работе инженеров-электриков актуальным вопросом является выбор УЗО для различных условий применения.

Цель занятия

Освоить методику выбора УЗО для различных условий применения.

Задача занятия

Выбрать УЗО для установки в низковольтном комплектном устройстве, которое предназначено для электроснабжения коттеджа. Схема электроснабжения коттеджа представлена на рисунке 4.1. Расчетная мощность потребителей указана в таблице 4.1. Расчетный ток КЗ на вводе $I_{КЗ}^{(1)} = 2,4$ кА.

Требования к исходному уровню знаний

Студенты должны знать, чему равна сумма токов в трехфазной сети, закон электромагнитной индукции, системы заземлений трехфазных сетей: TN–S; TN–C; TN–C–S; TI; TT.

Контрольные вопросы самоподготовки

1. Чему равна сумма токов симметричной трехфазной сети?
2. То же, в несимметричной трехфазной сети.
3. Нарисуйте схему подключения трехфазного потребителя в системе TN–S с использованием УЗО.
4. То же, однофазного потребителя.

Таблица 4.1 – Исходные данные

Вариант	Исходные данные для потребителей												
	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4	№ 5				№ 6	
	S_{1p} , кВА	L_1 , м	S_{2p} , кВА	L_2 , м	P_{3p} , кВт	L_3 , м	S_{4p} , кВА	P_{5p} , кВт	L_5 , м	$\cos\varphi_H$, о.е.	η_H , %	S_{6p} , кВА	L_6 , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,22	20	3,4	11	1,0	10	0,5	0,09	20	0,7	60	0,6	15
2	0,33	22	3,3	12	1,1	11	0,6	0,12	21	0,7	63	0,7	16
3	0,45	24	3,2	13	1,2	12	0,7	0,18	22	0,76	66	0,8	17
4	0,60	26	3,1	14	1,3	13	0,8	0,25	23	0,77	68	0,9	18
5	0,70	28	3,0	15	1,4	14	0,9	0,37	24	0,86	70	1,0	19
6	0,80	30	2,9	16	1,5	15	1,0	0,55	25	0,86	73	1,1	20
7	0,9	32	2,8	17	1,6	16	1,1	0,75	26	0,87	77	1,2	21
8	1,0	34	2,7	18	1,7	17	1,2	1,1	27	0,87	77,5	1,3	22
9	1,1	36	2,6	19	1,8	18	1,3	1,5	28	0,85	81,0	1,4	23
10	0,2	38	2,5	20	1,9	19	1,4	2,2	29	0,87	83	1,5	24
11	0,4	36	2,4	10	2,0	20	1,5	3,0	10	0,88	84,5	1,6	25
12	0,6	34	2,3	11	2,1	10	1,6	4,0	11	0,89	86,5	1,7	26
13	0,7	32	2,2	12	2,2	11	1,7	5,5	12	0,91	87,5	1,8	27
14	0,8	30	2,1	13	2,3	12	1,8	0,06	13	0,60	50	1,9	28
15	0,9	28	2,0	14	2,4	13	1,9	0,09	14	0,60	55	2,0	29
16	1,0	26	1,9	15	2,5	14	1,8	0,12	15	0,66	63	2,1	28
17	1,1	24	1,8	16	2,6	15	0,5	0,18	16	0,64	64	2,2	27

47

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
18	0,2	22	1,7	17	2,5	16	0,6	0,25	17	0,65	68	2,3	26
19	0,3	20	1,6	18	2,4	17	0,7	0,37	18	0,69	68	2,4	25
20	0,4	22	1,5	19	2,3	18	0,8	0,55	19	0,70	70,5	2,5	24
21	0,5	24	1,4	20	2,2	19	0,9	0,75	20	0,73	72	2,6	23
22	0,6	26	1,3	21	2,1	20	1,0	1,1	21	0,81	75	2,7	22
23	0,7	28	1,2	20	2,0	21	1,1	1,5	20	0,83	77	2,8	21
24	0,8	30	1,1	19	1,9	20	1,2	2,2	19	0,83	80	2,9	20
25	0,9	32	1,0	18	1,8	19	1,3	3,0	18	0,83	82	3,0	19
26	1,0	34	0,9	17	1,7	18	1,4	4,0	17	0,84	84	2,9	18
27	1,1	36	0,8	16	1,6	17	1,5	5,5	16	0,85	85,5	2,8	17
28	0,9	38	0,7	15	1,5	16	1,6	4,0	15	0,81	82	2,7	16
29	0,8	40	0,6	14	1,4	15	1,7	3,0	14	0,76	81	2,6	15
30	0,6	42	0,5	17	1,3	14	1,8	2,2	13	0,73	81	2,5	14

48

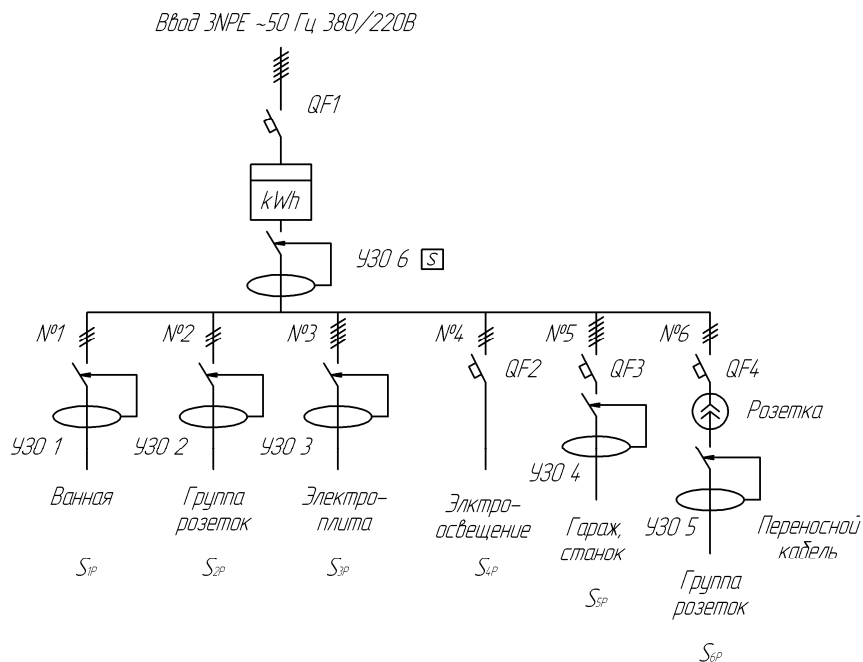


Рисунок 4.1. Схема электроснабжения коттеджа

Программа занятия

1. Выберите УЗО 1 и определите его параметры.
2. Выберите УЗО 2 и запишите его параметры.
3. То же, УЗО 3.
4. То же, УЗО 4.
5. То же, УЗО 5.
6. Выберите УЗО 6 на вводе здания.

Методические указания к занятию

1. Для решения задачи пользуются материалом, изложенным в главах 2 [3] и 5 [4].

Рассчитайте ток цепи № 1 (УЗО 1):

$$I_1 = \frac{S_{1p}}{U_n} \quad (4.1)$$

Поскольку в цепи № 1 не предусмотрен автоматический выключатель, то выбирать надо УЗО, совмещенное с автоматическим выключателем. При выборе типа УЗО обратите внимание на ожидаемую форму тока утечки. В цепи № 1 может быть подключена стиральная машина (однофазный конденсаторный двигатель со встроенным преобразователем). Следовательно, нужно УЗО с характеристикой А.

Таблица 4.2 – Ассортимент УЗО типа ВД1-63

Технические характеристики	Значения
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 51326.1-99, ТУ 3421-033-18461115-0
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400
Номинальный ток, А	16, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100
Номинальный отключающий дифференциальный ток, мА	10, 30, 100, 300
Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания, А	3 000
Рабочая характеристика при наличии дифференциального тока	АС
Время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	< 40
Число полюсов	2, 4
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP 20
Износостойкость, циклов В-О, не менее	10 000
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм ²	35
Наличие драгоценных металлов (серебро), г/полюс	0,6±2,0
Масса (2/4-полюсные), кг	0,2/0,4
Диапазон рабочих температур, °С	-25 ÷ +40

Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, встроенного в УЗО, А:

$$I_{н.р} \geq I_1 \quad (4.2)$$

Номинальный отключаемый дифференциальный ток утечки, мА:

$$I_{н.д} \geq 3(0,4I_1 + 0,04L_1). \quad (4.3)$$

2. Поскольку в розетку могут быть включены телевизор и другая бытовая техника, то ожидается синусоидальный и выпрямленный пульсирующий токи. Следовательно, надо выбирать УЗО 2 с характеристикой А. Отсутствие автоматического выключателя в цепи № 2 требует применения УЗО, совмещенного с автоматическим выключателем.

Ток в цепи № 2 и номинальные токи УЗО выбирайте по уравнениям (4.1)–(4.3), подставляя в них S_{p2} , L_2 вместо S_{p1} , L_1 соответственно.

Таблица 4.3 – Технические характеристики АД12 и АД14

Технические характеристики	Значения
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 51327.1–99, ТУ 99 АГИЕ.641243.039
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400
Номинальный ток I_n , А	6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta O}$, мА	10, 30, 100, 300
Номинальная отключающая способность, А	4 500
Рабочая характеристика при наличии дифференциального тока	АС
Время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	≤ 40
Число полюсов	2, 4
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP 20
Износостойкость, циклов В-О, не менее	10 000
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм ²	вход – 25; выход – 16/25*
Наличие драгоценных металлов (серебро), г/полюс	0,6÷2,0
Масса (2/4-полюсные), кг	0,25/0,45
Диапазон рабочих температур, °С	–25 ÷ +40

* Размер для аппаратов от 40 А

3. Электроплита обеспечивает синусоидальный ток утечки, поэтому следует выбирать УЗО 3 с характеристикой АС. Обратите внимание на требуемое число полюсов УЗО. Другие параметры УЗО необходимо рассчитывать по уравнениям, аналогичным (4.1) – (4.3).

4. В станке используется асинхронный трехфазный электродвигатель. Он обеспечивает синусоидальный ток утечки.

Найдите номинальный ток электродвигателя, выберите автоматический выключатель QF3 (см. практическое занятие «Выбор автоматических выключателей для защиты электрических цепей от сверхтока») и типоразмер УЗО 4, пользуясь уравнениями, аналогичными (4.2) – (4.3).

Таблица 4.4 – Технические характеристики АВДТ32

Технические характеристики	Значения
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 51327.1–99, ТУ АГИЕ. 641243.039
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230
Номинальный ток I_n , А	6, 10, 16, 20, 25, 32
Характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя	С
Число полюсов	1 + N
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$, мА	30
Рабочая характеристика при наличии дифференциального тока	А
Время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	≤ 40
Износостойкость, циклов В-О, не менее	10 000
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP 20
Наличие драгоценных металлов, г/полюс	0,85
Максимальное сечение присоединяемых проводников, мм ²	25
Масса, кг	0,19
Мощность рассеивания, Вт, не более	6,5
Диапазон рабочих температур, °С	–25 ÷ +40

5. Переносной кабель должен включаться в розетку, поэтому наиболее целесообразно включать его в сеть через вилку с защитным отключением. Определите тип переносного УЗО 5, выберите его дифференциальный ток (вставку). Запишите его типоразмер и основные характеристики.

6. Автоматический выключатель QF1 и УЗО 6 следует выбирать по расчетной мощности. Схема к ее расчету представлена на рисунке 4.2. Однофазные нагрузки заменены эквивалентными трехфазными $P^{(3)} = \frac{S^{(1)}}{3}$, причем принято, что $\cos\varphi$ всех потребителей (кроме электродвигателя станка) приблизительно равны 1.

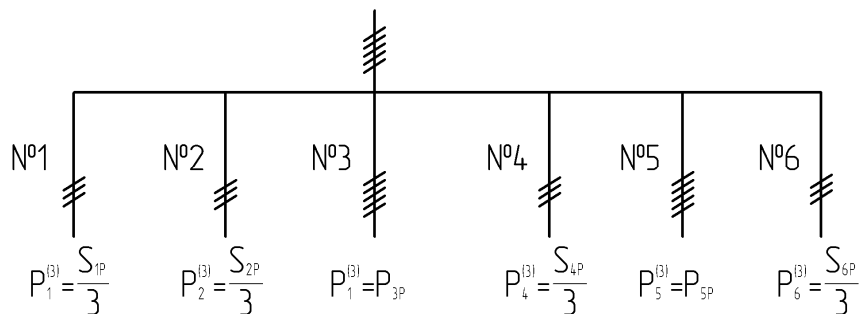


Рисунок 4.2. Расчетная схема сети

Расчетную мощность определим по методу эффективного числа электроприемников, используя формулу:

$$P_{\text{расч}} = K_{\text{max}} K_{\text{исп.ср}} \sum_{i=1}^n P_{\text{уст.}i}^{(3)}, \quad (4.4)$$

где K_{max} – коэффициент максимума нагрузки;
 $K_{\text{исп.ср}}$ – коэффициент использования средневзвешенный.

$$\sum_{i=1}^n P_{\text{уст.}i}^{(3)} = P_1^{(3)} + P_2^{(3)} + P_3^{(3)} + P_4^{(3)} + P_5^{(3)} + P_6^{(3)}. \quad (4.5)$$

Коэффициент использования осветительных установок равен 0,85 [5], нагревателей и розеточных групп – 0,55, электродвигателей станков и специальных машин – 0,22 [5].

Коэффициент использования средневзвешенный определяется по формуле:

$$K_{\text{исп.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i^{(3)} \cdot K_{\text{исп.}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{уст.}i}^{(3)}} = \frac{P_1^{(3)} \cdot 0,22 + P_2^{(3)} \cdot 0,55 + P_3^{(3)} \cdot 0,55 + P_4^{(3)} \cdot 0,85 + P_5^{(3)} \cdot 0,22 + P_6^{(3)} \cdot 0,55}{P_1^{(3)} + P_2^{(3)} + P_3^{(3)} + P_4^{(3)} + P_5^{(3)} + P_6^{(3)}}. \quad (4.6)$$

Коэффициент $K_{\text{max}} = f(n_{\text{эф}})$ и определяется в зависимости от $n_{\text{эф}}$ и $K_{\text{исп.ср}}$ по специальной таблице [5], фрагмент которой изображен в таблице 4.2.

$$n_{\text{эф}} = \frac{P_1^{(3)} + P_2^{(3)} + P_3^{(3)} + P_4^{(3)} + P_5^{(3)} + P_6^{(3)}}{\sqrt{(P_1^{(3)})^2 + (P_2^{(3)})^2 + (P_3^{(3)})^2 + (P_4^{(3)})^2 + (P_5^{(3)})^2 + (P_6^{(3)})^2}}. \quad (4.7)$$

Таблица 4.5 – Значение коэффициента максимума нагрузки K_{max}

Эффективное число электроприемников $n_{\text{эф}}$	Значение коэффициента максимума нагрузки K_{max} при коэффициенте использования $K_{\text{исп.ср}}$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2,00	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10	1,04

При $n_{\text{эф}} < 4$ считать $n_{\text{эф}} = 4$.

Средневзвешенный коэффициент мощности:

$$\cos \varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times \cos \varphi_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

$$= \frac{P_1^{(3)} \cdot 1 + P_2^{(3)} \cdot 1 + P_3^{(3)} \cdot 1 + P_4^{(3)} \cdot 1 + P_5^{(3)} \cdot \cos \varphi_y + P_6^{(3)} \cdot 1}{P_1^{(3)} + P_2^{(3)} + P_3^{(3)} + P_4^{(3)} + P_5^{(3)} + P_6^{(3)}} \cdot (4.8)$$

Полная расчетная мощность:

$$S_{\text{расч}} = P_{\text{расч}} / \cos \varphi_{\text{ср}} \cdot (4.9)$$

Расчетный ток линии:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} \cdot (4.10)$$

По расчетному току выбирают трехфазный автоматический выключатель QF1 и УЗО 6.

Номинальный дифференциальный ток утечки УЗО выбирается на 1 ступень больший, чем наибольший номинальный дифференциальный ток утечки линий № 1–6. Кроме этого, для обеспечения селективности выбирается селективное УЗО (с обозначением \boxed{S}).

Поскольку фирма «ИЭК» селективные УЗО не выпускает, то следует выбрать АСТРО*УЗО, технические данные которого следующие:

$U_{\text{н}} = 220, 380 \text{ В}, 50 \text{ Гц};$

номинальные токи 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125 А;

номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка) 10; 30; 100; 300; 500 мА;

стойкость к короткому замыканию – 10 кА.

Таблица 4.6 – Технические характеристики УЗО-ДПВ16

Технические характеристики	Значения
Номинальное рабочее напряжение	230 В
Номинальная частота сети	50 Гц
Диапазон напряжений работоспособности устройств	115÷265
Номинальный ток	16 А
Номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка)	10, 30 мА
Характеристика функционирования	A
Время отключения	0,03 с
Электрическая износостойкость, циклов В-О, не менее	20 000
Климатическое исполнение и категория размещения	УХЛ4
Степень защиты УЗО-ДПА16, УЗО-ДПА16В, УЗО-ДПВ16	IP20/IP44
Срок службы	5 лет

Содержание отчета

1. Цель занятия.
2. Задача занятия.
3. Ответы на вопросы самоподготовки.
4. Решение задачи.
5. Электрическая схема электроснабжения коттеджа с указанием типов, характеристик (А, или АС, или \boxed{S}) выбранных УЗО и автоматических выключателей.

Контрольные вопросы

1. По каким параметрам выбирается УЗО?
2. Расскажите принцип действия УЗО.
3. На какие номинальные токи утечки выпускаются УЗО?
4. Чем отличается УЗО от дифференциального автоматического выключателя?
5. Какую особенность имеют селективные УЗО?

Практическое занятие № 5

ВЫБОР ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЗДАНИЙ

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

В электрической сети могут возникать грозовые и коммутационные импульсные перенапряжения. Согласно ПУЭ, глава 7.1 (7-е изд.), при воздушном вводе в жилые, общественные и другие здания должны устанавливаться ограничители импульсных перенапряжений. Поэтому тема выбора ограничителей импульсных перенапряжений актуальна для практической работы инженера-электрика.

Цель занятия

Освоить методику выбора ограничителей импульсных перенапряжений для различных условий применения.

Задачи занятия

1. Выбрать ограничители импульсных перенапряжений для электрической сети, однолинейная схема которой представлена на рисунке 5.1. Электрическая сеть имеет напряжение 380 В. Система электрического заземления сети изображена на рисунке 5.1.

2. От НКУ питается однофазный тиристорный преобразователь (рисунок 5.2). Выбрать варистор RU2 для защиты тиристоров преобразователя от внутренних импульсных перенапряжений и варистор RU1 для защиты тиристоров от перенапряжений, поступающих из сети. Напряжение и токи в цепи преобразователя соответствуют таблице 5.1.

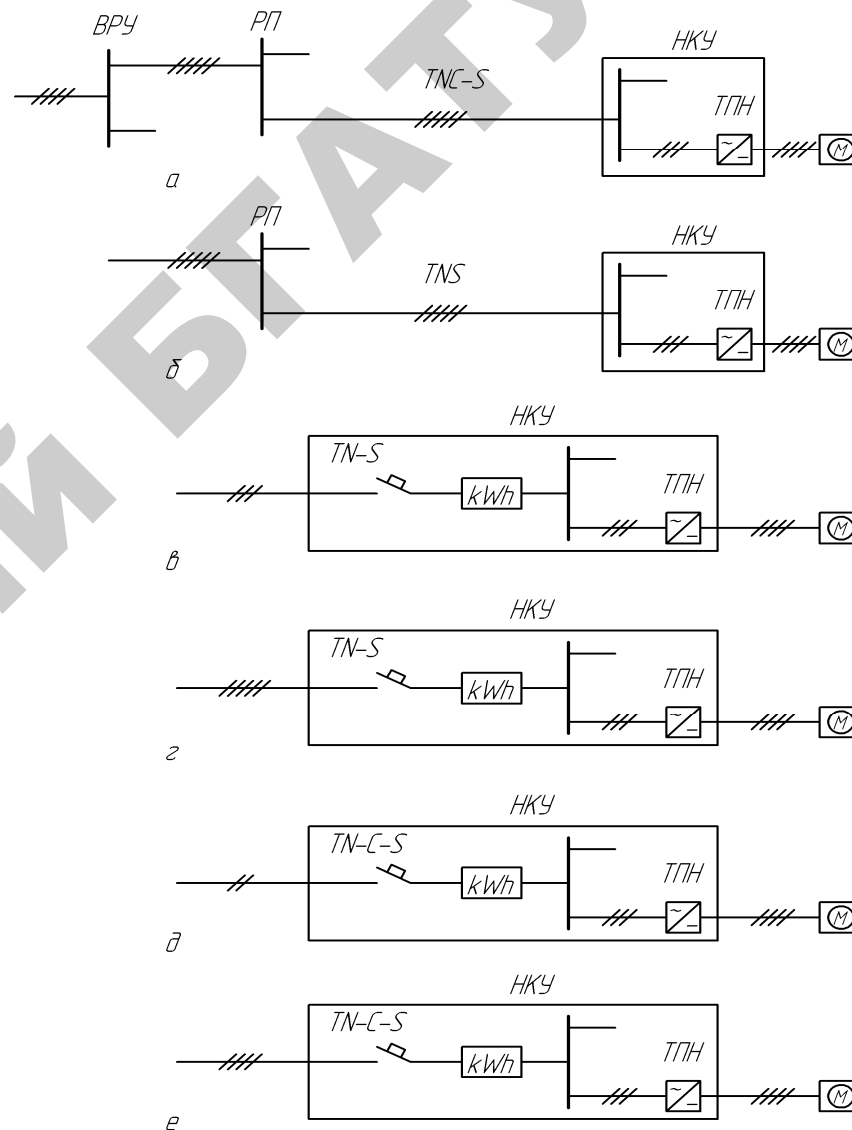


Рисунок 5.1. Однолинейные электрические схемы электроснабжения потребителя

Таблица 5.1 – Исходные данные

Вариант	Схема (рисунок 5.1) для выбора УЗИП	Напряжение U_2 , В рисунок 5.2, В	Мощность питающего трансформатора $S_{тр}$, ВА	Постоянное выпрямленное напряжение, $U_{я.ном}$, В	Индуктивность якорной цепи L , Гн	Номинальный ток якоря $I_{я.ном}$, А	Параметры тиристорov и трансформатора			
							$U_{доп.обр.}$, В	$I_{доп.прям.}$, А	$I_{обр.макс.}$, МА	$U_{КЗ-тр.}$, о.е.
1	5,1a	133	100	120	1	0,5	300	5	1,5	0,08
2	5,1б	272	160	245	2	0,37	400	5	1,5	0,09
3	5,1в	511	250	460	3	0,24	600	5	1,5	0,1
4	5,1г	133	100	120	1	0,75	300	5	2,5	0,11
5	5,1д	272	160	245	2	0,45	400	5	2,5	0,12
6	5,1е	511	250	460	3	0,33	600	5	2,5	0,13
7	5,1a	133	100	120	1	0,92	300	5	3,5	0,14
8	5,1б	272	160	245	2	0,61	400	5	3,5	0,08
9	5,1в	511	250	460	3	0,39	600	5	3,5	0,09
10	5,1г	133	250	120	1	1,25	300	5	4,0	0,1
11	5,1д	272	160	245	2	0,73	400	5	2,4	0,11
12	5,1е	511	250	460	3	0,48	600	10	3,4	0,12
13	5,1a	133	250	120	1	1,5	300	10	2,0	0,13
14	5,1б	272	250	245	2	0,89	400	10	2,0	0,14
15	5,1в	511	400	460	3	0,65	600	10	2,0	0,08
16	5,1г	133	250	120	1	1,83	300	10	3	0,09
17	5,1д	272	400	245	2	1	400	10	3	0,1
18	5,1е	511	400	460	3	0,65	600	10	3	0,11
19	5,1a	133	400	120	1	1,83	300	10	1,5	0,12
20	5,1б	272	400	245	2	0,89	400	10	2,5	0,13
21	5,1в	511	630	460	3	0,87	600	10	3,5	0,10
22	5,1г	133	630	120	0,5	3,33	300	25	1,5	0,08
23	5,1д	272	630	245	1	2,24	400	25	3,5	0,09
24	5,1е	511	1000	460	1,5	1,63	600	25	4,0	0,10
25	5,1a	133	1000	120	0,5	4,58	300	25	2,0	0,11
26	5,1б	272	1500	245	1	3,06	400	25	3,0	0,12
27	5,1в	511	1000	460	1,5	1,63	600	25	3,5	0,08
28	5,1г	133	1000	120	0,5	6,25	300	25	2,0	0,09
29	5,1д	272	1000	245	1	3,0	400	25	4,0	0,08
30	5,1е	511	1000	460	0,5	1,5	600	25	3,0	0,10

Требования к исходному уровню знаний

Студенты должны знать системы заземлений в трехфазных и однофазных сетях, средства защиты от перенапряжений, применяемые в силовых цепях: ОПН; варисторы; R–C-цепочки.

Контрольные вопросы самоподготовки

1. Нарисуйте принципиальную электрическую схему трехфазной сети с заземлением TN–C.
2. То же, с заземлением TN–S.
3. То же, с заземлением TN–C–S.
4. На какие классы делятся устройства защиты от импульсных перенапряжений?

Программа занятия

1. Выбрать устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), устанавливаемые в ВРУ, РП, НКУ.
2. Выбрать варисторы для защиты тиристорного преобразователя.
3. Выбрать R–C-цепочки для защиты тиристорov от внутренних перенапряжений.

Методические указания к занятию

1. Зарисуйте однолинейную схему электроснабжения потребителя по заданному варианту.

Пользуясь этой схемой и системой заземления (TN...), нарисуйте многопроводную схему электроснабжения и подключите соответствующего класса УЗИП к этой схеме.

Выберите УЗИП, руководствуясь параграфом 3.5 [1]:

$$\left. \begin{aligned} U_n &> U_{н.сети} \\ U_c &> U_{нр} \end{aligned} \right\} . \quad (5.1)$$

Проверьте выбранные УЗИП (если их несколько классов) по уравнениям (5.2)–(5.4).

$$I_{п.кл.А} > I_{п.кл.В} > I_{п.кл.С} > I_{п.кл.Д} ; \quad (5.2)$$

$$U_{р.кл.А} > U_{р.кл.В} > U_{р.кл.С} > U_{р.кл.Д} ; \quad (5.3)$$

$$U_p > U_{имп.ном} . \quad (5.4)$$

Таблица 5.2 – Технические характеристики ОПС1

Технические характеристики	ОПС1 В (I)	ОПС1 С (II)	ОПС1 D (III)
Номинальное рабочее напряжение, В	400	400	230
Максимальное рабочее напряжение, В	440	440	250
Номинальный разрядный ток 8/20 мкс, кА	30	20	5
Максимальный разрядный ток 8/20 мкс, кА	60	40	10
Уровень напряжения защиты, не более, кВ	2,0	1,8	1,0
Классификационное напряжение, В	700	650	530
Время реакции, не более, мс	25	25	25
Количество полюсов	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2
Условия эксплуатации	УХЛ4	УХЛ4	УХЛ4
Сечение присоединяемых проводов, мм ²	4 × 25	4 × 25	4 × 25

При составлении многопроводной схемы электроснабжения обратите внимание на систему заземления (рисунки 2.14 и 2.15,[3]). Устройства УЗИП включаются между фазой и проводником РЕ. Один УЗИП включается между проводниками РЕ и N.

2. Нарисуйте схему (рисунок 5.2). Выберите варисторы из таблицы 5.3 по следующим условиям:

а) номинальное рабочее напряжение варистора UR1 переменного тока должно быть:

$$U_{RMS} \geq 1,1U_2, \quad (5.5)$$

где U_2 – напряжение вторичной обмотки трансформатора, В;

б) классификационное напряжение варистора должно составлять:

$$U_{кл} \geq U_{RMS} / 0,6, \quad (5.6)$$

где $U_{кл}$ – напряжение, соответствующее началу нелинейной характеристики варистора, обеспечивающее ток через варистор 1 мА, В.

По $U_{кл}$ уточняем требуемое U_{RMS} ;

в) энергия, рассеиваемая варистором UR1 при коммутации трансформатора, Дж:

$$W_{ком1} \approx 1,5S / \omega, \quad (5.7)$$

где S – мощность трансформатора, ВА;

ω – угловая частота электромагнитного поля; $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$;

г) выбираем тип варистора такой, чтобы максимальная энергия рассеяния его была больше энергии коммутации:

$$W_{max} > W_{ком}. \quad (5.8)$$

Записать это условие, выбрав W_{max} из таблицы 5.3;

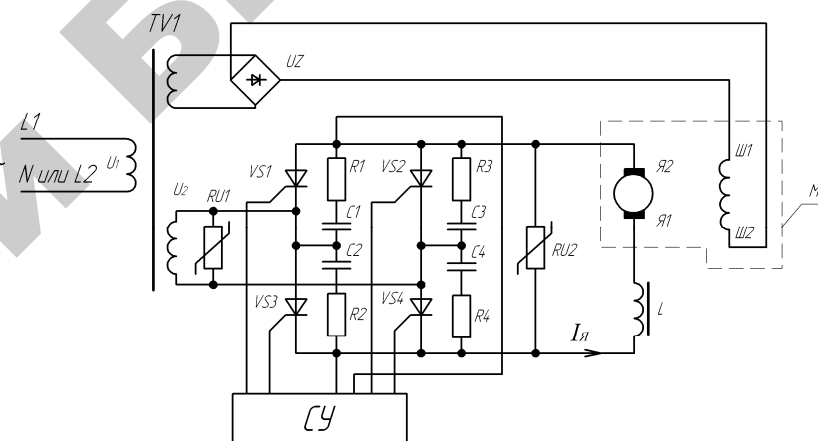


Рисунок 5.2. Принципиальная электрическая схема силовой цепи тиристорного регулятора напряжения для маломощного электропривода постоянного тока: СУ – система управления

д) варистор UR2 установлен в цепи постоянного тока, поэтому для него:

$$U_{кл} > U_{я.ном} / 0,85. \quad (5.9)$$

Энергия (Дж), рассеиваемая в цепи якоря:

$$W_{ком2} = \frac{L I^2}{2}, \quad (5.10)$$

где L – индуктивность цепи якоря, Гн;

I – ток цепи якоря, А.

Выбранный варистор RU2 должен обладать рассеиваемой мощностью большей, чем коммутируемая мощность $W_{ком2}$. Записать параметры выбранных варисторов.

Таблица 5.3 – Параметры варисторов

Номинальное рабочее переменное напряжение, U_{RMS} , В	Номинальное рабочее постоянное напряжение, U_{ds} , В	Классификационные напряжения $U_{кл}$, В	Максимальная энергия рассеивания варисторов W_{max} , Дж			
			CH2-2A	CH2-1a	CH2-2б	CH2-1в
75	100	120	–	25,2	12	3,0
95	120	150	–	31,5	15	3,8
110	150	180	–	37,8	18	4,5
030	170	200	–	42,0	20	5,0
140	180	220	–	46,2	22	5,5
150	200	240	–	50,4	25	6,0
175	225	270	–	56,7	28	–
190	245	300	–	63,0	31	–
210	270	330	104	69,3	34	–
230	300	360	115	75,6	37	–
250	320	390	125	81,9	40	–
275	350	430	138	90,3	43	–
300	385	470	152	98,7	47	–
320	420	510	168	107	–	–
350	460	560	187	118	–	–
385	505	620	207	130	–	–
420	560	680	227	143	–	–
460	615	750	248	158	–	–
510	670	820	280	172	–	–
550	745	910	312	191	–	–
625	825	1000	247	210	–	–
680	895	1100	385	233	–	–
750	980	1200	424	252	–	–

3. Выбрать R–C-цепочки для защиты варистора от внутренних перенапряжений. Требуемая емкость, мкФ:

$$C = \frac{U_{кз тр} I_{обр max}^2 \cdot 10^6}{\omega I_{доп.прям} U_{доп.обр}} \quad (5.11)$$

Требуемое сопротивление резистора, Ом:

$$R = \frac{U_{доп.обр}}{I_{доп.прям}} \quad (5.12)$$

где U_k – напряжение КЗ питающего трансформатора, о.е;
 $I_{max обр}$ – максимальный обратный ток тиристора, мА;
 ω – угловая скорость электромагнитного поля; при $f = 50$ Гц
 $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$;

$I_{доп.прям}$ – допустимый прямой ток тиристора, А;

$U_{доп.обр}$ – допустимое обратное напряжение, В.

Выбрать ближайшее большее значение c из стандартного ряда: 0,01; 0,015; 0,022; 0,033; 0,0474 0,056; 0,068; 0,082; 0,1; 0,15; 0,22; 0,33; 0,47; 0,56; 0,68; 0,82; 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7 мкФ. Тип конденсатора К73-17. $U_{ном} = 250; 400; 600$ В (выбрать по критерию $U_{ном} > U_2 \times \times 1,41$).

Выбрать ближайшее меньшее значение R из стандартного ряда размеров: 1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2; 10; 12; 15; 18; 22; 27; 33; 39; 47; 56; 68; 82; 100; 120; 150; 180; 220; 270; 330; 390; 470; 560; 680; 820 Ом.

Тип резисторов – С5-35В.

Мощность резистора, Вт: $P = \frac{U_2^2}{X_c} = \frac{U_2^2 \omega C}{10^6} \quad (5.13)$

Мощность выбрать из стандартного ряда: 3; 7,5; 10; 15; 25; 50; 75; 100 Вт.

Содержание отчета

1. Цель занятия.
2. Задача занятия.
3. Ответы на вопросы самоподготовки.
4. Решение задачи.
5. Элементы схемы с указанием выбранных аппаратов.

Контрольные вопросы

1. По каким параметрам выбираются УЗИП для силового электрооборудования?
2. Расскажите конструкцию УЗИП типа ОПС1.
3. По каким параметрам выбираются варисторы?
4. Нарисуйте схему подключения УЗИП в сети с заземлением TN-S.

Практическое занятие № 6

ВЫБОР ЭЛЕКТРОТЕПЛОГО РЕЛЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

Общее время занятия – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

Электротепловые реле широко применяются для защиты асинхронных электродвигателей от перегрузки. Они поставляются комплектно с электромагнитными пускателями. Знать правила их выбора актуально для будущей работы инженера-электрика на производстве.

Цель занятия

Освоить методику выбора электротепловых реле для защиты электродвигателей от перегрузки.

Задачи занятия

1. Выбрать электротепловые реле для защиты электродвигателей, технические данные которых приведены в таблице 6.1.
2. Выбрать контакторы, с которыми включаются выбранные электротепловые реле.
3. Составить принципиальную электрическую схему включения элементов электротеплового реле с сигнализацией срабатывания электротеплового реле.

Требования к исходному уровню знаний

Студенты должны знать назначение, устройство и принцип действия электротепловых реле.

Контрольные вопросы самоподготовки

1. Сколько комплектов электронагревателей и биметаллических пластин имеют электротепловые реле?
2. Как располагаются между собой в электротепловом реле нагреватель и биметаллическая пластинка?

Таблица 6.1 – Исходные данные и результаты расчетов

Вариант	M1			M2				Вычислено				
	$P_{н}, \text{кВт}$	$I_{н}, \text{А}$	$\kappa_{б}, \text{о.е.}$	$P_{н}, \text{кВт}$	$I_{н}, \text{А}$	$\kappa_{б}, \text{о.е.}$	$t_{пуск}, \text{с}$	для M1		для M2		
								диапазон регул. тока, А	типоразмер реле	диапазон регул. тока, А	типоразмер реле	$t_{пуск, доп}, \text{с}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,06	0,3	2,5	30	51,02	7,0	6					
2	0,09	0,35	2,5	22	44,55	7,0	7					
3	0,12	0,44	3,5	18,5	34,56	7,5	8					
4	0,18	0,67	3,5	15	28,44	7,5	9					
5	0,25	0,86	4,0	45	82,66	7,0	11					
6	0,37	1,2	4,0	11	21,12	7,5	12					
7	0,55	1,69	4,5	15	28,49	7,5	13					
8	0,75	2,17	4,5	18,5	34,56	7,5	6					
9	1,1	2,75	5,0	22	41,55	7,0	7					
10	1,5	3,75	5,0	30	56,02	7,0	8					
11	0,18	0,79	3,0	37	70,23	7,5	9					
12	0,25	1,04	3,0	45	83,57	7,5	10					
13	0,37	1,26	4,0	55	102,1	7,5	11					
14	0,55	1,74	4,0	75	140,85	7,5	12					
15	0,75	2,23	4,0	90	165,33	7,5	13					
16	1,1	3,05	4,0	11	21,97	7,5	6					

Окончание таблицы 6.1

17	1,5	4,11	4,5	15,0	29,3	7,0	7					
18	2,2	5,65	5,0	18,5	35,73	7,0	8					
19	3,0	7,41	6,0	22,0	41,31	6,5	9					
20	4,0	9,16	6,0	30	56,34	6,5	11					
21	0,09	0,32	3,5	37	67,97	7,5	12					
22	0,12	0,41	3,5	45	82,66	7,0	13					
23	0,18	0,54	4,0	55	100,48	7,0	6					
24	0,25	0,73	4,0	75	136,29	7,0	7					
25	0,37	0,94	4,0	90	161,75	7,0	8					
26	0,55	1,33	4,5	11	21,12	7,5	9					
27	0,75	1,7	5,5	15	28,49	7,5	10					
28	1,1	2,48	5,5	18,5	34,56	7,5	11					
29	1,5	3,31	6,5	22	44,55	7,0	12					
30	2,2	4,63	6,5	30	56,02	7,0	13					

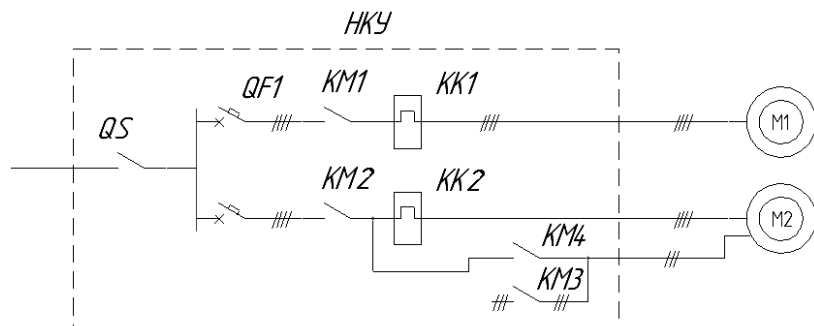


Рисунок 6.1. Принципиальная электрическая схема НКУ: электродвигатель М2 запускается с переключением Y/Δ

Методические указания

1. Зарисуйте принципиальную электрическую схему НКУ (рисунок 6.1).
2. Выпишите исходные данные по своему варианту из таблицы 6.1.
3. Выберите тепловые реле типа РТИ для защиты от перегрузки электродвигателей из таблицы 6.2.

Номинальный ток теплового реле определите по условию:

$$I_{\text{расц.мин}} \leq I_n \leq I_{\text{расц.макс}} \quad (6.1)$$

Обратите внимание, что реле КК2 включено на фазный ток, а в таблице 6.1 приведено значение линейного тока.

Для электродвигателя М1 время запуска составляет до 1 с, а для электродвигателя М2 время запуска с переключением Y/Δ приведено в таблице 6.1.

Исходя из этого, для электродвигателя М1 не требуется проверки выбранного теплового реле на несрабатывание за время пуска, а для электродвигателя М2 обязательно требуется такая проверка.

Обратитесь к рисунку 6.2. Отложите по оси кратности тока значение кратности пускового тока при включении «звездой» $k' = \frac{k_i}{3}$ и

проведите вертикальную линию до пересечения с кривой 3, а потом горизонтальную линию до пересечения с осью времени.

Определите по оси времени допустимое время пуска $t_{\text{пуск.доп}}$ с горячего состояния (кривая 3). Сравнение $t_{\text{пуск.доп}}$ с временем $t_{\text{пускY}}$. Должно выполняться условие: $t_{\text{пуск.доп}} > t_{\text{пускY}}$.

Запишите шифр выбранного типоразмера теплового реле в таблицу 6.1. Укажите его диапазон регулирования токов несрабатывания и $t_{\text{пуск.доп}}$.

Таблица 6.2– Технические данные электротепловых реле РТИ

Название	Габарит	Предел регулирования тока уставки, А	Типоисполнение контактов, используемых с реле
РТИ-1301	1	0,1÷0,16	КМИ-10910, КМИ-10911
РТИ-1302	1	0,16÷0,25	КМИ-10910, КМИ-10911
РТИ-1303	1	0,25÷0,4	КМИ-10910, КМИ-10911
РТИ-1304	1	0,4÷0,63	КМИ-10910, КМИ-10911
РТИ-1305	1	0,63÷1,0	КМИ-10910, КМИ-10911
РТИ-1306	1	1,0÷1,6	КМИ-10910, КМИ-10911
РТИ-1307	1	1,6÷2,5	КМИ-10910, КМИ-10911
РТИ-1308	1	2,5÷4,0	КМИ-10910, КМИ-10911
РТИ-1310	1	4,0÷6,0	КМИ-10910, КМИ-10911
РТИ-1312	1	5,5÷8,0	КМИ-10910, КМИ-10911
РТИ-1314	1	7,0÷10,0	КМИ-10910, КМИ-10911
РТИ-1316	1	9,0÷13,0	КМИ-11210, КМИ-11211
РТИ-1321	1	12,0÷18,0	КМИ-11810, КМИ-11811
РТИ-1322	1	17,0÷25,0	КМИ-22510, КМИ-22511
РТИ-2353	2	28,0÷36,0	КМИ-23210, КМИ-23211
РТИ-3353	3	23,0÷32,0	КМИ-35012, КМИ-46512
РТИ-3355	3	30,0÷40,0	КМИ-35012, КМИ-46512
РТИ-3357	3	37,0÷50,0	КМИ-46512
РТИ-3359	3	48,0÷65,0	КМИ-46512
РТИ-3361	3	55,0÷70,0	КМИ-46512
РТИ-3363	3	63,0÷80,0	КМИ-48012
РТИ-3365	3	80,0÷93,0	КМИ-49512

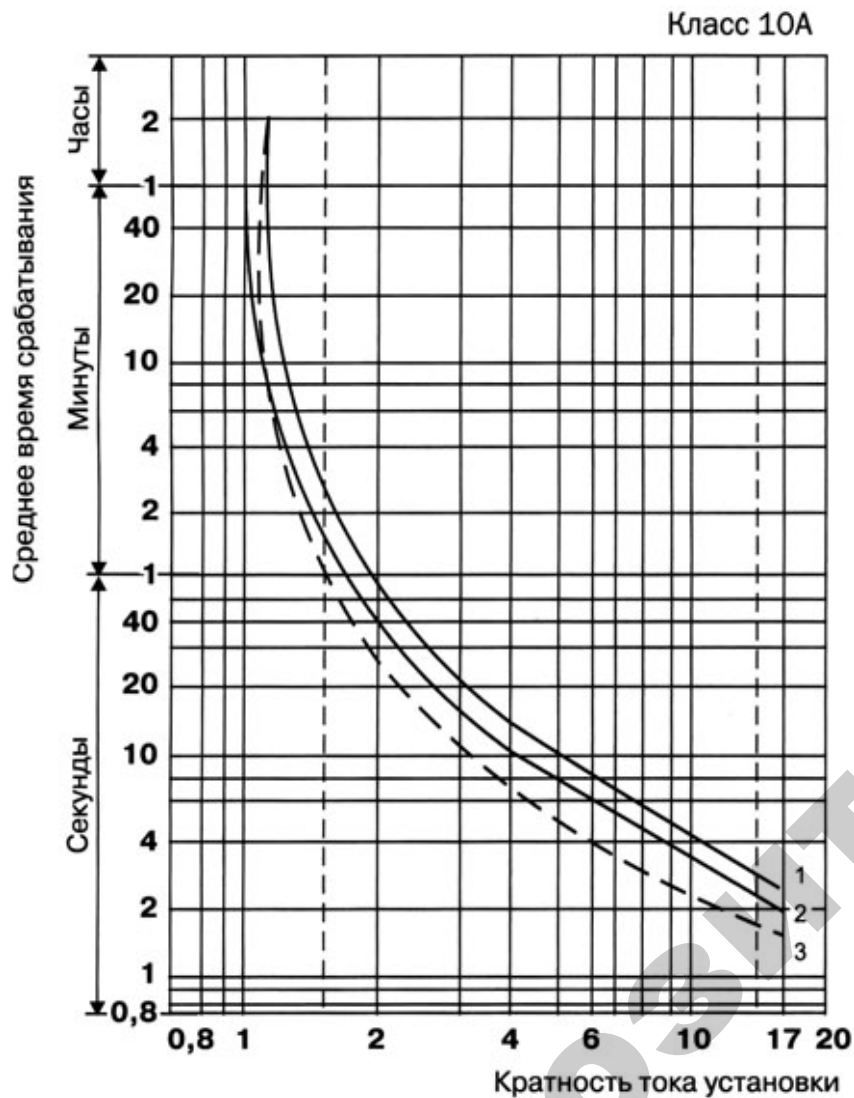


Рисунок 6.2. Кривые срабатывания электротеплового реле РТИ:
 1 – симметричный трехфазный режим из холодного состояния; 2 – симметричный двухфазный режим из холодного состояния; 3 – симметричный трехфазный режим после длительного протекания номинального тока (горячее состояние)

Содержание отчета

1. Название работы.
 2. Цель работы.
 3. Ответы на вопросы самоподготовки в письменном виде.
 4. Задача занятия.
- Решение задачи и результаты:
 тип КК1 – , ток несрабатывания – ;
 тип КК2 – , ток несрабатывания – , допустимое время пуска электродвигателя –

Контрольные вопросы

1. Сколько контактов имеют электротепловые реле и какие эти контакты по типу (закрывающие, переключающие, замыкающие)?
3. Зависит ли время срабатывания электротеплового реле от состояния (горячее или холодное)?
2. Зависит ли время срабатывания электротеплового реле от тока нагревательного элемента? Нарисуйте эту зависимость.

Практическое занятие № 7

ВЫБОР УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО КРИТЕРИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

В практической работе инженера-электрика встречается задача выбора устройства защиты трехфазного асинхронного электродвигателя от работы в аварийных состояниях. Критерии выбора могут быть различными. Наиболее правильно пользоваться двумя критериями: 1) по эффективности устройства защиты на данном электроприводе рабочей машины; 2) по экономическому критерию, учитывающему стоимость устройства защиты, стоимость электродвигателя и аварийность электродвигателя на данной рабочей машине. В этом практическом занятии решается задача с использованием критерия эффективности.

Цель занятия

Освоить методику выбора устройства защиты трехфазного асинхронного электродвигателя по критерию эффективности.

Задача занятия

Выбрать тип устройства защиты трехфазного асинхронного электродвигателя по критерию эффективности и нарисовать принципиальную электрическую схему его включения при ручном дистанционном управлении. Исходные данные приведены в таблице 7.1. Сеть 380 В. Электродвигатели включаются в сеть напряжмую.

Требования к исходному уровню знаний

Студенты должны знать понятия «вероятность безотказной работы», «интенсивность отказов», «средний срок службы» [5].

Контрольные вопросы самоподготовки

1. Электродвигатель транспортера по уборке навоза имеет средний срок службы 2,5 года. Чему равна средняя аварийность γ_c электродвигателя транспортера?

Программа занятия

1. Выписать из таблицы 7.1 исходные данные.
2. Выписать из таблицы 7.2 вероятность P_{ij} отказа электродвигателя на i -ой рабочей машине по j -ой причине (аварийном состоянии) в таблицу 7.2.
3. Выписать из таблицы 7.3 вероятность q_{ik} срабатывания k -го устройства защиты на i -ой рабочей машине.
4. Вычислить эффективность защит на i -ой машине.
5. Расположить устройства защиты в ряд в порядке убывания эффективности.
6. Выбрать устройство защиты с максимальной эффективностью и нарисовать принципиальную электрическую схему его включения при ручном дистанционном управлении.

Методические указания к занятию

К пункту 4 программы занятий

Эффективность работы \mathcal{E}_{kj} k -го устройства защиты электродвигателя j -ой рабочей машины определяется по формуле, приведенной в [2]:

$$\mathcal{E}_{kj} = \sum P_{ij} \cdot q_{ik}, \quad (7.1)$$

где P_{ij} – по данным таблицы 7.2;

q_{ik} – по данным таблицы 7.3.

В формуле (7.1) P_{ij} имеет одни и те же значения (из таблицы 7.2) для всех видов защитных устройств, выбранных из таблицы 7.3.

Таблица 7.1– Исходные данные

Вариант	Электродвигатель					Рабочая машина
	Число полюсов	P_n , кВт	Монтажное исполнение	$\cos\varphi_n$, о.е.	η_n , %	
1	2	3	4	5	6	7
1	2	0,55	Фланцевое	0,806	73	Вентилятор на ферме КРС
2	2	0,75	Фланцевое	0,87	77	Станок в ремонтной мастерской

Окончание таблицы 7.1

1	2	3	4	5	6	7
3	2	1,1	Фланцевое	0,87	77,5	Вентилятор электрокалорифера
4	2	1,5	На лапах	0,85	81	Насос в молочной
5	2	2,2	На лапах	0,87	83	Транспортер по уборке навоза
6	2	3,0	На лапах	0,88	84,5	Транспортер ТСН наклонный под навесом
7	2	4,0	На лапах	0,89	86,5	Вакуум-насос
8	2	5,5	На лапах	0,91	87,5	Дозатор кормов
9	2	7,5	На лапах	0,88	87,5	Насос жидкого навоза
10	2	11,0	На лапах	0,90	88	Пресс-гранулятор в кормоцехе
11	4	0,55	Фланцевое	0,71	67,5	Вентилятор осевой в птичнике
12	4	0,75	На лапах	0,74	69	Нория под навесом
13	4	1,1	Фланцевое	0,74	74	Дозатор кормов
14	4	2,2	Фланцевое	0,73	81	Насос жидкого навоза
15	6	0,55	Фланцевое	0,70	70,5	Вентилятор в телятнике
16	6	0,75	Фланцевое	0,73	72	Центробежный насос
17	6	1,1	Фланцевое	0,91	75	Станок в ремонтной мастерской
18	6	1,5	На лапах	0,83	77	Транспортер в птичнике
19	6	2,2	На лапах	0,83	80	Вентилятор электрокалорифера
20	6	3,0	Фланцевое	0,83	82	Вакуум-насос
21	6	4,0	На лапах	0,84	84	Нория в помещении
22	6	5,5	На лапах	0,85	85,5	Насос жидкого навоза в приемке
23	6	7,5	На лапах	0,86	87,5	Вентилятор установки активного вентилирования
24	6	11,0	На лапах	0,87	87,5	Дробилка в кормоцехе
25	4	3,0	На лапах	0,76	81	Центробежный насос
26	4	4,0	На лапах	0,81	82	Транспортер в кормоцехе
27	4	5,5	Фланцевое	0,80	85	Транспортер-смеситель кормов
28	4	7,5	Фланцевое	0,81	85,5	Смеситель в кормоцехе
29	4	11,0	Фланцевое	0,86	87,5	Пресс-гранулятор под навесом
30	4	0,37	Фланцевое	0,69	64,5	Вентилятор в свинарнике

К пункту 5 программы занятий

Эффективность работы \mathcal{E}_{kj} устройств защиты электродвигателя записать в таблицу 7.4. Рейтинг (занимаемое место) определить по критерию:

$$\mathcal{E}_{kj} \Rightarrow \max . \quad (7.2)$$

Первое место занимает устройство с наибольшей эффективностью.

Таблица 7.2 – Распределение основных причин отказов электродвигателей на рабочих машинах

Рабочая машина	Средний срок службы t_c , год	Средняя аварийность, γ_c , год ⁻¹	Вероятность отказа P_{ij} из-за аварийных режимов и состояний				
			Неполнофазный режим	Неподвижный ротор	Перегрузка технолог.	Увлажнение обмотки	Нарушение охлаждения
1	2	3	4	5	6	7	8
Транспортеры по уборке навоза в животноводческих помещениях, типа ТСН	2,8	0,36	0,23	0,71	0	0,06	0
Транспортеры в кормоцехе	2,8	0,36	0,23	0,6	0,11	0	0,06
Насосы жидкого навоза	2,5	0,4	0,34	0,26	0,14	0,26	0
Вентиляторы в животноводческих помещениях	2,9	0,34	0,4	0,21	0,09	0,3	0
Вентиляторы на электрокалориферах	7	0,14	0,69	0,17	0	0	0,14
Центробежный насос в молочной и т.п.	4,3	0,23	0,42	0,31	0,09	0,18	0
Вентиляторы установок активного вентилирования на открытом воздухе	3,3	0,3	0,4	0,17	0,20	0,23	0

Окончание таблицы 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Вакуум-насос	3,7	0,27	0,37	0,41	0,06	0,16	0
Дробилки кормов	3,8	0,26	0,11	0,24	0,1	0,38	0,17
Пресс-гранулятор	4,5	0,22	0,2	0,21	0,38	0	0,21
Нория в помещении	3,3	0,30	0,26	0,64	0,10	0	0
Нория на открытом воздухе	3,3	0,30	0,26	0,54	0,10	0,10	0
Дозаторы кормов	5,3	0,19	0,32	0,58	0	0	0,10
Станки в мех. мастерских	9,1	0,11	0,10	0,10	0,8	0	0

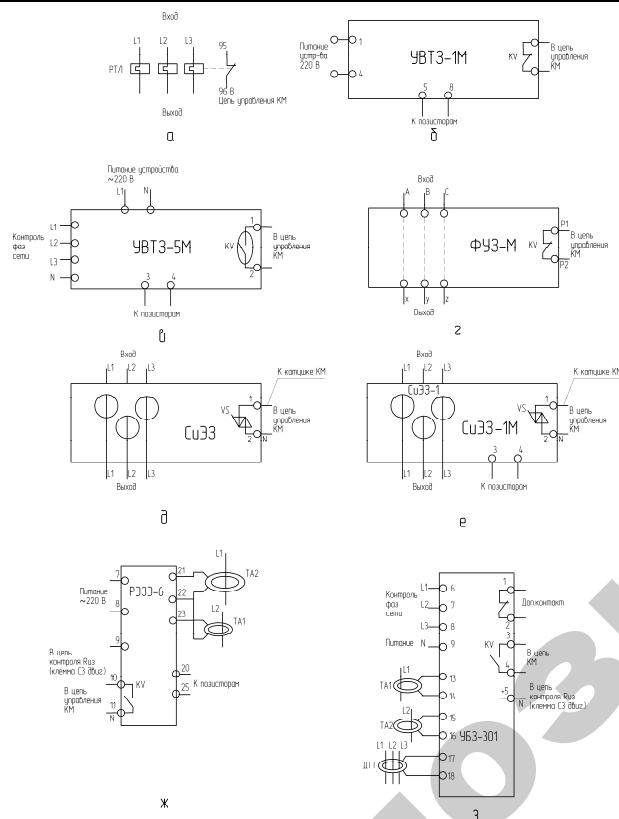


Рисунок 7.1. Назначение клемм устройств защиты электродвигателей: а – теплового реле; б – температурной защиты УВТЗ-1М; в – температурной защиты УВТЗ-5М; г – фазочувствительной защиты ФУЗ-М; д – устройства защиты СиЭЗ; е – устройства защиты СиЭЗ-1М; ж – реле электронной защиты электродвигателей РЭЭЭ-6; з – универсальный блок защиты УБЗ-301

К пункту 6 программы занятий

Выбрать устройства защиты с наибольшим значением эффективности. Назначение клемм устройства защиты приведены на рисунке 7.1. Обратите внимание, что при нормальном режиме работы выходные контакты реле КВ замкнуты в устройствах РТЛ, УВТЗ-1М, ФУЗ-М, а в устройствах защиты УВТЗ-5М, РЭЭЭ-6, УБЗ-301 замыкаются при подаче питания на реле. Тем самым осуществляется самоконтроль исправности устройства. При подаче питания на семистор VS он включается в устройствах СиЭЗ.

Таблица 7.3 –Вероятность срабатывания q_{ik} устройств защиты при основных аварийных режимах

Устройство защиты	Вероятность срабатывания q_{ik} при основных аварийных режимах				
	Неполнофазный режим	Заклинивание	Перегрузка технологич.	Ув-лажнение об-мотки	Нарушение ох-лаждения
Тепловые реле РТЛ	0,6	0,45	0,75	0	0
Устройство встроенной температурной защиты УВТЗ-1М	0,76	0,67	0,91	0	0,91
То же, УВТЗ-5М	0,90	0,67	0,91	0	0,91
Фазочувствительное устройство защиты ФУЗ-М	0,95	0,95	0,76	0	0
Система электронной бесконтактной защиты электродвигателей СиЭЗ	0,90	0,95	0,66	0	0
То же, СиЭЗ-1	0,90	0,95	0,66	0	0,91
Токовое электронное РЭЭЭ-6	0,90	0,90	0,66	0,9	0,91
Токовое микропроцессорное УБЗ-301	0,95	0,90	0,76	0,9	0

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Ответы на контрольные вопросы самоподготовки.
4. Задача занятия. Исходные данные.

5. Решение задачи и принципиальная электрическая схема включения устройства защиты при ручном дистанционном управлении.

Таблица 7.4 – Эффективность работы устройств защиты электродвигателя на.....(название рабочей машины).....

Устройство защиты	Эффективность \mathcal{E}_{kj}	Рейтинг защиты
Тепловые реле РТЛ		
Устройство встроенной температурной защиты УВТЗ-1М		
То же, УВТЗ-5М		
Фазочувствительное устройство защиты ФУЗ-М		
Система электронной бесконтактной защиты электродвигателей СиЭЗ		
То же, СиЭЗ-1		
Токовое электронное РЭЗЭ-6		
Токовое микропроцессорное УБЗ-301		

Контрольные вопросы

1. Может ли быть вероятность срабатывания устройства защиты при аварийном режиме электродвигателя на рабочей машине более 1,0?
2. Известны вероятности отказа электродвигателя на данной рабочей машине по следующему причинам: p_1 – при неполнофазном режиме; p_2 – при заклинивании; p_3 – при перегрузке; p_4 – при увлажнении обмотки; p_5 – при нарушении охлаждения. Чему равна суммарная вероятность отказа электродвигателя?

Практическое занятие № 8

ВЫБОР УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

В практической работе инженера-электрика встречается задача выбора устройства защиты трехфазного асинхронного электродвигателя. Критерии выбора могут быть различными. Наиболее правильно пользоваться двумя критериями:

- 1) по эффективности устройства защиты электродвигателя на рабочей машине;
- 2) по экономическому критерию, учитывающему стоимость устройства защиты, стоимость электродвигателя и аварийность электродвигателя на рабочей машине.

В этом практическом занятии решается задача с использованием экономического критерия.

Цель занятия

Освоить методику устройства защиты трехфазного асинхронного электродвигателя по экономическому критерию.

Задача занятия

Выбрать устройство защиты трехфазного асинхронного электродвигателя рабочей машины по экономическому критерию. Исходные данные – в практическом занятии № 7 и в таблицах 8.1 и 8.2.

Требование к исходному уровню знаний

Студенты должны знать понятия «экономический ущерб», «технологический эффект» и составляющие ущерба.

Таблица 8.1 – Стоимость электродвигателей серии АИР

Номинальная мощность, кВт	Тип	Частота вращения электромагнитного поля, мин ⁻¹	Цена, руб. с НДС	
			на лапах	фланцевые
0,37	АИР 63А2	3000	149 270	161 210
	АИР 63 В4	1500	149 270	161 210
	АИР 71А6	1000	168 740	182 240
0,55	АИР 63 В2	3000	149 270	161 210
	АИР 71А4	1500	168 740	182 240
	АИР 71В6	1000	177 000	191 160
0,75	АИР 71А2	3000	168 740	182 240
	АИР 71В4	1500	177 000	191 160
	АИР 80А6	1000	202 960	219 200
1,1	АИР 71В2	3000	177 000	191 160
	АИР 80А4	1500	200 600	216 650
	АИР 80В6	1000	217 120	234 490
1,5	АИР 80А2	3000	192 340	203 880
	АИР 80В4	1500	206 500	218 890
	АИР 90L6	1000	248 390	263 290
2,2	АИР 80В2	3000	206 600	218 890
	АИР 90L4	1500	248 390	263 290
	АИР 100L6	1000	378 780	401 510
3,0	АИР 90L2	3000	248 390	263 290
	АИР 100S4	1500	343 970	364 610
	АИР112МА6	1000	554 600	587 830
4,0	АИР 100S2	3000	342 200	362 730
	АИР 100L4	1500	365 800	367 750
	АИР112МВ6	1000	554 600	587 830
5,5	АИР 100L2	3000	369 930	398 130
	АИР 112М4	1500	554 600	587 880
	АИР 132S6	1000	726 700	769 240
7,5	АИР 112М2	3000	578 900	612 890
	АИР 132S4	1500	696 200	737 470
	АИР 132М6	1000	802 400	850 540
11	АИР 132М2	3000	745 200	800 510
	АИР 132М4	1500	910 380	950 310
	АИР 160S6	1000	1 298 000	1 375 880

Примечание: Стоимость электродвигателей определена на 11.01.2009 по прайс-листу ООО «Промэлектрокомплект», официального дилера заводов-изготовителей электродвигателей.

Контрольные вопросы самоподготовки

1. Какие составляющие включает технологический ущерб от выхода из строя асинхронного электродвигателя?
2. Что больше по величине, экономический ущерб или технологический?

Таблица 8.3– Стоимость устройств защиты

Устройство защиты	Стоимость, руб.
УВТЗ-1М	45 400
УВТЗ-5М	107 250
СиЭЗ	228 000
СиЭЗ-1	256 500
РЭЗЭ-6	240 990
УБЗ-301	327 990

Примечание: Стоимость устройств защиты определена по прайс-листам, представленным на сайтах Интернета 10.01.2009.

Программа занятий

1. Выписать из таблицы 7.1 исходные данные по своему варианту (таблица 8.3).
2. Выписать из практического занятия № 7 результаты расчетов эффективности всех защитных устройств и записать в таблицу 8.3.
3. Выписать из таблицы 8.1 стоимость электродвигателя и записать в таблицу 8.3.
4. Вычислить требуемую стоимость защитных устройств.
5. Определить показатель, равный отношению «цена/качество» для каждого устройства защиты.

Методические указания

К пункту 4 программы занятия

Стоимость защитного устройства связана со стоимостью электродвигателя, зависит от технологического ущерба при аварии электродвигателя и от интенсивности отказов [7] по формуле:

$$K_{\text{защ.}} \leq K_{\text{эл.дв.}} \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)(1 + y^*)}{E}, \quad (8.1)$$

где $K_{\text{заш.}}$, $K_{\text{эл.дв.}}$ – стоимость защитного устройства, стоимость электродвигателя, руб.;

λ_1 , λ_2 – интенсивность отказов при сравниваемых защитах: λ_1 – при использовании нового устройства; λ_2 – при использовании старого устройства защиты;

y^* – относительный технологический ущерб. Для ответственных электроприводов $y^* > 0,5$, для неответственных электроприводов – $y^* < 0,5$. Принять в расчетах $y^* = 0,5$;

E – нормативный коэффициент окупаемости капитальных затрат; принять $E = 0,15$.

Разность $\lambda_1 - \lambda_2$ определяется [6] из выражения:

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \gamma_c \cdot (\mathcal{E}_{kj,1} - \mathcal{E}_{kj,2}), \quad (2)$$

где γ_c – среднестатистическая интенсивность отказа или аварийность электродвигателя в год на рассматриваемой рабочей машине, год⁻¹; принять γ_c по данным таблицы 7.2.

Эффективность работы нового и базового устройств защиты определяется по данным практического занятия № 7. В качестве базового устройства защиты принять реле тепловое РТЛ и его значение $\mathcal{E}_{kj,2}$.

Результаты расчетов рекомендуется записать в таблицу 8.1.

Таблица 8.1– Исходные данные и результаты расчетов

Вариант	$K_{\text{эл.дв.}}$, руб.	Средняя аварийность γ_c , год ⁻¹	Устройство защиты	Эффективность \mathcal{E}_{kj}	$\frac{(1+y^*)}{E}$	$\lambda_1 - \lambda_2$	Расчет по (8.1) $K_{\text{заш.}}$, руб.	Показатель П, руб/о.е.
			РТЛ			0	–	–
			УВТЗ-1М					
			УВТЗ-5М					
			СиЭЗ					
			СиЭЗ-1					
			РЭЗЭ-6					
			УБЗ-301					

Примечание: Для РТЛ $\lambda_1 = \lambda_2$.

К пункту 5 программы занятия

Определить отношение «цена/качество» для каждого устройства защиты по формуле:

$$П = \frac{K_{\text{заш.}}}{\mathcal{E}_{kj}}. \quad (8.3)$$

Выбрать устройство защиты с наименьшим показателем «цена/качество».

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Ответы на вопросы самоподготовки.
4. Задача занятия, исходные данные.
5. Решение задачи.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие показатели влияют на стоимость защиты?
2. Расскажите методику определения требуемой стоимости защиты.
3. Как определяется интенсивность отказов защиты?

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 1

Защита электрических цепей от сверхтоков

Общее время занятия – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

По правилам устройства электроустановок электрические цепи должны быть обязательно защищены от сверхтоков. Эксплуатация их без защиты от сверхтоков запрещается. Поэтому тема занятия актуальна для будущих инженеров-электриков.

Цели занятия

1. Изучить средства защиты от сверхтоков.
2. Освоить методику проверки исправности средств защиты от сверхтоков.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с устройством плавких предохранителей и автоматических выключателей, размещенных на стендах. Зарисовать эскиз плавкой вставки предохранителя.
2. Собрать схему стенда (рисунок 1.1) и заполнить таблицу 1.1.
3. Провести испытания автоматического выключателя.

Общие сведения

Защита электрических цепей от сверхтоков изложена в главе 1 [3] и главах 1–3 учебника [4].

Задание на самоподготовку

Подготовить в письменном виде ответы на следующие вопросы:

1. От каких параметров зависит время срабатывания плавкого предохранителя?
2. Объясните эффект токоограничения в плавком предохранителе.
3. Укажите не менее пяти расцепителей, использующихся в автоматических выключателях.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд содержит аппаратуру для испытания плавких предохранителей и автоматических выключателей.

Образцы плавких предохранителей располагаются на одном настенном стенде, а разрез автоматического выключателя АК63 – на втором.

Принципиальная электрическая схема стенда для испытания автоматического выключателя изображена на рисунке 1.1.

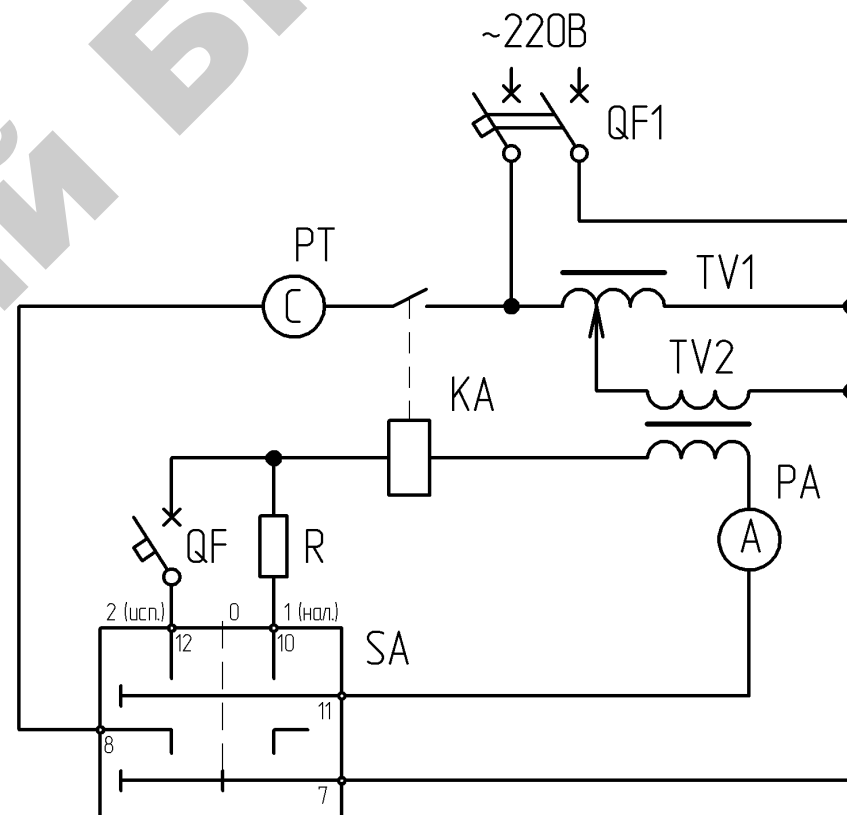


Рисунок 1.1. Принципиальная электрическая схема стенда для испытания автоматического выключателя

Таблица 1.1 – Перечень элементов лабораторного стенда

Поз. обозн.	Наименование	К-во	Прим.
PT	Электрический секундомер.....	1	
QF1	Автоматический выключатель	1	$I_{н.у.} =$
TV1	Лабораторный автотрансформатор ЛАТР-2	1	$I_n = 9 \text{ A}$
SA	Ручной переключатель на 2 положения	1	
TV2	Понижающий трансформатор 220/12 В	1	250 ВА
KA	Реле тока.....	1	$I_n = 10 \text{ A}$
PA	Амперметр.....	1	.....А

Методические указания

1. Сначала ознакомьтесь с аппаратами и приборами, размещенными на лабораторном столе.
2. Нарисуйте эскиз плавкой вставки.
3. Найдите на корпусе испытуемого автоматического выключателя запись, указывающую на номинальный ток расцепителя.
4. Соберите схему, указанную на рисунке 1.1, и заполните таблицу 1.1.
5. Проведите испытания автоматического выключателя по следующей методике.
Установите SA в положение 0. Секундомер установите на начальное (нулевое) значение.
Автотрансформатор – в крайнее левое (нулевое) положение.
Подготовьте таблицу 1.2 для записей.
Включите QF1, а SA поставьте в положение 1 «Наладка». Установите требуемый ток испытания с помощью автотрансформатора.
Переключите SA в положение 2 «Испытание». Включиться реле тока KA и электрический секундомер.
Аналогично поступите при испытании автоматического выключателя другими токами. Определите минимальный ток, при котором автоматический выключатель срабатывает мгновенно. Результаты испытаний записать в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты испытания автоматического выключателя

Опыт	Ток испытания, А						
	Время срабатывания, с						
Расчет	Кратность тока срабатывания $K = I_{cp} / I_{н.расц.}$						

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Ответы на вопросы самоподготовки.
3. Эскизы плавкого элемента.
4. Таблица 1.1.
5. Графические зависимости: $t_{cp} = f(I_{cp})$; $t_{cp} = f(K)$.
6. Вывод о влиянии токов на время срабатывания автоматического выключателя.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте защитную характеристику плавкого предохранителя и автоматического воздушного выключателя на одном графике.
2. Какие аппараты и приборы необходимы для проведения испытаний плавкого предохранителя и автоматического воздушного выключателя? Нарисуйте принципиальную электрическую схему испытаний плавкого предохранителя.
3. По каким параметрам выбирают плавкие предохранители?
4. По каким параметрам выбирают автоматические воздушные выключатели?
5. Какие аппараты применяют для защиты полупроводниковых приборов? В чем их особенность?
6. При каких условиях обеспечивается защита от токов короткого замыкания полупроводниковых приборов?
7. Объясните принцип гашения дуги в предохранителе ПР-2.
8. Какими параметрами характеризуются плавкие предохранители?
9. Какую особенность имеют автоматические выключатели АК-63М и АК-50М?

Лабораторная работа № 2

Защита электрических цепей от импульсных перенапряжений

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

На производстве к надежности работы электрооборудования предъявляются высокие требования. Они могут быть обеспечены не только защитой электрооборудования от сверхтоков в аварийных режимах работы, но и защитой его от импульсных перенапряжений, приводящих к пробое изоляции. Поэтому тема занятий актуальна для будущей работы инженера-электрика.

Цели занятия

1. Изучить конструкцию и характеристики ограничителей импульсных перенапряжений.
2. Освоить методику проверки ограничителей импульсных перенапряжений.
3. Изучить рекомендации по применению ограничителей импульсных перенапряжений.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с аппаратами защиты, расположенными на лабораторном стенде. Заполнить таблицу 2.1.
2. Ознакомиться с устройством ограничителей импульсных перенапряжений по макету. Определить его основные части.
3. Проверить исправность ограничителя импульсных перенапряжений мегомметром.
4. Снять вольтамперную характеристику варистора, применяемого в ограничителе импульсных перенапряжений ОПС1.
5. На стенде проверить работу ограничителей импульсных перенапряжений ОПС1.
6. Изучить рекомендации по применению ограничителей импульсных перенапряжений.

Задание для самоподготовки

Ознакомиться с материалами, изложенными в [3], глава 3, в [4], глава 4. Подготовить в письменном виде ответы на следующие вопросы:

1. Какое номинальное импульсное напряжение соответствует категории перенапряжений I, II, III, IV?
2. Как изображается на схемах ограничитель импульсных перенапряжений (укажите его позиционное обозначение)?

Описание лабораторного стенда

На панели стенда размещены аппараты и приборы, с помощью которых собрана схема стенда (рисунок 2.1).

На стенде имитируется трехфазная система TN–C–S. PEN-проводник при входе в вводно-распределительное устройство (ВРУ) разделяется на проводник N, изолированный от корпуса ВРУ, и проводник PE, связанный с корпусом ВРУ и с корпусами других электрических приемников. Во ВРУ проводник PE соединяется с главной заземляющей шиной (ГЗШ).

Ограничители импульсных перенапряжений **класса В** устанавливаются во ВРУ между фазами (L1, L2, L3) и проводником PE.

Ограничители импульсных перенапряжений **класса С** устанавливаются в распределительном щите (РЩ) и включаются между проводниками L1, L2, L3, N и проводником PE. Обратите внимание, что между проводниками L и PE устанавливается ограничитель импульсных перенапряжений.

Ограничители импульсных перенапряжений **класса D** устанавливаются в низковольтном комплектном устройстве (НКУ). Для однофазной нагрузки их устанавливается два: между фазой и PE-проводником; между проводниками N и PE. Для трехфазной нагрузки устанавливаются 4 ограничителя перенапряжений, подобно ограничителям класса С (см. текст выше).

Между ВРУ и РЩ должно быть не менее 10–15 м кабеля, между РЩ и НКУ также прокладывается кабель не меньшей длины. Их индуктивное сопротивление имитируется на стенде индуктивностями L1-L4 и L5-L8. Если эти длины кабеля меньше 10–15 м, то на

входе и на выходе распределительного щита устанавливаются искусственные индуктивности, равные индуктивности кабелей длиной 15 м.

В левой части рисунка 2.1 изображен блок Б, имитирующий возникновение импульсных перенапряжений в действующей установке. Для этой цели служит генератор испытательных импульсов G, который получает питание от сети через автоматический выключатель QF7 и выключатель SA3. Включается генератор G кнопкой SB6 (кратковременно).

С помощью осциллографа с делителем напряжения 1 : 20 вход осциллографа связывается с розетками XS1-XS5 сети (до и после ограничителей FU1-FU5). Измерения напряжения производится осциллографом N. Принципиальная электрическая схема генератора G изображена на рисунке 2.2.

Чтобы не подвергать электрическую сеть здания испытательному перенапряжению от генератора G, стенд получает питание по упрощенной схеме от однофазного разделительного трансформатора TV1. Трансформатор TV4 формирует импульсы перенапряжений.

Для снятия вольтамперных характеристик ограничителей импульсных перенапряжений используют блок А (рисунок 2.2). Он включается в сеть выключателем SA1. Блок А имеет автотрансформатор TV2, трансформатор TV3, выпрямитель UZ, конденсатор С, миллиамперметр PA1 и вольтметр PV1, переключатель SA2 и испытуемый ограничитель импульсных перенапряжений FU5.

Методические указания

К пункту 1 задач занятия

При знакомстве с аппаратами защиты обратите внимание на надписи, размещенные на аппаратах.

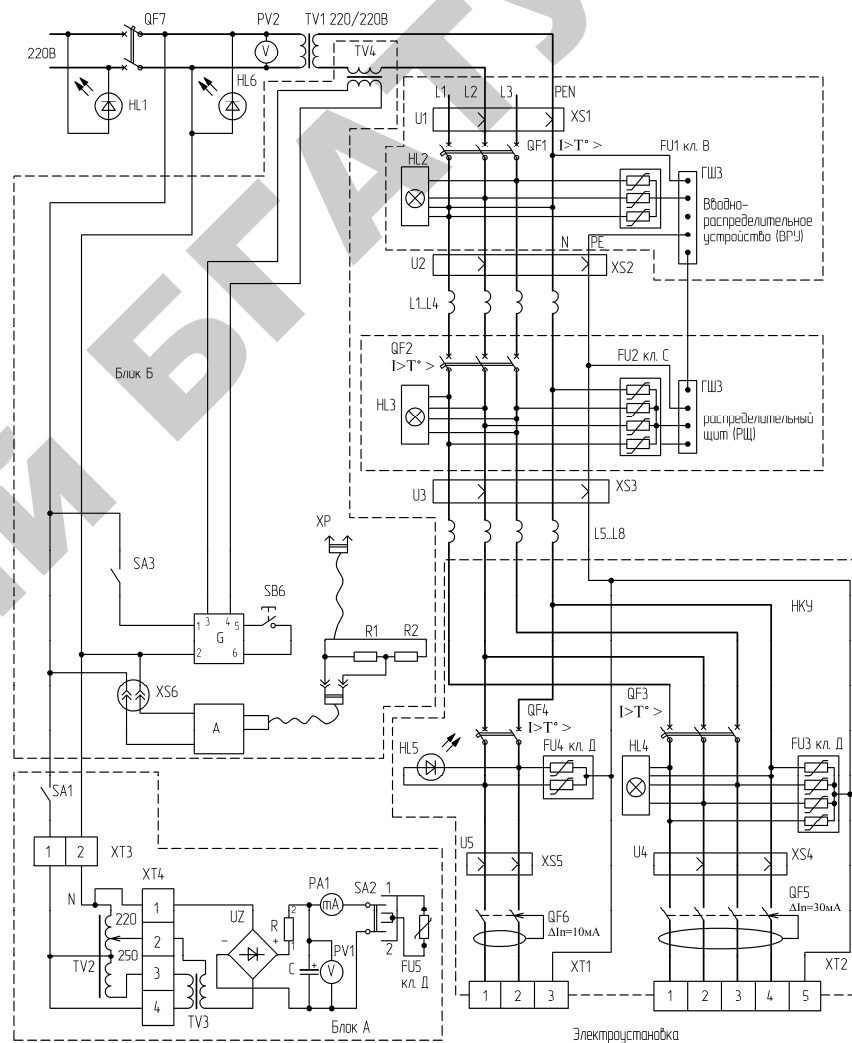


Рисунок 2.1. Принципиальная электрическая схема стенда, поясняющая размещение ограничителей импульсных перенапряжений во внутренних сетях 0,4 кВ и их испытание: А – осциллограф; G – генератор импульсов

Таблица 2.1 – Перечень элементов лабораторного стенда

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечания
PV1	Вольтметр	1	.....
QF1	Автоматический выключатель	1	$I_{н.в.} =$
QF2	.....	
QF3	.....	
QF4	.....	
QF5	УЗО типа		
QF6	.....	
QF7	.....	
FU1	УЗИП типа класса		
FU2	.....	
FU3	.....	
FU4	.....	
TV2	Лабораторный автотрансформатор ЛАТР-2	1	$I_n = 9 \text{ A}$
SA1, SA2, SA3	Переключатель типа тумблера	2	
XS1-XS5	.....	
A	.....	1	

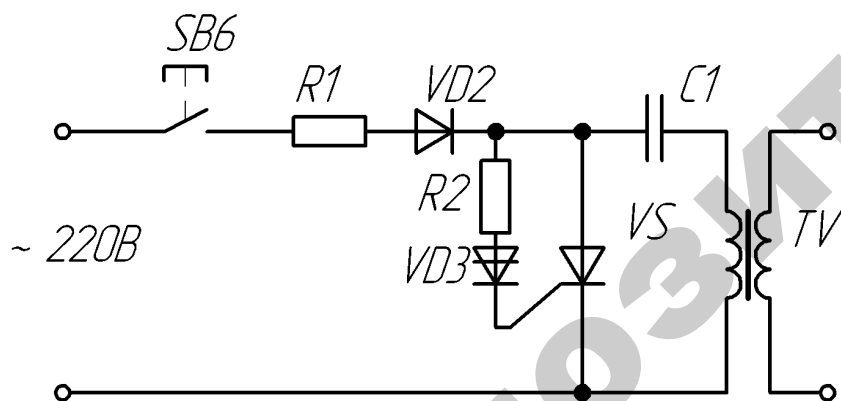


Рисунок 2.2. Принципиальная электрическая схема генератора высокочастотных импульсов

К пункту 2 задач занятия

Ознакомьтесь с устройством варисторного ограничителя импульсных перенапряжений ОПС1, размещенного на макете. Найдите варистор, проследите его соединение с подключаемыми клеммами, найдите визуальный индикатор износа варистора и обсудите между собой принцип его действия. Пригласите преподавателя для консультации.

К пункту 3 задач занятия

Проверка исправности ограничителя импульсных перенапряжений FU5 проводится следующим образом:

- по визуальному индикатору проверяется степень износа (если индикатор затемнен более чем на 3/4, то его необходимо заменить);
- клеммы мегомметра на 1000 В присоединяются к клеммам ограничителя импульсных перенапряжений (FU5 на рисунке 2.1). Переключатель SA2 устанавливается в среднее положение;
- измеряется сопротивление ограничителя FU5 мегомметром. Оно должно быть в диапазоне 0,1-2 МОм. Если сопротивление ограничителя находится вне указанного диапазона, необходимо сообщить об этом преподавателю. Ограничитель должен быть заменен.

К пункту 4 задач занятия

Для снятия вольтамперной характеристики ограничителя импульсных перенапряжений пользуются блоком А.

Установить ползунок автотрансформатора TV2 в крайнее левое положение (наименьшего напряжения). Включить SA1, а SA2 установить в положение 1.

Постепенно повышая напряжение автотрансформатора TV2, записать значения постоянного тока (мА) и напряжения (В).

Ток повышают до 7 мА (во избежание выхода из строя варистора вследствие тепловой перегрузки). После этого снижают напряжение.

Рекомендуемые значения напряжения приведены в таблице 2. 2.

К пункту 5 задач занятия

Проверку действия ограничителей, собранных в схему сети 0,4 кВ, производят с помощью блока Б.

Для этого включают SA3. При этом напряжение подается на генератор G испытательного напряжения и на осциллограф. Автоматические выключатели QF1–QF5 должны быть отключены.

Вход осциллографа подключите к розетке XS1. Тем самым подается напряжение от трансформатора TV1 на вход осциллографа. На экране осциллографа будет наблюдаться синусоидально изменяющаяся кривая. Измерьте это напряжение $U_{1_{xx}}$ и запишите в таблицу 2.3.

Таблица 2.2 – Результаты опытного определения вольтамперной характеристики ограничителя импульсных перенапряжений ОПС1-D на постоянном токе

Параметр	Увеличивая напряжение U до значения							
Положительная ветвь характеристики (SA2 в положении 1)								
U , В	450	500	510	520	530	540	545	550
I , мА								
Отрицательная ветвь характеристики (SA2 в положении 2)								
U , В	450	500	510	520	530	540	545	550
I , мА								
Параметр	Уменьшая напряжение U до значения							
Положительная ветвь характеристики (SA2 в положении 1)								
U , В	550	545	540	530	520	510	500	450
I , мА								
Отрицательная ветвь характеристики (SA2 в положении 2)								
U , В	550	545	540	530	520	510	500	450
I , мА								

Нажмите кнопку SB6 кратковременно, до 5 с. Тем самым включается генератор. На осциллографе будет наблюдаться синусоида с импульсами перенапряжений. Измерьте импульсы перенапряжений ($U1$) по осциллографу и запишите их значения в таблицу 2.3.

Вход осциллографа подключите к розетке XS2. Включите автоматический выключатель QF1. Тем самым в сеть включается ограничитель импульсных перенапряжений FU1 класса В. После этого нажмите кнопку SB6. Будете наблюдать синусоидальное напряжение с импульсами перенапряжений уменьшенной амплитуды. Измерьте перенапряжения ($U2$) и запишите их значения в таблицу 2.3.

Вход осциллографа подключите к розетке XS3. Включите автоматический выключатель QF2. Тем самым в сеть включается огра-

ничатель импульсных перенапряжений FU2 класса D. После этого нажмите кнопку SB6. Будете наблюдать синусоидальное напряжение с импульсами перенапряжений уменьшенной амплитуды. Измерьте перенапряжения ($U3$) и запишите их значения в таблицу 2.3.

Вход осциллографа подключите к розетке XS4. Включите автоматический выключатель QF3. Тем самым в сеть включаются ограничители импульсных перенапряжений FU3 класса D. Теперь нажмите кратковременно кнопку SB6. Будете наблюдать синусоидальное напряжение с импульсами перенапряжений уменьшенной амплитуды. Измерьте это перенапряжение ($U4$).

Вход осциллографа подключите к розетке XS, включите QF4, кратковременно нажмите кнопку SB6. Измерьте перенапряжение ($U5$). Результаты измерений запишите в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты опытов измерения импульсного перенапряжения в линии

Контрольные точки	XS1		XS2	XS3	XS4	XS5
Импульсное перенапряжение	$U_{1_{xx}}$	$U1$	$U2$	$U3$	$U4$	$U5$

К пункту 6 задач занятия

Изучить рекомендации по применению ограничителей импульсных перенапряжений, изложенные в главах 3 [3] и 4 [4].

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель занятия.
3. Ответы на контрольные вопросы самоподготовки в письменном виде.
4. Таблицы 2.1, 2.2 и 2.3.
5. Вольтамперная характеристика для положительных и отрицательных значений на одном графике по данным таблицы 2.2.
6. Гистограмма импульсов перенапряжений в масштабе 1:10 по данным таблицы 2.3 (вид гистограммы приведен на рисунке 2.3).

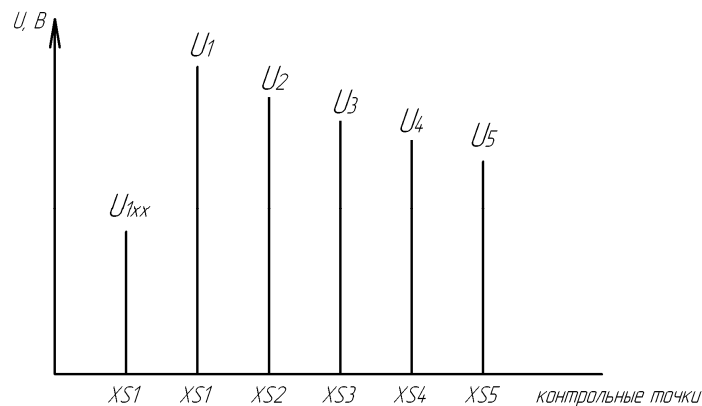


Рисунок 2.3. Примерный вид гистограммы напряжений в контрольных точках схемы

Контрольные вопросы

1. Как проводится проверка исправности ограничителей импульсных перенапряжений в условиях эксплуатации?
2. Какой вид имеет вольтамперная характеристика ограничителя импульсных перенапряжений на варисторе при действии постоянного тока?
3. То же, переменного тока.
4. Опишите методику снятия вольтамперной характеристики ограничителя импульсных перенапряжений на постоянном токе.
5. Нарисуйте схему, по которой можно снять вольтамперную характеристику ограничителя импульсных перенапряжений на переменном токе.
6. Следует ли устанавливать в цепи ограничителей импульсных перенапряжений предохранители?
7. Нарисуйте схему взаимосвязи между классами ограничителей импульсных перенапряжений и категорией стойкости изоляции оборудования.
8. Назовите назначение и место установки ограничителей импульсных перенапряжений класса I (B).
9. То же, класса II (C).
10. То же, класса III (D).
11. Назовите источники импульсных перенапряжений.

Лабораторная работа № 3

Защита электрооборудования от временных перенапряжений

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

Временные перенапряжения характеризуются амплитудой напряжений выше 1,1 номинального значения частотой 50 Гц и продолжительностью более 10 мс. Они встречаются в электрических сетях часто. Особенно опасны временные перенапряжения при обрыве (выгорании) нулевого проводника на вводе. В этом случае фазное напряжение может достигнуть 380 В. Поэтому важно будущим инженерам-электрикам знать принципы и средства защиты от временных перенапряжений.

Цель занятия

Изучить основные принципы и средства защиты электрооборудования от временных перенапряжений.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Собрать схему испытаний электронного ограничителя перенапряжений (ЭОН-1) и провести его испытания.
3. Собрать схему испытаний электронного выключателя нагрузки при временных перенапряжениях (A2) и провести его испытания.

Задание для самоподготовки

Изучите приложение 3. Ответьте в письменном виде на следующие вопросы.

1. Нарисуйте кривую изменения напряжения при временном перенапряжении.
2. Объясните назначение электронного ограничителя перенапряжений типа ЭОН-1.

Описание лабораторного стенда

На стойке лабораторного стола закреплен электронный ограничитель напряжения ЭОН-1, описание которого приведено в приложении 1. На соседнем столе установлен автотрансформатор.

За стойкой лабораторного стола закреплено устройство, отключающее нагрузку при временных перенапряжениях, описание которого приведено в приложении 1.

Для измерения напряжения используется переносной цифровой прибор.

Методические указания

К пункту 2 задач занятия

Соберите схему (рисунок 3.1) для испытания ЭОН-1 (устройство А1). К клеммам 3–4 подключите выход А1, а напряжение от TV подайте на зажимы 1–2 ЭОН-1 (на клемму 2 – нулевой проводник). Схема с нагрузкой мощностью 200 Вт уже собрана.

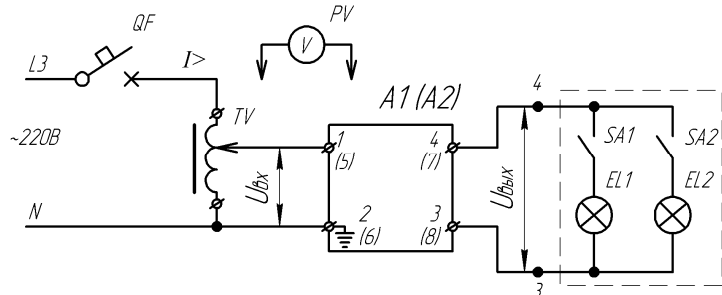


Рисунок 3.1. Принципиальная электрическая схема испытаний электронного ограничителя ЭОН-1 (устройство А1) и электронного выключателя нагрузки ЭОН-2 (устройство А2) при временных перенапряжениях: в скобках указаны зажимы ЭОН-1 (устройства А1), а без скобок – зажимы электронного выключателя нагрузки (устройства А2)

Включить SA1. Изменяя напряжение на входе от 165 до 250 В и обратно с помощью автотрансформатора, измерить напряжение на входе и на нагрузке. Данные опытов записать в таблицу 3.2. Увеличить нагрузку (включить SA2) и повторить испытания.

Таблица 3.1 – Перечень элементов лабораторного стенда

Поз. обозн.	Наименование	К-во	Прим.
1	2	3	4
A1	Ограничитель напряжения типа ЭОН-1	1	
QF	Автоматический выключатель	1	$I_{н.в.} =$
TV	Лабораторный автотрансформатор ЛАТР-2	1	$I_{н.} = 9 \text{ А}$

Окончание таблицы 3.1

1	2	3	4
SA1,SA2	Переключатель типа тумблера	2	
EL1,EL2	Нагрузочные лампы накаливания	2	200 Вт
A2	Электронный выключатель нагрузки при временных перенапряжениях	1	$I_{н.} = 10 \text{ А}$

Таблица 3.2 – Результаты опытов испытания ЭОН-1 (устройство А1) и выключателя нагрузки при временных перенапряжениях (устройство А2)

$U_{вх.}, \text{ В}$	Увеличение входного напряжения		Уменьшение входного напряжения	
	устройство		устройство	
	A1	A2	A1	A2
165	$U_{вых.}, \text{ В}$	$U_{вых.}, \text{ В}$	250	$U_{вых.}, \text{ В}$
180			240	
190			220	
200			210	
210			200	
220			190	
240			180	
250			165	

К пункту 3 задач занятия

Подключите по схеме рисунка 3.1 вместо ЭОН-1 (устройство А1) электронный выключатель нагрузки при временных перенапряжениях (устройство А2) и по методике испытания устройства А1 проведите испытания устройства А2.

Результаты опытов запишите в таблицу 3.2.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Вопросы самоподготовки и ответы на них.
3. Принципиальная электрическая схема испытаний (рисунок 3.1) и таблица 3.1.
4. Таблица 3.2 данных испытаний устройств А1 и А2. Вывод о работоспособности устройства ЭОН-1.

Лабораторная работа № 4

Исследование однофазных устройств защитного отключения

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

На производстве большое внимание уделяется электрической безопасности. Одним из эффективных направлений обеспечения электрической безопасности в действующих электроустановках является применение устройств защитного отключения (УЗО). Изучению принципа действия УЗО, его настроек и характеристик посвящена данная работа. Эти знания нужны будущим инженерам-электрикам.

Цели занятия

1. Изучить однофазные устройства защитного отключения (УЗО) компании «ИЭК», основанные на контроле дифференциального тока.
2. Освоить методику проверки УЗО.
3. Изучить рекомендации по монтажу УЗО в электроустановках.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с аппаратами защиты, расположенными на лабораторном стенде. Обратить внимание на надписи на аппаратах защиты. Заполнить таблицу 4.1.
2. Ознакомиться с устройством УЗО по макету. Определить места установки дифференциального трансформатора, расцепителя, дугогасительной решетки.
3. Проверить работоспособность однофазных УЗО.
4. Определить величину тока срабатывания однофазных УЗО при синусоидальном и пульсирующем постоянном токах.
5. Определить время срабатывания однофазного УЗО при токах $I_{\Delta\text{сраб}}$, $I_{\Delta\text{л}}$, $2I_{\Delta\text{л}}$, $3I_{\Delta\text{л}}$, $4I_{\Delta\text{л}}$.
6. Проверить работу УЗО в действующей электроустановке.

Задание для самоподготовки

Ознакомиться с материалом, изложенным в главах 2 [3] и 5 [4].
Подготовить в письменном виде ответы на следующие вопросы:
1. Назначение УЗО.

5. Определение в процентах от номинального значения напря-

жения $U_{\text{откл}}$ и $U_{\text{вкл}}$ устройства А2: $U_{\text{откл}} \% = \frac{U_{\text{откл}}}{220} \cdot 100 \% ;$

$U_{\text{вкл}} \% = \frac{U_{\text{вкл}}}{220} \cdot 100 \% .$

Контрольные вопросы

1. Расскажите принцип работы ЭОН-1 (приложение 1).
2. То же, устройства А2 по рисунку П1.3 приложения 1.
3. То же, устройства А2, имеющего схему рисунка П1.4 приложения 1.

2. Назначение дифференциального трансформатора тока.

3. Какой элемент УЗО служит для периодического контроля исправности УЗО?

Описание лабораторного стенда

На панели стенда размещены аппараты и приборы, с помощью которых собрана схема стенда (рисунок 4.1).

Автоматический выключатель QF1 включает схему в сеть. Контакт КМ коммутирует цепи электроустановки.

В силовой цепи электроустановки установлены параллельно УЗО с номинальным дифференциальным током 10 и 30 мА. УЗО включаются для испытаний поочередно.

Установка, смонтированная на стенде, имитирует работу УЗО в системе TN–C–S, где входным является PEN-проводник. Установка УЗО потребовала коммутации N-проводника, поэтому однофазные УЗО двухполюсные. Кроме этого, потребовалось металлический корпус электроустановки соединить с РЕ-проводником, который выполнен отдельным проводом. Он подключен к PEN-проводнику на вводе в стенд.

Для испытаний УЗО используется секундомер РТ, датчик тока А в цепи испытаний, миллиамперметры РА3 на 40 мА (переносной) и РА2 на 500 мА (щитовой), блок переменных резисторов с переключателем SA8, регулировочные резисторы RP1 и RP2, переключатель вида испытываемого тока SA6, переключатель режима работы «наладка – работа» SA7 и переключатель секундомера SA5.

Схема датчика тока приведена на рисунке 4.2.

Методические указания

К пункту 1 задач занятия

Сначала ознакомьтесь с аппаратами защиты, расположенными на лабораторном столе. Заполните таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень элементов лабораторного стенда

Поз. обозн.	Наименование	К-во	Прим.
1	2	3	4
РА1	.....	1	

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4
...	...		
PV	...		
QF1	Автоматический выключатель	1	$I_{н.в.} =$
...	...		
...	...		
KM	...		
SA1-SA4	...		
...	...		
...	...		

К пункту 2 задач занятия

Ознакомьтесь с УЗО по макету. Найдите основные узлы УЗО: дифференциальный трансформатор, расцепитель, добавочный резистор, силовые контакты.

К пункту 3 задач занятия

Проверка работоспособности УЗО заключается в нажатии на кнопку «ТЕСТ» включенного в сеть УЗО. Для этого подают питание на стенд, включают вводный автоматический выключатель QF1 и проверяемое УЗО (QF2, или QF3).

Если УЗО отключается при нажатии на кнопку «ТЕСТ», то оно исправно. Если не отключается, необходимо сообщить об этом преподавателю.

К пункту 4 задач занятия

Для определения тока срабатывания УЗО переключатели ставят в следующие положения:

- SA7 – в положение 1 «РАБОТА»;
- SA6 – в положение 1 (испытание на переменном токе);
- SA8 – в положение 1 (наименьшего тока утечки);
- SA5 – в положение «ОТКЛ» (секундомер отключен).

Переменные резисторы RP1 и RP2 ставят в крайнее левое положение наименьшего тока.

Подают питание на схему.

Сначала испытывают QF2 с током утечки 10 мА. Постепенно, медленно поворачивая рукоятку резистора RP1, увеличивают ток утечки и наблюдают за показаниями миллиамперметра PA3 (на пределе измерений 10 мА). Записывают ток, при котором произошло отключение УЗО. Аналогично провести испытания QF3 с током утечки 30 мА. Только теперь можно начинать сразу с тока 10 мА, установив SA8 в положение 2, а миллиамперметр PA3 – в положение 20 мА.

Данные опытов записать в таблицу 4.2.

Аналогично провести испытания УЗО при пульсирующем выпрямленном токе утечки. Для этого переключатель SA6 установить в положение 2 и опыты повторить.

К пункту 5 задач занятия

Для определения времени срабатывания УЗО при различных по величине токах утечки поступают следующим образом.

Сначала устанавливают:

- SA6 – в положение 1;
- SA8 – в положение 1;
- SA5 – в положение «ОТКЛ»;
- SA7 – в положение 2 «НАЛАДКА».

Включают QF1 и QF2.

Выставляют с помощью потенциометров RP1 и RP2, переключателя SA8 требуемый ток утечки (см. таблицу 4.2).

Переключатель SA7 ставят в положение 0, а затем SA5 – в положение 2 (включен секундомер). Включают испытуемое УЗО. Затем SA7 переводят в положение 1 (работа) и засекают время срабатывания УЗО.

Для проведения опытов при другом токе SA5 переводят в положение «ОТКЛ», а SA7 – в положение 2 «НАЛАДКА», выставляют требуемый ток с помощью RP1, RP2 и SA8. Затем SA7 ставят в положение 0, а SA5 – в положение «ВКЛ». Затем SA7 переводят в положение 1 «РАБОТА» и засекают время срабатывания УЗО.

Результаты опытов записывают в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты опытов и обработки данных

Параметры	УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током $I_{\Delta n}$ 10 мА	УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током $I_{\Delta n}$ 30 мА
Синусоидальный ток срабатывания $I_{\Delta \text{сраб}}$, мА		
Однополупериодный выпрямленный ток срабатывания $I_{\Delta \text{ср}}$, мА		
Время срабатывания, с, при синусоидальном токе утечки	$I_{\Delta \text{сраб}}$	
	$I_{\Delta n}$	
	$2I_{\Delta n}$	
	$3I_{\Delta n}$	
	$4I_{\Delta n}$	

К пункту 6 задач занятия

Проверить работу УЗО в действующей электроустановке. Для этого отключить все выключатели нагрузки SA1-SA4, включить УЗО на 10 мА и, нажав на кнопку SB1 «ПУСК», включить КМ.

Выключателем нагрузки включить поочередно, сначала SA1, потом SA2, SA3, SA4. Отметить, при включении какого выключателя срабатывает УЗО.

После этого включить УЗО с номинальным током 30 мА и повторить опыты включения SA1-SA4. Отметить, при включении какого выключателя SA1-SA4 сработало УЗО, какой был при этом ток в силовой цепи.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель занятия.
3. Ответы на контрольные вопросы самоподготовки в письменном виде.
4. Таблицы 4.1 и 4.2.
5. Выводы в письменном виде:
 - а) о срабатывании УЗО при синусоидальном и выпрямленном однополупериодном токе утечки;
 - б) о соответствии УЗО номинальному току уставки (указать цифры действительного тока срабатывания УЗО и номинального тока срабатывания УЗО);
 - в) о соответствии УЗО допустимому времени срабатывания (указать цифры действительного времени срабатывания и допустимого времени срабатывания УЗО);
 - г) о зависимости времени срабатывания УЗО от тока утечки. Начертить график $t_{ср} = f(I_{\Delta n})$ для испытуемых УЗО.

Контрольные вопросы

1. Какой тип однофазного УЗО вы изучали в лаборатории?
2. Как шифруется обозначение УЗО типа ВД1?
3. На какие номинальные токи выпускаются однофазные УЗО компании ИЭК?
4. Назовите номинальный отключающий ток $I_{\Delta n}$ однофазных УЗО.
5. На какой ток (переменный, выпрямленный пульсирующий, или выпрямленный постоянный) реагируют УЗО типа ВД1?
6. Какой максимальный ток КЗ может отключить устройство ВД1?
7. Как обозначается УЗО на электрических схемах?
8. Нарисуйте схему, по которой рекомендуется проверять ток срабатывания УЗО?
9. Опишите методику проверки тока срабатывания УЗО и критерии его исправности.

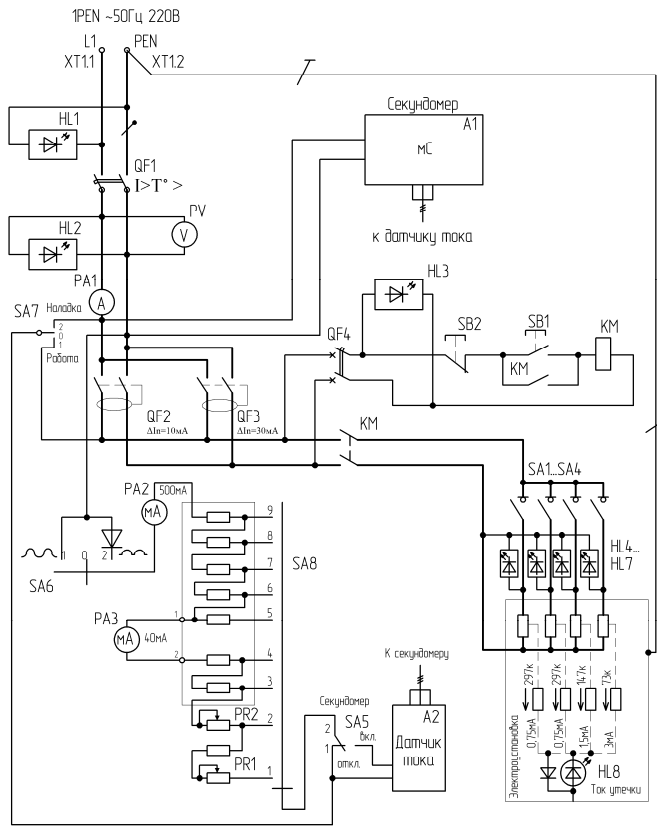


Рисунок 4.1. Принципиальная электрическая схема стенда для испытаний однофазных УЗО

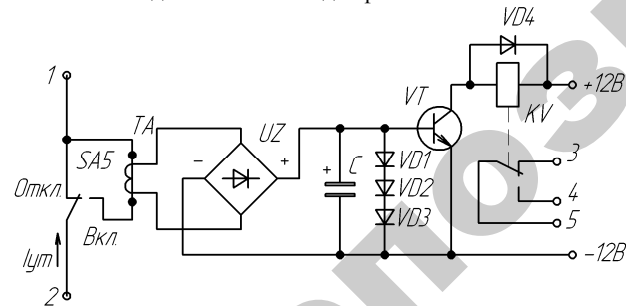


Рисунок 4.2. Принципиальная электрическая схема датчика тока

Лабораторная работа № 5

Исследования трехфазных устройств защитного отключения

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

Область применения УЗО неуклонно расширяется. При эксплуатации УЗО необходимо знать методику контроля работоспособности УЗО в составе электроустановки, методику измерения тока утечки в зоне защиты УЗО, особенности применения УЗО в различных типах систем заземления. Эти знания нужны будущим инженерам-электрикам.

Цели занятия

1. Изучить трехфазное устройство защитного отключения (УЗО), основанное на контроле дифференциального тока.
2. Освоить методику измерения тока утечки в зоне защиты УЗО.
3. Изучить рекомендации по применению УЗО.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с аппаратами защиты, представленными на лабораторном стенде. Заполнить таблицу 5.1.
2. Ознакомиться с устройством дифференциального автомата АД-14 по макету. Найти на макете дифференциальный трансформатор, расцепитель, электронную схему.
3. Проверить работоспособность трехфазных УЗО.
4. Определить дифференциальный отключающий ток для исследуемых УЗО.
5. Определить фоновый ток утечки электроустановки при включении электродвигателя и нагревателей.
6. Проверить работоспособность УЗО при максимальной утечке.
7. Исследовать параметры электроустановки при обрыве нулевого проводника. Проверить работоспособность УЗО.

Задание для самоподготовки

Ознакомиться с материалами глав 2 [3] и 5 [4].

Подготовить в письменном виде ответы на следующие вопросы:

1. Какой тип электромагнитного расцепителя (А, В, С или D) имеют дифференциальные автоматы АД-12 и АД-14?
2. Как подключаются УЗО в электроустановках системы TN-C (нарисуйте схему подключения)?

Описание лабораторного стенда

На панели стенда размещены аппараты и приборы, с помощью которых собрана схема стенда (рисунок 5.1).

В силовой цепи электроустановки могут быть включены автоматический выключатель QF1, или дифференциальный выключатель QF2. Они предназначены для защиты силовой цепи от токов КЗ. Дифференциальный выключатель QF2 предназначен не только для защиты цепи от токов КЗ, но и для защиты этих цепей по току утечки.

Если включить QF1, то последовательно с ним могут быть включены УЗО с номинальным дифференциальным током 10 мА (QF4) или с номинальным дифференциальным током 30 мА (QF3).

Электроустановка представляет собой модель тепловентилятора. Она имеет трехфазный асинхронный электродвигатель М с КЗ ротором и электрический нагреватель из трех элементов (R1, R2, R3). Электродвигатель коммутируется электромагнитным пускателем КМ, а электрические нагреватели – выключателями нагрузки SA2, SA3, SA4.

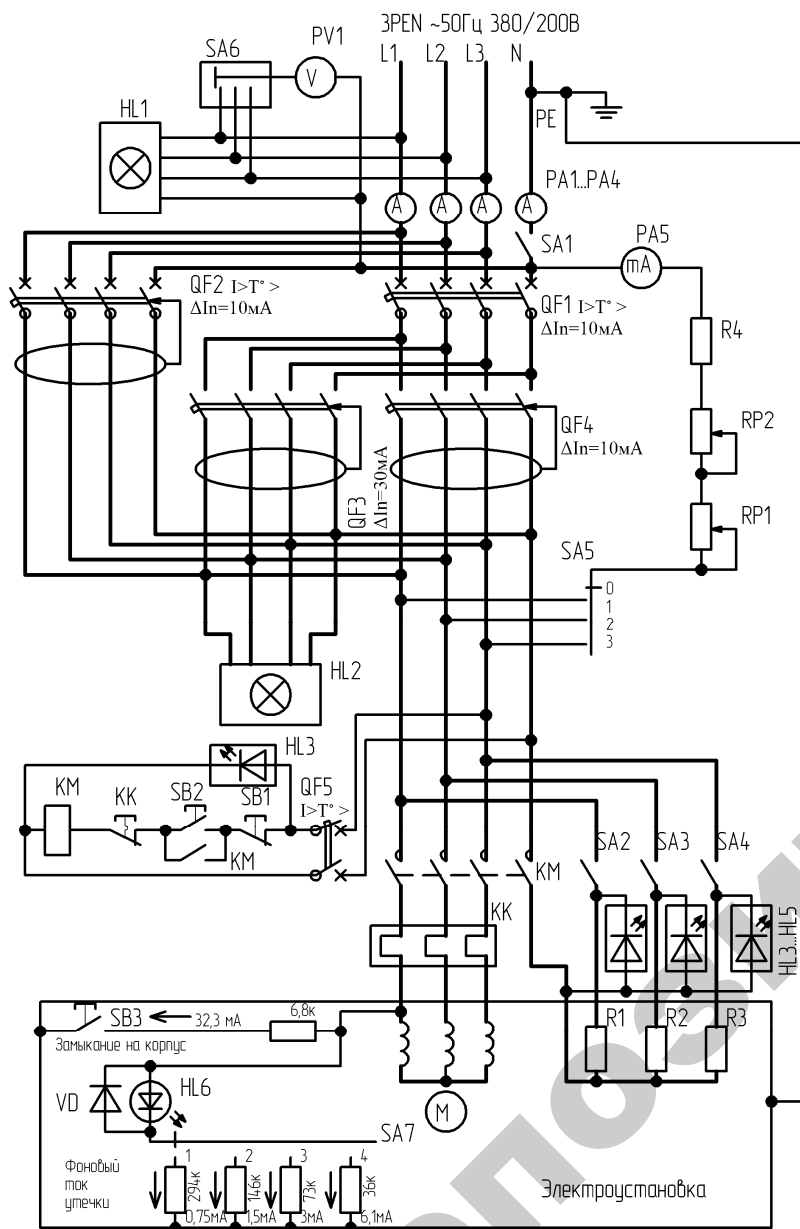


Рисунок 5.1. Принципиальная электрическая схема стенда

Таблица 5.1 – Перечень элементов лабораторного стенда

Поз. обозн.	Наименование	К-во	Прим.
PA1-PA4	1	
PA5	...		
PV	...		
QF1	Автоматический выключатель	1	$I_{н.у.} =$
...	...		
...	...		
KM	...		
SA1-SA4	...		
...	...		
...	...		

Электроустановка, смонтированная на стенде, имитирует работу УЗО в системе TN–C–S. Эта система на вводе стенда имеет 4 проводника системы TN–C (с PEN-проводником). На вводе проводник PEN разделен на 2 проводника: PE и N. Эти проводники прокладываются отдельно и нигде (в пределах электроустановки) не соединяются между собой.

Данная система в настоящее время основная, которую можно выполнить в отдельной части электроустановки при проведении реконструкции. В этой системе нулевой проводник N коммутируется контактами УЗО и контактами автоматического выключателя.

Измерение тока срабатывания УЗО производится миллиамперметром PA5, тока нагрузки электроустановки – амперметрами PA1-PA4.

Величина фоновой тока утечки имитируется выключателями SA5 и SA7, светодиодом HL6. Максимальная утечка – кнопкой SB3 (замыкание на корпус).

Методические указания

К пункту 1 задач занятия

Ознакомьтесь с аппаратами, расположенными на лабораторном стенде. Обратите внимание на надписи на аппаратах защиты. Заполните таблицу 5.1.

К пункту 2 задач занятия

Ознакомьтесь с устройством дифференциального автомата АД-14 по макету. Найдите на макете дифференциальный трансформатор, расцепитель, электронную схему усилителя.

К пункту 3 задач занятия

Проверьте работоспособность трехфазных УЗО. Для этого переключатель SA5 поставьте в положение 0, включите SA1, QF1...QF4. Загорается индикатор HL2, показывая их включение.

Проверка работоспособности УЗО заключается в нажатии на кнопку «Тест» включенного в сеть УЗО.

Нажмите на кнопки «Тест» аппаратов QF2, QF3 и QF4. Если они отключатся, значит исправны. Если они не отключаются, сообщите об этом преподавателю.

К пункту 4 задач занятия

Для определения тока срабатывания УЗО SA5 поставьте в положение 0, а переменные резисторы RP1 и RP2 – в крайнее левое положение, что соответствует их наибольшему сопротивлению.

Включите одно УЗО, например, QF2. Затем переведите переключатель SA5 в положение 1 и, постепенно уменьшая сопротивление RP1 поворотом рукоятки по часовой стрелке, следите за показаниями миллиамперметра PA5. Заметьте ток, при котором срабатывает QF2.

Опыт повторите в положении 2 переключателя SA5, затем в положении 3. Результаты опытов запишите в таблицу 5.2. Вычислите и запишите среднее значение тока срабатывания.

Аналогичным образом поступают с другими УЗО. Впредь включают только то УЗО, которое испытывается.

К пункту 5 задач занятия

Определение фоновых токов утечки электроустановки производится при включенной нагрузке. Но, прежде чем включить нагрузку, переключатель фоновых токов утечки ставят в положение 1, переключатель фаз SA5 – в положение 1, RP1 и RP2 – в положение

наибольшего сопротивления (левое крайнее положение), выключатели нагрузки SA2-SA4 находятся в отключенном состоянии.

В первом опыте включают QF5, QF2 и двигатель, нажав на кнопку SB2.

Постепенно уменьшая RP1, следят за током миллиамперметра PA5. Записывают значение тока, при котором произошло отключение QF2, в таблицу 5.1.

Во втором опыте: ставят SA5 в положение 1, RP1 и RP2 – в положение максимального сопротивления, SA7 – в положение 2, включают QF4, KM и SA2. Постепенно уменьшая RP1, добиваются срабатывания QF4. Записывают значение тока срабатывания в таблицу 5.1.

В третьем опыте: ставят SA5 в положение 1, RP1 и RP2 – в положение максимального сопротивления, SA7 – в положение 3. Включают QF4, KM, SA2, SA3. Постепенно уменьшая RP1, добиваются срабатывания QF4. Записывают значение тока срабатывания в таблицу 5.1.

В четвертом опыте: ставят SA5 в положение 1, RP1 и RP2 – в положение максимального сопротивления, SA7 – в положение 4. Включают QF3, KM, SA2, SA3, SA4. Постепенно уменьшая RP1, а затем RP2, добиваются срабатывания QF3. Записывают значение тока срабатывания в таблицу 5.1.

Фоновый ток утечки электроустановки определяют по формуле:

$$I_{\phi} = I'_{\text{сраб}} - I_{\text{сраб}}, \quad (5.1)$$

где $I'_{\text{сраб}}$, $I_{\text{сраб}}$ – токи срабатывания в опытах, таблица 5.1.

К пункту 6 задач занятия

Определяют работоспособность УЗО при максимальной утечке, имитирующей замыкание на корпус. Для этого включают УЗО, электродвигатель и нажимают на кнопку SB3. УЗО должно отключиться. Так проверяют работоспособность всех испытываемых УЗО (QF2, QF3, QF4).

Таблица 5.2 – Результаты опытов и расчетов по определению фоновому току утечки электроустановки

Параметры	Аппарат защиты		
	АД-14 (QF2)	ВД1-63/4/16/30 (QF3)	ВД1-63/4/16/10 (QF4)
Ток срабатывания УЗО $I_{сраб}, \text{мА}$			
Среднее значение тока срабатывания $I_{сраб}, \text{мА}$			
Ток срабатывания при включении QF2, электродвигателя (SA7 в положении 1) $I_{сраб}, \text{мА}$		–	–
Ток срабатывания при включении QF4, электродвигателя и SA2 (SA7 в положении 2) $I_{сраб}, \text{мА}$	–	–	
Ток срабатывания при включении QF4, электродвигателя, SA2, SA3 (SA7 в положении 3) $I_{сраб}, \text{мА}$	–	–	
Ток срабатывания при включении QF3, электродвигателя, SA2, SA3, SA4 (SA7 в положении 4) $I_{сраб}, \text{мА}$	–		–
Фоновый ток утечки электроустановки $I_{ф}, \text{мА}$			

К пункту 7 задач занятия

Исследование параметров электроустановки заключается в определении токов и напряжений по фазам при наличии нулевого проводника и без него.

Для этого при включенном SA1 включают QF2, QF4, электродвигатель М и записывают значения токов и напряжений в таблицу 5.3.

Затем включают дополнительно SA2 и записывают новые значения токов и напряжений.

Аналогично поступают при включении SA3 и SA4.

Работу электроустановки при отключенном нулевом проводнике (SA1 отключен) проверяют аналогично описанному выше.

При отключенном нулевом проводнике проверяют срабатывание УЗО, имитируя замыкание на корпус кнопкой SB3 и изменяя фоновый ток утечки переключателем SA7.

Таблица 5.3 – Исследование параметров электроустановки

Условия опыта	$U_{1, \text{В}}$	$U_{2, \text{В}}$	$U_{3, \text{В}}$	$I_{1, \text{А}}$	$I_{2, \text{А}}$	$I_{3, \text{А}}$	$I_0, \text{А}$	Положение переключателя SA7 при срабатывании УЗО
При наличии нулевого проводника (SA1 замкнут)								Положение ...
Без нулевого проводника (SA1 разомкнут)								Положение ...

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель занятия;
3. Ответы на контрольные вопросы самоподготовки в письменном виде.
4. Таблицы 5.1–5.3.
5. Выводы по работе, в частности:
 - а) о влиянии тока нагрузки на фоновый ток электроустановки;
 - б) о влиянии нулевого проводника на токи и напряжения электроустановки, на срабатывание УЗО.

Контрольные вопросы

1. Какой тип трехфазного УЗО Вы изучали в лаборатории?

2. На какие номинальные токи выпускаются трехфазные УЗО компании «ИЭК»?

3. Чем отличается дифференциальный автоматический выключатель АД-14 от УЗО?

4. На какой ток (переменный или выпрямленный пульсирующий) выпускаются дифференциальные автоматы АД-14?

5. Что изображается на лицевой стороне аппарата АД-14 и что обозначают эти изображения?

6. То же, УЗО типа ВД-1.

7. Опишите методику определения фоновго тока электроустановки.

8. Нарисуйте принципиальную электрическую схему включения УЗО в электроустановках системы TN–С.

9. То же, TN–S.

10. То же, TN–C–S.

11. То же, IT.

12. То же, TT.

13. Расскажите о рекомендациях по применению УЗО на сельскохозяйственных объектах.

14. Опишите устройство дифференциального автомата АД-14.

Лабораторная работа № 6

Тепловая защита электродвигателя

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

Тепловая защита электродвигателя выполняется на базе электротеплового токового реле. Она наиболее часто используется для защиты электродвигателей от перегрузки. Знание свойств электротепловых токовых реле, умение проводить их испытание и наладку являются условиями их успешной эксплуатации.

Цель занятия

Освоить методику испытания и наладки электротеплового токового реле.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Собрать схему (рисунок 6.1) и заполнить таблицу 6.1.
3. Определить защитную характеристику электротеплового реле.
4. Настроить электротепловое реле на требуемый ток срабатывания опытным путем.
5. Освоить методику настройки электротеплового реле расчетным путем.

Задание для самопроверки

Ознакомьтесь с содержанием приложения 2.

Ответьте в письменном виде на следующие вопросы:

1. Как могут располагаться между собой нагреватели и биметаллические пластинки в электротепловом реле? Нарисуйте эскизы таких конструкций.
2. Какие недостатки и преимущества имеют электротепловые токовые реле?

Описание лабораторной установки

На лабораторном стенде установлены два одинаковые электротепловые токовые реле. Одно реле (КК1) используется для настройки тока испытания, другое (КК2) – для испытания установленным током.

Методические указания

К пункту 3 задач занятия

Установите указатель установки реле КК2 на среднее значение тока. Например, если испытывается электротепловое токовое реле РТТ с номинальным током 0,32 А, то среднее положение указателя реле соответствует току 0,32 А.

Сначала прогревают реле. Для этого переключатель SA ставят в положение «Наладка». С помощью автотрансформатора TV установите ток $2I_{\text{ном.уст.}}$. Переключите SA в положение «Испытание». Реле КК2 будет обтекаться током $2I_{\text{ном.уст.}}$

После срабатывания реле КК2 переключатель SA переводят в положение «Наладка» и устанавливают ток испытания $1,2 I_{\text{ном.уст.}}$. Затем переключатель SA переводят в положение «Испытания» и через 30 с нажимают на кнопку возврата реле. Как только контакт замкнется, то включится электромагнитный пускатель КМ и электросекундомер Е. Пауза в 30 с необходима для обеспечения примерно одинаковой температуры биметаллического элемента во всех опытах. Данные опыта занести в таблицу 6.2.

Снятие защитной характеристики теплового реле проводят при токах: $1,2I_{\text{ном.уст.}}$; $1,5I_{\text{ном.уст.}}$; $2I_{\text{ном.уст.}}$; $3I_{\text{ном.уст.}}$; $4I_{\text{ном.уст.}}$.

После этих испытаний проводят испытания электротеплового реле при двухфазном включении. Для этого переключают схемы реле КК1 и КК2 на двухполюсное включение (рисунок 6.1, б). Опыты проводят при тех же токах, что и в трехфазном режиме.

Таблица 6.2 – Данные опытов испытания электротеплового токового реле

Кратность тока установки $K = I / I_{\text{ном.уст.}}$	Измерено		
	Ток испытаний, А	Время срабатывания t , с.	
		трехполюсное включение	двухполюсное включение
1,2			
1,5			
2,0			
3,0			
4,0			

Режимы испытания и наладки устанавливаются переключателем SA. Для регулировки тока испытаний используется автотрансформатор TV1.

Отсчет времени срабатывания электротеплового реле производится с помощью электрического секундомера РТ.

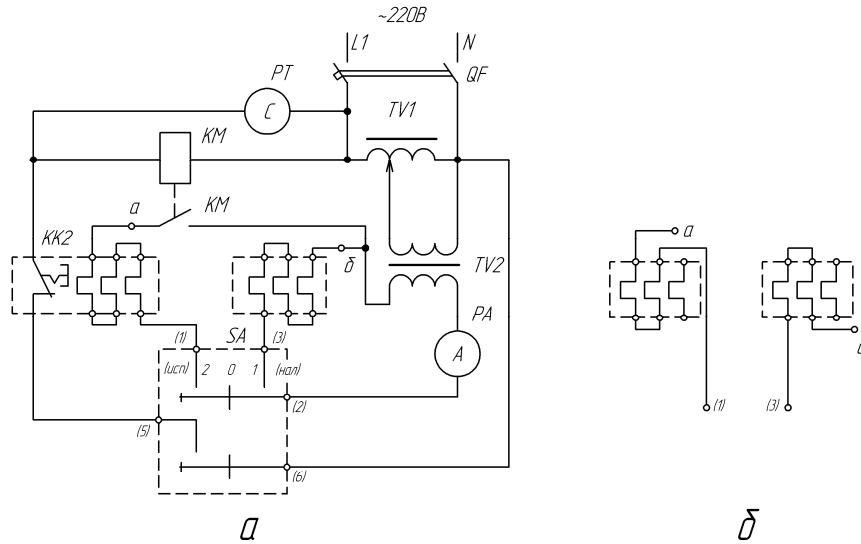


Рисунок 6.1. Принципиальная электрическая схема испытания трех полюсов электротеплового реле (а) и двух полюсов электротеплового реле (б)

Таблица 6.1 – Перечень элементов схемы лабораторной установки

Позиционные обозначения	Наименование	Кол-во	Примечания
QF	Автоматический выключатель АЕ2033	1	$I_{\text{н.р.}} = 4 \text{ А}$
TV1	Автотрансформатор ЛАТР-2	1	$I_{\text{н.}} = 40 \text{ А}$
TV2	Трансформатор ТБС-63	1	220/12 В
PC	Электросекундомер	1	
КМ	Электромагнитный пускатель	1	$I_{\text{н.}} = U_{\text{к}} = 220 \text{ В}$
A	Амперметр	1	
SA	Переключатель	1	$I_{\text{н.}} = 25 \text{ А}$

К пункту 4 задач занятия

Для настройки теплового реле опытным путем на требуемое значение тока сначала собирают схему (рисунок 6.1, а) для трехполюсного включения. Далее поступают следующим образом.

Предположим, требуется настроить тепловое реле типа РТТ-111 с номинальным током установки 0,32 А на рабочий ток срабатывания 0,28 А. При этом рабочем токе тепловое реле не должно срабатывать. Из защитной характеристики реле РТТ известно, что при трехполюсном включении и кратности тока 1,2 с горячего состояния реле должно сработать за время 260 с, при кратности 1,5 – за 100 с, при кратности 2,0 – за 42 с, при 3,0 – за 17,5 с, при 4,0 – за 11 с.

В качестве контрольной точки рекомендуется брать одну точку с кратностью тока 1,5. Поступаем следующим образом. Устанавливаем регулятор тока срабатывания реле на наибольшее значение. Прогреваем реле двукратным током $2 \cdot 0,32 = 0,64$ А, и как только реле сработало, устанавливаем ток $1,5 \cdot 0,32 = 0,48$ А и переводим переключатель SA в режим «Испытание». Секундомер устанавливаем на нуль. Через 30 с после срабатывания реле нажимаем на кнопку возврата реле в исходное состояние. Как только контакт реле КК2 замкнется и начнется отсчет времени, корректируем автотрансформатором ток в цепи и вставляем отвертку в гнездо регулятора тока срабатывания. При отсчете времени 90–95 с аккуратно поворачиваем регулятор тока срабатывания в сторону уменьшения тока до момента срабатывания реле. Эта регулировка должна быть продолжительностью не более 5–10 с. Затем повторите опыт при таком же токе, то есть убедитесь, что реле срабатывает за время не более 100 с. Можно провести опыт настройки реле, охлажденного до температуры окружающей среды (с холодного состояния). Тогда при кратности тока 1,5 время срабатывания увеличится до 200 с.

Для более точной настройки реле на требуемый ток (в лаборатории это проводить не надо) проводят дополнительную проверку срабатывания реле при двухполюсном включении нагревателей, отключая поочередно один из нагревателей. Таких опытов надо провести три. В соответствии с защитной характеристикой реле РТТ время срабатывания при неполнофазном режиме с горячего состояния, при кратности тока 1,5 должно составить примерно 29 с, а с холодного – 55 с. При проведении этих опытов замечают положение регулировочного винта или рычага, при котором произошло срабатывание реле. Окончательно рычаг устанавливают на замеченном положении.

К пункту 5 задач занятия

При настройке теплового реле расчетным путем надо иметь в виду следующее. Регулировочный винт или рычаг теплового реле может поворачиваться от среднего значения в обе стороны (+) и (-) на 5 делений. В технических данных реле типа РТТ указано, что они допускают регулировку тока для всех реле серии РТТ $\pm 0,3I_{\text{ном}}$, значит, цена одного деления соответствует $0,03I_{\text{ном}}$. Например, для используемого реле КК2 типа РТТ-111 с номинальным током 0,32 А цена деления составляет $0,03 \cdot 0,32 = 0,0096$ А. Значит, при настройке на ток 0,23 А надо повернуть регулировочный винт от среднего положения в сторону уменьшения на

$$N = \frac{0,32 - 0,28}{0,0096} = 4,17 \text{ деления.}$$

В технических данных тепловых реле РТЛ указаны не номинальные токи уставки, а диапазоны регулирования тока уставки реле (иногда такие данные приводят и для реле типа РТТ). Для реле типа РТЛ рычаг можно установить в двадцать положений (на зубчатой рейке). В этом случае цена одного деления шкалы $C = 0,05$ от диапазона регулирования. Например, для реле РТЛ-100504 диапазон регулирования тока 0,61–1,0 А, т.е. 0,39 А. Цена одного деления (1 зубца на рейке) $C = 0,05 \cdot 0,39 = 0,0195$ А. Если нам надо настроить реле на ток 0,8 А, от от верхнего значения надо отступить на

$$N = \frac{1,0 - 0,8}{0,0195} = 10,25 \text{ делений.}$$

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки и таблица перечня элементов схемы (таблица 6.1).
3. Ответы (в письменном виде) на вопросы самоподготовки.
4. Таблица 6.2.
5. Графики $t_{\text{ср}} = t(I)$ для трехполюсного и двухполюсного включений на одном графике.
6. Расчеты по определению номинального тока электротеплового реле по данным графика $t_{\text{ср}} = t(I)$ для трехполюсного включения. Поступают следующим образом. Сравнивают ток срабатывания в опытах с током срабатывания по паспортной характеристике за определенное время.

Известно, что по паспорту реле РТТ должно срабатывать за время не менее 260 с при кратности тока 1,2. Проверим это условие по данным опыта. Отложим время 260 с и определим ток по опытной кривой (рисунок 6.2) – ток I_1 . Аналогично найдем ток I_2 за время 100 с; I_3 – за 42 с, I_4 – за 17,5 с; I_5 за 11 с. Запишем эти данные в таблицу 6.3.

Контрольные вопросы

1. Расскажите методику испытания электротеплового реле.
2. Расскажите методику настройки электротеплового реле на требуемый ток.
3. Расскажите методику настройки электротеплового реле расчетом.
4. Нарисуйте защитную характеристику электротеплового реле при двухполюсном и трехполюсном включениях.
5. Как выбирается электротепловое реле для защиты электродвигателя от перегрузки?

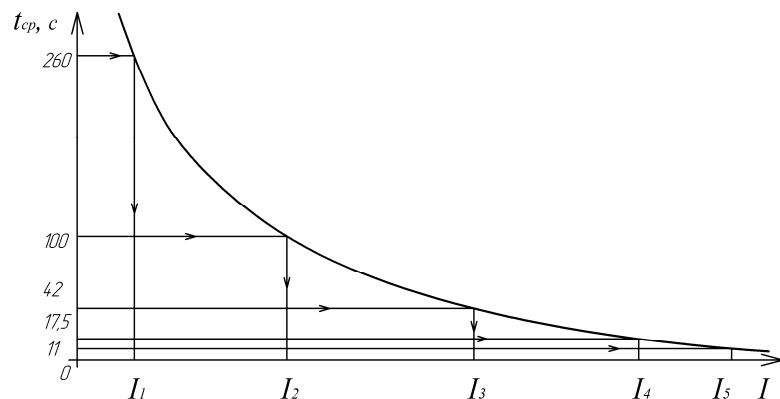


Рисунок 6.2. Построения к определению номинального тока электротеплового реле по данным опыта

Таблица 6.3 – Данные построений по рисунку 6.2

Данные паспорта реле РТТ		Данные опыта	Данные расчета	
Контрольное время С	Кратность тока уставки $K = I/I_{ном.уст.}$	Ток испытания, А	Номинальный ток установки по опыту	Среднее значение тока уставки
$t_{1,2} = 250$	1,2	$I_1 =$	$I_{1 ном.уст.} =$	
$t_{1,5} = 100$	1,5	$I_2 =$	$I_{2 ном.уст.} =$	
$t_{2,0} = 42$	2,0	$I_3 =$	$I_{3 ном.уст.} =$	
$t_{3,0} = 17,5$	3,0	$I_4 =$	$I_{4 ном.уст.} =$	
$t_{4,0} = 11$	4,0	$I_5 =$	$I_{5 ном.уст.} =$	

$$I_{1 ном.уст.} = I_1/1,2; I_{2 ном.уст.} = I_2/1,5; I_{3 ном.уст.} = I_3/2; I_{4 ном.уст.} = I_4/3; I_{5 ном.уст.} = I_5/4.$$

Среднее арифметическое значение номинального тока уставки электротеплового реле:

$$I_{ном.уст.} = (I_{1 ном.уст.} + I_{2 ном.уст.} + I_{3 ном.уст.} + I_{4 ном.уст.} + I_{5 ном.уст.})/5.$$

Лабораторная работа № 7

Температурная защита электродвигателей

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

Температурная защита электродвигателей получила широкое применение во всех отраслях производства.

Знание характеристик температурной защиты является необходимым условием их успешной эксплуатации. Поэтому тема занятий актуальна для будущих инженеров.

Цели занятия

1. Изучить принцип действия температурной защиты, конструкцию и характеристики первичных преобразователей, используемых в устройствах температурной защиты.
2. Ознакомиться с конструкциями и схемами температурных защит.
3. Приобрести навыки подключения и проверки температурных защит.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с конструкциями устройств температурной защиты, размещенными на стенде. Собрать схему для испытаний термодетекторов.
2. Провести испытания позистора (защиты УВТЗ-1) и термистора (защиты АТВ-229).
3. Проверить работоспособность защит АТВ-229 и УТВЗ-1.

Задание для самоподготовки

Ознакомиться с материалами, изложенными в [3] и [6], приложении 3.

Подготовить ответы в письменном виде на три приведенных ниже вопроса.

1. Какие первичные преобразователи температуры Вы знаете? Какие из них используются в устройствах защиты?
2. Как зависит превышение температуры обмотки от степени обдува электродвигателя?

3. Какие места обмотки электродвигателя являются наиболее нагретыми?

Описание лабораторной установки

В лаборатории на отдельном столе закреплены устройства температурной защиты и их схемы, а также их первичные преобразователи температуры (термодетекторы).

Для испытания первичных преобразователей температуры используется схема, состоящая из нагреваемого резистора R1 (рисунок 7.1), цифрового милливольтметра PV, переключателя SA2. На этом резисторе закреплены термопара BE1, позистор R1 и термистор R2.

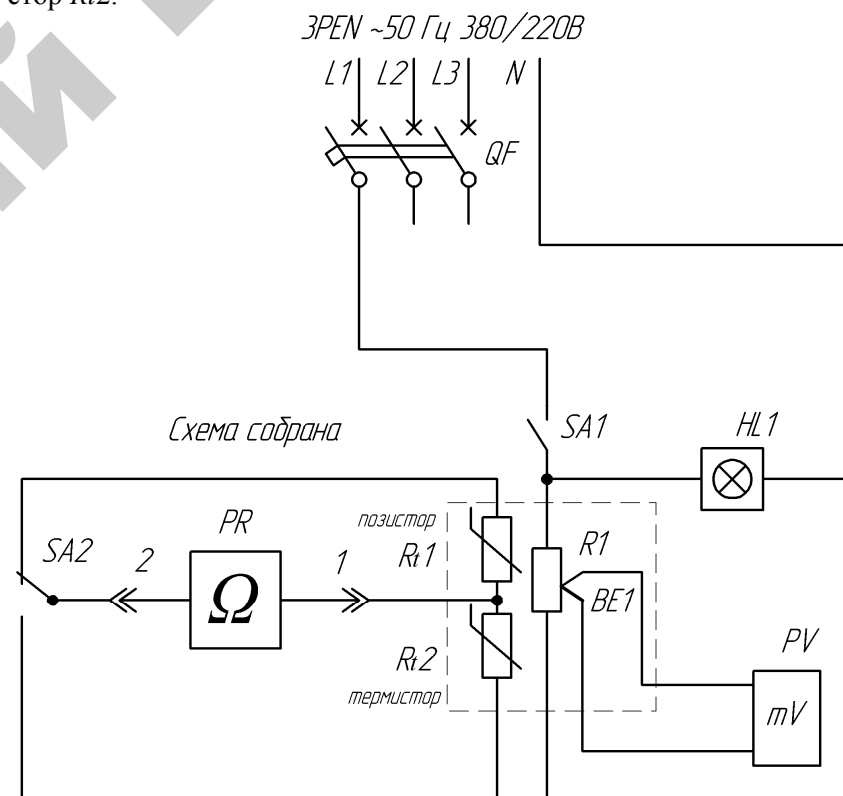
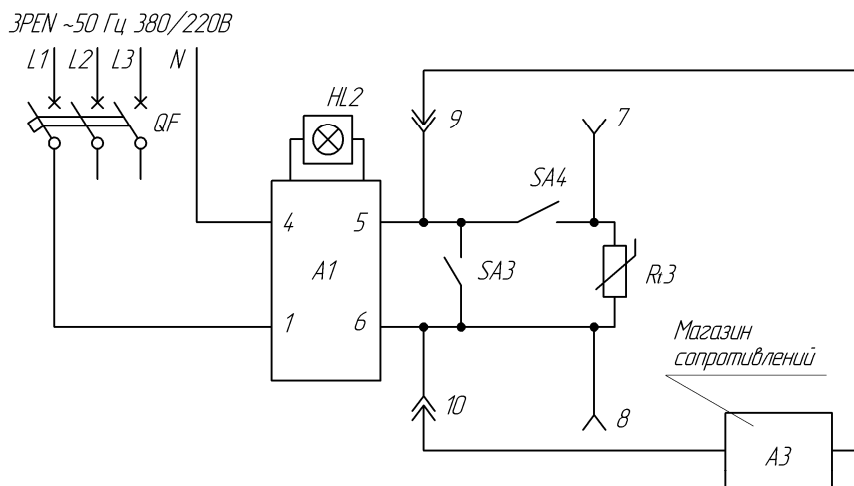
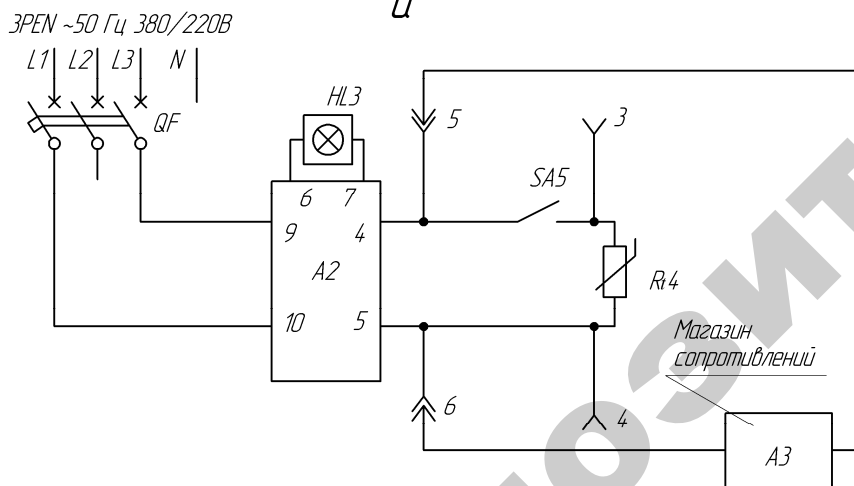


Рисунок 7.1. Принципиальная электрическая схема испытаний первичных преобразователей температурных защит

Для испытания устройств защиты АТВ-229 и УВТЗ-1 на работоспособность используется магазин сопротивлений (рисунок 7.2).



а



б

Рисунок 7.2. Принципиальная электрическая схема проверки работоспособности температурных защит УВТЗ-1 (а) и АТВ-229 (б)

Таблица 7.1 – Перечень элементов схемы лабораторной установки

Позиционные обозначения	Наименование	Кол-во	Примечания
QF	Автоматический выключатель ...	1	$I_{н.р.} = \dots А$
PR	...	1	
PV	...	1	
A1	...	1	
A2	...	1	
A3	...	1	

Методические указания

К пункту 1 задач занятия

Ознакомьтесь с устройствами защиты, размещенными на столе и их первичными преобразователями. Заполнить таблицу 7.1.

К пункту 2 задач занятия

Для проведения опытов испытания позистора (защита УВТЗ) и термистора (защита АТВ-229) к гнездам 1 и 2 подключают приборы для измерения сопротивлений.

Включают выключатель SA1. Загорается световой индикатор HL1. На резисторе R1 выделяется тепло, температуры позистора $Rt1$, термистора $Rt2$ и термопары BE1 увеличиваются. Записывают показания милливольтметра и одновременно цифрового омметра в таблицу 7.2.

Сначала (при нагреве) испытать термистор. Как только милливольтметр покажет 7mV, отключить нагреватель (HL1 погаснет), а SA2 переключатель на позистор. При остывании записывают показания милливольтметра и омметра. Данные опыта записать в таблицу 7.2 при одних тех же показаниях милливольтметра при нагреве и охлаждении.

Таблица 7.1 – Данные опытов испытания термистора RT33 и позистора СТ14 температурных защит

Показания милливольтметра, мВ	Опыт		Расчет Превышение температуры нагрева термодетекторов τ , °С (по графику рисунка 7.3)
	Термистора	Позистора	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

К пункту 3 задач занятия

Проверка работоспособности температурных защит производится путем имитации изменения сопротивления их термодетекторов с помощью магазина сопротивлений.

Для проверки защиты АВТ-229 ее термистор $Rt4$ отключают от устройства с помощью выключателя SA5. К штекерным разъемам 5 и 6 подключается магазин сопротивлений. На нем устанавливают сопротивление примерно 1700 Ом. Защиту подключают в сеть на напряжение 380 В (клеммы 9 и 10 устройства). Загорается индикатор HL3. Уменьшают сопротивление (через 10 Ом) и записывают значение сопротивления, при котором срабатывает защита (реле включится, а HL3 погаснет). Затем устанавливают на магазине сопротивление примерно 4500 Ом и, увеличивая его (через 10 Ом), добиваются возвращения защиты в исходное состояние (HL3 загорится). Данные опыта записывают в таблицу 7.3.

Таблица 7.3 – Данные опытов по определению работоспособности защит УВТЗ-1 и АВТ-229

Тип защиты	Сопротивление, кОм, при котором защита		Превышение температуры* τ , °С, при которой защита	
	сработала	вернулась в исходное состояние	сработала	вернулась в исходное состояние
АВТ-229				
УВТЗ-1				

* Определяются по графику (рисунок 7.3).

При проверке работоспособности УВТЗ-1 поступают аналогично, только на УВТЗ-1 подают напряжение 220 В (клеммы 1 и 4). Кроме того, SA4 и SA3 отключают, а магазин сопротивлений подключают к клеммам 9 и 10. Увеличивая сопротивление магазина (от 2000 Ом, через 10 Ом), добиваются отключения защиты (HL2 гаснет). Записывают это значение сопротивления магазина и затем уменьшают его до момента включения защиты УВТЗ-1 (HL2 загорается). Записывают значение этого сопротивления в таблицу 7.3.

Проверка работоспособности УВТЗ-1 в производственных условиях может производиться также путем обрыва цепи термодатчиков (SA4 отключают, защита срабатывает) и замыкания цепи термодатчиков (SA3 включают, защита срабатывает). В обоих случаях индикатор HL2 должен погаснуть.

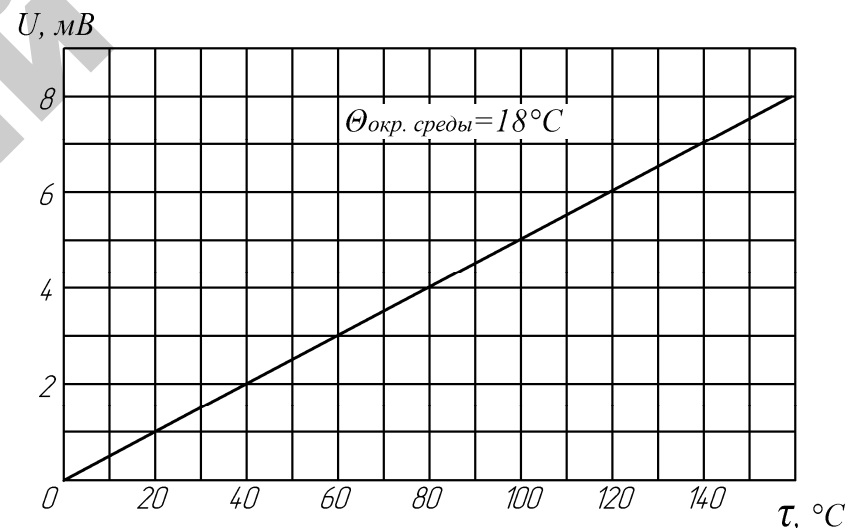


Рисунок 7.3. Зависимость показаний цифрового милливольтметра в комплексе с термопарой от температуры превышения горячего спая термодатчика над температурой окружающего воздуха

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Ответы на вопросы самоподготовки (см. [3], [6], приложение 3).
3. Принципиальная электрическая схема одного из устройств температурной защиты (по выбору студента).

4. Таблицы 7.1–7.3, графические зависимости $R = f(\tau)$ для позистора и термистора.

5. По графику $R = f(\tau)$ определить температуру превышения, при которой защита УВТЗ-1 сработала и вернулась в исходное состояние.

Контрольные вопросы

1. Объясните назначение всех элементов схемы (рисунки 7.1 и 7.2).
2. Объясните, каким образом можно изменить температуру срабатывания в устройствах защиты АТВ-229 и УВТЗ-1?
3. Объясните устройство и принципиальную электрическую схему защиты АТВ-229.
4. Объясните устройство и принципиальную электрическую схему защиты УВТЗ-1М.
5. Как зависит нагрев обмоток от скольжения роторов электродвигателя?
6. Где, на Ваш взгляд, в обмотках электродвигателей следует устанавливать первичные преобразователи температуры?

Лабораторная работа № 8

Фазочувствительная токовая защита трехфазных асинхронных электродвигателей

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

Фазочувствительная токовая защита получила широкое распространение в сельском хозяйстве. Знание ее характеристик позволяет правильно эксплуатировать устройства защиты. Поэтому тема занятий актуальна для будущего инженера-электрика.

Цели занятия

1. Изучить принцип действия фазочувствительной токовой защиты.
2. Ознакомиться с конструкцией устройства защиты ФУЗ.
3. Провести испытание фазочувствительной токовой защиты ФУЗ.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с лабораторной установкой. Заполнить таблицу 8.1.
2. Собрать схему для испытания фазочувствительного устройства защиты ФУЗ.
3. Провести испытания ФУЗ.

Задание для самоподготовки

Ознакомиться с материалами, изложенными в [6, с. 47–55], в приложении 4. Подготовить ответы в письменном виде на следующие вопросы:

1. Каким образом изменяют угол φ в фазовращающих трансформаторах?
2. Что такое фазовые характеристики устройства ФУЗ?
3. Что такое нагрузочные характеристики устройства ФУЗ?

Описание лабораторной установки

В лаборатории на отдельном столе закреплено устройство фазочувствительной токовой защиты ФУЗ, пусковая и коммутационная аппаратура.

Для контроля формы напряжения катушки реле KV используется осциллограф, для измерения ее тока – переносной миллиамперметр, для измерения напряжения на катушке KV – переносной мультиметр.

Принципиальная электрическая схема лабораторной установки изображена на рисунке 8.1.

Таблица 8.1 – Перечень элементов схемы лабораторного стенда

Позиц. обозн.	Наименование	К-во	Примечание
QF1	Автоматический выключатель...	1	.....
PA1	Амперметр...	1	$I_n = 3 \text{ A}$
PA2	Амперметр...	1	$I_n = 10 \text{ A}$
QF2 – QF4	Автоматический выключатель	3	$I_n = \dots$
M	Электродвигатель ...	1	
A	Фазочувствительное токовое устройство защиты ФУЗ...	1	$I_n = \dots$
PA3	Переносной миллиамперметр...	1	
PV1	Цифровой вольтметр...	1	
N	Осциллограф	1	

Методические указания

К пункту 2 задач занятия

Часть схемы (рисунок) 8.1 собрана. Остальную схему собрать путем соединения между собой клемм отдельных узлов.

К пункту 3 задач занятия

Испытание устройства ФУЗ заключается в определении величины и формы кривой напряжения на исполнительном органе (реле).

В нормальном режиме работы выключатели QF2-QF4 замыкают. Соединяют обмотки электродвигателя в «звезду». Включают QF1.

С помощью осциллографа определяют форму напряжения на реле U и его характер (постоянное или переменное). Записывают эти значения, а также значения тока в цепи катушки реле KV, токов в цепи электродвигателя.

ВНИМАНИЕ! Перед использованием осциллографа пригласить преподавателя!

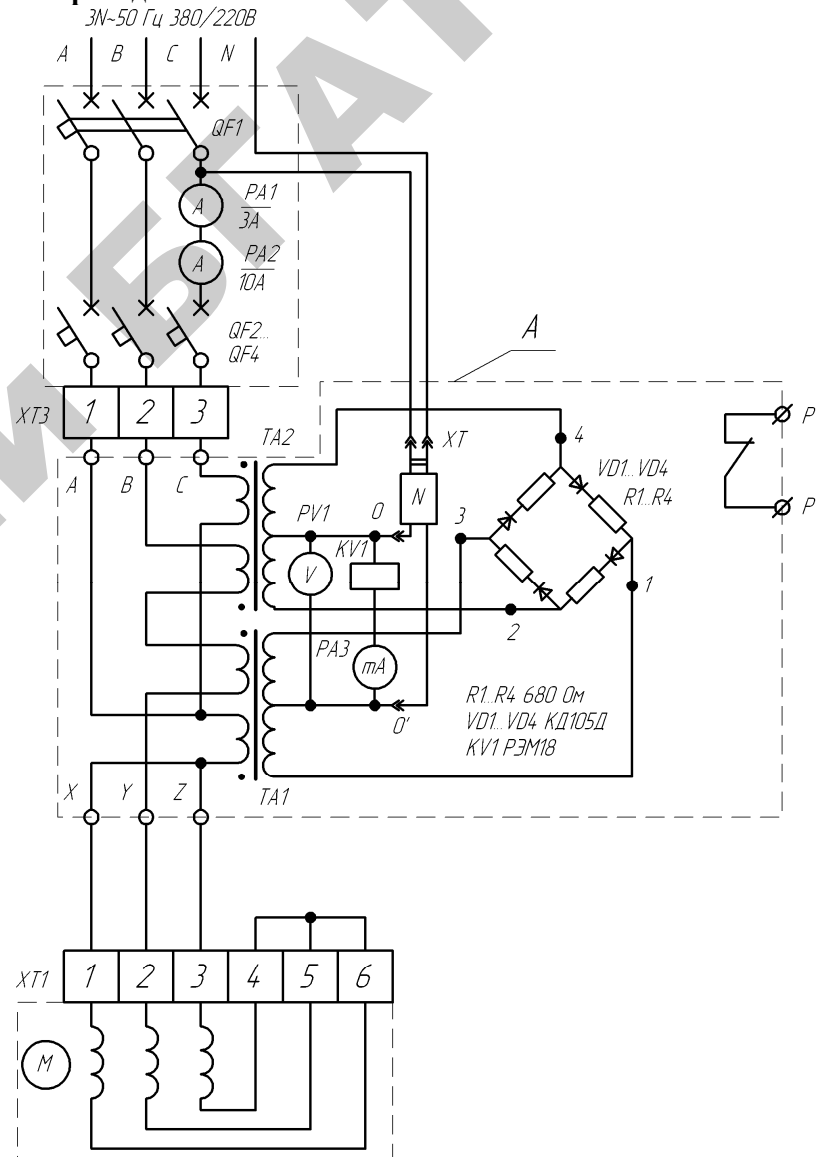


Рисунок 8.1. Принципиальная электрическая схема испытания ФУЗ.
Примечание: части схемы, обведенные пунктирной линией, собраны

Результаты опытов записывают в таблицы 8.2 и 8.3.

Таблица 8.2 – Результаты испытания устройства ФУЗ

Номер опыта	Режим работы электродвигателя	Ток статора I_c , А	Напряжение на катушке реле KV1, В	Ток катушки реле KV1, мА	Состояние реле (сработало или нет)
1	Холостой ход, три фазы				
2	Холостой ход, две фазы				
3	Пуск при обрыве фазы				

Таблица 8.3 – Параметры кривой напряжения на реле KV

Номер опыта	Форма кривой напряжения на реле KV	Период сигналов напряжения, мс
1		
2		

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки (рисунок 8.1) и таблица 8.1.
3. Результаты испытаний (таблицы 8.2, 8.3). Выводы о влиянии тока сети на контролируемые величины в устройстве ФУЗ.
4. Составьте (нарисуйте в отчет) схему ручного дистанционного управления АД с включением устройства защиты ФУЗ.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы и назначение элементов устройства ФУЗ.
2. Объясните влияние величины тока на выходные параметры устройства ФУЗ.
3. Нарисуйте и объясните фазовые характеристики устройства ФУЗ.
4. Нарисуйте и объясните нагрузочные характеристики устройства ФУЗ.

Лабораторная работа № 9

Защита трехфазного асинхронного электродвигателя от работы в неполнофазном режиме

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

Неполнофазный режим работы трехфазных асинхронных двигателей относится к числу наиболее часто встречаемых аварийных режимов в сельском хозяйстве, поэтому актуальна тема занятий.

Цели занятия

1. Изучить основные принципы защиты трехфазного асинхронного электродвигателя от работы в неполнофазном режиме.
2. Провести испытание некоторых устройств защиты трехфазного асинхронного электродвигателя от работы в неполнофазном режиме.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с устройствами защиты и приборами, расположенными на лабораторном столе. Заполнить таблицу 9.1.
2. Подключить к схеме (рисунок 9.1) узлы защиты, соответствующие принципу защиты по напряжению нулевой последовательности (схемы, рисунок 9.2) и испытать их.
3. Подключить к схеме (рисунок 9.1) узлы защиты, соответствующие принципу защиты по напряжению обратной последовательности (схема, рисунок 9.3) и испытать их.

Задачи для самоподготовки

Изучите по литературе [6, с. 28–38] материал по данной теме и приложение 5.

Подготовьте в письменном виде ответы на следующие вопросы:

1. Объясните возникновение напряжения нулевой последовательности.
2. Объясните сущность метода симметричных составляющих, применяемого для анализа несимметричных трехфазных напряжений и токов.

ков [11, с. 191–193]. Нарисуйте векторные диаграммы, поясняющие этот метод.

Описание лабораторной установки

На лабораторном стенде закреплены приборы и аппараты защиты от неполнофазного режима.

Схема (рисунок 9.1) собрана.

Для испытания узлов схем, реализующих какой-либо принцип защиты электродвигателя от неполнофазного режима, используется клеммник XT1. К нему подключаются отдельные узлы защиты, имеющие свои клеммники.

Назначение элементов схемы (рисунок 9.1) следующее: SA1 – для имитации обрыва линейного провода до места подключения защиты (клеммы L1, L2, L3, N); SA3 – то же, но после места подключения защиты; R1 – резистор, для создания асимметрии в сети; SA2 – пакетный выключатель для шунтирования резистора R1; SA4, SA5 – для включения уменьшенного и полного возбуждения генератора постоянного тока. Включение SA4 обеспечивает малую нагрузку на двигатель, а включение SA5 – большую нагрузку на двигатель.

Вольтметр PV4 градуирован с тахогенератором BR и измеряет частоту вращения электродвигателя.

Методические указания

К пункту 2 задач занятия

Узлы защиты, собранные по схемам контроля напряжения нулевой последовательности, подключить к клеммнику XT1 по схеме рисунка 9.2. Подключить сразу две схемы (рисунок 9.2, а, б).

После этого проверить работоспособность устройств, т.е. сработают ли устройства при режимах питания и состояния двигателя, указанных в таблице 9.2.

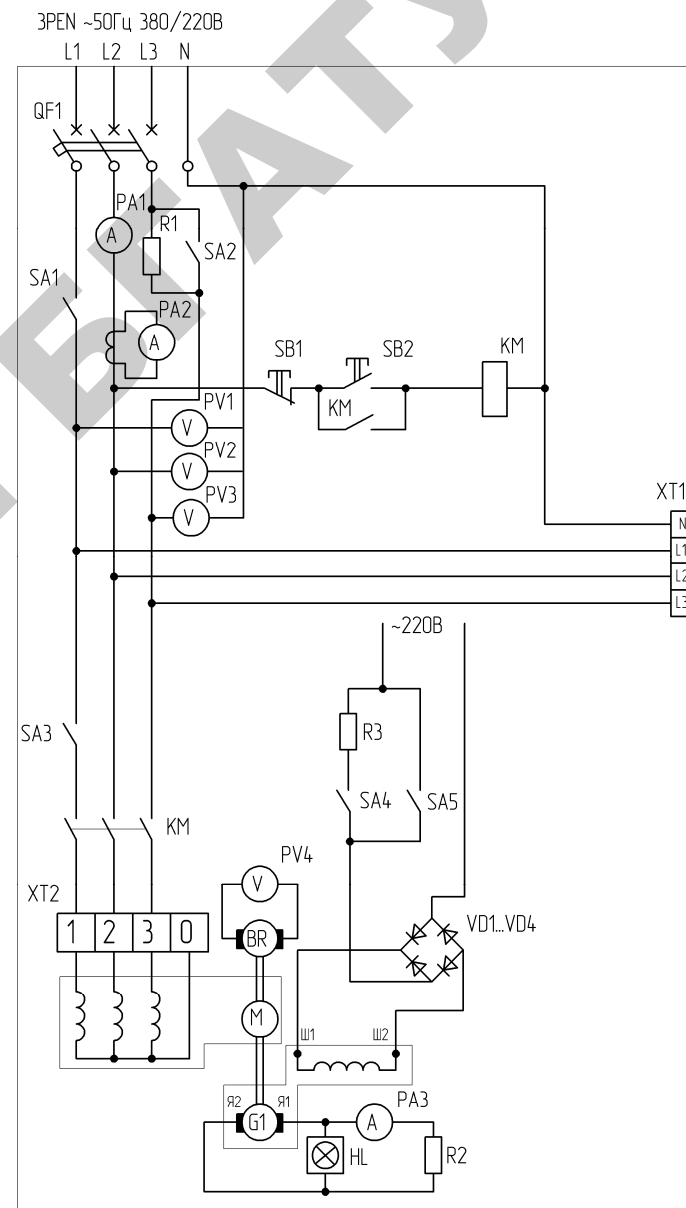


Рисунок 9.1. Принципиальная электрическая схема стенда для испытания устройств защиты асинхронного электродвигателя от работы в неполнофазном режиме

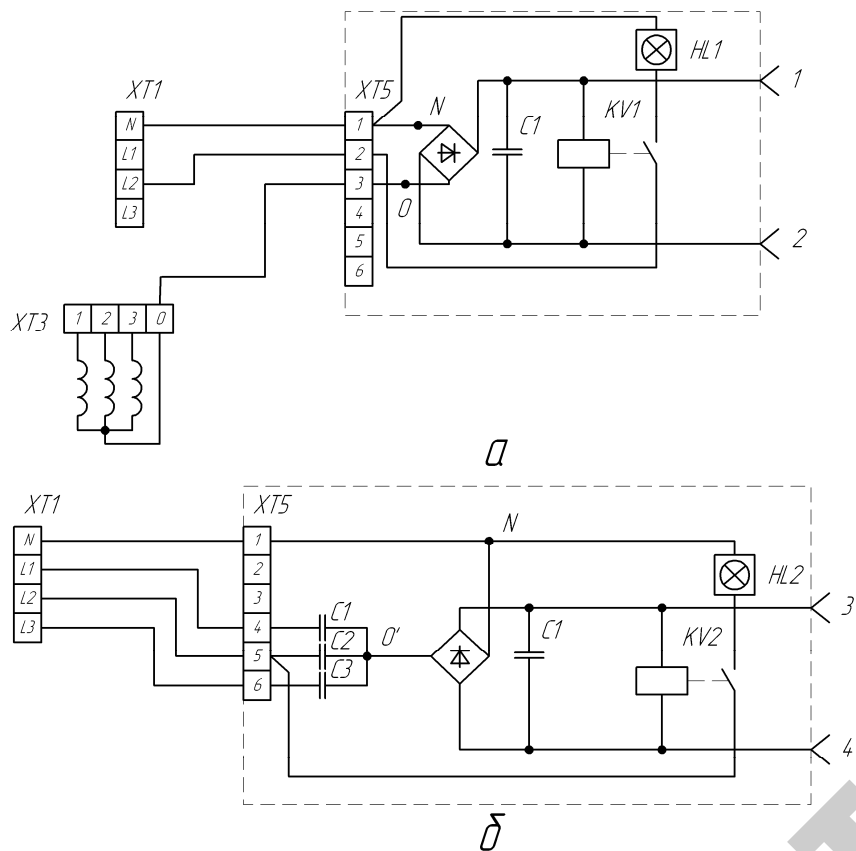


Рисунок 9.2. Принципиальная электрическая схема подключения блока защиты, работающего по принципу контроля напряжения нулевой последовательности, при наличии нулевой точки обмотки двигателя (а) и при отсутствии нулевой точки обмотки двигателя с образованием искусственной нулевой точки с помощью трех конденсаторов (б)

К пункту 3 задач занятия

Подключить к клеммнику XT1 узел схемы контроля напряжения обратной последовательности, изображенный на рисунке 9.3. Выполнить опыты 1–13 согласно режиму питания сети и состоянию асинхронного двигателя по данным таблицы 9.3.

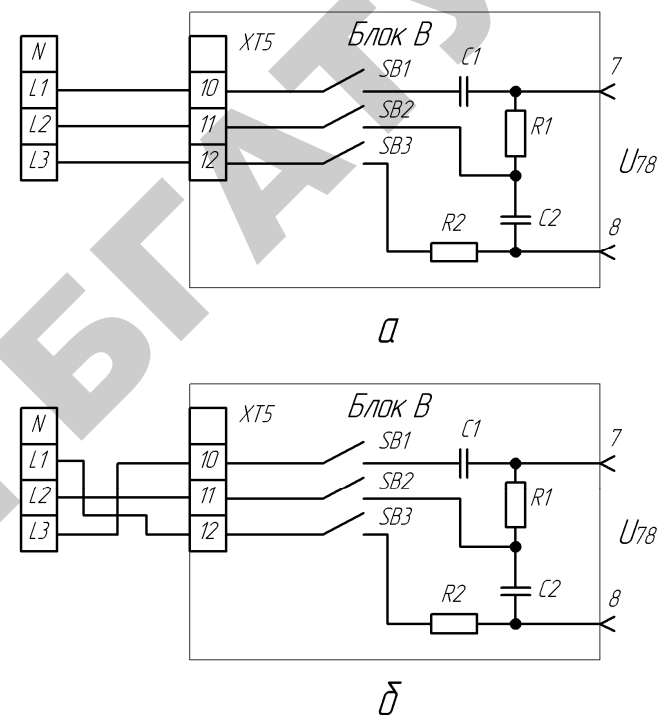


Рисунок 9.3. Принципиальные схемы включения узла защиты, контролирующего напряжение обратной последовательности при прямом чередовании фаз (а) и при обратном чередовании фаз (б)

Таблица 9.1 – Перечень элементов схемы

Поз. обозн.	Наименования	Кол-во	Примечания
QF	Автоматический выключатель		
PA1	Амперметр		
PA2	Амперметр		
PA3	Амперметр		
M	Электродвигатель		
G1	Генератор постоянного тока		
PV1	Вольтметр		
PV2	Вольтметр		
PV3	Вольтметр		
PV4	Вольтметр		
KM	Электромагнитный пускатель		

Таблица 9.2 – Результаты испытания защитных устройств по схемам, изображенным на рисунке 9.2

Опыт	Режим питания и состояния АД	KV1		KV2		$n_{2, \text{мин}}^{-1}$	I_1, A	$U_A, \text{В}$	$U_B, \text{В}$	$U_C, \text{В}$
		Вкл. или откл.	$U_{KV1}, \text{В}$	Вкл. или откл.	$U_{KV2}, \text{В}$					
1	Трехфазное питание, холостой ход									
2	Трехфазное питание под нагрузкой (вкл. SA4)									
3	Трехфазное питание при еще большей нагрузке (вкл. SA4+SA5)									
4	Трехфазное питание под нагрузкой, но асимметрия в сети (отключен SA2)									
5	Неполнофазное питание, (отключен SA1), холостой ход									
6	Неполнофазное питание под нагрузкой (вкл. SA4)									
7	То же, что пункт 6, но неполнофазное питание получают размыканиям SA3									
8	То же, режим неподвижного ротора*									

Примечания:

1. Состояние («Включено» «Отключено») реле KV1 и KV2 оценивается по свечению ламп HL1 и HL2 (при срабатывании реле лампы загораются).

2. Напряжения U_{KV1} и U_{KV2} измерять переносным прибором на штекерных разъемах 1 и 2 (U_{KV1}), 3 и 4 (U_{KV2}).

* Опыт 8 проводить быстро, чтобы не перегреть обмотки электродвигателя.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки (рисунок 9.1) и таблица 9.1.
3. Ответы (в письменном виде) на вопросы самоподготовки.
4. Таблицы 9.2 и 9.3.
5. Выводы по данным таблиц 9.2 и 9.3.

Таблица 9.3 – Данные опытов по испытанию узла защиты, контролирующего напряжение обратной последовательности

Опыт	Состояние АД	Режим питания АД и сети	Схема	Состояние выключателей схемы рисунка 9.3	Выходное напряжение U_{78}
1	АД отключен	Трехфазное питание	Рисунок 9.3, а	SB1 – SB3 включены	
2	АД отключен	Трехфазное питание	Рисунок 9.3, а	SB2 и SB3 включены, SB1 отключен	
3	АД отключен	Трехфазное питание	Рисунок 9.3, а	SB1 и SB3 включены, SB2 отключен	
4	АД отключен	Трехфазное питание	Рисунок 9.3, а	SB1 и SB2 включены, SB3 отключен	
5–8	АД включен, холостой ход	Трехфазное «Обрыв» фазы в сети (откл. SA1)	Рисунок 9.3 а	SB1 – SB3 включены	
		Асимметрия (откл. SA2)			
		«Обрыв» фазы у двигателя (откл. SA3)			
9–12	АД включен, нагружен (включен SA4)	Трехфазное «Обрыв» фазы в сети (откл. SA1)	Рисунок 9.3 а	SB1 – SB3 включены	
		Асимметрия (откл. SA2)			
		«Обрыв» фазы у двигателя (откл. SA3)			
13	АД отключен	Трехфазное питание с обратным чередованием фаз	Рисунок 9.3, б	SB1 – SB3 включены	

Контрольные вопросы

1. Почему принцип контроля напряжения нулевой последовательности не надежен (возможны ложные срабатывания)?
2. Какой недостаток имеет принцип контроля напряжения нулевой последовательности с искусственной звездой? Нарисуйте схему с использованием реле переменного тока.
3. Объясните принцип защиты АД от работы на двух фазах по минимуму напряжения с использованием трехфазного выпрямителя (нарисуйте схему). Объясните недостаток этого принципа.
4. Объясните принцип защиты АД от работы на двух фазах по минимуму тока (нарисуйте схему) и укажите его недостатки.
5. Объясните принцип контроля неполнофазного режима по напряжению обратной последовательности (нарисуйте схему и векторную диаграмму). Укажите его недостатки.
6. Объясните назначение всех элементов схем рисунков П.5.2–П.5.9 и принцип их работы.

Лабораторная работа № 10

Комплексная защита трехфазного асинхронного электродвигателя

Общее время занятий – 2 часа.

Мотивационная характеристика темы

Контролем одного параметра, характеризующего состояние электродвигателя, невозможно обеспечить полную защиту его от работы в аварийных состояниях. Поэтому перспективным является создание комплексных защит. Лабораторная работа знакомит с современными устройствами комплексной защиты.

Цели занятия

1. Изучить возможности контроля аварийного состояния трехфазного асинхронного электродвигателя.
2. Ознакомиться с конструкциями и схемами комплексных защит и провести их испытание.

Задачи занятия

1. Ознакомиться с аппаратурой, размещенной на стенде.
2. Провести испытание устройства защиты БСЗД (СиЭЗ).
3. Ознакомиться с описанием защиты, указанной в пункте 2.

Задание для самоподготовки

Изучить устройства фазочувствительной защиты ФУЗ и ФУЗ-М [6], приложение 6. Ответить в письменном виде на следующие вопросы:

1. В чем состоит отличие устройств комплексной защиты ФУЗ-М от ФУЗ-У (см. [6])?
2. Какое, на Ваш взгляд, сочетание параметров контроля состояния электродвигателя обеспечивает полную защиту АД?

Описание лабораторной установки

На лабораторной стойке стола закреплены устройства фазочувствительной защиты ФУЗ и ФУЗ-М, комбинированное устройство «Защита-3», бесконтактная система защиты двигателей БСЗД, ком-

плексное устройство защиты типа F фирмы FANOX, пусковая, измерительная и коммутационная аппаратура. Под лабораторным столом находится регулируемая индукционная катушка. Она представляет собой заторможенный асинхронный двигатель с фазным ротором. Индукционная катушка используется для регулировки тока, пропускаемого через защитное устройство. Поворот ротора индукционной катушки обеспечивает изменение индуктивного сопротивления и тока в цепи. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки изображена на рисунке 10.1.

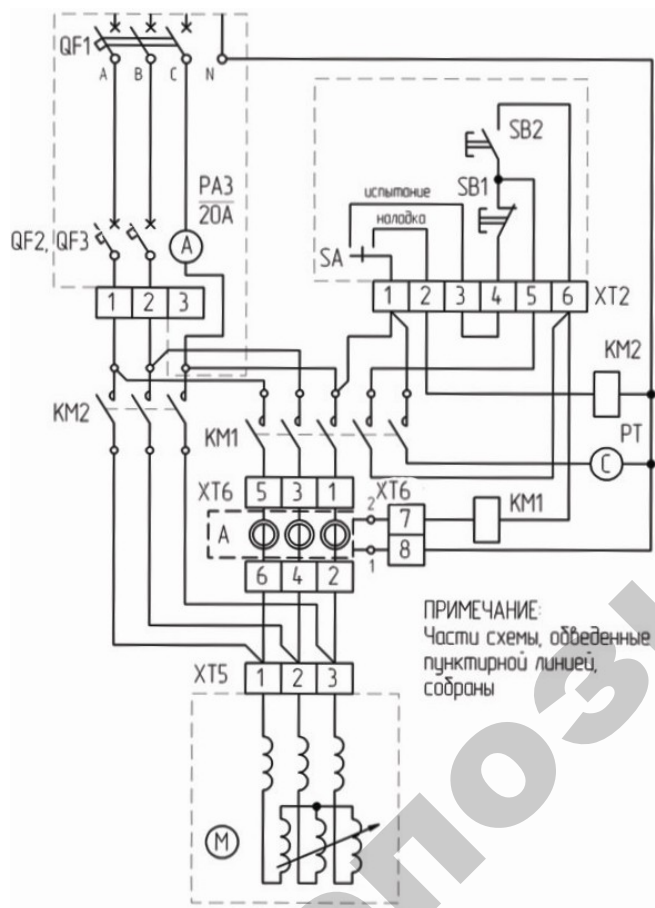


Рисунок 10.1. Принципиальная электрическая схема стенда для испытания БСЗД (бесконтактной системы защиты двигателя): А – устройство БСЗД

Таблица 10.1 – Перечень элементов схемы, изображенной на рисунке 10.1

Поз. обозначения	Наименование	Количество	Примечание
QF1	Автоматический выключатель...	1	$I_{н.у.} =$
QF2, QF3	Автоматический выключатель ...	2	$I_{н.у.} =$
РА3	Амперметр ...	1	20 А
KM1, KM2	Ревверсивный электромагнитный пускатель ...	2	
М	Двигатель с фазным ротором в режиме индукционной катушки	1	$I_{\max} = 30 \text{ А}$
А	Устройство защиты БСЗД ...	1	
РТ	Электрический секундомер	1	

Методические указания

К пункту 2 задач занятия

Испытание устройства БСЗД имеет цель – построить защитную характеристику $t_{ср} = f(I)$. Для этого проводят испытания устройства после сборки схемы (рисунок 10.1).

В режиме «Наладка» устанавливают ток испытаний, проходящий мимо устройства БСЗД, а в режиме «Испытание» такой же ток будет проходить через устройство БСЗД. Переключение режимов проводят с помощью переключателя SA. В режиме испытаний пользуются дополнительно кнопкой пуск (SB2), которая включает контактор KM1. Устройство БСЗД настроено на ток установки 4 А. Опыт проводить при токах от 4 до 16 А (5 опытов). Изменение тока производить путем поворота рукоятки, закрепленной на валу индукционной катушки. Данные опытов записать в таблицу 10.2.

Таблица 10.2 – Данные испытания устройства защиты БСЗД

Токи испытания I, А	Измерено		Вычислено
	Время срабатывания, с	Кратность тока испытания *	
4			
5			
6			
7			
8			
10			
12			
14			

* Кратность тока испытания $K = I / I_{н.у.} = I / 4$.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Ответы на контрольные вопросы самоподготовки.
3. Таблицы 10.1 и 10.2.
4. График $t_{cp} = f(K)$, где K – кратность тока испытания.
5. Принципиальную электрическую схему включения устройства БСЗД в схему ручного дистанционного управления.

Контрольные вопросы

1. От каких аварийных режимов защищает устройство УВТЗ-5?
2. От каких аварийных режимов защищает устройство ЕЛ-8?
3. От каких аварийных режимов защищает устройство ФУЗ-У?

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 28249–93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ: Межгосударственный стандарт / межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Введен 01.01.95 г. Минск : Издательство стандартов, 1994. – 63 с.
2. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153 – 34.0. – 20. 527–98: руководящие указания / исполнители: Б. Н. Леклепаев и др. Москва: МЭП (ТУ) – 131 с.
3. Защита электрических цепей: учеб.-метод. пособие / сост. : В. В. Гурин, Е. В. Бабаева, С.А. Дробышев. – Минск : БГАТУ, 2008. – 242 с.
4. Автоматическая защита электрооборудования. Часть 1. Защита электрических цепей : учеб.-метод. пособие / сост. В. В. Гурин. – Минск: БГАТУ, 2010. – 360 с.
5. Сырых, Н. Н. Техническое обеспечение электрооборудования в сельском хозяйстве / Н. Н. Сырых, В. С. Чекрыгин, С. А. Калмыков. – Москва: Россельхозиздат, 1980. – 224 с.
6. Грундулис, А. О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве / А. О. Грундулис. – 2-е изд. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 111 с.
7. Пястолов, А. П. Эксплуатация электрооборудования: учебник /А. П. Пястолов, Г. П. Ярошенко. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
8. Автомат защиты сетевой аппаратуры от «скачков» напряжения / И. Нечаев // Радио. – 1996 – № 10. – с. 48–49.
9. Устройство защиты от перенапряжения: /А. Пакало // Радиолюбитель. – 1997. – № 10. – с. 30.
10. Тубис, Я. Б. Температурная защита асинхронных двигателей в сельскохозяйственном производстве / Я. Б. Тубис, Р. К. Белов. – Москва: Энергия, 1977. – 104 с.
11. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники: учеб. / Л. А. Бессонов. – 6-е изд. – Москва: Высшая школа, 1973. – 752 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 (справочное)

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ВРЕМЕННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

1. Общие сведения о временных перенапряжениях

Перенапряжением в электротехническом устройстве называется напряжение между двумя точками электротехнического устройства, значение которого превышает наибольшее рабочее значение напряжения. **Перенапряжения опасны тем, что могут привести к электрическому пробую изоляции и возникновению тока КЗ.**

Временное перенапряжение – повышение напряжения в электрической сети выше 110 % номинального напряжения продолжительностью более 10 мс, возникающее в системах электропитания при коммутации или коротких замыканиях.

На рисунке П1.1 приведена графическая зависимость изменения мгновенных значений напряжения сети частотой 50 Гц при временных перенапряжениях продолжительностью примерно 44 мс. Временное перенапряжение характеризуется продолжительностью перенапряжения $t_{пн}$ и кратностью перенапряжения

$$K_{пн} = \frac{U_{\text{макс.а}}}{U_{\text{ном.а}}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{макс.а}}$ – амплитуда перенапряжения, В;

$U_{\text{ном.а}}$ – амплитуда номинального напряжения, В.

Наибольшую опасность для электроустановок представляют импульсные перенапряжения.

Перенапряжения делятся на внешние и внутренние, в зависимости от места, где они возникают (по отношению к электроустановке).

Внешние перенапряжения чаще всего возникают от действия высоковольтного атмосферного разряда во внешних цепях (по отношению к электроустановке). Этот разряд оказывает прямое, или не прямое воздействие.

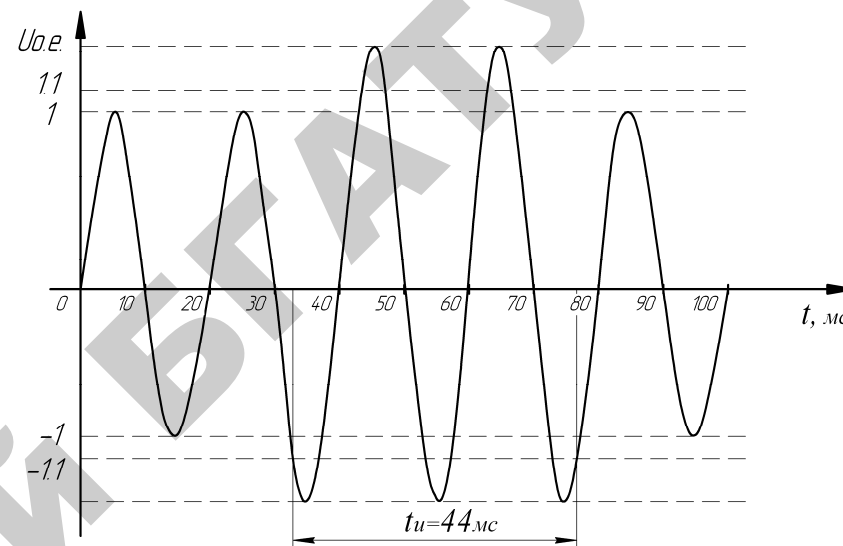


Рисунок П1.1. Временное перенапряжение и его параметры

Внешние коммутационные импульсы перенапряжения могут появляться в результате:

- переключений в мощных системах энергоснабжения, например при коммутациях конденсаторных батарей;
- переключений в системах электроснабжения в непосредственной близости от электроустановок зданий или изменений нагрузки в электрических распределительных системах;
- резонансных колебаний напряжения в электрических сетях, обусловленных работой таких переключающих приборов, как тиристоры;
- повреждений в системах, например, при коротких замыканиях (КЗ) на землю и дуговых разрядах в электрических установках.

В сети напряжением 0,4 кВ могут быть коммутационные импульсные напряжения с амплитудой до 4,5 кВ. Грозовые и коммутационные импульсные напряжения возникают как в воздушных, так и в кабельных линиях питания.

Внутренние перенапряжения возникают внутри электроустановок при коммутации емкостей, индуктивностей (трансформаторов, дросселей), тиристоров из-за наличия в них накопленного заряда не основных носителей, при мгновенных изменениях тока в цепи и т.п.

Выполнять основную изоляцию электрооборудования на уровне перенапряжения экономически невыгодно. Ее надо защищать от возникающих перенапряжений. Для этого служат средства защиты от перенапряжений. Они ограничивают перенапряжения до допустимых для изоляции значений.

2. Ограничитель напряжения электронный ЭОН-1

Ограничитель напряжения электронный ЭОН-1 предназначен для ограничения временных напряжений в сельскохозяйственных осветительных установках с лампами накаливания производственного назначения с регулярными временными перенапряжениями.

2.1. Технические данные

Питание ЭОН-1 осуществляется от сети 380/220 В с глухозаземленной нейтралью частотой 50 Гц. Электрическое исполнение ограничителя – однофазное. Максимальный ток нагрузки – 15 А. Эффективное значение напряжения на нагрузке при повышении напряжения сети до 25 % относительно номинального – $(215^{+5}_{-10} \text{ В})$. Эффективное значение напряжения на нагрузке при понижении напряжения сети относительно 215 В отличается от напряжения сети не более чем на 10 В.

Коэффициент полезного действия – не менее 0,88.

Электрическое сопротивление изоляции токоведущих цепей относительно корпуса при температуре окружающей среды $(+20^{+5})$ °С и относительной влажности 80 % – не менее 40 Мом. Окружающая среда не должна быть взрывоопасной и содержать токопроводящих компонентов. Степень защиты IP22 ГОСТ 14254–80. Ограничитель допускает обработку дезинфицирующими растворами по ГОСТ 19348–74. Вероятность безотказной работы ограничителя за время 4000 ч не ниже 0,9. Срок службы – не менее 8 лет. Исполнение – настенное. Масса – не более 3,5 кг.

2.2. Устройство и принцип работы

1. Оболочка ограничителя выполнена из электроизоляционного материала. Все элементы и узлы ограничителя смонтированы на общем основании.

На передней стороне основания размещены силовые элементы – тиристоры с охладителями, закрытые крышкой с отверстиями для

обеспечения воздухообмена; крышка клеммника; колпак, закрывающий предохранитель; колпак светового индикатора.

На задней стороне основания размещены плата управления и элементы защиты от радиопомех, закрытые задней крышкой. Крышка имеет металлические скобы для крепления ограничителя.

В основу работы ограничителя заложен принцип фазового регулирования, заключающийся в изменении длительности прохождения тока по нагрузке в каждый полупериод напряжения сети, в зависимости от фазы подаваемых импульсов управления на тиристоры. Фаза импульсов зависит от величины напряжения сети.

Работа ограничителя поясняется с помощью принципиальной схемой, приведенной на рисунке П1.2.

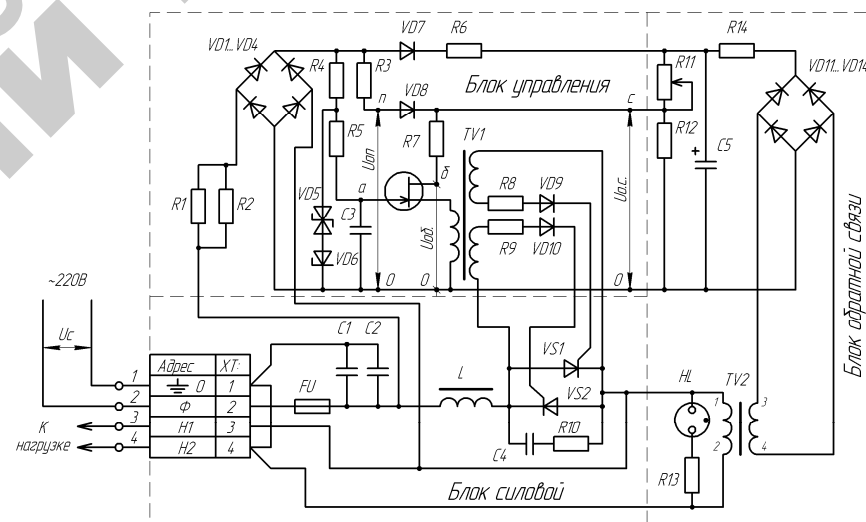


Рисунок П1.2. Принципиальная электрическая схема ЭОН-1

Напряжение на нагрузке коммутируют силовые элементы – тиристоры VS1, VS2, включение которых через трансформатор TV1 осуществляет схема управления.

Схема работает следующим образом.

В начале каждого полупериода тиристоры закрыты, напряжение сети приложено к ним. Это напряжение выпрямляется диодным мостом VD1-VD4 и через ограничивающие резисторы R1-R4 пода-

ется на стабилитроны VD5, VD6, формирующие импульс опорного напряжения. Конденсатор C3 через резистор R5 начинает заряжаться, вследствие чего на эмиттере однопереходного транзистора VT1 напряжение плавно нарастает от нуля до напряжения отпирания VT1, величину которого определяет междубазовое напряжение, формируемое цепью обратной связи.

Цепь обратной связи содержит разделительный трансформатор TV2, подключенный параллельно нагрузке, выпрямительный мост на диодах VD11-VD14, сглаживающий фильтр R14. C5 и делитель напряжения на резисторах R11, R12, с выхода которого на VT1 подается междубазовое напряжение.

Для улучшения стабилизирующих свойств схемы на вход делителя через диод VD7 и резистор R6 дополнительно подается напряжение, пропорциональное напряжению сети.

При отпирании тиристора VT1 конденсатор разряжается на первичную обмотку трансформатора TV1, в результате чего в его вторичных обмотках возникают импульсы, подающие напряжение на управляющие электроды тиристоров. Открывается тот тиристор, к которому приложено прямое напряжение.

Стабилизация напряжения на нагрузке, происходит следующим образом. При увеличении напряжения на нагрузке сверх установленного (с помощью резистора R11) значения соответственно увеличивается междубазовое напряжение VT1, что приводит к увеличению времени заряда конденсатора C3 до напряжения отпирания VT1 и смещению момента возникновения импульсов управления в сторону уменьшения интервала включенного состояния тиристора.

При этом величина действующего значения напряжения на нагрузке восстанавливается.

Диод VD8 служит для автоматического включения схемы при подаче напряжения сети. Цепь R10, C4 включена параллельно тиристорам, предназначена для ограничения коммутационных напряжений.

Лампа HL сигнализирует о наличии напряжения на нагрузке.

Фильтр, состоящий из конденсаторов C1, C2 и дросселя L, служит для ограничения радиопомех.

2.3. Техническое обслуживание

1. В силовой цепи ограничителя установлен предохранитель, находящийся под колпаком.

Для смены предохранителя необходимо отвернуть винты, крепящие колпак к основанию, вывернуть колпак держателя, извлечь перегоревшую вставку, заменить годной того же типа и номинала и установить все в первоначальное положение.

2. Периодически, не реже одного раза в месяц, производят чистку тиристоров с охладителями.

При их эксплуатации в помещении с повышенной запыленностью периодичность чистки – два раза в месяц.

Чистку необходимо производить жесткой волосяной кистью или сжатым воздухом. Особое внимание обратить на чистку теплоизоляторов тиристоров.

3. При проведении дезинфекции струя дезинфицирующего раствора должна быть направлена на прибор сверху под углом, не превышающим 15° от вертикали.

После полного высыхания дезинфицирующего раствора необходимо тщательно очистить оболочку ограничителя от его следов, а также провести чистку тиристоров с охладителями.

3. Электронные отключатели нагрузки при временных перенапряжениях

Многие бытовые электро- и радиоприборы весьма чувствительны к отклонениям сетевого напряжения от нормы. Нередки случаи, когда даже кратковременное повышение напряжение сети из-за аварийной ситуации приводит к выходу из строя блоков питания старых моделей телевизоров и видеомагнитофонов, электродвигателей холодильников. Приходится использовать стабилизаторы переменного напряжения. Но такие стабилизаторы громоздки, их КПД низкий, да и сами они могут выйти из строя при повышении напряжения сверх допустимого значения (например, при 380 В).

Ниже описано устройство, рекомендованное для защиты аппаратуры от колебаний повышенного напряжения [8]. На рисунке П1.3 приведена незначительно модернизированная авторами схема устройства. Устройство дополнено блоком А1 индикации напряжения сети и блоком А2 индикации отключения питания потребителя.

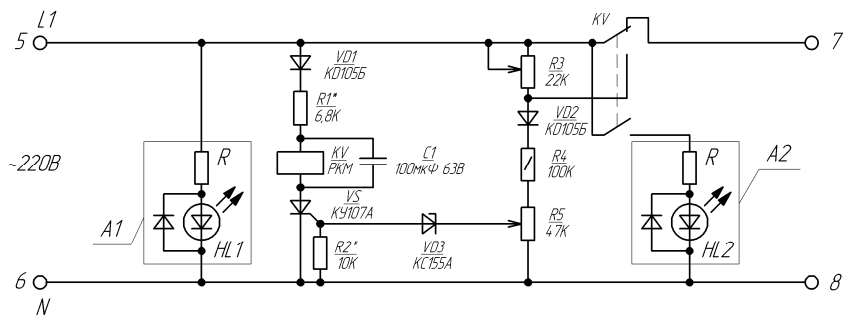


Рисунок П1.3. Принципиальная электрическая схема электронного выключателя нагрузки при временных перенапряжениях

Схема сравнения выполнена на двух цепях, в которые включены диоды VD1 и VD2. Положительные полуволны сетевого напряжения, выпрямленные диодом VD1, через резистор R1, обмотку реле KV поступают на анод тиристора VS. Выпрямленные диодом VD2 положительные полуволны напряжения через резисторы R3 и R4 поступают на R5 и через стабилитрон VD3 на управляющий переход тиристора VS и на резистор R2.

Если напряжение сети не превышает норму, то напряжение на движке резистора R5 оказывается недостаточным для открытия стабилитрона и тиристора. В это время сетевое напряжение через контакт KV поступает непосредственно к нагрузке.

В случае превышения напряжения сети заранее установленного значения напряжения на движке резистора R5, оно окажется достаточным для открывания стабилитрона и тиристора. Реле при этом срабатывает и контактом KV отключает нагрузку от сети, а контактом KV включает блок сигнализации A2. Одновременно срабатывание контакта KV вызывает изменение сопротивления R3 скачком. Это сделано для того, чтобы устройство приняло исходное состояние при меньшем сетевом напряжении, чем сработало. Тем самым исключается его неустойчивая работа при напряжении, близком к пороговому значению.

Если сетевое напряжение снова окажется в норме, тиристор тут же закроется, реле отключится и своим контактом подключит нагрузку к сети.

Налаживание устройства начинается с подбора резистора R1. При этом движок резистора R3 устанавливают в верхнее (по схеме)

положение, а резистор R5 – в нижнее. Подав на вход устройства сетевое напряжение, медленным перемещением движка резистора R5 в верхнее положение добиваются срабатывания реле KV. После этого подбором резистора R1 устанавливают на обмотке реле напряжение на 20–30 % большее, чем напряжение срабатывания реле. Затем движки резисторов R3 и R5 перемещают в верхнее (по схеме) положение и на вход устройства подают от ЛАТРА напряжение, при котором оно должно подключить нагрузку к сети. Реле в этот момент должно срабатывать. Далее резистором R5 добиваются обесточивания обмотки реле и подключения нагрузки к сети. После этого движок резистора R3 переводят в нижнее положение и подают напряжение, при котором устройство должно отключить нагрузку от сети. Плавно перемещая движок резистора R3 вверх, добиваются срабатывания реле.

При проведении регулировочных работ надо соблюдать осторожность, потому что все детали схемы включены в сеть напряжением 220 В. Устройство размещают в пластмассовом корпусе.

Известны устройства аналогичного назначения, но с расширенной функцией защиты. Оно отключает токоприемники, как от превышения сетевого напряжения, так и от понижения сетевого напряжения свыше нормы.

Схема простого электронного выключателя нагрузки приведена на рисунке П1.4 [9].

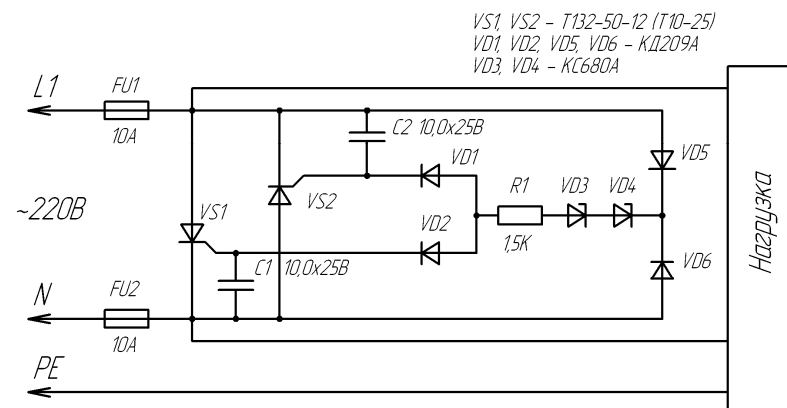


Рисунок П1.4. Принципиальная электрическая схема электронного выключателя нагрузки путем замыкания сети при временных перенапряжениях

ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Тепловая защита использует свойство электрического тока выделять на сопротивлениях электрической цепи тепло, пропорциональное квадрату тока и времени. На сопротивлениях обмоток электродвигателя выделяется тепло по тому же закону, что и на нагревателях специального устройства, получившего название электротепловое реле или сокращенно тепловое реле. Кроме нагревателя, такое реле имеет чувствительный элемент. Им служит биметаллическая пластинка. Она состоит из двух полосок разных металлов, скрепленных между собой путем прокатки. Материалы имеют различные коэффициенты линейного расширения. При нагревании такой пластинки она выгибается в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения. При этом через систему рычагов и пружин размыкаются или переключаются контакты реле.

Связь нагревателя и биметаллической пластинки может осуществляться четырьмя способами:

- 1 – нагреватель располагается рядом с пластинкой (наихудший вариант);
- 2 – нагреватель намотан на пластинку поверх теплостойкой изоляции (наиболее часто применяемый вариант);
- 3 – нагревателем и чувствительным элементом является одна и та же биметаллическая пластинка (наилучший вариант);
- 4 – комбинацией второго и третьего способов.

В автоматических выключателях имеются тепловые расцепители, которые имеют одинаковый с тепловым реле принцип действия.

Тепловая защита обеспечивает обратнoзависимую защитную характеристику, что хорошо согласуется с защитной характеристикой электродвигателя в продолжительном режиме работы. При кратковременном режиме работы или при перемежающихся режимах работы с переменной нагрузкой тепловая защита на тепловом реле или тепловом расцепителе автоматического выключателя работает неудовлетворительно. Это связано с тем, что постоянные величины времени нагревания теплового реле и электродвигателя различны. Электродвигатели имеют большую постоянную нагревания и охла-

При перегорании нулевого проводника на вводе фазное напряжение может вырасти до 380 В. В подобной ситуации устройство защиты от перенапряжения срабатывает, создавая короткое замыкание. «Выбитые» пробки (плавкие или автоматические) прекращают подачу электроэнергии в квартиру.

Напряжение срабатывания защиты приближенно равно:

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_{VD3} + U_{VD4}}{\sqrt{2}} = \frac{180 + 180}{\sqrt{2}} = 255 \text{ В.}$$

В действительности напряжение срабатывания несколько больше из-за наличия в пороговой цепи резистора R1. Этим резистором можно в некоторых пределах изменять напряжения срабатывания. В авторском варианте $U_{\text{ср}} = 270 \text{ В}$. Конденсаторы C1 и C2 образуют с R1 RC-цепочку, которая препятствует срабатыванию устройства при импульсных выбросах в сети.

Схема работает следующим образом. При напряжении в сети до 270 В стабилитроны VD3, VD4 закрыты. Также закрыты и тиристоры VS1, VS2. При превышении действующего значения напряжения свыше 270 В открываются стабилитроны VD3, VD4, и на управляющие электроды тиристоров VS1, VS2 поступает открывающее напряжение. В зависимости от полярности полупериода сетевого напряжения, ток проходит либо через тиристор VS1, либо через VS2. Когда ток превышает 10 А, срабатывают автоматические выключатели (пробки), обезопасив электроприборы от перегорания. Настраивать устройство не требуется.

Без конденсаторов C1 и C2 время срабатывания не превышает одного полупериода напряжения сети, однако возможны ложные срабатывания. Так как с конденсаторами C1 и C2 снижается быстрдействие устройства, можно сделать и однополупериодную схему с одним тиристором (VS1), удалив VS2, C2, VD1, VD2 и VD6. Работоспособность при этом сохраняется.

Схема собрана на небольшой печатной плате, помещенной в корпус от выносного блока питания магнитофона. Проверить работоспособность устройства можно с помощью лабораторного автотрансформатора.

ждения, чем тепловые реле. Они нагреваются и охлаждаются медленнее, чем тепловые реле. По этой причине тепловые реле не используются для защиты при работе электродвигателя от перегрузки в кратковременном режиме. Часто электродвигатели устанавливаются в одном помещении, а тепловые реле в ящике управления – в другом. Следовательно, они подвержены разным температурам окружающего воздуха. В этом случае еще более усугубляется несоответствие теплового состояния чувствительного элемента теплового реле и действительной температуры электродвигателя.

Тепловые реле просты по конструкции и недороги. В этом их основное преимущество. Однако они имеют разброс параметров срабатывания, недостаточную стабильность характеристик во времени, недостаточно коррозионной стойкости.

Приложение 3 (справочное)

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

1. Общие сведения

Температурная защита электродвигателя основана на непосредственном контроле температуры обмотки электродвигателя с помощью термодетекторов. В качестве термодетекторов используются полупроводниковые сопротивления – термисторы, или позисторы. Например, в защитном устройстве АТВ-229 используются термистор РТЗЗ, а в устройствах АЗП и УВТЗ – позисторы СТ14. Для защиты электродвигателей разработаны специальные позисторы. Они характеризуются скачкообразным увеличением сопротивления (в десятки раз) при определенной температуре. Например, позисторы СТ14-2-115 имеют при 20 °С сопротивление 70–80 Ом, а при 115 °С – 2000–2500 Ом.

Термодетекторы могут включаться в различные схемы с полупроводниковыми усилителями или без них.

Температурная защита является наиболее приемлемой по сравнению с другими защитами, поскольку реагирует на все аварийные состояния (кроме увлажнения обмотки). Однако существующие конструкции устройств температурной защиты требуют прокладки дополнительных проводов от электрического двигателя (от позисторов) к шкафу управления, где установлен усилительный блок. В последних разработках температурной защиты усилительный блок устанавливают в коробке выводов электродвигателя. При этом требуется прокладка проводов от электродвигателя к шкафу управления (для коммутации катушки электромагнитного пускателя).

2. Термодетекторы встроенной температурной защиты

Нагрев обмотки можно контролировать различными температурными датчиками, например терморезисторами. Высокая чувствительность к изменению температуры, малые габариты и небольшая инерционность обусловили предпочтительное их использование для защиты двигателей.

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) терморезисторов на порядок выше, чем ТКС металлических проводников. Различают терморезисторы с отрицательным (сопротивление уменьшается при повышении температуры) и положительным (сопротивление увеличивается при повышении температуры) ТКС.

Терморезисторы с отрицательным ТКС соединяются параллельно. С уменьшением сопротивления одного терморезистора уменьшается и результирующее сопротивление цепи (см. рисунок ПЗ.1). Соединять их последовательно нельзя, так как при нагреве одного из них общее сопротивление уменьшается в лучшем случае всего на 1/3, что может не привести к срабатыванию защиты. Для компенсации разброса температурных характеристик терморезисторы с отрицательным ТКС целесообразно соединять с устройством защиты четырьмя проводами: по одному от каждого из трех терморезисторов в разных фазах и один провод – от общей точки их соединения.

В случае применения позисторов все три прибора для трех фаз соединяют последовательно, в результате чего требуется вести только два провода от двигателя к устройству защиты. В случае нагрева любого из позисторов общее сопротивление резко увеличивается.

Каждый термодатчик, встроенный в фазу обмотки двигателя, будет довольно точно фиксировать ее температуру в соответствии со своей характеристикой $R = f(\theta)$ до сопротивления срабатывания устройства защиты $R_{сраб.}$. Однако другая картина наблюдается, когда к устройству защиты подключается цепь из трех термодатчиков. На рисунке ПЗ.1 приведены для сравнения погрешности $\Delta\theta$ срабатывания температурных защит с тремя последовательно соединенными позисторами и тремя параллельно соединенными терморезисторами с отрицательным ТКС.

Таким образом, преимущество защиты на резисторах с «релейной» характеристикой заключается в значительно меньшей температурной погрешности в результате срабатывания 1, 2 или 3 последовательно соединенных позисторов (по сравнению с параллельно соединенными терморезисторами с отрицательным ТКС).

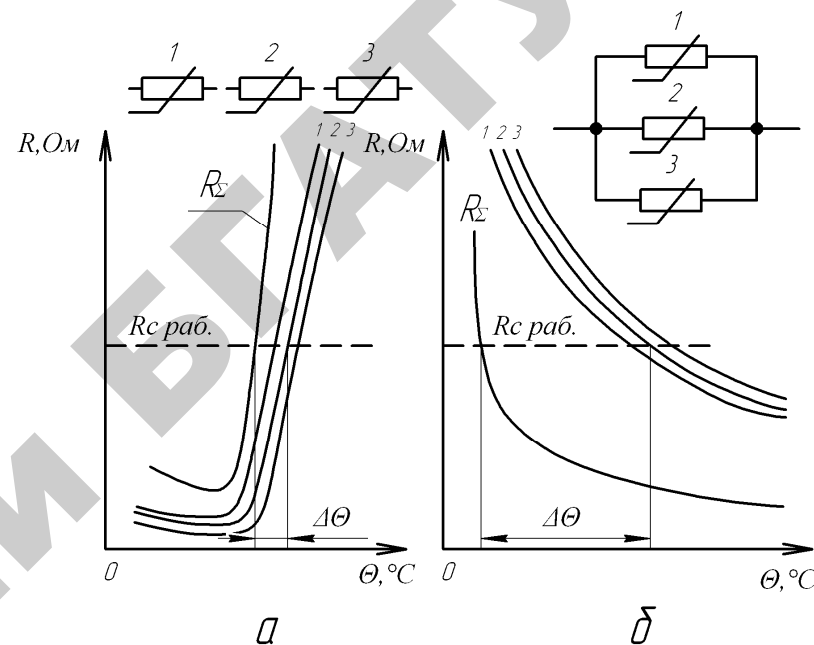


Рисунок ПЗ.1. Сравнение температурной погрешности $\Delta\theta$ при срабатывании одного или трех термодетекторов: *а* – последовательное соединение; *б* – параллельное соединение терморезисторов с отрицательным ТКС

На рисунке ПЗ.2 показаны температурные характеристики позистора СТ14-1А, терморезистора КМТ-1 и медного термометра сопротивления (Cu). Температурный коэффициент сопротивления СТ14-1А имеет резко выраженный максимум в зоне рабочей температуры.

Максимальное значение ТКС позистора СТ14-1А достигает 50 % / °С, в то время как отрицательный ТКС терморезистора КМТ-1 составляет (4,2–8,4) % / °С, а медного термометра сопротивления – 0,4 % / °С.

Из характеристики позистора СТ14-1А (см. рисунок ПЗ.2) видно, что в диапазоне температур 110–130 °С сопротивление меняется от 10^2 до 10^4 Ом. Такое резкое изменение сопротивления легко позволяет создавать соответствующие устройства защиты, которые срабатывают в указанном диапазоне температур с высокой точностью.

Температуру срабатывания позисторов, при которой происходит резкий скачок сопротивления, называют **классификационной**, так как она согласована с допустимой температурой изоляции соответствующего класса. В таблице ПЗ.1 приведены основные технические данные позисторов, применяемых для защиты электродвигателей.

Из приведенных параметров можно сделать вывод, что у всех позисторов с различной классификационной температурой одинаковые выходные параметры. Это означает, что аппараты защиты, которые подключаются к позисторам, взаимно заменяемы, независимо от класса изоляции электродвигателя.

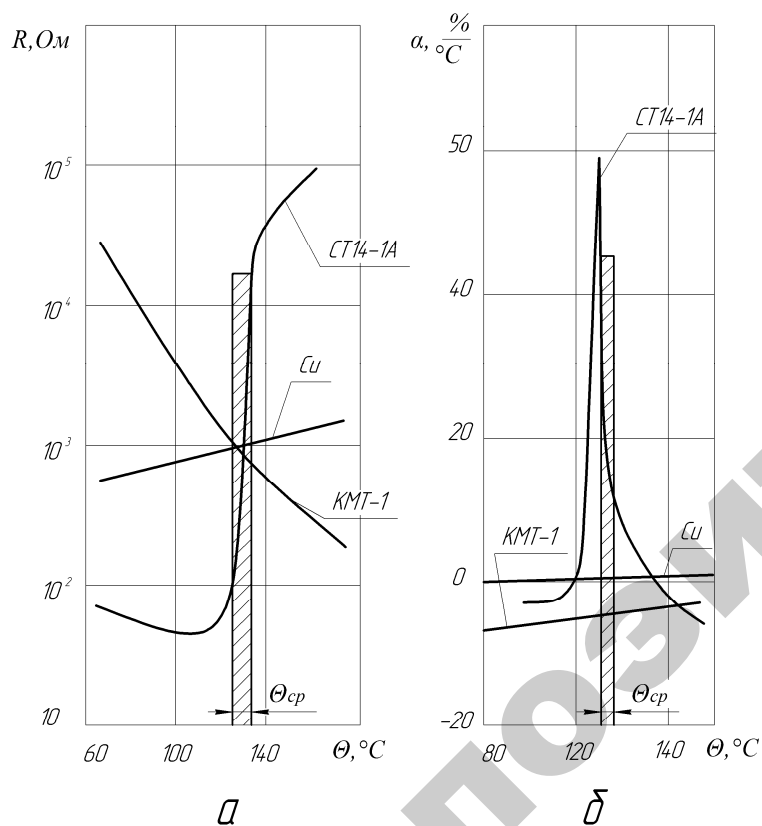


Рисунок ПЗ.2. Температурная характеристика (а) и ТКС (б) позистора СТ14-1А, медного термометра сопротивления (Cu) и терморезистора КМТ-1.

Таблица ПЗ.1 – Основные параметры позисторов, применяемых для защиты электродвигателей

Параметр	СТ14-1А	СТ14-1Б	СТ14-2-115	СТ14-2-130	СТ14-2-145	СТ14-2-160
Классификационная температура $\theta_{\text{вкл}}$, °С	130	105	115	130	145	160
Сопротивление при +25°С, Ом	40... 150*	40... 150*	40... 150**	40... 150**	40... 150**	40... 150**
Сопротивление при $\theta_{\text{вкл}}$ -5°С, Ом	50*	50*	550**	550**	550**	550**
Сопротивление при $\theta_{\text{вкл}}$ +5°С, Ом	1330*	1330*	1330**	1330**	1330**	1330**
Срок службы, ч	13000	13000	20000	20000	20000	20000
Макс. доп. мощн., Вт	0,6	0,8	0,75	0,85	0,95	1,05
Рабочие температуры, °С	-40... +115	-40... +120	-60... +145	-60... +145	-60... +160	-60... +175
Максимально допустимая температура, °С	190	170	195	210	225	240

* При напряжении 0,2 В.

** При напряжении 2,5 В.

3. Основные модификации устройств встроенной температурной защиты

Аппаратура температурной встроенной защиты АТВ-229 служит для защиты от перегрева обмоток электродвигателей, подшипников и других деталей производственных механизмов. Аппаратура АТВ-229 может быть использована как для отключения агрегата, так и для сигнализации при повышении температуры выше заданной в контролируемой зоне.

Аппаратура АТВ-229 состоит из термодетекторов ТДП-231у или ТДП-232у и температурного реле РТ-230у. Термодетектор ТДП-231у предназначен для встраивания в подшипники и другие детали механизмов; термодетектор ТДП-232у – в обмотки электродвигателей.

Аппаратура выпускается на напряжение 220 или 380 В при частоте тока 50 Гц. Область контролируемых температур от +24 до +131 °С. Температура срабатывания исполнительного реле может устанавливаться через каждые 10 °С в пределах диапазона рабочих температур применяемого датчика. Погрешность прибора не более ± 6 °С.

Датчиком температуры является полупроводниковое термосопротивление, заключенное в защитную оболочку и включенное последовательно в цепь питания исполнительного реле КV (рисунок ПЗ.3).

Применяемое в термодатчиках ТДП-231у и ТДП-232у термосопротивление ТР-33 обладает «релейным эффектом», т.е. резко (в сотни раз) уменьшает свое сопротивление при достижении окружающей средой некоторой определенной температуры. Релейный эффект происходит за счет самоподогрева термосопротивления протекающим через него током. До тех пор, пока температура окружающей среды не достигла установленной величины, в цепи термосопротивления протекает незначительный ток, явно недостаточный для срабатывания реле. При повышении температуры окружающей среды до величины уставки температурного реле РТ-230у сопротивление термодатчика резко уменьшается, что приводит к срабатыванию исполнительного реле, которое отключает электродвигатель от питающей сети.

Температура уставки температурного реле РТ-230у определяется величиной напряжения на термосопротивлении. Чем больше напряжение, тем ниже температура срабатывания.

Феррорезонансный стабилизатор напряжения TV (рисунок ПЗ.3) обеспечивает неизменность температурной уставки реле РТ-230у при снижении напряжения сети до 50 %, что гарантирует надежную защиту трехфазного электродвигателя при обрыве одной из трех фаз.

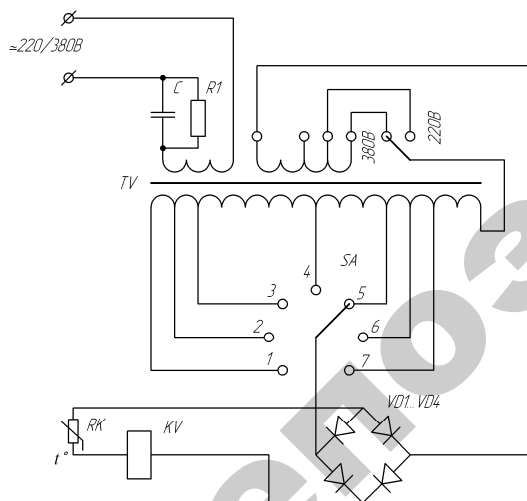


Рисунок ПЗ.3. Принципиальная электрическая схема АВТ-229

Термодатчик ТДП-232у плотно закладывают между проводами обмотки электродвигателя в местах наибольшего нагрева. Для короткозамкнутых асинхронных двигателей рекомендуется закладывать термодатчики в лобовые части обмоток статора со стороны вводного вала.

Устройство защиты УВТЗ-1 с применением позисторов типа СТ14-1 разработано с учетом специфики работы оборудования в сельскохозяйственном производстве и других особенностей. При разработке схем преследовалась цель максимально упростить и одновременно унифицировать систему защиты, а также уменьшить влияние разброса параметров датчиков на стабильность работы защитного устройства.

Устройство УВТЗ-1 состоит из блока стабилизированного питания и преобразователя, увеличивающего сигнал от температурных датчиков и преобразовывающего его в сигнал управления выходным элементом. Выходной элемент коммутирует цепь питания катушки магнитного пускателя.

При работе двигателя в аварийном режиме повышается температура его обмоток. Когда она станет равной температуре срабатывания термодатчиков (для СТ14-1А эта температура составляет 130 °С), сопротивление цепи термодатчиков достигает 2200 Ом, преобразователь срабатывает и с помощью промежуточного реле отключает электродвигатель от сети (рисунок ПЗ.4). Цепь питания магнитного пускателя будет разомкнута до тех пор, пока обмотка не остынет до определенного значения температуры. После этого возможен повторный запуск электродвигателя кнопкой SB2.

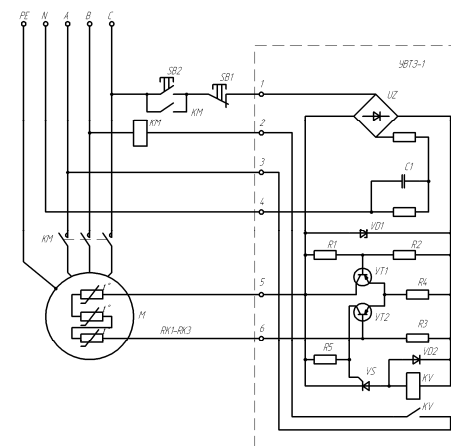


Рисунок ПЗ.4. Принципиальная электрическая схема УВТЗ-1

Питание УВТЗ-1 осуществляется от сети переменного тока 220 В при частоте 50 Гц через выпрямительный мост. Выпрямленное напряжение стабилизируется стабилизатором.

Преобразователь выполнен в виде моста из трех резисторов R1-R3 и четвертого резистора-термодатчика. В диагональ моста включен транзисторный токовый ключ, имеющий 100 %-ную обратную связь и обеспечивающий стабильность работы схемы в широком интервале температур (от -50 °С до +60 °С).

Для управления промежуточным реле введен дополнительный элемент – тиристор с номинальным напряжением 50 В (см. рисунок П.3.4). Такое сочетание расширяет функции самоконтроля исправной работы схемы защиты, так как в случае короткого замыкания в цепи позисторов происходит отключение устройства защиты УВТЗ-1.

В исходном состоянии температура термодатчиков ниже температуры срабатывания и их сопротивление мало. Транзистор VT1 закрыт, ток источника питания, определяемый напряжением на стабилизаторе и сопротивлением резистора R4, протекает через открытый транзистор VT2 и управляющую цепь тиристора VS. Тиристор включается, при этом срабатывает реле KV и замыкает свой контакт в цепи питания магнитного пускателя.

При нагреве термодатчиков до температуры срабатывания их сопротивление резко возрастает, транзистор VT2 закрывается, а транзистор VT1 открывается. Происходит переход тиристора в непроводящее состояние. При этом отключается реле KV, способствуя отключению электродвигателя от питающей сети.

При изменении температуры окружающей среды от минус 45 °С до плюс 45 °С сопротивление срабатывания изменяется на 20–100 Ом относительно сопротивления срабатывания при 20 ± 5 °С, а при изменении напряжения питания от 154 до 242 В – на ± 30 Ом. В переводе на температуру это соответственно составляет 1,0–0,1 °С.

Герметизация УВТЗ-1 обеспечивает возможность работы в агрессивных средах животноводческих и других помещений сельскохозяйственного производства.

Наряду с высокоточными и стабильными полупроводниковыми системами возможно использование более дешевых, простых в изготовлении и обслуживании устройств защиты.

Устройство защиты УВТЗ-2 имеет принципиальную электрическую схему, которая изображена на рисунке П3.5.

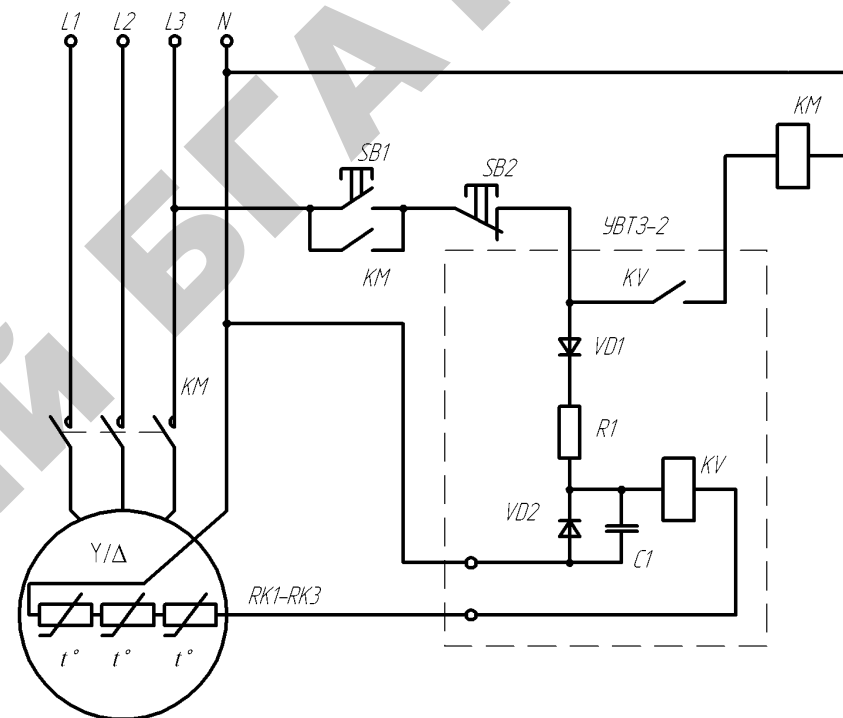


Рисунок П3.5. Принципиальная электрическая схема УВТЗ-2

Принцип работы устройства заключается в следующем. При подаче напряжения питания на УВТЗ-2 реле KV сработает и замкнет свой контакт в цепи катушки магнитного пускателя, который подключит электродвигатель к питающей сети. Это произойдет в том случае, если температура обмотки двигателя ниже рабочей температуры позисторов, их сопротивление мало (150–450 Ом), и ток, протекающий через реле KV, будет больше тока срабатывания.

В аварийном режиме, когда температура обмотки двигателя достигает температуры срабатывания термодатчиков, сопротивление их резко возрастает, а ток в цепи реле KV резко уменьшается и оно отключается, способствуя отключению электродвигателя.

В схеме УВТЗ-2 совмещены две защитные функции: защиты от аварийных тепловых режимов асинхронных двигателей и защиты от обрыва нулевого провода, так как обрыв его приводит к разрыву цепи питания реле KV1 и отключению двигателя.

В схеме используется лишь один провод для соединения цепи термодатчиков с УВТЗ-2 (в отличие от других схем подобных устройств).

Устройство УВТЗ-2 имеет самоконтроль рабочего состояния, обладает малой потребляемой мощностью, имеет низкую стоимость и простое в обслуживании. Однако устройство характеризуется пониженной точностью контроля температуры.

Устройства защиты типа УВТЗ-1М имеет электрическую схему, изображенную на рисунке ПЗ.6. Из схемы видно, что устройство защиты включает в себя узел питания, усилитель и выходное реле KV. Узел питания состоит из диодного моста VD1-VD4, ограничивающих резисторов R1, R2 и R4, стабилизируют VD5 и VD8. Усилитель выполнен на транзисторах VT1-VT4 и тиристоре VS.

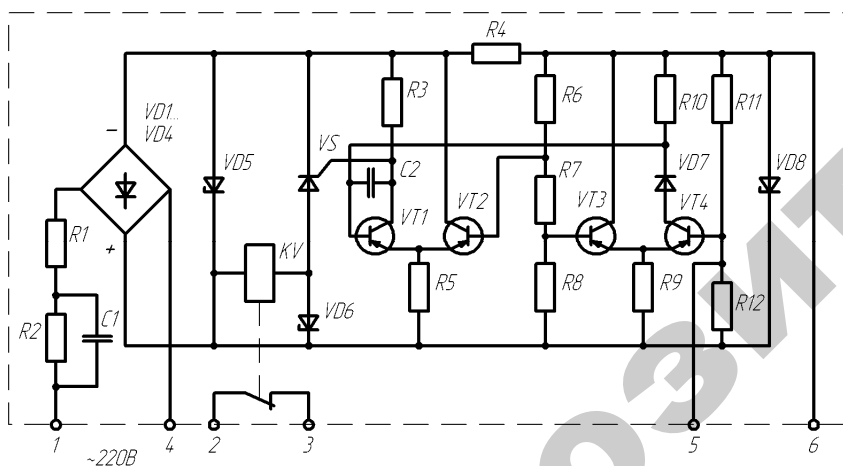


Рисунок ПЗ.6. Принципиальная электрическая схема устройства УВТЗ-1М

Схема УВТЗ-1 М работает следующим образом. Если температура обмотки электродвигателя ниже предельно допустимого значения, то сопротивление позисторов мало и напряжение, посту-

пающее на транзистор VT4, будет больше значения порога срабатывания усилительного каскада VT3, VT4, определяемого делителями R6, R7, R8. В этом случае транзистор VT4 будет открыт, транзистор VT1 и тиристор VS – закрыты, а реле KV – обесточено.

При увеличении температуры обмоток электродвигателя сверх предельно допустимого значения сопротивление позисторов резко возрастает, сигнал, поступающий на транзистор VT4, уменьшается. Транзистор VT4 закрывается, а VT1 – открывается. Тиристор VS и выходное реле KV включаются, контакты реле KV размыкают цепь питания катушки магнитного пускателя, который отключает электродвигатель от сети.

Устройство УВТЗ-1М осуществляет также самоконтроль – отключает электродвигатель при возникновении неисправности в цепи позисторов (при обрыве и замыкании цепи термодетекторов).

Устройство УВТЗ-5 состоит из усовершенствованной схемы температурной защиты, собранной на транзисторах VT1-VT6, и схемы контроля напряжения нулевой последовательности (искусственной звезды из трех резисторов R1, R2, R3) (рисунок ПЗ.7).

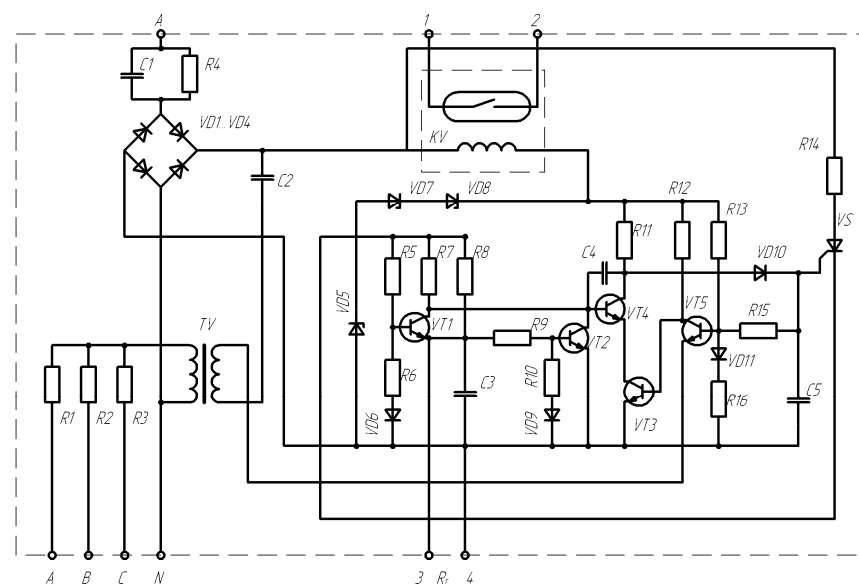


Рисунок ПЗ.7. Принципиальная схема устройства защиты УВТЗ-5.

Трансформатор TV служит для развязки фазы питания и искусственной звезды. Схема температурной защиты имеет значительно более высокую помехоустойчивость, чем УВТЗ-1М.

Схема работает следующим образом. При температуре обмоток электродвигателя, не превышающей допустимую температуру, и при симметричной системе напряжений трехфазной сети ток поступает на схему через катушку KV герконового реле. При этом транзисторы VT1, VT2, VT5 и тиристор VS закрыты, а транзисторы VT3 и VT4 открыты, герконовое реле KV включено.

При аварийном увеличении температуры обмоток увеличивается сопротивление позисторов. Транзистор VT2 открывается, а VT4 закрывается. Тиристор VS открывается и шунтирует KV. Контакт герконового реле размыкается, что приводит к отключению электродвигателя.

При возникновении неполнофазного режима на первичной обмотке трансформатора TV появляется напряжение нулевой последовательности. Транзистор VT5 открывается, а VT4 закрывается, тиристор VS открывается и шунтирует катушку KV. Это приводит к отключению электродвигателя.

Таким образом, УВТЗ-5 защищает электродвигатель от перегрева, моментально реагирует на обрыв фазы, не допуская опасной работы электродвигателя в неполнофазном режиме.

Устройство встроенной температурной защиты УВТЗ-4 предназначено для защиты от перегрева асинхронных двигателей, применяемых в сельском хозяйстве.

Устройство работает в комплекте с тремя последовательно соединенными позисторами типа СТ14-2, встроенными между витками обмоток электродвигателя, действуя на отключение магнитного пускателя.

Устройство **УВТЗ-4** имеет блок питания, состоящий из конденсаторов C2 и C3, выпрямительного моста VD6-VD9, сглаживающего фильтра C1, параметрического стабилизатора напряжения VD5 (рисунок П.3.8).

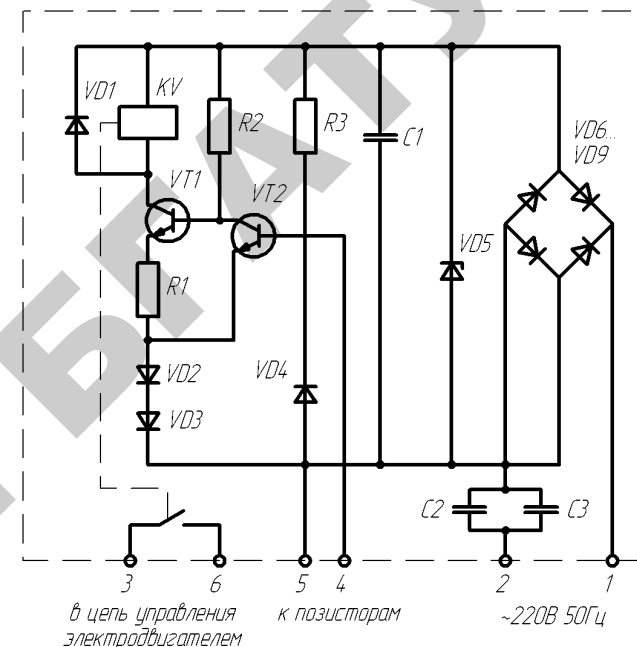


Рисунок П3.8. Принципиальная электрическая схема УВТЗ-4

На стабилитроне VD5 сохраняется постоянное значение выпрямленного напряжения при колебаниях сетевого напряжения от 150 до 240 В. Исполнительное устройство состоит из реле KV, управляемого триггером из транзисторов VT1 и VT2.

Резистор R3, диод VD4 и позисторы, подключаемые к клеммам 4, 5, задают смещение на базу транзистора VT2. Смещение на базу транзистора VT1 обеспечивается резистором R1 и переходом коллектор-эмиттер транзистора VT2.

В нормальном состоянии сопротивление позисторов незначительно и поэтому транзистор VT2 закрыт, а транзистор VT1 открыт. По обмотке реле KV протекает коллекторный ток транзистора VT1, реле включено, двигатель находится под напряжением. На диодах VD2, VD3 создается падение напряжения, способствующее запираанию транзистора VT2.

При увеличении сопротивления позисторов, вызванного перегревом обмоток двигателя, транзистор VT2 открывается, а транзи-

стор VT1 – закрывается. В результате этого обмотка реле KV обесточивается и происходит отключение двигателя. Диоды VD2 и VD3 обеспечивают положительную обратную связь. Благодаря этому обеспечивается релейный эффект.

Отсутствие активных сопротивлений в цепи C₂, C₃ и VD6-VD9 приводит к большому импульсу тока через диоды и стабилитрон VD5 при включении устройства в сеть, что отрицательно сказывается на надежности работы устройства.

4. Эксплуатация температурных защит

Особенностью монтажа встроенной температурной защиты является наличие двух проводов для подсоединения цепи термодатчиков (зажимы в коробке выводов двигателя) к самому устройству температурной защиты. Поскольку ток в цепи термодатчиков не превышает 20 мА, сечение подводящих проводов определяется их механической прочностью при прокладке в газовых трубах, в металлорукавах и др. Устройство температурной защиты типа УВТЗ-1 и ей подобные устанавливаются в герметизированных шкафах управления (например, типа РУС), либо автономно рядом с магнитным пускателем, на стенах и конструкциях, не подверженных ударам и сильной вибрации и защищенных от солнечной радиации.

Проверка работоспособности смонтированного устройства встроенной температурной защиты, подключенного к двигателю, производится следующим образом. Включить электродвигатель в питающую сеть. Убедиться в нормальной его работе на холостом ходу. Далее необходимо разомкнуть цепь термодатчиков с положительной ТКС, или закортить цепь с отрицательной ТКС. Срабатывание устройства и отключение двигателя от сети свидетельствует о нормальной работе встроенной температурной защиты.

Термодатчики могут устанавливаться в обмотку статора во время ее укладки при изготовлении двигателя или при капитальном его ремонте, а также в эксплуатационных условиях. Их размещают (по одному в каждую фазу) со стороны свободного конца вала, предварительно отформовав лобовую часть обмотки по внутреннему и наружному диаметрам. Термодатчики устанавливают в середине вылета лобовой части так, чтобы проводники обмотки каса-

лись их со всех сторон, затем бандажируют лобовые части совместно с выводами обмотки и термодатчиков. Концы от термодатчиков протягивают через коробку выводов. Вблизи изоляции термодатчиков соединительные провода нельзя натягивать и изгибать. Все соединения и выводы выполняются медным проводом сечением не менее 0,5 мм². После установки термодатчиков измеряют омическое сопротивление их цепи, а также сопротивление изоляции относительно обмотки и корпуса.

Категорически запрещается проверять цепь термодатчиков мегомметром!

Установка термодатчиков в двигатели, находящиеся в эксплуатации, может быть осуществлена двумя способами: непосредственно в обмотку (если двигатель в эксплуатации не более двух лет), или приклеиванием к наружной поверхности лобовых частей обмотки статора (например, клеем БФ). Обмотку предварительно разогревают до 100–120 °С. С помощью пластмассового клина раздвигают витки катушки, в образовавшуюся щель устанавливают термодатчик. Места установки термодатчиков заливаются соответствующим пропиточным лаком или эпоксидной смолой.

Эксплуатация встроенных температурных защит должна осуществляться электротехническим персоналом не ниже 3-й квалификационной группы по технике безопасности. Техническое обслуживание подобных устройств рекомендуется проводить одновременно с обслуживанием двигателей и пускозащитной аппаратуры.

Приложение 4 (справочное)

ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Фазочувствительное устройство защиты ФУЗ предназначено для защиты трехфазных электродвигателей от неполнофазных режимов и от режима «заторможенного» ротора.

В устройстве применен фазовый принцип выявления аварийных режимов работы электродвигателя, чем обеспечивается устойчивая работа устройства в условиях несимметричных трехфазных электросетей.

Фазочувствительное устройство защиты ФУЗ состоит из двух фазовращающих трансформаторов тока ТА1 и ТА2, фазового кольцевого детектора (VD1-VД4 и R1-R4) с косинусной характеристикой, реле защиты KV (рисунок П4.1).

Каждый фазовращающий трансформатор имеет две первичные токовые обмотки с разным числом витков, включенные встречно в разные фазы питания электродвигателя. Это обеспечивает определенный заданный угол фазового сдвига между вторичными измеряемыми напряжениями. При работе электродвигателя на всех трех фазах угол фазового сдвига между измеряемыми напряжениями выбран 73° , что обеспечивается соотношением числа витков токовых обмоток 3 к 2, при этом на выходе кольцевого детектора, в катушке KV незначительный начальный ток. При обрыве фазы угол фазового сдвига между измеряемыми напряжениями изменяется на 0° или 180° в зависимости от того, в которой фазе обрыв, а на выходе фазового детектора будет большой ток, и реле KV срабатывает.

ФУЗ срабатывает при заторможенном роторе из-за увеличения напряжений на обмотке и начального тока реле KV.

Защита электродвигателя от перегрузки (дополнительно к защите от неполнофазного и стопорного режимов) осуществляется контролем величины одного из измеряемых напряжений, пропорционального токам нагрузки двух фаз. Для защиты от нагрузки используется схема, изображенная на рисунке П4.1, б. Обе схемы, изображенные на рисунке П4.1, образуют устройство ФУЗ-М.

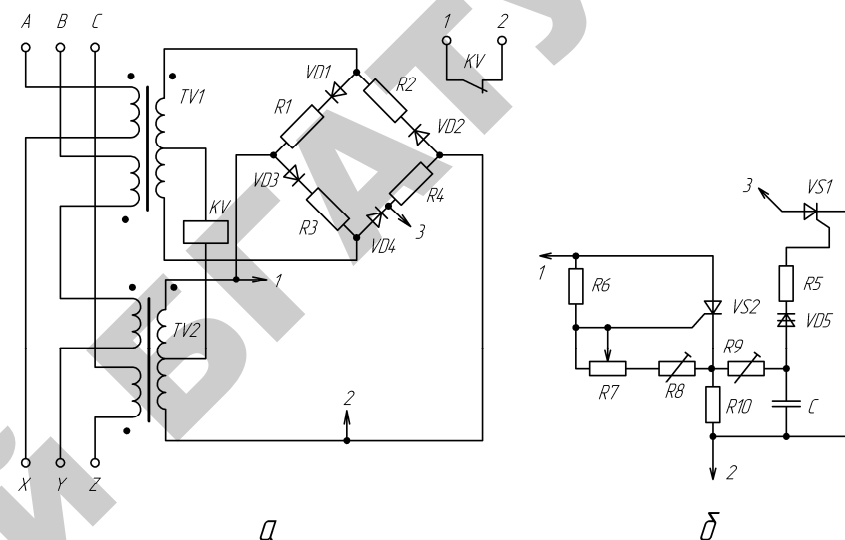


Рисунок П4.1. Принципиальная электрическая схема устройства фазочувствительной токовой защиты ФУЗ (а) и узла защиты от перегрузки (б), добавка которого к устройству ФУЗ превращает его в устройство ФУЗ-М

При нормальной нагрузке электродвигателя тиристор управляемого выпрямителя закрыт, напряжение на конденсаторе С отсутствует.

При определенной перегрузке открывается тиристор VS2 управляемого выпрямителя и начинается зарядка конденсатора С.

Угол открытия тиристора пропорционален перегрузке электродвигателя. Процесс зарядки конденсатора происходит с определенной задержкой во времени, что обеспечивается сопротивлением зарядного резистора R9, емкостью конденсатора С и автоматическим изменением угла открывания тиристора в зависимости от перегрузки электродвигателя.

При длительной перегрузке конденсатор заряжается до напряжения включения динистора VD5, который пропускает импульс тока для открытия шунтирующего тиристора VS1. Последний шунтирует балластный резистор R4. Фазовый детектор сильно разбалансируется, а ток катушки KV увеличится, реле включается и его контакт отключает цепь управления электродвигателем.

После кратковременной перегрузке заряд конденсатора стекает через разрядный резистор R10, и защита не срабатывает. При незапустившемся электродвигателе, когда измеряемое напряжение

резко увеличено, конденсатор быстро заряжается до напряжения включения динистора, защита срабатывает с небольшой выдержкой времени. Переменный резистор R7 служит для регулировки установки устройства защиты соответственно номинальному току защищаемого электродвигателя.

Категорически запрещается трогать подстроенные резисторы (R8, R9). Точная регулировка их установлена на заводе-изготовителе. Шкала переменного резистора R7 (установка номинального рабочего режима) градуирована в делениях от -0,35 до +0,35. Каждому делению шкалы соответствует определенный номинальный рабочий ток двигателя, соответственно которому выбирается определенный типоразмер защиты и положение шкалы переменного резистора. Для этого используется градуированная таблица П4.1.

Таблица П4.1 – Технические данные устройства защиты ФУЗ-М

Типоразмер устройства	Диапазон рабочего тока	Номинальный ток электродвигателя (А)								
		Деления шкалы переменного резистора R7								
		-0,35	-0,3	-0,2	-0,1	1	+0,1	+0,2	+0,3	+0,35
ФУЗ-М1	1-2	0,975	1,05	1,2	1,35	1,5	1,65	1,8	1,95	2,02
ФУЗ-М2	2-4	1,95	2,1	2,4	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,05
ФУЗ-М3	4-8	3,9	4,2	4,8	5,4	6	6,6	7,2	7,8	8,1
ФУЗ-М4	8-16	7,8	8,4	9,6	10,8	12	13,2	14,4	15,6	16,2
ФУЗ-М5	16-32	15,6	16,8	19,2	21,6	24	26,4	28,8	31,2	32,4

Среднему значению диапазона рабочих токов соответствует единица «1.0» на шкале переменного резистора. Если, например, диапазон рабочих токов устройства защиты 8–16 А, то отметке «1» на шкале переменного резистора соответствует ток $(8 + 16)/2 = 12$ А, а отметка -0,2 соответствует $(1 - 0,2) \cdot 12 = 9,6$ А и т.п.

Фазочувствительная защита с контролем фаз напряжения может быть построена аналогично фазочувствительной токовой защите, только теперь первичными преобразователями являются трансформаторы напряжения или делители напряжения. В этом случае можно контролировать фазовый угол между напряжениями; наиболее удобно контролировать постоянную составляющую напряжения или сформировать из трех синусоид напряжений прямоугольные импульсы и отслеживать очередность этих импульсов или измерять время между импульсами (защиты типа ЕЛ-10; ЕЛ-11; ЕЛ-12).

Фазовая токовая защита имеет перед ними то преимущество, что реагирует на исчезновения тока, связанные с обрывом проводников или контактных соединений в любом месте по цепи питания двигателя. Фазовая защита с контролем фаз напряжений чувствительна только при исчезновении напряжения до места ее подключения.

Приложение 5 (справочное)

ЗАЩИТА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ОТ НЕПОЛНОФАЗНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

Неполнофазный режим работы трехфазных электродвигателей встречается в сельскохозяйственных установках наиболее часто, поэтому известно много устройств защиты электродвигателей от работы в неполнофазном режиме [1].

Основные принципы защиты трехфазного электродвигателя от неполнофазного режима работы следующие:

- 1 – по напряжению нулевой последовательности;
- 2 – по минимальному линейному или фазному напряжению;
- 3 – по минимальному линейному току (по наличию тока фаз);
- 4 – по напряжению или току обратной последовательности;
- 5 – по фазовому углу между двумя напряжениями (ФУЗ);
- 6 – по контролю постоянной составляющей в кривой напряжения однополупериодного трехфазного выпрямителя, включенного на зажимах трансформаторов тока (устройство защиты УФИЗ).

6 – по контролю постоянной составляющей в кривой напряжения однополупериодного трехфазного выпрямителя, включенного на зажимах трансформаторов тока (устройство защиты УФИЗ).

Указанные с 1 по 5 принципы защиты подробно изложены в [1]. Принцип 5 изложен в лабораторной работе № 8. Там же указаны принципиальные схемные решения, и их недостатки.

В отличие от схем, приведенных в [1], в данном приложении принцип защиты по напряжению нулевой последовательности реализован по схемам, изображенным на рисунке П5.1, а, б с применением промежуточного реле постоянного тока и выпрямителя. Это позволяет использовать малогабаритные и слаботочные элементы схемы.

В схеме рисунка П5.1 реле KV выбирается на напряжение не ниже 24 В и не выше 60 В, выпрямитель – на напряжение не ниже 200 В и на ток, определяемый сопротивлением катушки реле KV и напряжением U_{0N} . Максимальное значение U_{0N} имеет место при неподвижном роторе: $U_{0N} = 110$ В.

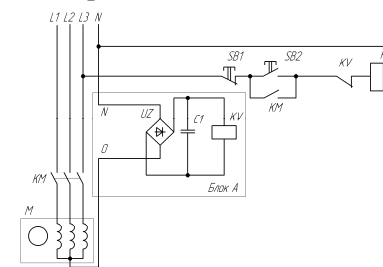
В схеме (рисунок П5.1) конденсатор C1, подключенный параллельно катушке реле KV, обеспечивает задержку на включение реле. Тем самым обеспечивается отстройка от кратковременных неполнофазных режимов, вызванных не одновременностью замыкания контактов в коммутационной аппаратуре и другими причинами.

Схема (рисунок П5.1, б) имеет значительные по габаритам конденсаторы и не имеет регулировки порога срабатывания.

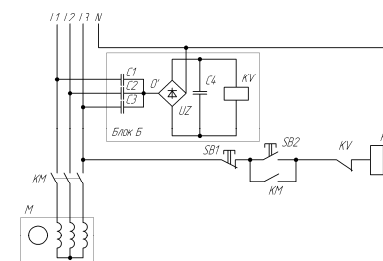
Для повышения чувствительности и снижения мощности резисторов (или конденсаторов), образующих нулевую точку, и регулирования порога срабатывания применяют полупроводниковые усилители (рисунок П5.2).

Схема такого устройства приведена на рисунке П5.2. Резисторы R1–R3 образуют нулевую точку; VD2, R8, C2 – источник питания; VT1, VT2, R7, C3 – триггер Шмитта; KV – исполнительный орган; VD1, RP и C1 – входные цепи полупроводникового усилителя, выполненного в виде триггера Шмитта. Резистором RP регулируют порог срабатывания устройства; диод VD3 нужен для защиты транзистора VT2 от ЭДС самоиндукции катушки реле KV в момент прекращения тока в ней.

При наличии одинакового по значению напряжения всех фаз в точке 0 будет нулевой потенциал. Транзистор VT1 закрыт, а VT2 – открыт током, поступающим через R4 и R5. Реле KV включено.



а



б

Рисунок П5.1. Принципиальная электрическая схема защиты асинхронного электродвигателя от неполнофазного режима работы с контролем напряжения нулевой последовательности при наличии нулевой точки обмотки двигателя (а) и при отсутствии нулевой точки обмотки двигателя, создании искусственной точки 0 с помощью трех конденсаторов C1–C3

Если отсутствует одна из фаз, то в точке О появляется напряжение U_{ON} . Величина этого напряжения зависит от того, вращается или неподвижен ротор АД. Если ротор вращается, то в обмотке «оборванной фазы» индуцируется ЭДС, зависящая от скольжения ротора. При малом скольжении ротора величина ЭДС почти равна номинальному напряжению, поэтому U_{ON} мало и транзистор VT1 отключен. При увеличении скольжения ротора ЭДС падает, а U_{ON} возрастает, VT1 включается, а VT2 – отключается. Наибольшее значение U_{ON} имеет место при неподвижном роторе ($S = 1$).

При большой несимметрии фазных напряжений в точке U_{ON} возрастает напряжение, реле срабатывает, даже если будет трехфазный режим питания. Чувствительность устройства к напряжению U_{ON} определяется положением движка потенциометра RP.

Если обрывается провод за местом подключения устройства сети, то устройство не изменит своего состояния, поскольку от сети поступает напряжение всех фаз.

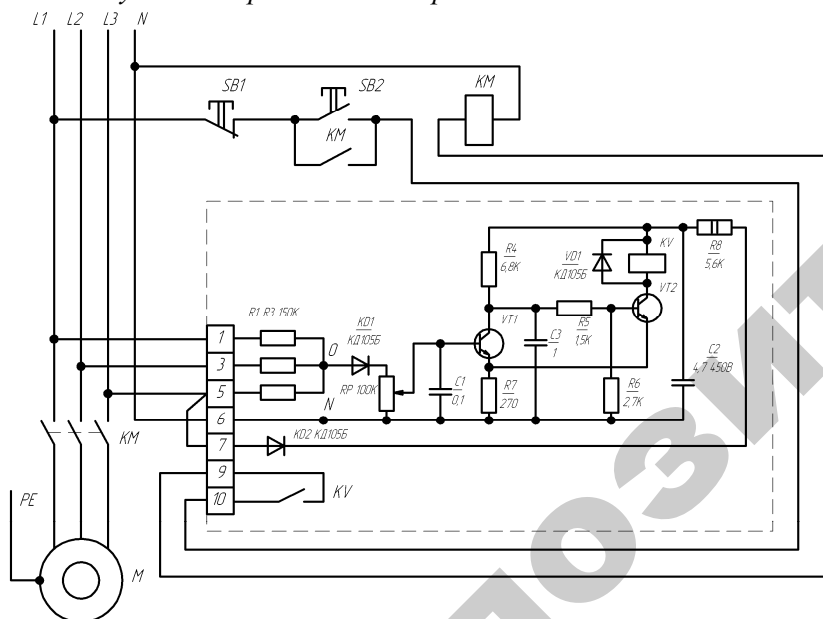


Рисунок П5.2. Принципиальная электрическая схема электронного устройства защиты трехфазного АД от работы в неполнофазном режиме по напряжению нулевой последовательности с образованием искусственной нулевой точки при помощи трех резисторов

* **Защита по минимуму напряжения** основана на контроле действующего или амплитудного значения линейных или фазных напряжений и подробно описана в [1]. В схеме, изображенной на рисунке П5.3, контроль наличия напряжения в сети осуществляется двумя электромагнитными пускателями, включенными на линейные напряжения. Схема защищает АД от неполнофазного режима только при пуске. При вращении ротора двигателя в «оборванной» фазе возникает ЭДС и якорь пускателя не отпадает при «обрыве» фазы.

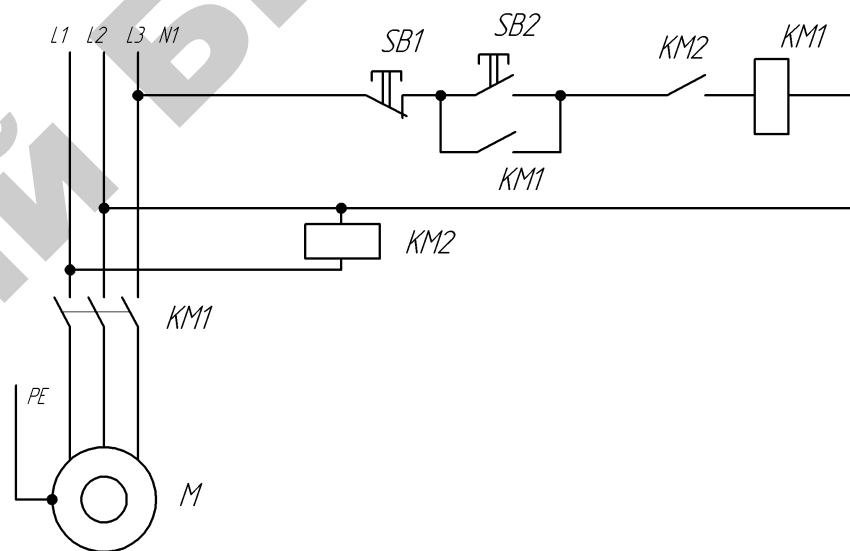


Рисунок П5.3. Принципиальная электрическая схема защиты трехфазного АД от включения в неполнофазном режиме по минимуму напряжения с двумя электромагнитными пускателями.

Для повышения чувствительности увеличивают напряжение отпущения реле путем включения добавочного резистора в цепь катушки (рисунок П5.4).

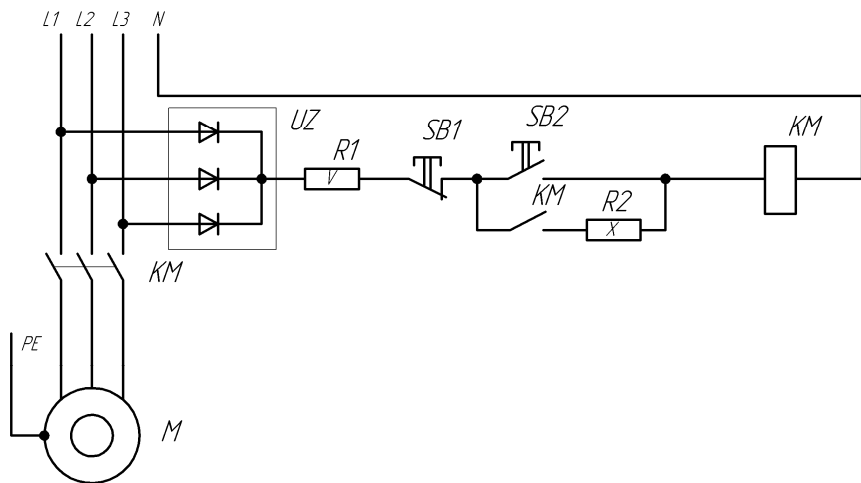


Рисунок П5.4. Принципиальная электрическая схема защиты трехфазного АД от неполнофазного режима работы по минимальному напряжению с одним электромагнитным пускателем, трехфазным однополупериодным выпрямителем и добавочными резисторами

В схеме (рисунок П5.4) организован однополупериодный трехфазный выпрямитель UZ на трех диодах. Поскольку катушка электромагнитного пускателя KM рассчитана на переменный ток, а мы подключаем его в цепь постоянного тока, то для ограничения тока используем резистор $R1$. После включения KM его контакт шунтирует кнопку «Пуск» $SB2$, и теперь ток питания катушки еще больше уменьшается резистором $R2$. Поскольку ток отпущения ниже тока включения, то $R2 \gg R1$. Ток питания катушки KM выбирается таким, чтобы значительное снижение напряжения одной из фаз или «пропадание» одной фазы при работающем электродвигателе вызвало отключение KM . В схеме (рисунок П5.4) включение резистора $R2$ позволило поднять напряжение отпущения KM с 0,1 до $0,9 U_{н}$. Если теперь напряжение на выходе однополупериодного выпрямителя станет меньше $0,9U_{н}$, то KM отключится.

* **Защита по наличию тока фаз** может быть реализована на трех реле минимального тока [1, с. 40–41], применяемых в релейной защите. Схема, построенная на малогабаритных трансформаторах тока, приведена на рисунке П5.5.

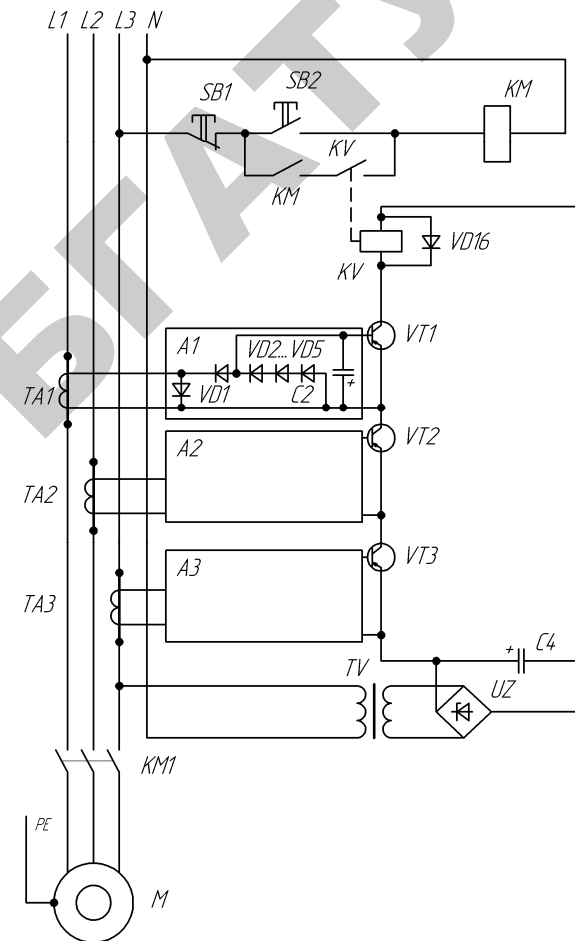


Рисунок П5.5. Принципиальная электрическая схема защиты трехфазного АД от неполнофазного режима работы с контролем тока фаз питания

При наличии всех трех фаз через первичные обмотки трансформаторов тока $TA1$ – $TA3$ протекают токи и во вторичных обмотках индуцируются ЭДС. Под действием ЭДС трансформатора $TA1$ фазы А протекнут однополупериодные токи через диоды $VD2$ – $VD5$ и конденсатор $C2$ зарядится ("-" на базе $VT1$), отчего $VT1$ откроется. Аналогичное явление произойдет в блоках $A2$ и $A3$ фаз В и С. Все транзисторы оказываются включенными по схеме "И", и при наличии напряжения на выходе выпрямителя UZ реле KV включится.

Исчезновение тока в любой из фаз вызовет отключение реле KV.

Недостаток схемы, изображенной на рисунке П5.5, состоит в том, что при отсутствии напряжения в фазах А или В электромагнитный пускатель можно включить. После этого устройство его сразу же отключит, поскольку транзисторы VT1 или VT2 не откроются. Электромагнитный пускатель разрывает при этом пусковые токи электродвигателя, что нежелательно.

Для устранения этого недостатка электромагнитный пускатель включают по схеме рисунка П5.6 через однополупериодный выпрямитель. При этом напряжение включения реле KV должно быть больше 200 В и меньше 250 В. Это значение напряжения подбирается резистором R4. Резисторы R1-R3 равномерно разделяют напряжение питания на последовательно включенных транзисторах VT1-VT3. В этой схеме KV включится только при наличии трехфазного питания. Если будут токи в фазах, то при отпускании кнопки SB2 реле не отключится, поскольку кнопка SB2 будет зашунтирована транзисторами VT1-VT3. При двухфазном питании KV не включится. Если пропадает ток в одной из фаз, то соответствующий транзистор закрывается, и реле KV отключается.

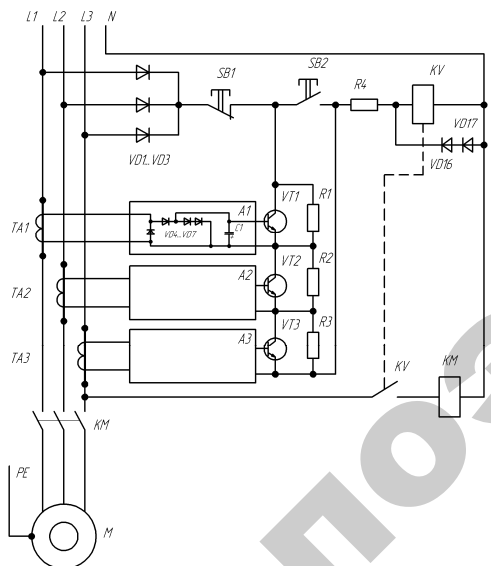


Рисунок П5.6. Принципиальная электрическая схема защиты трехфазного АД от неполнофазного режима работы с контролем тока фаз питания и напряжения питания АД

* **Защита по напряжению обратной последовательности** основана на известном методе симметричных составляющих в трехфазных цепях. Сущность этого метода состоит в том, что любую несимметричную систему трехфазных напряжений (или токов) можно разложить на три симметричные системы: прямой, обратной и нулевой последовательности [3]. Задача, состоит в том, чтобы выявить обратную последовательность. Для этого используют специальные схемы, которые называют фильтрами обратной последовательности. Наиболее простая схема фильтра основана на контроле напряжения в точках 7 и 8 схемы, изображенной на рисунке П5.7.

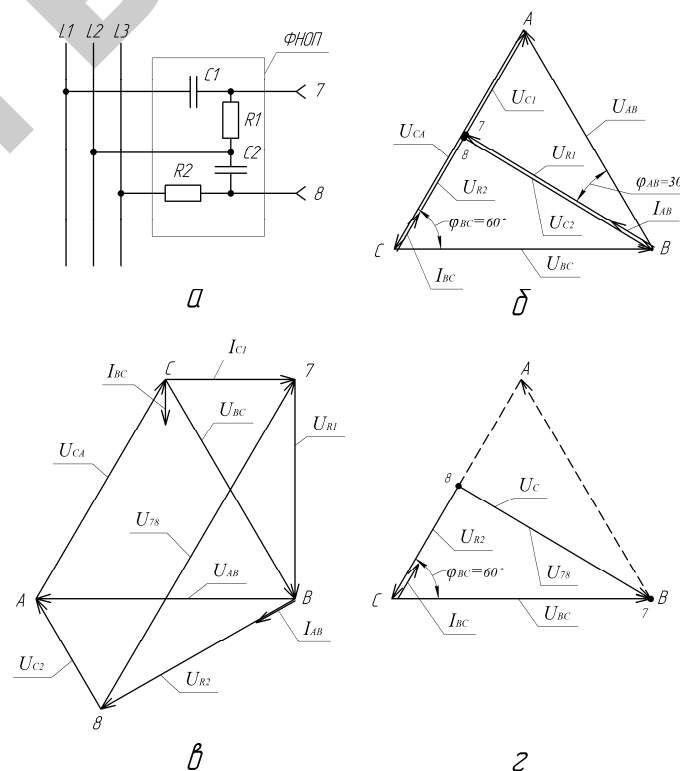


Рисунок П5.7. Принципиальная электрическая схема фильтра напряжений обратной последовательности (ФНОП) с двумя конденсаторами и двумя резисторами (а), его векторная диаграмма в нормальном трехфазном режиме питания (б), при обратном чередовании фаз (в) и «обрыве» фазы А (г)

При прямом чередовании фаз (А, В, С), подводимых соответственно к фильтру, напряжение между точками 7 и 8 равно нулю. Но при асимметрии напряжений фаз в сети между точками 7 и 8 появляется напряжение, величина которого зависит от этой асимметрии. Векторная диаграмма на рисунке П5.7, б показывает, что точки 7 и 8 совпадают при симметричном и прямом (А, В, С) включении напряжений. На рисунке П5.7, в построена векторная диаграмма при обратном чередовании фаз (А, С, В). В этом случае между точками 7 и 8 существует напряжение U_{78} , по величине превышающее линейное значение. При асимметрии возникает также напряжение между точками 7 и 8. В крайнем случае асимметрии (обрыв провода в сети) напряжение между точками 7 и 8 возрастает до максимальных значений. Например, при обрыве провода в фазе А напряжение $U_{78} = U_{C2}$ (рисунок П5.7, з).

На рисунке П5.7 векторные диаграммы построены по правилам, изученным в курсе ТОЭ [3]. Например, ток I_{AB} (см. рисунок П5.7, б) опережает напряжение U_{AB} на угол $\varphi_{AB} = 30^\circ$. Следовательно, падение напряжения U_{R1} совпадает по фазе с током I_{AB} , а напряжение U_{C1} на конденсаторе C_1 , находится под углом 90° к току I_{AB} (или к U_{R1}), отставая от тока. Ток I_{BC} опережает напряжение U_{BC} на 60° , U_{R2} совпадает с I_{BC} по фазе, а U_{C2} – отстает от тока I_{BC} по фазе на 90° .

Из векторной диаграммы рисунка П5.7, б видно соотношение между векторами напряжений: $U_{R2} = U_{R1}$, а $U_{C2} = U_{R1}$. Можно выбрать такие фазовые углы φ_{AB} и φ_{BC} , что точки 7 и 8 будут на середине вектора U_{AC} , и по величине падения напряжения на элементах схемы составляют: $U_{C1} = U_{R2} = 190$ В, $U_{C2} = U_{R1} = 328$ В. Из этого следует, что конденсатор C_2 надо выбирать на 600 В, а C_1 – на 400 В.

Величины сопротивлений (активных и реактивных) относятся между собой следующим образом: $X_{C1} = R_2 = R_1/\sqrt{3}$, $X_{C2} = R_1$. В этом случае обеспечиваются равенство токов I_{AB} и I_{BC} и наилучшие условия работы схемы. Величина емкости при частоте тока 50 Гц определяется из соотношения:

$$C = \frac{10^6}{314 \cdot X_C} \text{ мкФ.}$$

На рисунке П5.7, а изображена одна из известных схем фильтра напряжений обратной последовательности. Известны и другие схемы фильтров обратной последовательности. Можно вместо C_2 , R_2 включить

два одинаковых резистора, а угол φ_{AB} увеличить до 60° . Тогда точки 7 и 8 будут лежать посередине вектора U_{BC} (рисунок П5.8, б).

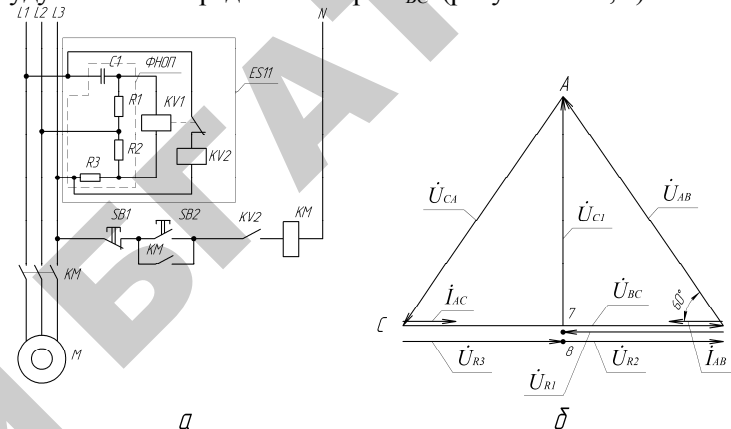


Рисунок П5.8. Принципиальная электрическая схема защиты трехфазного АД от неполнофазного режима работы с контролем напряжения обратной последовательности (а) и векторная диаграмма ФНОП (б): ФНОП – фильтр напряжений обратной последовательности; Е511 – устройство защиты от неполнофазного режима работы

Можно использовать вместо двух резисторов первичную обмотку трансформатора со средней точкой, включенную на линейное напряжение (такой узел имеется в устройстве защиты ЕЛ-8, рисунок П5.9).

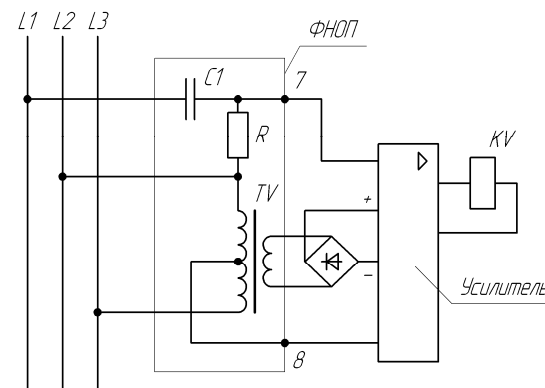


Рисунок П5.9. Принципиальная электрическая схема фильтра напряжений обратной последовательности, применяемая в устройстве защиты от неполнофазного режима ЕЛ-8.

Можно организовать не фильтр напряжения, а фильтр тока обратной последовательности, [1, с. 37].

Приложение 6
(справочное)

**КОМПЛЕКСНАЯ ЗАЩИТА АСИНХРОННЫХ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

Общие сведения

Возможность контроля аварийных режимов работы АД с помощью различных параметров представлена в таблице Пб.1.

Из таблицы Пб.1 видно, что наибольшей информативностью обладает температура (как параметр контроля), затем ток, частота вращения, магнитное поле рассеяния обмотки. Наиболее широко используется контроль аварийных состояний по температуре или току. Встречается сочетание этих параметров с другими, например, температуры с контролем напряжения (УВТЗ-5), тока и фазового угла (ФУЗ-М), уровня напряжения, асимметрия его, порядка чередования фаз в устройствах ЕЛ-8, ЕЛ-10, ЕЛ-11 и т.д., температуры с контролем тока утечки в устройстве «Защита-3».

Таблица Пб.1 – Возможность контроля аварийных состояний трехфазных АД

Причина аварийного состояния	Параметры контроля						
	Ток статора	Температура обмотки	Фазовый угол	Напряжение	Сопротивление $R_{\text{об}}$	Частота вращения	Магнитное поле рассеяния
1. Увлажнение обмотки	-	-	-	-	+	-	-
2. Неполнофазный режим	+-	+-	+-	+	-	+-	+-
3. Пониженное напряжение	+-	+-	-	+	-	-	-
4. Асимметрия напряжения	+-	+-	-	+	-	-	-
5. Заторможенный ротор	+	+	-	-	-	+	+
6. Перегрузка	+	+	-	-	-	-	+-
7. Износ подшипников	-	-	-	-	-	-	-
8. Ухудшение охлаждения	-	+	-	-	-	-	-

Примечания:

- «+» – контроль возможен; «-» – контроль невозможен; «+ -» – контроль возможен при некоторых условиях.
- Контролируемыми параметрами могут быть другие параметры, не указанные в таблице 6.1, например, скольжение ротора, вибрация, инфракрасное излучение ротора и т.д.

Бесконтактная система защиты двигателей БСЗД (СиЭЗ)

1. Назначение изделия

БСЗД предназначена для защиты трехфазных электродвигателей переменного тока с короткозамкнутыми или фазными роторами с номинальным напряжением не более 380 В, серий 4А, 4АИ, МТКГ, МТН, ВАО и т.д., мощностью от 3 до 45 кВт при следующих аварийных режимах:

- обрыв любого из фазных проводов;
- увеличение тока двигателя выше настроенного;
- стопорный режим электродвигателя;
- недопустимая асимметрия напряжения фаз электросети (более 15 %).

2. Основные технические данные и характеристики

2.1. Питание системы осуществляется от встроенных трансформаторов тока, включенных в трехфазную сеть переменного тока частотой 50 Гц, 380 В защищаемого электродвигателя.

2.2. Мощность, потребляемая от сети, не более 2,5 Вт.

2.3. Настройка системы при монтаже производится по фактическому току включенного в сеть электродвигателя с точностью 10 % от величины устанавливаемого тока.

2.4. Диапазон установки системы по номинальному току электродвигателя: 8–25 А; 20–80А.

2.5. Режим перегрузки отслеживается по оптическому индикатору при превышении тока электродвигателя в 1,5 раза от номинального (фактического) значения с точностью 10 %.

2.6. При увеличении тока электродвигателя в 1,5 раза от номинального значения система производит его отключение за 20 с (точность 10 %).

2.7. При увеличении тока электродвигателя в 3,5 раза и более система производит его отключение за 5 с (точность 20 %).

2.8. При обрыве любого из фазных проводов отключение электродвигателя происходит за время не более 3 с.

2.9. Условия эксплуатации:

- вид климатического исполнения – УХЛ4.04;
- интервал рабочих температур от -40 до +55 °С;
- относительная влажность воздуха 98 % при 25 °С;
- атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа (от 680 до 800 мм рт. ст.);
- среда: условно чистая (без агрессивных газов).

2.10. Коммутируемое напряжение для переменного тока частотой 50 Гц – от 42 до 380 В.

2.11. Коммутируемый ток от 0,05 до 1 А.

2.12. Максимально допустимая коммутируемая мощность при активно-индуктивной нагрузке ($\cos\varphi \geq 0,4$) не более 250 ВА.

2.13. Рабочий режим – продолжительный.

2.14. Категория применения АС-2, АС-3.

2.15. Степень защиты системы IP40, контактных зажимов IP00.

2.16. Группа механического исполнения – М6, согласно ГОСТ 17516-90.

2.17. Габаритные размеры – 70×82×100 мм.

2.18. Масса – не более 0,4 кг.

3. Размещение, монтаж и подготовка к работе

3.1. Электрический монтаж БСЗД производится согласно рекомендуемым схемам.

3.2. БСЗД размещается возле магнитного пускателя по посадочным местам и вместо тепловых реле ТРН, ТРП, ТРЛ. Подключение к цепи управления магнитного пускателя такое же, как и теплового реле, производится проводом сечением от 1,5 до 4 мм² к клеммам 1 и 2 БСЗД.

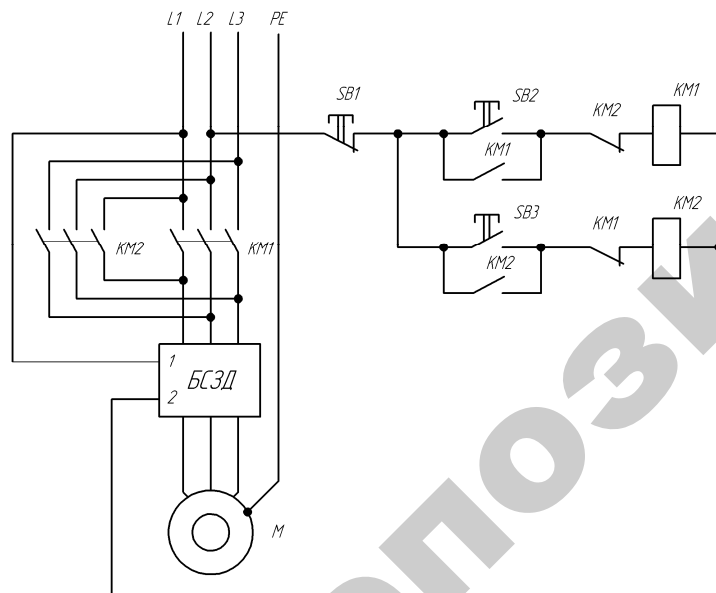


Рисунок Пб.1. Принципиальная электрическая схема включения устройства БСЗД в цепь управления реверсивного электромагнитного пускателя

Три силовых провода круглого сечения с площадью токопроводящей жилы не более 25 мм² и внешним диаметром не более 13 мм от магнитного пускателя следует продеть в три сквозных отверстия БСЗД.

3.3. Первый пуск электродвигателя осуществляется без подключения цепи управления к клеммам 1 и 2 БСЗД.

3.4. Выкрутить пробку, находящуюся в верхней части корпуса, которая закрывает доступ к подстроечному резистору R1, осуществляющую настройку устройства по току электродвигателя. Цепь магнитного пускателя должна быть замкнута, регулятор настройки должен находиться в крайнем левом положении.

После включения электродвигателя и перехода его на номинальный, либо фактический режим, необходимо вращать подстроечный резистор с помощью отвертки с изолированной ручкой по ходу часовой стрелки до момента включения оптического индикатора (зеленое свечение), находящегося в верхней части корпуса. После включения оптического индикатора вращать регулятор настройки более 2-х полных оборотов не допускается во избежание ухода характеристик за пределы допусков. Регулятор имеет 60 полных оборотов.

Выключить электродвигатель. Подключить цепь магнитного пускателя к клеммам 1 и 2 БСЗД. Закрыть пробку в корпус БСЗД. После выполнения этих условий устройство БСЗД готово к работе.

При превышении тока в 1,5 раза от номинального свечение оптического индикатора будет оранжевое, свыше 3,5 раза – красное.

3.5. В процессе эксплуатации БСЗД можно настраивать не более 200 раз.

3.6. При работе системы в цепях автоматики, где пуск осуществляется электроконтактным манометром или аналогичными устройствами и цепь катушки магнитного пускателя с последовательно соединенной системой БСЗД остается под напряжением, в случае срабатывания система производит отключение цепи магнитного пускателя при наступлении любого аварийного режима и осуществляет блокировку включения системы. При этом полного разрыва цепи не происходит, и ток, протекающий через катушку магнитного пускателя, составляет не более 15 мА. Индикатор светится красным светом. При полном снятии напряжения с цепи управления происходит становление системы в рабочий режим.

3.7. Система производит контроль наличия датчика температуры (позистора). При обрыве или коротком замыкании в цепи датчика происходит отключение электродвигателя.

ВНИМАНИЕ

1. Все элементы печатной платы находятся под высоким напряжением, опасным для жизни. Эксплуатация изделия с поврежденным или частично разобранным корпусом категорически запрещена!

Ремонт изделия производится предприятием-изготовителем или специализированными мастерскими.

2. Перед установкой изделия необходимо убедиться, что электродвигатель работает в режиме, не превышающем номинальный.

4. Дополнительные сведения

В системе предусмотрена возможность подключения дополнительной цепи сигнализации, для чего необходимо к клеммам 1 и 2 БСЗД включить обмотку реле с рабочим напряжением аналогичным катушке магнитного пускателя. Подключение реле показано пунктирной линией на монтажной схеме.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ В ЛАБОРАТОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	4
1.1. Общие положения	4
1.2. Правила техники безопасности	5
1.3. Порядок выполнения и защиты лабораторных работ	6
1.4. Требования к оформлению отчета по лабораторной работе ...	9
1.5. Порядок выполнения и защиты практических занятий	11
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	
Практическое занятие № 1. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ВНУТРЕННИХ СЕТЕЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	13
Практическое занятие № 2. ВЫБОР ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ СВЕРХТОКОВ ЦЕПЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ	25
Практическое занятие № 3. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ОТ СВЕРХТОКА	38
Практическое занятие № 4 ВЫБОР УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ	46
Практическое занятие № 5. ВЫБОР ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЗДАНИЯ	57
Практическое занятие № 6. ВЫБОР ЭЛЕКТРОТЕПЛООВОГО РЕЛЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ	66
Практическое занятие № 7. ВЫБОР УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО КРИТЕРИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ	73
Практическое занятие № 8. ВЫБОР УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ	80

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

<i>Лабораторная работа № 1. Защита электрических цепей от сверхтоков</i>	85
<i>Лабораторная работа № 2. Защита электрических цепей от импульсных перенапряжений</i>	89
<i>Лабораторная работа № 3. Защита электрооборудования от временных перенапряжений</i>	98
<i>Лабораторная работа № 4. Исследование однофазных устройств защитного отключения</i>	102
<i>Лабораторная работа № 5. Исследование трехфазных устройств защитного отключения</i>	109
<i>Лабораторная работа № 6. Тепловая защита электродвигателей</i>	118
<i>Лабораторная работа № 7. Температурная защита электродвигателей</i>	125
<i>Лабораторная работа № 8. Фазочувствительная токовая защита трехфазных асинхронных электродвигателей</i>	132
<i>Лабораторная работа № 9. Защита трехфазного асинхронного электродвигателя от работы в неполнофазном режиме</i>	136
<i>Лабораторная работа № 10. Комплексная защита трехфазного асинхронного электродвигателя</i>	144
ЛИТЕРАТУРА	148
ПРИЛОЖЕНИЯ.	149

Учебное издание

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Практикум

Составители:

Гурин Владимир Владимирович,
Лавцевич Елена Викторовна,
Равинский Павел Александрович

Ответственный за выпуск В. А. Дайнеко
Редактор Н. А. Антипович
Компьютерная верстка А. И. Стебуля

Подписано в печать 07.09.2010 г. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 11,39. Уч.-изд. л. 8,9. Тираж 150 экз. Заказ 963.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный
технический университет».

ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.

ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.

Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.