

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Строительства,
энергетики и транспорта

Методические рекомендации к самостоятельной работе
по дисциплине
«Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем»
для всех форм обучения направления
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (профиль Электроснабжение)

Мурманск
2021

Содержание программы и методические указания к самостоятельной работе по изучению дисциплины

РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ.

1. Элементы устройства защиты и автоматики в электроснабжении.

В этой теме знакомятся с предохранителями, автоматами и областью их применения, со структурой устройства релейной защиты и автоматики и с отдельными элементами этой структуры. Надо понять, что входит в состав устройства релейной защиты, и как нарушение одного звена приводит к отказу в работе всего устройства. Надо обратить внимание на то, что этим устройствам приходится работать в режиме коротких замыканий разных видов; в каждом случае необходима правильная и надежная работа устройств релейной защиты. Отсюда вытекают требования к реле и источникам оперативного тока. Надо ознакомиться с принципами работы и техническими данными реле тока, напряжения, мощности, времени, промежуточных и сигнальных. Следует уделить внимание устройствам и схемам питания оперативных цепей релейной защиты и электромагнитов отключения постоянным, переменным и выпрямленным с помощью блоков питания током, а также схемам с использованием предварительно заряженных конденсаторов. 1, гл. первая, § 1.5-1.9; гл. вторая (без выводов формул).

Вопросы для самопроверки:

1. Почему не удастся всюду применять предохранители для защиты от коротких замыканий?
2. Какие типы реле применяют в релейной защите и автоматике по принципу действия, назначению, времени действия?
3. Что такое коэффициент возврата реле и как его определить?
4. Что такое вторичное реле прямого и косвенного действия?
5. В чем достоинство применения оперативного переменного тока?
6. Какими способами можно осуществить действие релейной защиты на оперативном переменном токе?

2. Трансформаторы тока и напряжения для релейной защиты.

Релейная защита работает в аварийных режимах, в большинстве случаев это при коротких замыканиях в электрической сети и электрооборудовании, поэтому от трансформаторов тока требуется удовлетворительная трансформация токов при протекании больших первичных токов. На работу трансформаторов тока влияют схемы соединения их вторичных обмоток и реле, типы реле и приводов выключателей, а также виды аварийных режимов, так как от этого зависит величина нагрузки, приходящейся на трансформатор тока при работе реле.

Так например, соединением вторичных цепей трансформаторов тока по схеме неполной звезды вместо соединения на разность токов двух фаз достигается уменьшение нагрузок на каждый из трансформаторов тока. В отличие от трансформаторов тока, питающих измерительные приборы, здесь допустима большая погрешность трансформаторов тока. Обычно считают допустимой погрешность во вторичном токе, не превышающую 10% и в угле 7° . Надежность работы устройства защиты в большей мере зависит от работы трансформаторов тока, поэтому надо хорошо представить себе работу разных схем соединений вторичных обмоток и реле при вероятных видах повреждений.

Трансформаторы напряжения, питающие цепи релейной защиты, в нормальных условиях работают в режимах, близких к холостому ходу. В аварийных режимах нагрузка на них возрастает. Однако нет установившихся требований к погрешностям трансформаторов напряжения, хотя они и выходят их класса точности, требующегося при питании измерительных приборов. Здесь важно обратить внимание на схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов напряжения в зависимости от назначения и на надежность цепей. В ряде случаев при отсутствии трансформаторов напряжения применяют емкостные делители напряжения. Надо ознакомиться с принципом их действия и со способами отбора напряжения. Поскольку в сетях широко применяются защиты, реагирующие на отдельные симметричные составляющие, необходимо

рассмотреть схемы фильтров напряжения нулевой и обратной последовательностей и области их применения. 1, гл. третья, § 3.1-3.7 (мелкий шрифт пропустить); гл. шестая, § 6.1, 6.3-6.6.

Вопросы для самопроверки:

1. Каким требованиям должны удовлетворять трансформаторы тока в устройствах релейной защиты?
2. Какие схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и реле применяют в релейной защите? Какие области применения этих схем?
3. Для какой цели вторичные обмотки трансформаторов тока соединяют последовательно?
4. Что такое емкостный делитель напряжения и какова его принципиальная схема?
5. Нарисуйте схему фильтра напряжения нулевой последовательности и укажите величину напряжения на выходе такого фильтра.

3. Графическое выполнение схем релейной защиты и автоматики.

При графическом выполнении схем релейной защиты и автоматики условные обозначения отдельных элементов устройства должны соответствовать ГОСТ 1624-62. Изображения контактов (замыкающий, размыкающий, двухстороннего действия) соответствуют обеспеченному состоянию воспринимающей системы реле или автомата. Некоторые условные обозначения типов релейной защиты и автоматики приведены в приложении.

РАЗДЕЛ II. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.

При решении задач релейной защиты и автоматики электрических сетей надо в первую очередь обратить внимание на конфигурацию сети (схему сети) и режим нулевой точки, так как это определяет тип защиты, который надо применить. Большое значение оказывает требование к скорости отключения

короткого замыкания. Надо уяснить себе, как выбирают релейную защиту в радиальной сети на одиночных линиях в сетях с большими и малыми токами замыкания на землю, как настраивают эту защиту, чтобы было удовлетворено требование селективности и чувствительности, как ускоряют отключение короткого замыкания; в каких случаях применяют защиту с независимой, а в каких – с ограниченно зависимой характеристикой выдержки времени. Следует обратить внимание на построение принципиальных схем релейной защиты в сетях с изолированной и с заземленной нейтралью, а также на схемы оперативного тока. При питании оперативных цепей от трансформаторов тока надо выяснить, дадут ли последние при коротких замыканиях величину тока, необходимую для действия защиты.

Далее надо знать, какие устройства релейной защиты нужны для отключения короткого замыкания на линии и шинах в кольцевой сети с одним источником питания; на одной из параллельных линий при одностороннем и двухстороннем питании этих линий. В последнем случае надо учесть, имеются ли у понижающих подстанций на стороне высшего напряжения автоматические выключатели или короткозамыкатели с отделителями. При установке защиты, отсечки надо определить зону ее действия, а при применении реле мощности надо определить длину участка, называемого мертвой зоной.

Вопросы для самопроверки:

1. При каких видах повреждения должна действовать на отключение релейная защита в сетях с изолированной нейтралью и как это отражается на принципиальной схеме защиты?
2. Почему электрические сети напряжением 35 кВ работают с изолированной нейтралью и каковы достоинства этого?
3. Укажите на схеме область работы защиты в своей зоне и в зоне резервирования. Поясните, почему степень чувствительности защиты в резервной зоне меньше, чем в основной.

4. При каких видах повреждения должна действовать релейная защита в сетях с большими токами замыкания на землю и как это отражается на принципиальной схеме защиты?
5. Чем определяется величина ступени выдержки времени в релейной защите?
6. Как определить коэффициент чувствительности защиты на своем участке и на участке резервирования?
7. Как выполняется согласование время-токовых характеристик максимальной токовой защиты с ограниченно-зависимой от тока выдержкой времени?
8. Как выбирается ток срабатывания отсечки на линии с односторонним питанием и как определить зону ее действия?
9. Как выполняется токовая защита от замыкания на землю в кабельной сети с напряжением 6-10 кВ?
10. Почему надо учитывать коэффициент самозапуска в расчете величины тока срабатывания максимальной токовой защиты?
11. В каких случаях требуется ускорение отключения короткого замыкания между фазами и как оно осуществляется?
12. В каких случаях надо применять максимально направленную защиту и как определяют время действия такой защиты в кольцевой сети с одним источником питания?
13. Что такое мертвая зона реле направления мощности и как определить ее протяженность?
14. Что такое каскадное действие защиты и в чем его недостаток?
15. Чем обусловлены токи небаланса в реле дифференциальной защиты?
16. В чем принцип работы дифференциальной направленной защиты параллельных линий?
17. Как определяют ток срабатывания защит линий с напряжением 110 кВ при наличии подстанций, присоединенных ответвлениями с короткозамыкателями и отделителями? Укажите зоны действия защиты.

18. Какие устройства релейной защиты обеспечивают селективное отключение поврежденной линии в сетях сложной конфигурации с несколькими источниками питания?

19. Как отключается короткое замыкание на сборных шинах приемной подстанций, питаемой по двум параллельным линиям?

20. Как понимать чувствительность максимальной направленной защиты?

21. Как согласовать релейную защиту питающей высоковольтной линии с защитой предохранителями у трансформатора или отходящей линии?

РАЗДЕЛ III. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

9. Защита трансформаторов.

В этой теме надо уяснить, какие виды электрических повреждений и ненормальных режимов вероятны у силовых трансформаторов и какие виды защиты надо установить в зависимости от мощности трансформатора, схемы соединения его обмоток и схемы сети, от которой он питается. Следует обратить внимание на токораспределение при различных случаях коротких замыканий между фазами первичных и вторичных обмоток трансформаторов при разных схемах соединения этих обмоток. Это важно для определения схемы защиты и ее чувствительности. Защита коротких замыканий между фазами во всех случаях должна действовать без замедления. Надо выяснить, в каких случаях следует применить максимальную токовую защиту и в каких – дифференциальную защиту и как вести расчет защиты, чтобы обеспечить требуемую чувствительность и селективность. При изучении дифференциальной защиты трансформатора надо учесть особенности трансформатора, состоящие в различии по величине и по фазе токов в его обмотках разных напряжений, в большой величине броска тока намагничивания при подаче к трансформатору напряжения – все это приводит к большой величине тока небаланса. Следует уяснить способы устранения и уменьшения величины тока небаланса, способы подбора трансформаторов тока для

защиты и выполнения схемы соединения их вторичных обмоток, роль насыщающегося промежуточного трансформатора тока и его работу при переходных процессах в цепях трансформаторов тока. Надо обратить внимание на схемы защиты трансформаторов малой мощности с соединением обмоток звезда-звезда с нулем, на методику расчета и выбора аппаратуры.

Вопросы для самопроверки:

1. Почему токи небаланса в цепях дифференциальной защите трансформаторов больше, чем в дифференциальной защите обмотки статора генератора? Как определяют наибольшую расчетную величину этого тока небаланса?

2. При каких видах повреждения и ненормальных режимах работы трансформатора работает газовая защита?

3. Рассмотрите токораспределение и начертите векторные диаграммы токов при двухфазном коротком замыкании на вторичной стороне трансформатора со схемой соединения обмоток $\lambda/\Delta-11$ для случаев питания со стороны звезды и треугольника.

4. Как выравнивают по величине и фазе вторичные токи в дифференциальной защите двухобмоточного трансформатора со схемой соединения обмоток $\lambda/\Delta-11$?

5. В каких случаях можно применять для защиты трансформаторов от коротких замыканий токовые отсечки?

6. В чем достоинство дифференциальной отсечки и в каких случаях ее можно применять?

7. Как выполняют защиту от замыкания фазы на нуль у трансформаторов со схемой соединения обмоток $\lambda/\lambda-12$ с нулем?

8. Как учитывается в расчете дифференциальной защиты изменение коэффициента трансформации трансформатора при автоматическом регулировании напряжения под нагрузкой?

[1], гл. 16, § 16.1-16.10, 16.12 (мелкий шрифт не обязателен).

10. Защита потребителей электрической энергии (приемников)

При изучении этой темы надо ознакомиться с вероятными видами повреждений и ненормальных режимов работы асинхронных и синхронных электродвигателей, а также с характером изменения токов при самозапуске электродвигателей и восстановлении напряжения. Надо уяснить, какие типы релейной защиты следует устанавливать у электродвигателей разной мощности и как вести расчет этих защит. Надо представить себе роль защиты минимального напряжения и защиты от перегрузок у электродвигателей. Важно понять, какие изменения величины тока происходят при повреждении статических конденсаторов и какие применяют типы защиты; какие защиты от этих повреждений применяют у трансформаторов печных установок и преобразовательных установок и как вести расчет этих защит. [1], гл. восемнадцатая, § 18.1 №18.10; [5], гл. десятая, § 10.5; 10,6.

Вопросы для самопроверки:

1. Как изменяется пусковой ток электродвигателя в процессе пуска и самозапуска и как это учитывается при выборе и настройке защиты от междупазовых коротких замыканий?
2. В каких случаях и как выполняется релейная защита электродвигателей от перегрузки?
3. В каких случаях и как выполняется у электродвигателей защита минимального напряжения?
4. Какую защиту применяют у трансформаторов электропечной установки и как ее настраивают?
5. Какую защиту применяют для батареи статических конденсаторов и как определяют ток срабатывания этой защиты?
6. По какому принципу можно осуществить защиту синхронного электродвигателя от несинхронного режима?

7. Как осуществляют защиту электродвигателя с напряжением до 1000 В?

РАЗДЕЛ IV. ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

11. Автоматическое включение резервного питания и оборудования (ABP)

ABP – одно из простейших устройств автоматики, широко применяемое в системе электроснабжения. Применение его позволяет упростить первичную схему электроснабжения и релейную защиту в этой схеме. Надо уяснить себе сущность подобного упрощения, в чем эффективность применения этого устройства в зависимости от места его применения. Надо знать, на каком принципе строится схема этого устройства, как выбирается уставка реле, какова продолжительность перерыва подачи напряжения при работе устройства ABP в определенной схеме и как влияет эта продолжительность на самозапуск электродвигателей. При ознакомлении с принципиальной схемой этого устройства надо обратить внимание на то, осуществляется резервирование от того же источника питания или от другого. [1], гл. вторая, § 2.1-2.11.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие требования предъявляются к схеме устройства ABP трансформаторов, питающих разные секции шин, а также работающих параллельно, и как выполняются эти схемы?

2. Какие факторы надо учитывать при выборе уставок реле напряжения устройства ABP и выдержки времени?

3. Чем определяется необходимая длительность задержки в отпадении якоря реле “РОВ”?

4. Как влияет длительность перерыва в подаче напряжения на самозапуск электродвигателей?

5. Как осуществляется схема АВР линии, питаемой от другого источника?

6. Как осуществляется АВР ответственного по технологии электродвигателя?

12. Автоматическое повторное включение (АПВ)

Рекомендуется ознакомиться со статическими данными повреждаемости линии и восстановления нарушенной изоляции после снятия напряжения. Эти данные служат доказательством эффективности обратного включения отключившейся линии или трансформатора. Следует уяснить себе условия работы выключателей разных типов при неуспешном повторном включении, а также работу устройств релейной защиты в сочетании с устройствами АПВ. Надо знать принципы работы устройства, допускающие однократное или двухкратное включение; необходимо уяснить схемы устройств при одностороннем питании от одного или разных генерирующих источников. Следует уделить внимание устройствам несинхронного АВП, а также вопросам ускорения действия релейной защиты до и после АВП.

При изучении схем устройств АВП с контролем отсутствия напряжения или наличия синхронизма следует ознакомиться со способами отбора напряжения для питания этих реле. Надо понять, при каких условиях допускается обратное включение отключившегося трансформатора. [2], гл. первая, § 1.1 -1.4; 1.6 –1.11; 1.14; 1.15.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие требования предъявляются к устройствам АВП?
2. Как достигается однократность действия устройства АВП?
3. Каковы условия допустимости несинхронного АВП?

4. В чём особенность схем устройства АВП с контролем наличия синхронизма?
5. Как влияет условие телемеханизации подстанции на схему АВП?
6. При каких условиях действует устройство АВП трансформаторов?
7. Какие известны способы отбора напряжения на линии для питания реле контроля отсутствия напряжения и контроля синхронизма?
8. Как определяют выдержку времени действия устройства АВП линии с двухсторонним питанием, но от одного генератора?
9. Как определяют установку времени устройства АВП линии, питающей подстанции на ответвлении, без выключателей с отделениями?
10. Как выполняют ускорение действия защиты до АВП?

13. Автоматическая частотная загрузка (АЧР)

Это устройство автоматики работает при дефиците генерирующей мощности в энергосистеме для предотвращения аварийного понижения частоты. Надо понимать, как ведут себя разные потребители при понижении частоты, как это отражается на технологии производства и для чего применяется это устройство автоматики; как осуществляется схема АЧР и как обеспечивается автоматическое обратное включение отключившихся приёмников (применение АВП и АЧР). В системе электроснабжения промышленных предприятий и сельского хозяйства может быть применена местная разгрузка. Надо понять, для чего это делается, по какой схеме и при каких отклонениях параметров электроэнергии. [2], гл. шестая, § 6.1-6.7.

Вопросы для самопроверки:

1. Для чего автоматически отключают часть потребителей при понижении частоты?
2. По какому закону происходит изменение частоты в системе при дефиците мощности и от чего зависит скорость понижения частоты?
3. Что такое регулирующий эффект нагрузки и как его определяют?

4. Как определить величину мощности, отключаемой одной очередью устройства АЧР?
5. Для чего применяют местную разгрузку по частоте и в каких случаях?
6. Каковы примерные значения частоты, при которых начинают работать устройства АЧР, и при каких условиях происходит обратное включение отключившихся приёмников?

13. Телемеханизация в системе электроснабжения промышленных предприятий

В системе электроснабжения телемеханика значительно расширяет возможность автоматизации. Надо усвоить организацию управления в системах электроснабжения и роль автоматизации и телемеханизации в повышении эффективности управления. Надо представить себе объём телемеханизации, способы осуществления телеизмерения, телесигнализации и телеуправления и технические средства осуществления телемеханизации. Следует обратить внимание на устройство диспетчерских щитов и пультов и местоположение диспетчерских пунктов. [3], гл. вторая, § 2.1-2.4; гл. третья, § 3.8; гл. восьмая, § 8.1-8.4 (читать только текст, без таблиц).

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислите устройства телемеханики по выполняемым ими функциям и расскажите о работе этих устройств.
2. Какие способы телеизмерения вы знаете, чем они характеризуются?
3. Объясните принцип действия время–импульсной системы телеизмерения.
4. Что такое кодоимпульсная система телеизмерения?
5. Нарисуйте блок-схему многоканальной телеизмерительной системы с частотным разделением.
6. Изложите требования к объёму телемеханизации (ТИ, ТУ, ТС).
7. От какого источника осуществляется питание устройств ТУ, ТС, ТИ?

8. Какие разновидности мнемонических схем применяют на диспетчерских щитах? В чём их достоинства и недостатки?

9. Из каких элементов состоит устройство ВРТ-Ф? Нарисуйте его структурную схему.

10. В чём состоит распределительный принцип избирания?

11. Нарисуйте блок-схему ТУ и ТС с частотным и временным разделением.

12. На каком принципе работают бесконтактные распределители?

Литература

1. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики. – М.: КноРус, 2013. – 278 с. ил.
2. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии. – М.: КноРус, 2015. – 724 с. ил.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение. – М.: Академия, 2013. – 672 с. ил.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение. – М.: Академия, 2013. – 672 с. ил.
5. Шаров Ю.В. Электроэнергетика. – М.: Инфра-М, 2016. – 384 с. ил.
6. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование: Учебное пособие. – М.: Инфра-М, 2015. – 376 с. ил.
7. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования. – М.: Инфра-М, 2013. – 271 с. ил.
8. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник. – М.: Инфра-М, 2016. – 416 с. ил.
9. Сибикин Ю.Д. Технология энергоснабжения: Учебник – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Форум, 2015. – 352 с. ил.
10. Сибикин Ю.Д. Электрические подстанции. – М.: РадиоСофт, 2014. – 141 с. ил.
11. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии/ под ред. В.В. Денисова. – М.: Феникс, 2015. – 382 с. ил.
12. Шабад В.К. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах. – М.: Академия, 2013. – 193 с. ил.
13. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – М.: КноРус, 2016. – 240 с. ил.
14. Важов В.Ф. Техника высоких напряжений: Учебник. – М.: Инфра-М, 2016. – 264 с. ил.
15. Ушаков В.Я. Электроэнергетические системы и сети. – М.: Юрайт, 2016. – 446 с. ил.
16. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. 2-е изд. – М.: Юрайт, 2016. – 179 с. ил.

17. Бачаров Ю.Н. Техника высоких напряжений. –М.:Юрайт, 2016. – 264 с. ил.
- 18.Хрущев Ю.В. Электроэнергетические системы и сети. Электрические переходные процессы. – М.:Юрайт, 2016. – 153 с. ил.
19. Исмагилов Ф.Р. Основные вопросы проектирования воздушных линий электропередач: Учебное пособие. – М.:Машиностроение, 2015. – 211 с. ил.
- 20.Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения. – СПб.:Лань, 2013. – 432 с. ил.
- 21.Почаевец В.С. Электрические подстанции: Учебник. – М.:Маршрут, 2012. – 492 с. ил.