

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)
Волгоградский техникум железнодорожного транспорта
(ВТЖТ – филиал РГУПС)

Ю. А. Смирнова

МДК 01.03 Релейная защита и автоматические системы управления
устройствами электроснабжения

Методические указания по выполнению самостоятельной работы
для студентов специальности
13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)

Волгоград

Смирнова, Ю.А. МДК 01.03 Релейная защита и автоматические системы управления устройствами электроснабжения: Методические указания по выполнению самостоятельной работы / Ю.А.Смирнова; ВТЖТ – филиал ФГБОУ ВО РГУПС. – Волгоград

Пособие предназначено для студентов специальностей
13.02.07 Электроснабжение (по отраслям),

Одобрено к изданию учебно-методическим советом ВТЖТ – филиала
ФГБОУ ВО РГУПС

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Данные методические указания предназначены для оказания помощи в самостоятельной работе студентов по МДК 01.03 Релейная защита и автоматические системы управления устройствами электроснабжения

Тематика соответствует содержанию МДК 01.03 Релейная защита и автоматические системы управления устройствами электроснабжения и направлена на формирование у студентов техникума профессиональных и общих компетенций, создающих благоприятную основу для подготовки высококвалифицированного специалиста:

ПК1.1 Читать и составлять электрические схемы электрических подстанций и сетей;

ПК1.3. Выполнять основные виды работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок, систем релейных защит и автоматизированных систем;

ПК1.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

МДК 01.03 Релейная защита и автоматические системы управления устройствами электроснабжения включает в себя:

максимальной учебной нагрузки обучающегося 216 часов, в том числе:

теоретических занятий 80 часов;

лабораторно-практических работ 76 часов

самостоятельной работы обучающегося 60 часов.

кроме аудиторных занятий:

лекционного курса, лабораторного практикума и практических занятий большой объем самостоятельной работы, состоящий из:

- более глубокого изучения отдельных теоретических разделов,
- расчету заданий самостоятельной подготовки,
- написания реферата на актуальную тему.

Для решения всех перечисленных вопросов предлагаются данные методические указания, в состав которых вошли такие разделы как:

1. Краткий конспект лекций, расширяющий основной курс.
2. Вопросы для самоподготовки,
3. Темы реферата и требования, предъявляемые к этому виду самостоятельной работы,
4. Библиографический список.

Краткий конспект лекций, расширяющий основной курс

1.1 Основные понятия о релейной защите и автоматике

Виды повреждений и ненормальных режимов работы элементов систем электроснабжения. Назначение релейной защиты (РЗ) и электросетевой автоматики. Основные требования, предъявляемые к релейной защите. Элементная база защит, реле и их разновидности. Способы изображения и включения реле. Способы воздействия защиты на выключатель. Основные принципы построения защит. Структурная схема релейных защит.

Оперативный ток. Оперативный постоянный ток. Оперативный переменный ток. Схемы источников оперативного тока. Блоки питания.

Методические указания

Анализ рабочих и аварийных режимов дает возможность правильно выбрать, рассчитать и оценить поведение релейной защиты и автоматики элементов электрической системы. Необходимо знать виды повреждений и ненормальных режимов, возникающих в элементах системы, уметь строить векторные диаграммы токов и напряжений при различных видах повреждений, устанавливать закономерность изменения различных

электрических параметров режима в зависимости от вида и места короткого замыкания (к.з.), а так же от режима работы системы; разобраться с основными отличиями аварийных режимов в сетях с заземленными и изолированными нейтральными.

Следует твердо усвоить требования, предъявляемые к релейной защите, а так же возможные последствия при невыполнении их.

В настоящее время при выполнении релейной защиты и автоматики систем электроснабжения широкое применение находят различные источники оперативного тока. Надо знать эти источники, уметь применять их. Кроме того, следует иметь представление об источниках оперативного тока для полупроводниковых и цифровых защит.

Вопросы для самопроверки

1. Какие виды повреждений и ненормальных режимов могут возникнуть в электрических сетях?
2. Каковы функции релейной защиты и основные требования, предъявляемые к ней?
3. Каковы основные принципы построения защит, их структурное содержание?
4. Какие источники оперативного тока Вы знаете? Какова область их применения?
5. В чем заключаются достоинства и недостатки источников постоянного и переменного оперативного токов?
6. Какие требования предъявляют к источникам оперативного тока для полупроводниковых и цифровых защит?
- 7.

1.2 Измерительные преобразователи синусоидальных напряжений и токов

Условия работы трансформаторов тока (ТТ), маркировка концов обмоток, векторные диаграммы. Требования к точности работы ТТ. Предельная кратность и кривые предельной кратности. Работа ТТ при глубоких насыщениях сердечников. Мощности, отдаваемые ТТ.

Схемы соединений ТТ и цепей тока реле, коэффициент схемы. Построение векторных диаграмм токов, определение величины токов, протекающих во вторичных цепях при различных схемах соединений ТТ и различных видах к.з. Определение расчетной нагрузки на ТТ. Фильтры симметричных составляющих токов: фильтры тока обратной последовательности (ФТОП) и фильтры тока нулевой последовательности (ФТНП).

Условия работы трансформаторов напряжения (ТН). Схемы соединений обмоток ТН и реле. Защита цепей ТН. Ёмкостные делители. Фильтры симметричных составляющих напряжений: фильтры напряжения обратной последовательности (ФНОП) и фильтры напряжения нулевой последовательности (ФННП).

Согласующие преобразователи синусоидальных токов и напряжений для подключения цифровых реле и реле на интегральных микросхемах (ИМС). Схемное исполнение, меры по электромагнитной совместимости. Магнитные датчики, катушка Роговского.

Аналоговые интегральные микросхемы для релейной защиты и автоматики. Операционные усилители (ОУ). Схемы включения операционных усилителей, используемых в устройствах РЗ: усилители, компараторы, пороговые элементы, элементы с положительной обратной связью, формирователи модуля, аналого-цифровые преобразователи, фильтры.

Элементы логической и исполнительной части релейной защиты. Логические элементы ИЛИ, И, НЕ; логические схемы на одном комбинированном элементе (И-НЕ или ИЛИ-НЕ). Логика на интегральных микросхемах.

Методические указания

Основное требование к ТТ – это более точная передача информации измерительным органам релейной защиты о величине и фазе тока, протекающего в первичной цепи защищаемого объекта при различных эксплуатационных режимах.

ТТ, работающие на линейной части характеристики намагничивания, могут являться источниками оперативного тока: при к.з. ток резко возрастает и мощность ТТ $P_2=I_2 \cdot U_2$ становится достаточной для питания цепи оперативного тока.

Следует понять физическую природу возникновения погрешностей в ТТ и способы уменьшения их. Точность работы ТТ характеризуется полной токовой погрешностью ε . Нагрузка ТТ выбирается так, чтобы ε не превышала 10% при заданной вторичной нагрузке и предельной кратности (k_{10}) ТТ. Под предельной кратностью понимают отношение максимального первичного тока к.з., протекающего через ТТ, к номинальному току ТТ. Основным недостатком кривых предельной кратности является их пригодность только для оценки погрешностей в установившемся режиме работы ТТ.

Следует знать, что расчетная нагрузка на ТТ зависит от схемы соединения ТТ, вида к.з., сочетания поврежденных фаз.

Основное назначение ТН состоит в том, чтобы к измерительным органам релейной защиты подводилась точная информация о величине и фазе напряжения в месте установки защиты. С этой точки зрения ТН должны работать с погрешностью, не превышающей некоторой допустимой величины.

Следует знать схемы соединения обмоток ТН и их назначение. Необходимо представлять для чего осуществляется контроль за исправностью вторичных цепей ТН.

В ряде случаев при отсутствии ТН применяют ёмкостные делители напряжения. Надо ознакомиться с принципом их действия и со способами отбора напряжения.

В электрических сетях широко применяются защиты, реагирующие на отдельные симметричные составляющие токов или напряжений – обратной и нулевой последовательности. Поэтому нужно представлять, как происходит их выделение из несимметричной системы трехфазных токов или напряжений, изучив устройство фильтров токов и напряжений обратной и нулевой последовательности: $ZI_2; ZU_2; ZI_0; ZU_0$.

При изучении преобразователей синусоидального тока в напряжение ТАЛ (промежуточный трансформатор тока – трансреактор) и промежуточных трансформаторов напряжения TVL следует знать конструкцию магнитопровода, величину вторичной нагрузки, зависимость выходного напряжения от входных тока и напряжения. Рассмотреть способы экранирования от высокочастотных помех, согласования выходного напряжения с входным напряжением измерительного органа (ИО) реле, исключение гальванической связи.

Как конструктивно устроены магнитные датчики. Их преимущества и недостатки. Катушка Роговского, датчики Холла.

Изучить устройство и работу ОУ и их параметры по входу и выходу, передаточную характеристику. Оценить возможности применения ОУ в устройствах релейной защиты и автоматики (усилитель, компаратор, пороговый элемент с положительной обратной связью, формирователи модуля).

Разобраться в устройстве и работе аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП).

Изучить три основные логические функции и элементную базу для их реализации. Логические функции оперируют с двоичными переменными, которые могут принимать только два значения: 0 или 1. На основе простых логических функций И, ИЛИ, НЕ строят более сложные функции. Уяснить их устройство и работу. Графическое изображение логических элементов. Цифровая логика. Схемы, выполняющие операции И-НЕ либо ИЛИ-НЕ и функциональные схемы (триггеры, счетчики шифраторы, дешифраторы и др.)

Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение измерительных трансформаторов?
2. Как маркируются выводы обмоток измерительных трансформаторов?

3. Чем обусловлены погрешности трансформаторов и каким образом можно уменьшить их величину?
4. Что понимается под номинальным и витковым коэффициентами ТТ и в чем отличие между ними?
5. Как выбрать ТТ для питания релейной защиты?
6. Каковы достоинства и недостатки схем соединения ТТ?
7. Почему не допустим холостой ход для ТТ?
8. Как определить расчетную нагрузку на ТТ?
9. Какие схемы соединения ТН применяются в релейной защите?
10. Для чего применяется контроль исправности цепей напряжения и как он осуществляется?
11. Как проверить ТТ по кривым предельной кратности?
12. Как можно получить симметричные составляющие тока или напряжения различной последовательности?
13. Как выглядит осциллограмма вторичного тока ТТ при глубоком насыщении (активная нагрузка)?
14. Почему ток во вторичной обмотке ТТ не зависит от нагрузки и в каких пределах это справедливо?
15. Какие схемы соединения ТТ непригодны для защиты трансформаторов со схемами соединения Y/Δ и Y/Y с заземленной нейтралью?
16. Как устроены и работают фильтры тока и напряжения нулевой последовательности (ФТНП и ФННП)?
17. Как устроены согласующие преобразователи тока и напряжения?
18. Как работают компаратор, пороговый элемент, триггер Шмидта?
19. Какие требования предъявляются к АЦП в схемах РЗ?
20. Какие логические функции реализуются в схемах РЗ?

1.3 Измерительные и логические органы релейной защиты. Реле.

Принципы конструктивного исполнения реле. Классификация электрических реле. Электромеханические системы. Электромагнитные реле, принципы их действия, параметры срабатывания и возврата, способы их регулирования. Измерительные электромагнитные реле тока и напряжения. Вспомогательные электромагнитные реле: времени, промежуточные, указательные. Их характеристики.

Поляризованные реле, реле с магнитоуправляющими контактами (герконы).

Индукционные реле, принцип действия. Индукционное реле тока. Конструктивное исполнение сложных индукционных реле – реле мощности и реле сопротивления. Характеристики, регулирование параметров срабатывания.

Полупроводниковая и микропроцессорная элементная база.

Полупроводниковые элементы: диоды, транзисторы, стабилитроны, тиристоры и измерительные органы релейной защиты на их базе.

Аналоговые микросхемы в релейной защите. Типовые функциональные элементы, выполняемые на операционных усилителях (ОУ).

Измерительные реле на основе аналоговых интегральных микросхем с одной и двумя входными электрическими величинами.

Органы логики на интегральных микросхемах.

Цифровые органы защиты на основе микропроцессорной элементной базы. Требования, предъявляемые к ним в устройствах РЗ.

Методические указания

Изучая данную тему, следует обратить внимание на принцип действия и конструктивные особенности наиболее часто применяемых реле. Нужно хорошо знать характеристики основных типов реле и способы регулирования их параметров.

В последние годы все чаще применяют полупроводниковые реле, разрабатываются устройства защиты и автоматики на основе интегральных микросхем. Следует разобраться

с основными достоинствами и недостатками полупроводниковых реле на интегральных микросхемах.

Для оптимального построения логической части защит целесообразно привлечение методов теории релейных устройств. Основными элементарными логическими операциями являются дизъюнкция (ИЛИ), конъюнкция (И) и инверсия (НЕ). Эти операции дают возможность реализации любой более сложной функции. Следует разобраться с основными понятиями алгебры логики, а также со способами выполнения логических элементов. В этом разделе еще раз стоит вернуться к цифровым микросхемам, выполняющим логические функции, и к функциональным схемам (триггеры, счетчики АЦП, ЦАП, шифраторы, дешифраторы и др.)

Вопросы для самопроверки

1. Каков принцип действия электромагнитного и индукционного реле?
2. Что такое коэффициент возврата реле, от чего он зависит и как можно регулировать его величину?
3. Чем отличаются характеристики срабатывания реле тока РТ-40 и РТ-80?
4. Из-за чего наблюдается вибрация подвижной системы электромагнитных реле при питании их обмоток переменным током и как она устраняется?
5. Каково назначение промежуточных и указательных реле?
6. Чем определяется время срабатывания и возврата промежуточных реле и каким образом можно воздействовать на этот параметр?
7. Какова конструкция реле переменного тока типов РП-340 и РВМ?
8. Каков принцип действия поляризованного реле, магнитоэлектрического реле? Почему они реагируют на направление тока в обмотке?
9. Чем объясняется зависимость времени срабатывания индукционного реле типа РТ-80 от тока в его обмотке?
10. Как изменяется вращающий момент в реле направления мощности при изменении угла сдвига фаз между подведенными к нему током и напряжением?
11. Каков принцип действия реле с магнитоуправляемыми контактами, каковы его основные достоинства?
12. Как можно сравнить две электрические величины по модулю?
13. Какие способы выполнения логических элементов Вы знаете?
14. Статические реле тока, напряжения, мощности, устройство и работа (РСТ, РСН, РСМ, РВО)
15. Для выполнения каких органов РЗ используются аналоговые ИМС, а для каких – цифровые?
16. Преимущества РЗ, выполненных на базе ИМС, по сравнению с электромеханическими реле.
17. Особенности цифровых реле и их настройка. Структурная схема цифровых (программных) защит. Требования к АЦП.

2 Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения

2.1 Защита плавкими предохранителями и автоматами

Назначение предохранителей, автоматов. Их характеристики. Выбор предохранителей и автоматов для выполнения чувствительной и селективно действующей защиты. Области их применения.

Методические указания

Предохранитель (автомат) совмещает одновременно функции выключателя и релейной защиты. Основными характеристиками его являются: номинальный ток плавкой вставки $I_{В\text{ном}}$; номинальный ток предохранителя $I_{П\text{ном}}$; предельный ток отключения предохранителя $I_{П\text{откл}}$; защитная (времятоковая) характеристика предохранителя. При выборе предохранителя следует исходить из условия его надежной работы в аварийных и нормальных режимах, а плавкая вставка не должна перегорать при кратковременных перегрузках защищаемого объекта. Известно, что для селективной работы предохранителей необходимо выбирать плавкие вставки с номинальными токами, отличающимися по шкале,

или совмещать защитные характеристики. Недостатки предохранителя (нестабильность защитной характеристики, невозможность в ряде случаев выполнить защиту от перегрузки и др.) ограничивают область его применения.

Автоматы снабжаются специальным устройством релейной защиты – расцепителем, которое в зависимости от типа автомата выполняется в виде токовой отсечки или максимальной токовой защиты. При малых токах автомат отключается с выдержкой времени, а при больших – мгновенно. Защитные устройства автомата (расцепители) позволяют выполнить токовую защиту без ТТ и без оперативного тока. По сравнению с предохранителями автоматы имеют более устойчивые защитные характеристики и производят одновременно отключение всех трех фаз защищаемого элемента. Кроме того, они являются аппаратами многократного действия, что позволяет с их помощью выполнять схемы сетевой автоматики.

Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение предохранителя и автомата?
2. Почему не удастся всюду успешно применить предохранители и автоматы для защиты от к.з.?
3. Как выбираются предохранители и автоматы?
4. Как обеспечивается селективная работа предохранителей или автоматов?
5. Какое назначение имеет механизм свободного расцепления?
6. Как обеспечивается необходимая выдержка времени срабатывания автомата?

2.2 Токовые защиты

2.2.1 Максимальная токовая защита

Назначение и принцип действия максимальной токовой защиты (МТЗ). Схемы исполнения защит. Расчет тока срабатывания защиты (I_{cp}). Определение коэффициента чувствительности (k_u) в зависимости от схемы соединения ТТ и обмоток реле при к.з. в зоне основного и резервного действий защиты.

Селективная работа максимальных токовых защит. Определение времени срабатывания защит, степень селективности Δt .

Оценка и область применения МТЗ.

Методические указания

Одним из признаков возникновения к.з. является увеличение тока в цепи по сравнению с максимальным током нагрузки. Этот признак положен в основу работы защит, называемых токовыми. Они делятся на максимальные токовые защиты и токовые отсечки. Основное отличие между этими защитами заключается в способе обеспечения селективности. Селективность действия МТЗ обеспечивается с помощью выдержки времени. Выдержка времени срабатывания МТЗ t_{cp} выбирается по так называемому ступенчатому принципу, используя степень селективности Δt . Защита приходит в действие, если ток в защищенном элементе превышает ее ток срабатывания. МТЗ не должна срабатывать при самозапуске электродвигателей после ликвидации внешнего к.з. или после АПВ защищаемой линии. В то же время она должна надежно работать при к.з. не только на своем участке (зона основного действия), но и на соседнем (зона резервного действия) при отказе защиты или выключателя этого участка. Чувствительность МТЗ характеризуется коэффициентом чувствительности (k_u), определяемым как отношение минимального тока в реле при металлическом к.з. в конце защищаемой зоны к току срабатывания реле. Нужно уметь оценить k_u различных схем защиты при различных видах к.з. до и за силовым трансформатором с соединением обмоток Y/Δ и Y/Y с заземленной нейтралью.

Следует обратить особое внимание на особенности расчета МТЗ с дешунтированием катушек отключения выключателей, обусловленные различными требованиями к ТТ при работе в режимах до и после срабатывания дешунтирующих реле. Необходимо знать достоинства и недостатки МТЗ. Цифровые защиты и их исполнение.

Вопросы для самопроверки

1. Из каких органов состоит МТЗ, какова функциональная схема защиты?

2. Как выбираются ток срабатывания и время срабатывания МТЗ?
3. Как определить $k_{\text{ч}}$ защиты при к.з. на защищаемом и резервируемом участках?
4. Каким образом обеспечивается селективность действия МТЗ с зависимыми характеристиками?
5. Как работает защита по схеме с дешунтированием катушек отключения выключателей?
6. Какова векторная диаграмма токов в месте установки защиты при двухфазном к.з. за трансформатором с соединением обмоток Y/Δ , при однофазном к.з. за трансформатором с соединением обмоток Y/Y с заземленной нейтралью?
7. Каковы достоинства и недостатки МТЗ?
8. Особенности МТЗ с пуском по напряжению.
9. Особенности МТЗ с магнитными датчиками.
10. Цифровые токовые защиты, выпускаемые предприятиями России.

2.2.2 Токовые отсечки

Назначение и принцип действия. Выбор тока срабатывания мгновенной отсечки. Неселективные отсечки. Отсечки на линиях с двусторонним питанием. Отсечка с выдержкой времени. Токовая ступенчатая защита, область ее применения.

Методические указания

Для обеспечения селективности мгновенной токовой отсечки (ТО) ее ток срабатывания выбирается больше максимального тока, проходящего по защищаемой линии при к.з. в конце линии. Определение тока срабатывания защиты производят, исходя из действующего значения периодической слагающей начального тока трехфазного к.з. (для времени $t=0$). Поэтому нужно учитывать влияние на работу защиты апериодической слагающей в первичном токе. Зона действия ТО определяется графически при построении зависимости тока к.з. от длины линии $I_{\text{к.з.}}=f(l_{\text{ЛЭП}})$. Поскольку ТО имеет мертвую зону, она не может быть основной защитой.

Однако в некоторых случаях отсечка линий может являться основной защитой, например, при защите в схеме "блок ЛЭП – трансформатор", где в зону защиты входит вся ЛЭП и первичная сторона силового трансформатора при к.з. за трансформатором.

ТО могут быть использованы и на линиях с двусторонним питанием. Комплекты защиты устанавливаются с обеих сторон защищаемой линии. Ток срабатывания защиты этих комплектов выбирается одинаковым, равным максимальному току внешнего к.з., а также максимального уравнительного тока при качаниях в системе.

Основное назначение отсечки с выдержкой времени - защита зоны, в которую входит конец защищаемого участка и шины приемной подстанции. Для предотвращения срабатывания при КЗ на смежном элементе зона и время действия отсечки с выдержкой времени согласуются с зоной и временем действия мгновенной отсечки смежного элемента.

Если на линии установить мгновенную ТО, отсечку с выдержкой времени и МТЗ, то получим трехступенчатую токовую защиту. Нужно знать выбор параметров срабатывания и уметь оценить чувствительность каждой из ступеней защиты. Цифровые защиты и их исполнение.

Вопросы для самопроверки

1. Как обеспечивается селективность действия мгновенной ТО?
2. С какой целью применяются неселективные ТО?
3. Как выбираются параметры срабатывания отсечки с выдержкой времени и какова зона их действия?
4. Как выбирается ток срабатывания ТО на линиях с двусторонним питанием?
5. Каковы недостатки ТО и как они устраняются в трехступенчатой токовой защите?
6. Почему при расчете тока срабатывания как мгновенной ТО, так и ТО с выдержкой времени не учитывается $k_{\text{воз}}$?

7. Как выбираются параметры срабатывания всех ступеней трехступенчатой токовой защиты, как проверяется их чувствительность?

2.2.3 Токовая направленная защита

Максимальная токовая направленная защита: схемное исполнение, расчет и принцип действия. 90° схема включения реле направления мощности на междуфазные напряжения и токи фаз. Токовые направленные отсечки. Селективная работа направленных защит. Область применения токовой направленной защиты.

Методические указания

Токовой направленной называют защиту, реагирующую на значение тока и направление мощности к.з. в месте ее установки. Рассматриваемая защита представляет собой токовую защиту, дополненную реле направления мощности. Она применяется в сложных сетях – сетях с двусторонним питанием, а также в кольцевых сетях с одним источником питания. Комплекты защиты устанавливаются с обеих сторон защищаемой линии и приходят в действие, если мощность к.з. для каждого из комплектов направлена от шин в защищаемую линию, а ток превышает ток срабатывания. Выдержка времени максимальных токовых направленных защит выбираются по встречно-ступенчатому принципу. При выборе тока срабатывания защиты в общем случае учитываются те же основные условия, что и для МТЗ. Однако имеются особенности в выборе тока срабатывания при использовании защиты в кольцевых сетях, а также в сети с глухозаземленной нейтралью, с которыми следует разобраться.

Под схемой включения реле направления мощности понимается определенное сочетание фаз тока и напряжения, подводимых к его обмоткам. Наибольшее распространение получила 90° схема включения реле. Для выявления свойств схемы необходимо уметь анализировать работу реле направления мощности при различных видах к.з.

Выполнение направленной отсечки дает возможность при выборе ее тока срабатывания учитывать только ток внешнего к.з. в направлении действия ее реле мощности. В этом основное отличие направленной отсечки от ненаправленной.

Недостатком направленных токовых защит является наличие мертвой зоны, определяемой минимальным напряжением при трехфазном к.з. вблизи места установки защиты.

Вопросы для самопроверки

1. Каков принцип действия токовой направленной защиты?
2. Чем отличается выбор тока срабатывания направленных защит (МТЗ и ТО) от ненаправленных?
3. В каких точках кольцевой сети с одним источником питания, а также сети с двусторонним питанием можно отказаться от установки реле направления мощности?
4. Как рассчитать выдержки времени направленных защит?
5. Чем обусловлено наличие мертвой зоны токовых направленных защит, как она рассчитывается, при каких видах к.з. возникает?

2.3 Защита от замыканий на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью

МТЗ нулевой последовательности (направленная и ненаправленная). Ступенчатая токовая защита нулевой последовательности. Схема включения реле направления мощности. Особенности расчета токовых отсечек нулевой последовательности.

Методические указания

С глухозаземленными нейтралью работают сети напряжением 110кВ и выше. Для защиты линий этих сетей от к.з. на землю оказывается более целесообразным использовать отдельный комплект реле. Реле тока защиты подключается к фильтру токов нулевой последовательности. Следовательно, защита реагирует только на к.з., сопровождающиеся

токами нулевой последовательности. В остальном схема защиты аналогична рассматриваемым выше схемам МТЗ и ТО от междуфазных к.з.

В общем случае защита выполняется ступенчатой. Ток срабатывания МТЗ нулевой последовательности отстраивается от тока небаланса $I_{нб}$ в нормальном режиме, если выдержки времени t_0 , рассматриваемой защиты, больше времени действия $t_{мф}$ защит от междуфазных к.з., установленных на следующем участке. Если $t_0 < t_{мф}$, то защиту нужно отстраивать от $I_{нб}$ при трехфазном к.з. в начале следующего участка. Наличие $I_{нб}$ в симметричных режимах обусловлено неравенством токов намагничивания ТТ. Время действия защиты выбирается по ступенчатому принципу Δt , Δt – ступень селективности. При этом обычно получается $t_0 < t_{мф}$.

Принцип действия и условия настройки отсечек нулевой последовательности практически такие же, как и отсечек, реагирующих на полные токи фаз.

В сетях с двумя и более заземленными нейтралью, расположенными в разных точках сети, применяются направленные защиты. К органу направления мощности подводятся $3U_0$ и $3I_0$. Ток срабатывания мгновенных отсечек, установленных на параллельных линиях, необходимо выбирать с учетом наличия взаимной индукции.

Направленные защиты нулевой последовательности не имеют мертвой зоны по напряжению, так как $3U_0$ максимально в месте к.з. и равно нулю в заземленной нейтрали трансформаторов. Цифровые защиты и их исполнение.

Вопросы для самопроверки

1. На каком принципе работает токовая защита нулевой последовательности?
2. Как влияют на распределение $3I_0$ схемы соединения обмоток и режимы работы нейтралей силовых трансформаторов?
3. В каких случаях применяются направленные токовые защиты нулевой последовательности?
4. Почему реле направления мощности нулевой последовательности не имеет мертвой зоны?
5. Как выбираются параметры срабатывания трехступенчатой токовой защиты (направленной) нулевой последовательности и как проверяется чувствительность различных ступеней защиты?
6. Каковы преимущества рассматриваемой защиты по сравнению с токовой защитой от междуфазных к.з.?
7. Какова область применения токовой защиты нулевой последовательности?
8. Как рассчитать ток $3I_0$ при различных к.з. на землю?
9. Как определить $3I_0$ в месте установки защиты при к.з. на землю в удаленной точке?

2.4 Защита от замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью

Схема замещения для анализа режима замыкания фазы на землю. Токи и напряжения при замыканиях на землю. Основные требования к защите. Принципы выполнения защиты от замыканий на землю. Принцип работы фильтров напряжения нулевой последовательности (ФННП) и фильтров тока нулевой последовательности (ФТНП). Размещение защит и выбор ее параметров срабатывания. Защита компенсированной сети.

Методические указания

В сетях с изолированной нейтралью замыкания одной фазы на землю не вызывает к.з., так как в этом случае ЭДС поврежденной фазы не шунтируется накоротко, а только закорачивается емкостью (фаза – земля) этой фазы. Возникающий при этом в месте повреждения ток замыкается через емкость проводов "здоровых" фаз относительно земли и имеет небольшую величину (до нескольких десятков ампер). Поэтому снижения напряжения в сети не происходит. Однако фазное напряжение "здоровых" фаз относительно земли повышается до междуфазного. Линейные напряжения остаются

неизменными. Чтобы все это усвоить и представить наглядно, нужно разобраться в векторных диаграммах токов и напряжений в нормальном и ненормальном режимах.

Однофазное замыкание на землю не отражается на работе потребителей и не нарушает синхронной работы генераторов. Поэтому в отличие от к.з. замыкания на землю не требуют немедленной ликвидации. Однако этот вид повреждения создает перенапряжение, что представляет опасность с точки зрения нарушения изоляции "здоровых" фаз и возможность перехода однофазного замыкания в междуфазное к.з. Защиту от рассматриваемых повреждений принято выполнять с действием на сигнал.

Известна общая селективная сигнализация замыкания на землю в сети без указания поврежденного участка, реагирующая на появление ($3U_0$). В качестве селективных защит от замыканий на землю, указывающих поврежденный участок, применяются токовые, реагирующие на $3I_0$. Для выполнения защиты в качестве фильтра нулевой последовательности используется специальный ТТ нулевой последовательности (ТТНП) особой конструкции. В таком однострансформаторном фильтре, выполняемом с помощью ТТНП, ток $3I_0$ получается магнитным суммированием от первичных токов трех фаз.

Нужно усвоить, что ток $3I_0$ в поврежденном присоединении (фидере) отличается от тока $3I_{0в}$ неповрежденных фидерах абсолютным значением и направлением.

Если собственные емкостные токи нулевой последовательности отдельных присоединений соизмеримы с полным емкостным током сети, то токовая защита неприменима. В этом случае используются направленные защиты. В качестве подведенных к реле направления мощности величин используются $3U_0$ и $3I_0$. Нужно хорошо усвоить выбор параметров рассматриваемых защит, проверку чувствительности и размещение комплектов защиты, как для радиальных сетей, так и для кольцевых.

Иногда используются защиты, реагирующие на токи неустановившегося режима, а также на высшие гармонические в токе нулевой последовательности.

В компенсированных сетях результирующий ток $3I_0$ поврежденного участка содержит больше гармоник, чем ток в неповрежденных присоединениях. Именно на этом различии основаны защиты в таких сетях.

В последнее время нашел применение способ защиты с наложенным током частотой более 50 Гц. Цифровые защиты и их исполнение.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается основная особенность защиты сетей с изолированной нейтралью?
2. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений в нормальном режиме и при замыканиях на землю.
3. Какие принципы действия защит от замыканий на землю Вы знаете?
4. Какими недостатками обладают трехтрансформаторные фильтры токов $3I_0$?
5. В чем преимущество однострансформаторных фильтров $3I_0$?
6. Каким образом можно исключить влияние токов, проходящих по броне кабелей, на работу защиты?
7. В каких случаях используется направленная защита нулевой последовательности?
8. На каких принципах основана защита от замыкания на землю в компенсированных сетях?
9. Как работают защиты, реагирующие на высшие гармонические ($УСЗ -2/2$; $УСЗ -3М$)?
10. Как устроено реле на ИМС РТЗ - 51?
11. Направленные защиты: направленная защита ЗЗП и импульсное реле мощности.
12. Как работают защиты, реагирующие на токи переходного процесса?
13. Как устроены приборы поиска точки замыкания "Квант", "Спектр"? Технология поиска точки замыкания.

2.5 Дистанционная защита

Назначение, общие принципы осуществления защиты. Реле сопротивления (характеристики срабатывания, принципы выполнения, схемы включения). Пусковые органы. Схемы защиты. Выбор уставок дистанционной защиты.

Методические указания

В дистанционной защите измерительный орган (реле сопротивления) измеряет величину сопротивления, отделяющее точку к.з. до места подключения реле. Это сопротивление пропорционально расстоянию (дистанции) до точки к.з. В качестве меры дистанции в современных защитах используется величина сопротивления на зажимах дистанционного органа (реле сопротивления) $Z_p = U_p / I_p$, где U_p и I_p соответственно напряжение, подведенное к реле, и ток, которым оно обтекает. В нормальном режиме сопротивление Z_p имеет максимальную величину и уменьшается по мере приближения точки короткого замыкания к месту установки защиты из-за снижения U_p и увеличения I_p . При этом уменьшают и время срабатывания защиты. Применяют три ступени выдержки времени.

Так как Z_p является комплексной величиной, то работу реле сопротивления удобно анализировать в осях R , jX . Характеристика срабатывания реле сопротивления в комплексной плоскости представляет собой геометрическое место точек, удовлетворяющих условию $Z_p \geq Z_{cp}$, где Z_{cp} вектор сопротивления срабатывания реле. В зависимости от вида характеристики срабатывания различают следующие виды реле: ненаправленное реле полного сопротивления, направленное реле сопротивления, реле сопротивления со смещенной характеристикой, реле с эллиптической характеристикой. Необходимо разобраться в принципах выполнения реле сопротивления.

Реле сопротивления подключаются к ТТ и ТН таким образом, чтобы Z_p было пропорционально расстоянию до места короткого замыкания и не зависело от вида повреждения. Для этого в защитах, реагирующих на многофазные короткие замыкания, реле сопротивления включаются на линейные напряжения и разности фазных токов, одноименные с напряжением. Указанное условие выполняется и при коротких замыканиях на землю (в том числе и двойных замыканиях на землю), если реле сопротивления включены на фазные напряжения по схеме с токовой компенсацией.

В отечественной практике нашли применение ступенчатые дистанционные защиты. Дистанционные защиты аналогичны токовым направленным защитам, принципиально отличаясь от них реагирующим органом. Число зон и ступеней выдержек времени ограничивается тремя.

Выбор уставок дистанционной защиты сводится к определению сопротивления срабатывания и времени срабатывания каждой из трех ступеней ее. Необходимо учитывать влияние промежуточных подпиток на замер реле сопротивления. Следует разобраться с принципами осуществления блокировок от качаний. Цифровые дистанционные измерения. Цифровые определения направления. Круговые характеристики цифровых устройств.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается принцип действия дистанционной защиты?
2. Какие преимущества имеет дистанционная защита перед токовыми?
3. Как выглядят в комплексной плоскости сопротивления характеристики срабатывания реле сопротивлений?
4. Укажите принципы выполнения реле сопротивления.
5. Какие схемы включения дистанционных органов Вы знаете?
6. Какие основные органы имеет дистанционная защита?
7. Каково назначение пусковых органов дистанционной защиты?
8. Как обеспечивается селективность действия защиты при качаниях?
9. Как достигается селективность действия первой ступени защиты?
10. Что собой представляет вторая ступень дистанционной защиты и как выбираются ее уставки?

11. Как влияют промежуточные подпитки на величину сопротивления на зажимах дистанционного органа? Что такое коэффициент токораспределения?
12. Как выбираются уставки третьей ступени защиты?
13. Принципы работы цифровых дистанционных защит.

2.6 Дифференциальные токовые защиты

Назначение и виды защит. Принцип действия продольной дифференциальной защиты на примере защиты ЛЭП. Ток небаланса. Настройка продольной дифференциальной защиты. Определение тока срабатывания $I_{ср}$. Способы повышения чувствительности и отстроенности защиты. Поперечная дифференциальная токовая защита. Поперечная дифференциальная токовая направленная защита, ее особенности, выбор уставок и проверка чувствительности. Схемы и область использования поперечных дифференциальных направленных защит.

Методические указания

Дифференциальные токовые защиты являются быстродействующими. Их подразделяют на продольные и поперечные. Продольную дифференциальную токовую защиту используют для защиты одиночных линий малой протяженности. Принцип ее действия основан на сравнении величины и фазы токов одноименных фаз по концам защищаемой линии. Наибольшее распространение получила схема с циркулирующими токами, в которой дифференциальное реле подключается параллельно вторичным обмоткам трансформаторов тока, соединенных между собой при помощи соединительных проводов. Неравенство вторичных токов в плечах дифференциальной защиты приводит к появлению в реле тока, называемого током небаланса ($I_{нб}$); ток срабатывания защиты $I_{сз}$ отстраивается от максимального тока небаланса $I_{нб}$ в расчетном режиме. Необходимо разобраться, какие причины приводят к появлению $I_{нб}$, какие факторы влияют на его величину, а также как повысить чувствительность и отстроенность защиты. Нужно знать особенности выполнения продольной дифференциальной защиты линий, достоинства и недостатки.

Поперечные дифференциальные защиты применяются на параллельных или двояных линиях, имеющих приблизительно одинаковые сопротивления.

Принцип действия основан на сравнении токов одноименных фаз, протекающих по обеим линиям в месте установки защиты. Поперечная дифференциальная защита не выявляет поврежденную линию. Введение в схему защиты реле направления мощности устраняет указанный недостаток. Необходимо знать, как выбирается $I_{сз}$ и проверяется чувствительность поперечной дифференциальной направленной защиты, достоинства и недостатки ее, схемы и область использования. Цифровое исполнение дифференциальных защит.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается принцип действия продольной дифференциальной токовой защиты линий?
2. Каковы особенности выполнения продольной дифференциальной защиты?
3. Причины появления $I_{нб}$ в реле?
4. Какие факторы влияют на величину $I_{нб}$?
5. Как можно повысить чувствительность и отстроенность продольной дифференциальной токовой защиты?
6. Как выбирается $I_{сз}$ рассматриваемых защит?
7. В чем заключается принцип действия поперечной дифференциальной токовой направленной защиты линий?
8. Каковы причины появления "мертвой" зоны и зоны каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты?

9. Почему в поперечной дифференциальной направленной защите оперативный ток необходимо подводить через блок - контакты выключателей обеих защищаемых линий?
10. Может ли дифференциальная защита сработать при качаниях?
11. Перечислите достоинства и недостатки дифференциальных защит, область использования.
12. Как выполняется измерительная и логическая части дифференциальной цифровой защиты?

2.7 Защита и автоматика трансформаторов

Виды повреждений и ненормальных режимов работы и требования, предъявляемые к защите. Типы применяемых защит. Защита от междуфазных к.з. в обмотках и на выводах. Особенности дифференциальной защиты трансформаторов, расчет дифференциальных защит. Газовая защита. Защита трансформаторов от сверхтоков, обусловленных внешним к.з. и перегрузкой. Особенности защиты трансформаторов с соединением обмоток звезда-звезда с заземленной нейтралью. Защита трансформаторов без выключателей на стороне высшего напряжения. Полные схемы защиты трансформаторов. Автоматика силовых трансформаторов.

Методические указания

Надо уяснить, какие виды повреждений и ненормальных режимов вероятны у силовых трансформаторов, и какие виды защиты надо установить в зависимости от мощности трансформаторов, схемы соединения обмоток. Следует обратить внимание на распределение тока в обмотках при к.з. на стороне низшего напряжения. Это важно для определения схемы защиты и ее чувствительности. При изучении дифференциальной защиты трансформатора надо учесть особенности работы его как объекта релейной защиты, состоящие в различии по величине и фазе токов сторон разных напряжений, в изменении величины тока при регулировании напряжения, в большой величине броска тока намагничивания при подаче на трансформатор напряжения, а также в конструктивной разнотипности ТТ, применяемых на стороне высшего и низшего напряжений силовых трансформаторов и в значительном различии сопротивлений плеч защиты.

Следует усвоить способы уменьшения величины тока небаланса, подбора ТТ для защиты и выбора схем соединения их вторичных обмоток, роль быстронасыщающегося трансформатора БНТ и его работу в переходных режимах.

Необходимо научиться рассчитывать ток срабатывания дифференциальной защиты и определять количество витков дифференциальной и уравнивающих обмоток реле типа РНТ-565. Следует разобраться, в каких случаях дифференциальная защита должна выполняться при помощи реле типа ДЗТ. Необходимо ознакомиться со схемами защиты трансформатора на переменном оперативном токе с тем, как обеспечивается селективное действие резервных защит многообмоточных трансформаторов, как осуществляется защита трансформаторов, не имеющих выключателей на стороне высшего напряжения. Надо обратить внимание на схемы защиты трансформаторов малой мощности с соединением обмоток звезда-звезда с нулем, на методику расчета уставок защиты. Следует знать виды средств автоматики, применяемых на трансформаторах, принцип работы и схему устройства автоматического регулирования напряжения у трансформаторов под нагрузкой (РПН).

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные типы защит, устанавливаемых на трансформаторах в зависимости от их мощности.
2. На какие виды повреждений и ненормальных режимов работы трансформатора реагирует газовая защита?
3. Как определить расчетную величину тока небаланса?
4. В каких случаях на трансформаторах можно устанавливать дифференциальную отсечку и чем она отличается от дифференциальной защиты с реле РНТ?

5. В каких случаях можно применять для защиты трансформаторов от к.з. токовые отсечки?
6. Как соединяются вторичные обмотки ТТ дифференциальной защиты трансформатора с группой соединения Y/Δ?
7. Почему после доливки масла в трансформаторе газовая защита временно переводится на сигнал?
8. Как предотвращается неправильное действие дифференциальной защиты при бросках тока намагничивания?
9. В каких случаях целесообразно применять для трансформаторов МТЗ с пуском по напряжению?
10. Как выполняются защиты от замыкания фазы на нуль у трансформаторов со схемой соединения обмоток Y/Y-12 с нулем?
11. Как влияет на расчет дифференциальной защиты трансформатора | РПН?
12. Как выполняется защита трансформаторов без выключателей на стороне высшего напряжения?
13. За счет чего достигается увеличение чувствительности дифференциальной защиты в случае выполнения ее с реле РНТ-565 или ДЗТ-11 по сравнению с дифференциальной отсечкой? Устройство и работа реле ДЗТ-21(23).
14. Как устроено реле РСТ-15(16)? Что дает его применение?
15. Структурная схема защиты трансформатора в цифровом исполнении.
16. Какие виды автоматики предусматриваются на трансформаторах?
17. В каких случаях на трансформаторах целесообразно устанавливать АПВ или АВР?
18. Как осуществляется регулирование напряжения под нагрузкой у трансформатора?
19. Цифровые защиты трансформаторов; особенности и требования к АЦП и ЦАП?

2.8 Защита и автоматика электродвигателей. Защита и автоматика специальных электроустановок систем электроснабжения

Виды повреждений и ненормальных режимов работы электродвигателей. Типы защит двигателей и устройств их автоматики. Особенности защиты и автоматики синхронных двигателей высокого напряжения. Цифровая защита электродвигателей. Защита и автоматика выпрямительных установок, трансформаторов дуговых электропечных установок, конденсаторных установок. Защита и автоматика сборных шин и токопроводов.

Методические указания

При изучении этой темы надо ознакомиться с видами повреждений и ненормальных режимов работы асинхронных и синхронных электродвигателей, а также с характером изменения токов при самозапуске электродвигателей и восстановлении напряжения. Необходимо усвоить принцип выполнения защит электродвигателей до 1 кВ и свыше 1 кВ и выбор их уставок; внимательно разобраться в явлениях, происходящих при пуске и самозапуске двигателей, выбор уставок токовых отсечек, устанавливаемых на электродвигателях. Необходимо знать роль защиты минимального напряжения и защиты от перегрузок у электродвигателей. Возможность возникновения технологической перегрузки, способной вызывать повреждение двигателя, учитывать при решении вопроса о применении токовой защиты от перегрузки и включении ее с действием на сигнал, отключение или разгрузку механизма. Вращающий момент электродвигателя и момент сопротивления механизма.

Надо знать основные виды автоматики, применяемые на двигателях и их назначение. Важно понять особенности режима работы печных, преобразовательных и конденсаторных установок. Надо знать виды защиты и автоматики, применяемые на этих установках. Надо понимать, каким образом поддерживают постоянство напряжения у потребителей электроэнергии. Нужно знать типы защиты и автоматики, устанавливаемые на шинах и токопроводах, уметь рассчитать их уставки.

Вопросы для самопроверки

1. Как учитывается пусковой ток двигателя при выборе тока срабатывания защиты от многофазных к.з.?
2. В каких случаях и как выполняется релейная защита двигателя от перегрузки?
3. В каких случаях и как выполняется у электродвигателей защита минимального напряжения?
4. Как предотвращается неправильное действие защиты минимального напряжения при перегорании предохранителей?
5. В каких случаях токовая отсечка выполняется с двумя реле? Чувствительность защиты.
6. Какие меры принимаются в установках собственного расхода для обеспечения самозапуска?
7. По какому принципу можно осуществить защиту синхронного электродвигателя от несинхронного режима?
8. В каких случаях предусматривается АПВ электродвигателей?
9. Какие виды защиты и автоматики предусматриваются на преобразовательных и печных установках?
10. Как выполняют защиту батареи статических конденсаторов?
11. Как осуществляется автоматическое отключение батареи конденсаторов по режиму?
12. Какие защиты принимаются на шинах и токопроводах?
13. Как осуществляется АПВ шин?
14. Цифровые защиты электродвигателей.

3 Устройства системной автоматики

Назначение автоматического повторного включения (АПВ) и автоматического включения резерва (АВР). Требования к этим устройствам и расчет их параметров. Схемы АВР и АПВ. АВР на подстанциях с синхронными двигателями или синхронными компенсаторами. Особенности АПВ на линиях с двусторонним питанием, АПВ ОС и АПВ УС. Реле контроля синхронизма РКС. Исправление действия неселективной отсечки при помощи АПВ. Защита и автоматика электрических сетей напряжением до 1 кВ.

Назначение и основные принципы выполнения автоматической частотной разгрузки (АЧР). Расчет параметров срабатывания устройства АЧР. Реле частоты.

Методические указания

Устройство АВР. Электроснабжение потребителей, потерявших питание, можно восстановить автоматическим подключением их к другому источнику питания с помощью устройства АВР. Многолетний опыт эксплуатации показал высокую эффективность раздельной работы элементов сети в сочетании с устройствами АВР, успешность действия которых по статистическим данным составляет 90% и более.

Существует большое разнообразие устройств АВР. Однако все они должны удовлетворять требованиям, которые положены в основу принципов выполнения устройств АВР. Следует твердо уяснить основные требования, предъявляемые к устройствам АВР и на его предложенной схеме уметь показать, как реализуются эти требования. Надо знать, как выбираются уставки АВР. Кроме того, следует разобраться с особенностями выполнения схем АВР на подстанциях с синхронными двигателями или синхронными компенсаторами.

Действие АВР должно согласовываться с действием других устройств автоматики.

В этом разделе изучить особенности повреждений (к.з.) и выполнение защит сетей напряжением до 1 кВ. Как осуществляется выбор предохранителей, воздушных автоматов. Чувствительность и селективность расцепителей воздушных автоматов. Защита от однофазных к.з. Устройство и работа защитного отключения. Устройство автоматического включения резерва.

Устройство АПВ. Большинство к.з., возникающих в процессе эксплуатации на линиях, имеет неустойчивый характер, т.е. после отключения линий защитой они

самоустраняются. Вероятность самоустранения к.з. после снятия напряжения с линии будет тем выше, чем быстрее срабатывает релейная защита. Хотя заранее неизвестно самоустранилось к.з. или нет, линию включают повторно. Эту операцию выполняет АПВ, к которому предъявляются следующие требования: минимально возможное время срабатывания, обеспечение автоматического возврата схемы в исходное положение с заданной выдержкой времени, заданная кратность действия, возможность ускорения защиты после АПВ. В схеме предусмотрен автоматический запрет АПВ на случай, если по каким-либо причинам недопустимо повторное включение выключателя.

Схемы АПВ выполняются на постоянном и переменном оперативном токе. На линиях 6-10 кВ наибольшее распространение получили механические и электрические АПВ выключателей, имеющих пружинные приводы. На линиях более высокого напряжения применяются схемы с реле типов РПВ-58, РПВ-258 и РПВ-358. Надо знать принцип работы устройств, обеспечивающих однократное или двукратное повторное включения. Необходимо уяснить работу устройств АПВ на линиях с односторонним питанием и разобраться в их особенностях на линии с двусторонним питанием, что такое напряжение биения. Надо помнить, что основная задача АПВ на этих линиях – не допускать действие АПВ без контроля синхронизма. Изучить устройство и работу реле контроля синхронизма. Как работает АВР с ожиданием синхронизма и с улавливанием синхронизма.

Устройство АЧР. Устройство АЧР работает при дефиците генерирующей мощности в энергосистеме для предотвращения аварийного понижения частоты. Нужно знать, что такое лавина частоты, как ведут себя разные потребители при понижении частоты; как это отражается на технологии производства и для чего применяется это устройство автоматики. Необходимо учитывать требования, предъявляемые к устройствам АЧР, и расчет их параметров. 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 режима электропередачи. Применяются две основные категории АЧР (I и II), имеющие разные уставки срабатывания по частоте и разное быстродействие. Нужно знать принцип действия реле частоты, как осуществляется схема АЧР, как обеспечивается автоматическое повторное включение отключающихся приемников (ЧАПВ).

Вопросы для самопроверки

1. Какие требования предъявляются к устройствам АВР?
2. Какие факторы надо учитывать при выборе уставок реле напряжения и времени устройства АВР? Выполнение пусковых органов минимального напряжения (ПОН) и частоты.
3. Как влияет длительность перерыва питания на самозапуск электродвигателя?
4. Как осуществляется АВР линии, питающейся от двух источников?
5. В чем заключается целесообразность применения АПВ?
6. Какие требования предъявляются к устройствам АПВ?
7. В каких случаях применяется ускорение защиты до и после АПВ? Как это выполняется практически?
8. Каковы условия допустимости несинхронного АПВ?
9. В чем особенность схем АПВ на линиях с двусторонним питанием?
10. Как достигается однократность действия АПВ?
11. Каково назначение АЧР? Что такое регулирующий эффект нагрузки?
12. Укажите основные принципы действия АЧР?
13. Почему недопустима работа энергосистемы при частоте ниже 47 - 48 Гц?
14. Для чего применяется несколько очередей АЧР?
15. Каковы причины, приводящие к снижению частоты в энергосистеме?
16. Как определить величину мощности, отключаемой одной очередью устройства АЧР?
17. В каких случаях допустимо применение АПВ при работе АЧР?

18. Что такое лавина частоты и напряжения и как протекают эти процессы?

Темы рефератов

Реферативная работа предлагается студентам при изучении второй части дисциплины, посвященной основным устройствам автоматического управления. Работа предполагает более глубокое изучение предложенного теоретического и практического материала, а также изучение современного оборудования и перспективных направлений развития автоматики. Реферат должен быть представлен в виде основной части объемом 15-20 страниц формата А4 при использовании не менее 5 источников, включая периодические и электронные издания.

Темы рефератов

1. Структура устройств релейной защиты.
2. Первичные измерительные преобразователи в РЗ и А.
3. Токовые ступенчатые защиты линий электропередачи в комплектах микропроцессорной РЗ.
4. Особенности защит с абсолютной селективностью.
5. РЗ, реагирующая на два параметра состояния электрической системы.
6. Устройства микропроцессорной РЗ в распределительных сетях 6-10кВ.
7. Устройства микропроцессорной РЗ в 110-220кВ.
8. Газовые защиты трансформаторов.
9. Микропроцессорные защиты трансформаторов.
10. Защиты шин подстанций.
11. Автоматические регуляторы напряжения в электрических сетях.
12. Противоаварийная автоматика в районных электрических сетях.

Методические рекомендации по самостоятельной подготовке к практическим занятиям

1. Релейная защита силовых трансформаторов

Для защиты понижающих трансформаторов от повреждений и ненормальных режимов в соответствии с Правилами устройств электроустановок (ПУЭ) применяются следующие типы релейной защиты:

1. Продольная дифференциальная защита от коротких замыканий в обмотках и на их наружных выводах. Эта защита обладает абсолютной селективностью и в соответствии с ПУЭ устанавливается на всех трансформаторах мощностью 6,3 МВА и более, а при параллельной работе – 4 МВА, действует на отключение без выдержки времени.
2. Токовая отсечка от к.з. на наружных выводах высокого напряжения (ВН) со стороны питания трансформатора. В зону защиты токовой отсечки обычно попадает и сама обмотка ВН, обмотку низкого напряжения (НН) трансформатора токовой отсечкой защитить не удастся. Защита применяется для трансформаторов, не оборудованных продольной дифференциальной защитой и действует на отключение без выдержки времени.
3. Максимальная токовая защита от сверхтоков, вызванных внешним к.з. со стороны низкого или среднего напряжения трансформатора. Применяется для всех трансформаторов независимо от мощности и наличия других типов релейной защиты, действует на отключение с выдержкой времени.
4. Газовая защита – от всех повреждений внутри бака трансформатора, сопровождающихся выделением газа из трансформаторного масла при его нагреве в

месте повреждения (например, витковые замыкания в обмотках, пожар стали), а также от понижения уровня масла в баке по причине утечки. Защита ставится у трансформаторов, начиная с 630 кВА. При небольшом газовыделении действует на сигнал, при бурном – на отключение мгновенно.

5. Специальная токовая защита нулевой последовательности от однофазных к.з. при глухозаземленной нейтрали. Защита устанавливается в нулевом проводе трансформатора со стороны НН при соединении обмоток Y/Y_0 и Δ/Y_0 .
6. Максимальная токовая защита в одной фазе – от токов перегрузки, действует на сигнал и с выдержкой времени.
7. Защита от замыкания фазы на землю (корпус) со стороны ВН в сетях с изолированной нейтралью, действует на сигнал.

Наиболее важными защитами являются дифференциальная и газовая. Согласно ПУЭ дифференциальная защита может применяться и на трансформаторах 1-2,5 МВА, когда токовая отсечка не удовлетворяет требованиям чувствительности, а максимальная токовая защита имеет выдержку времени $t > 0,6$ сек.

2. Особенности выполнения дифференциальной защиты трансформаторов

Дифференциальная защита (ДЗ) силовых трансформаторов находится в наиболее неблагоприятных условиях с точки зрения появления дополнительных величин токов небаланса $I_{нб}$ (неравенство токов I_{21} и I_{22} в плечах дифзащиты) по сравнению с дифференциальными защитами других элементов (генераторов, мощных двигателей). Эти токи небаланса связаны со спецификой работы трансформатора и от них нужно отстраивать защиту, что приводит к определенным трудностям в ее настройке и обеспечении необходимой чувствительности.

Причинами появления дополнительных токов небаланса в работе дифференциальной защиты трансформатора являются:

1. Бросок тока намагничивания ($I_{бр.нам}$) в обмотке со стороны питания трансформатора при его включении под напряжение на холостом ходу или после ликвидации внешних коротких замыканий. Этот ток может превосходить номинальным в 6-8 раз, протекает только в обмотке ВН (через одно плечо ДЗ) и его величина полностью является для защиты током небаланса – $I_{нб}$. Для отстройки от броска тока намагничивания принимают специальные меры:
 - загроубляют защиту по току срабатывания, что не всегда эффективно (дифференциальная отсечка);
 - применяют реле с быстронасыщающимися трансформаторами (БНТ), которые плохо трансформируют бросок тока намагничивания в рабочую обмотку реле;
 - применяют полупроводниковые реле, например реле РСТ-15 на аналоговых микросхемах, которое «отличает» форму броска тока намагничивания трансформатора $I_{бр.нам}$ от формы тока короткого замыкания в зоне защиты;
 - применяют цифровую дифференциальную защиту.
2. Неравенство расчетных коэффициентов трансформации трансформаторов тока для реальной сети с выбранными стандартными. В результате вторичные токи в плечах дифференциальной защиты I_{21} и I_{22} получаются неодинаковыми. Устраняют возникший ток небаланса за счет числа витков уравнительных обмоток $W_{уп1}$ и $W_{уп2}$ в специальных реле, обеспечив равенство $\dot{I}_{21} \cdot W_{уп1} = \dot{I}_{22} \cdot W_{уп2}$.
3. Из-за группы соединения обмоток силового трансформатора. При схеме Y/Δ -11 группа векторы первичных токов трансформатора на высокой и низкой стороне сдвинуты по фазе на 30 градусов, что обуславливает появление тока небаланса. Для его устранения вторичные обмотки трансформаторов тока в плечах ДЗ соединяются противоположно соединениям силовых обмоток трансформатора, т.е. Δ/Y .
4. Наличие РПН у трансформатора при автоматическом регулировании напряжения нарушает равенство вторичных токов в плечах ДЗ I_{21} и I_{22} и вызывает появление тока небаланса $I''_{нб}$ пропорционального диапазону регулирования напряжения

трансформатора $\Delta U_{РПН}$. Величина тока небаланса учитывается при определении тока срабатывания защиты.

5. Трансформаторы тока, используемые в ДЗ, неидеальны и вносят погрешность по току. Ток небаланса от погрешности трансформаторов тока $I'_{нб}$ учитывается при определении тока срабатывания защиты. Погрешность трансформаторов тока в этом случае принимают равной 10% от первичного максимального тока (ПУЭ).

В итоге, применяя специальные реле типа РНТ-560, ДЗТ-11 или РСТ-15 в схеме ДЗ величина расчетного тока небаланса $I_{нб.расч}$ будет состоять из двухсоставляющих

$$I_{нб.расч} = I'_{нб} + I''_{нб}$$

где $I'_{нб}$ – ток небаланса, определяемый токовой погрешностью трансформаторов тока в плечах дифференциальной защиты и вычисляется по формуле

$$I'_{нб} = k_a \cdot k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{к.з. max(\kappa_1)}$$

где k_a – коэффициент, учитывающий влияние апериодической составляющей тока к.з. на переходный процесс, для реле с БНТ он принимается равным 1, без БНТ – равным 2;

$k_{одн}$ – коэффициент однотипности, принимается равным 0,5 в тех случаях, когда ТТ однотипны, и равным 1 при разнотипных ТТ;

$\varepsilon=0,1$ – токовая погрешность ТТ, удовлетворяющих 10% кратности (ПУЭ);

$I_{к.з. max}$ – наибольший сквозной ток при внешнем к.з. т. K_1

$I''_{нб}$ – ток небаланса, обусловленный изменением коэффициента трансформации защищаемого трансформатора при регулировании напряжения с РПН, вычисляется по формуле

$$I''_{нб} = \Delta U_{РПН}^* \cdot I_{к.з. max(\kappa_1)}$$

где $\Delta U_{РПН} = 16\%$ – диапазон регулирования напряжения; относительная величина

$\Delta U_{РПН}^* = 0,16$. При настройке продольной дифференциальной защиты необходимо выполнить главное требование, чтобы

$$I_{срДЗ} > I_{нб max}$$

или

$$I_{срДЗ} = K_n \cdot I_{нб max}(I_{нб расч}),$$

где K_n – коэффициент надежности, равный 1,3-1,5 (ПУЭ).

Примерный расчет дифференциальной защиты силового трансформатора

Принципиальная схема для расчета дифференциальной защиты представлена на Рис.19.

Мощность рассматриваемого трансформатора 16 МВА.

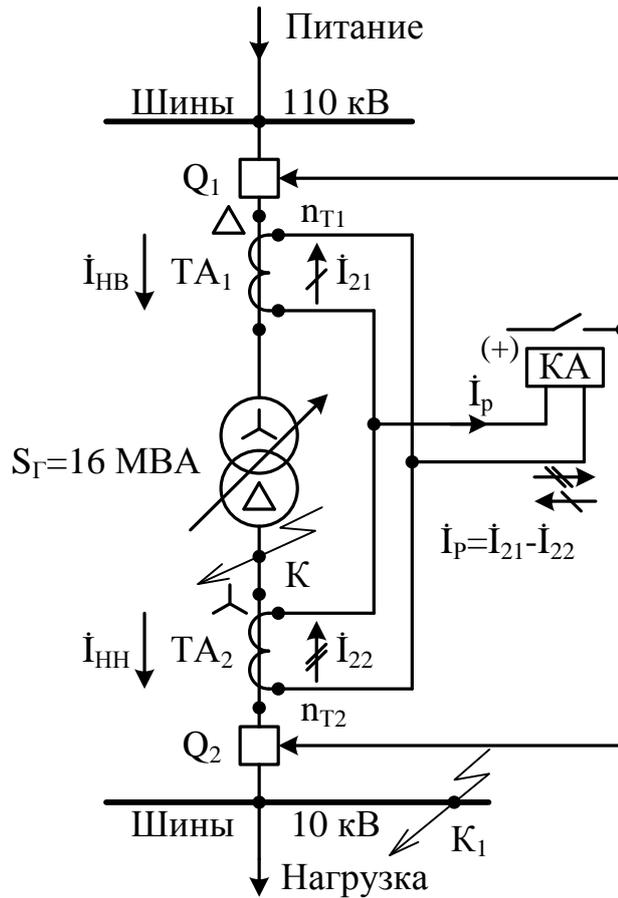


Рисунок 1. Принципиальная схема для расчета ДЗ

3.1. Выбор трансформаторов тока и определение вторичных токов в плечах дифференциальной защит I_{21} и I_{22}

Определяем первичные номинальные токи обмоток трансформатора
- высокого напряжения

$$I_{HB} = \frac{S_{TH}}{\sqrt{3} \cdot U_{HB}} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,0803 \text{ кА} = 80,3 \text{ А}$$

- низкого напряжения

$$I_{HH} = \frac{S_{TH}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 11} = 0,840 \text{ кА} = 840 \text{ А}$$

Находим расчетные коэффициенты трансформации трансформаторов тока со стороны

высокого напряжения

$$n_{TA} = \frac{k_{cx} \cdot I_{HB}}{5} = \frac{\sqrt{3} \cdot 80,3}{5} = 27,8$$

низкого напряжения

$$n_{TY} = \frac{k_{cx} \cdot I_{HH}}{5} = \frac{1 \cdot 840}{5} = 168$$

где k_{cx} – коэффициент схемы для высокой стороны, где трансформаторы тока соединены в треугольник $k_{cx} = \sqrt{3}$, на низкой стороне трансформаторы тока соединены в неполную звезду и $k_{cx} = 1$ (Рис. 19).

Учитывая стандартную шкалу первичных токов трансформатора тока принимаем следующие значения коэффициентов трансформации трансформаторов тока (см. Приложение IV) со стороны

- высокого напряжения

$$n_{T1} = \frac{I_1}{5} = \frac{150}{5} = 30$$

- низкого напряжения

$$n_{T2} = \frac{I_2}{5} = \frac{1000}{5} = 200$$

Реальные вторичные токи в плечах защиты со стандартными коэффициентами трансформаторов тока

$$I_{21} = \frac{k_{cx} \cdot I_{HB}}{n_{T1}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 80,3}{30} = 4,64 \text{ A}$$

$$I_{22} = \frac{k_{cx} \cdot I_{HH}}{n_{T2}} = \frac{1 \cdot 840}{200} = 4,2 \text{ A}$$

Видим, что токи в плечах ДЗ не равны 5А и в результате, по этой причине будет появляться ток небаланса $I_{нб}$. Для его устранения в специальных реле для ДЗ имеются уравнильные обмотки W_{yp1} и W_{yp2} . В этом случае выравниваются магнитодвижущие силы $F_{м.д.с}$ путем расчета числа витков уравнильных обмоток, чтобы $I_{21} W_{yp1} = I_{22} W_{yp2}$

3.2. Расчет токов к.з. с учетом РПН трансформатора

Для расчета тока срабатывания ДЗ трансформатора необходимо определить максимальный сквозной ток проходящий через плечи дифференциальной защиты (характерная точка к.з. K_1). Исходная схема и схема замещения для расчета тока к.з. в точке K_1 показана на рис. 20. В данном случае мы находим максимальный сквозной ток к.з. при котором ток небаланса будет максимальным $I_{нб.маx}$ и от этого тока отстраивается ДЗ.

$$I_{срДЗ} > I_{нб.маx} \quad (1)$$

Исходя из практического опыта, величину тока срабатывания определяют по формуле

$$I_{срДЗ} = k_H \cdot I_{нб.маx}$$

где k_H – коэффициент надежности (запаса), равный 1,3-1,5 (ПУЭ).

Первоначально определяем сопротивление элементов в схеме замещения, Рис. 20.

Сопротивление системы

$$X_C = \frac{U_{срВН}^2}{S_{К.з.С.}} = \frac{115^2}{10000} = 1,32 \text{ Ом}$$

Сопротивление ЛЭП 110кВ

$$X_{Л} = X_{уд} \cdot L_1 = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ Ом}$$

где $X_{уд} = 0,4 \text{ Ом/км}$ $L_1 = 20 \text{ км}$.

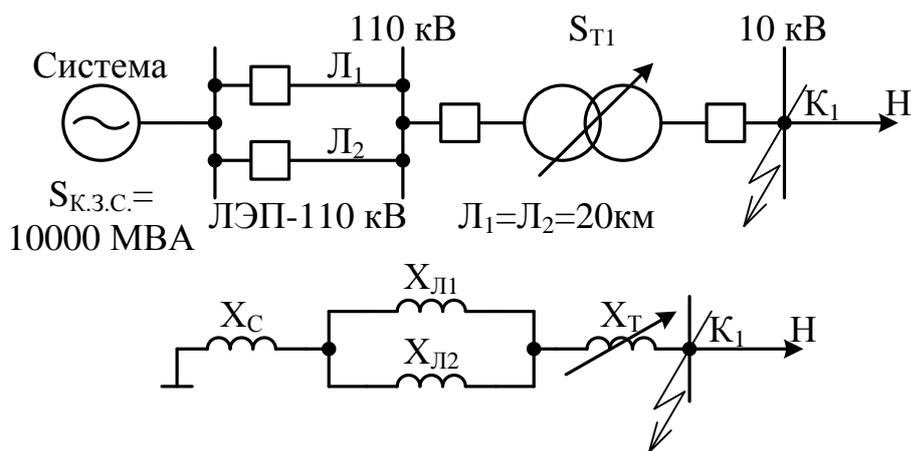


Рисунок 2. Исходная схема и схема замещения

Сопротивления трансформатора с учетом РПН при крайних и среднем положении регулятора РПН, приведенные к стороне высокого напряжения, рассчитывают по формулам:

$$X_{TP \min} = \frac{U_{k \min} \cdot U_{\min BH}^2}{S_{TP \text{ном}}} = \frac{U_{k \min} \cdot U_{cp BH} \cdot (1 - \Delta U_{РПН})^2}{S_{TP \text{ном}}}$$

$$X_{TP \max} = \frac{U_{k \max} \cdot U_{\max BH}^2}{S_{TP \text{ном}}} = \frac{U_{k \max} \cdot U_{cp BH} \cdot (1 + \Delta U_{РПН})^2}{S_{TP \text{ном}}}$$

$$X_{TP \text{cp}} = \frac{U_{kcc} \cdot U_{cp}^2}{S_{TP \text{ном}}}$$

где U_{kcp} , U_{kmin} , U_{kmax} – значения напряжения к.з. трансформатора в относительных единицах при среднем и крайних (минимальном и максимальном) положениях регулятора РПН, определяется по таблице (см. Приложение V, таблица 9); $\Delta U_{РПН} = \Delta U_{РПН} / 100$ – половина полного диапазона регулирования напряжения на стороне ВН трансформатора; $\Delta U_{РПН} = 16\%$.

При определении $X_{TP \max}$ берется значение $U_{\max} = 126$ кВ, соответствующее максимально допустимому напряжению в сети 110 кВ, Приложение V, таблица 11.

Приведенные расчеты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчетные данные

Положение отвлечения РПН	U_k	$\Delta U_{РПН}$	$U_{ВН}$	$U_{НН}$	X_{TP}
	%	%	кВ	кВ	Ом
Минимальное	9,8	-16	96,6		57,16
Среднее	10,5	0	115	11	86,79
Максимальное	11,71	+16	133,4 (126)		116,19

Далее определяем токи кз на высокой и низкой сторонах силового трансформатора (т.К1).

Максимальное значение тока кз в обмотке ВН трансформатора.

$$I_{k \max BH} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot (X_{C \min} + X_{TP \min})}$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение обмотки ВН, кВ; $X_{C \min}$ – сопротивление питающей сети при максимальном режиме работы системы, Ом.

Считая, что в максимальном режиме системы работают обе цепи питающей ЛЭП, получим

$$X_{C \min} = X_C + \frac{X_L}{2} = 1,325 + \frac{8}{2} = 5,325 \text{ Ом}$$

$$I_{k \max BH} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot (5,325 + 57,16)} = 1,016 \text{ кА}$$

Максимальный ток к.з., приведенный к стороне НН будет равен

$$I_{k \max HH} = I_{k \max BH} \cdot \frac{U_{cpBH} \cdot (1 - \Delta U_{PIH})}{U_{HH}} = 1,016 \cdot \frac{115 \cdot (1 - 0,16)}{11} = 8,926 \text{ кА}$$

Минимальное значение тока к.з. в обмотке ВН трансформатора

$$I_{k \min BH} = \frac{U_{\max BH}}{\sqrt{3} \cdot (X_{C \max} + X_{TP \max})}$$

где $X_{C \max}$ – сопротивление питающей сети в минимальном режиме работы системы, Ом; $U_{\max BH} = 126$ кВ, наибольшее допустимое напряжение в сети 110кВ.

В минимальном режиме работы системы питание потребителей осуществляется по одной цепи ЛЭП, поэтому

$$X_{C \max} = X_C + X_L = 1,325 + 8 = 9,325 \text{ Ом}$$

Тогда минимальное значение тока кз на ВН будет равно

$$I_{k \min BH} = \frac{126}{\sqrt{3} \cdot (9,325 + 116,19)} = 0,580 \text{ кА}$$

Минимальное значение тока к.з., приведенное к обмотке НН будет равно

$$I_{k \min HH} = I_{k \min BH} \cdot \frac{U_{\max BH}}{U_{HH}} = 0,580 \cdot \frac{126}{11} = 6,639 \text{ кА}$$

3.3. Определение уставок и чувствительности продольной дифференциальной защиты с реле РНТ - 565

Для защиты данного трансформатора измерительная часть защиты представлена на Рис. 21. На низкой стороне силового трансформатора трансформаторы тока дифференциальной защиты можно включить в «неполную звезду» и использовать только два реле (сеть 10кВ с изолированной нейтралью). Чтобы вторичные токи в плечах дифференциальной защиты I_{21} и I_{22} совпадали по фазе, трансформаторы тока на высокой стороне силового трансформатора необходимо включить в треугольник, а на низкой стороне в неполную звезду, что исключает появление токов небаланса, связанных с одиннадцатой группой соединения обмоток силового трансформатора по схеме $Y/\Delta - 11$.

В нормальном режиме токи I_{21} и I_{22} будут совпадать по фазе, и токи через реле будут равны нулю (идеально).

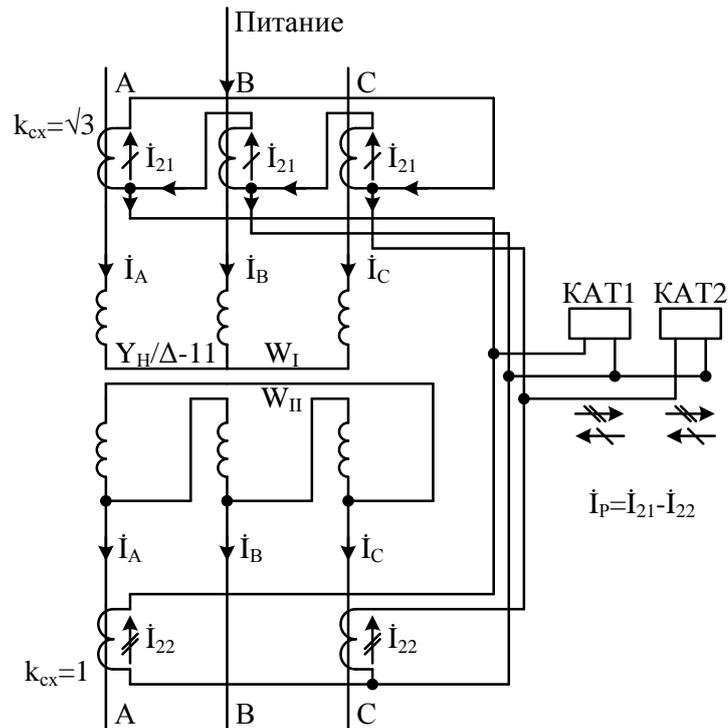


Рисунок 3. Измерительная часть дифференциальной защиты KA1, KA2 – реле типа РНТ-565 или ДЗТ-11, или РСТ – 15

4. Защита от перегрузки трансформатора

Перегрузка обычно является симметричной, поэтому защита от перегрузки выполняется одним реле тока KA1, включенным в цепь одного из трансформаторов тока защиты от внешних к.з. Электрическая схема защиты изображена на рисунке 4.

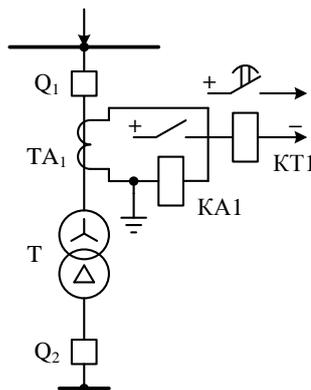


Рисунок 4. Электрическая схема защиты от перегрузки

Коэффициент надежности k_H учитывает уровень перегрузки и принимается равным $k_H=1,2$. Коэффициент возврата реле k_6 зависит от типа реле. Ток срабатывания определяется по выражению:

$$I_{cp} = \frac{k_H \cdot I_{ном.т}}{k_6 \cdot n_T}$$

Для отстройки от кратковременных перегрузок и КЗ предусматривается реле времени КТ1, рассчитанное на длительное прохождение тока в его обмотках. Выдержка времени принимается на ступень селективности больше, чем время защиты срабатывания защиты трансформатора от внешних к.з.

5. Газовая защита трансформатора

Все трансформаторы мощностью от 1МВА должны быть оборудованы газовой защитой. Газовая защита должна защищать трансформатор от внутренних повреждений, к которым относят:

- витковые замыкания в обмотках ВН и НН;
- пожар стали;
- утечка масла из бака.

Принцип работы газовой защиты основан на контроле разложения трансформаторного масла под действием повышенной температуры на газы (газогенерирование). Повышенная температура появляется локально при витковых замыканиях или при пожаре стали. Это место сильно разогревается и масло газогенерирует. Газы будут стремиться попасть в расширительный бак, проходя через корпус газовое реле. Скапливаясь в корпусе газового реле, вызывают повышенное давление и снижение уровня масла, что приводит к опрокидыванию чашек и срабатыванию газового реле (рисунок 5).

Газовое реле – это механическое реле с двумя парами контактов.

Интенсивность газообразования зависит от характера и размеров повреждения. Это дает возможность выполнить газовую защиту, способную различать степень повреждения, и в зависимости от этого действовать на сигнал или отключение. Основным элементом газовой защиты является газовое реле KSG, устанавливаемое в маслопроводе между баком и расширителем. Реле РГЧЗ-66 с чашкообразными элементами 1 и 2 изображенными на рисунке 5.

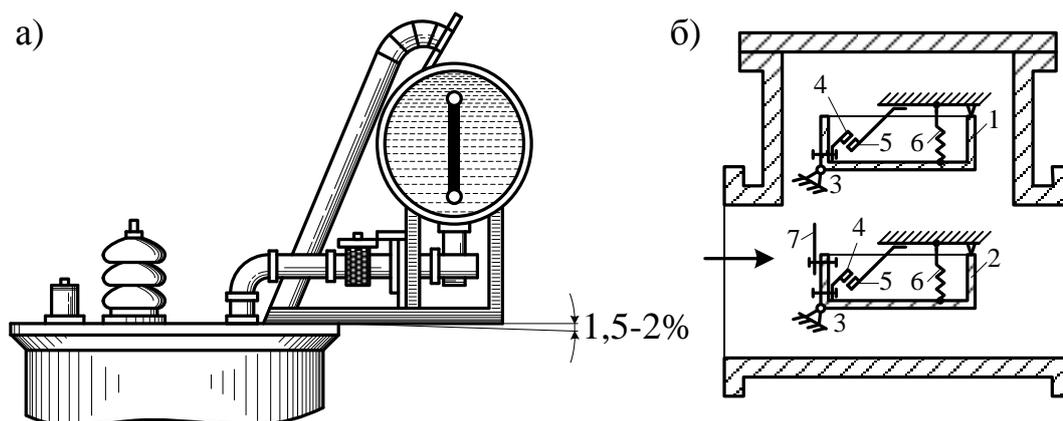


Рисунок 5. Газовое реле защиты трансформатора
а – место установки газового реле; б – конструкция

Элементы выполнены в виде плоскостонных алюминиевых чашек, вращающихся вместе с подвижными контактами 4 вокруг осей 3. Эти контакты замыкаются с неподвижными контактами 5 при опускании чашек. В нормальном режиме, при наличии масла в кожухе реле, чашки удерживаются пружинами 6 в положении, указанном на рисунке. Понижение уровня масла сопровождается опусканием чашек и замыканием соответствующих контактов. Сначала опускается верхняя чашка, и реле действует на сигнал. При интенсивном газообразовании, поток масла и газа действует на лопасть 7, которая действует вместе с нижней чашкой на общий контакт отключения трансформатора. Уставки по скорости потока масла: 0,6; 0,9; 1,2 м/с, – определяется мощностью и характером охлаждения трансформатора. Время срабатывания реле $t_{cp}=0,05...0,5с$.

В нашей стране широко используется газовое реле с двумя шарообразными пластмассовыми поплавками типа BF80/Q.

В схеме защиты на переменном оперативном токе, изображенной на рисунке 6, самоудерживание достигается путем шунтирования нижнего контакта газового реле KSG верхним замыкающим контактом реле KL.

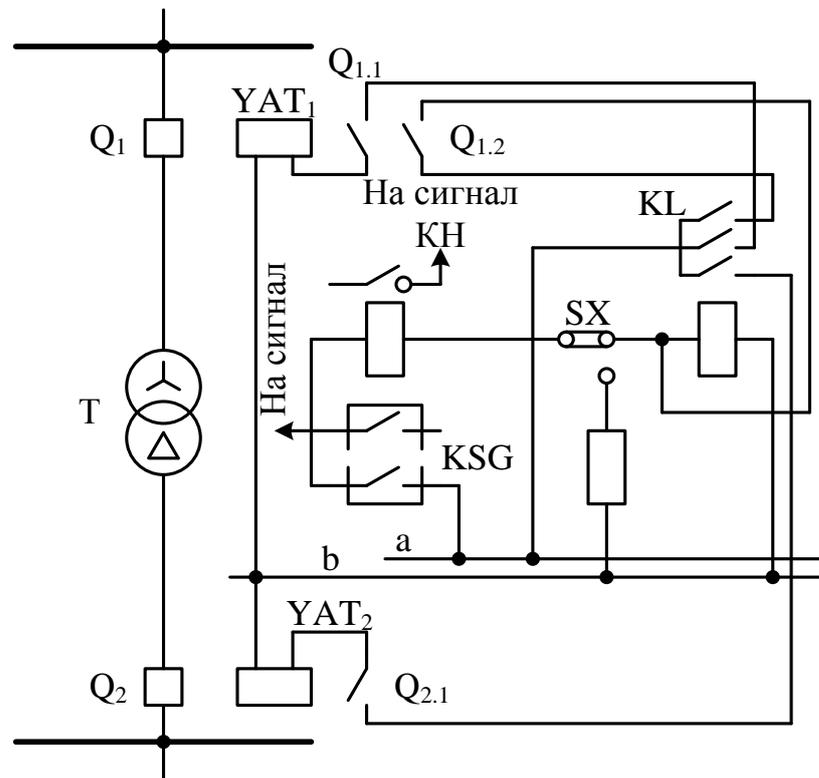


Рисунок 6. Принципиальная схема газовой защиты трансформатора не переменном оперативном токе

Самоудерживание автоматически снимается после разрыва цепи отключения вспомогательным контактом Q1.2 выключателя Q1.

Вопросы, выносимые на экзамен

1. Назначение релейной защиты (РЗ). Виды повреждений и ненормальные режимы в системах электроснабжения.
2. 3х-фазные КЗ, 2х-фазные КЗ, однофазные КЗ. Напряжение и токи в петле КЗ. Распределение напряжений от точки КЗ до источника. Векторные диаграммы напряжений и токов при КЗ.
3. Требования, предъявляемые к РЗ.
4. Реле и их классификация.
5. Электромагнитные реле. Принцип действия и особенности в работе.
6. Поляризованные реле. Герконы.
7. Токовое реле РТ-40. Реле прямого действия РТМ. Реле напряжения РН-50.
8. Вспомогательное реле: промежуточные, указательные, реле времени.
9. Индукционное реле тока РТ-80: устройство, работа, характеристики.
10. Интегральные микросхемы и их применение в релейных защитах (операционные усилители, компараторы, пороговые элементы, триггер Шмитта, и др.)
11. Устройство и работа цифровых реле.
12. Трансформаторы тока: устройство, работа.
13. Схемы соединения трансформаторов тока и их свойства.
14. Токовые фильтры: фильтр тока нулевой последовательности.
15. Фильтр тока обратной последовательности.
16. Магнитные датчики тока.
17. Трансформаторы напряжения: устройство, работа.
18. Схемы соединения трансформаторов напряжения.
19. Фильтры: ФНОП; устройство, работа; ФННП, устройство, работа.

20. Источники оперативного тока; постоянный оперативный ток.
21. Источники переменного оперативного тока.
22. Зарядное конденсаторное устройство.
23. Максимальная токовая защита (МТЗ); назначение; схемное исполнение МТЗ.
24. Настройки МТЗ: определение $I_{ср.МТЗ}$ и выдержки времени ($t_{ср.МТЗ}$)
25. Схемы МТЗ с дешунтированием катушки отключения. МТЗ нулевой последовательности.
26. Токовая отсечка; принцип действия, настройка, применение.
27. Замыкание на землю в сетях с изолированной нейтралью. Компенсация емкостных токов.
28. Схема замещения для токов нулевой последовательности при замыкании на землю. Токораспределение токов нулевой последовательности в реальной электрической сети 6-35 кВ.
29. Устройство контроля изоляции; защита ЧСЗ-М; ЗЗП
30. Максимальная направленная токовая защита (МНЗ); назначение, схемное исполнение.
31. Настройка МНЗ; ток срабатывания ($I_{ср.МНЗ}$), время срабатывания ($t_{ср.МНЗ}$).
32. Индукционное реле мощности; устройство, работа, характеристики.
33. Недостатки МНЗ; схемы подключения реле мощности.
34. Продольная дифференциальная защита; устройство, работа; выбор тока срабатывания дифференциальной защиты ($I_{ср.ДЗ}$). Ток небаланса $I_{нб}$.
35. Поперечная дифференциальная защита; применение.
36. Поперечная направленная дифференциальная токовая защита.
37. Дистанционная защита; принцип действия, защита с трехступенчатой характеристикой срабатывания, схемное исполнение.
38. Полупроводниковые реле полного сопротивления с круговой характеристикой.
39. Высокочастотные каналы по ЛЭП; назначение, устройство.
40. Дифференциально-фазная высокочастотная защита; устройство, работа.
41. Программные защиты. Устройство, работа.
42. Аварийные и ненормальные режимы работы силовых трансформаторов.
43. Требования ПУЭ по защите силовых трансформаторов.
44. Дифференциальная защита трансформаторов и ее особенности в настройке.
45. Устройство и работа реле РНТ-560, ДЗТ-11, РСТ-15.
46. Расчет дифференциальных защит трансформаторов: определения $I_{ср}$, $W_{ур}$, $k_{ч}$. Роль тормозной обмотки W_T . Бросок тока намагничивания и его особенности, где они используются.
47. Газовая защита трансформатора; устройство, работа. Конструкции газовых реле. Требования к монтажу.
48. Назначение и устройство РПН. Автоматизация РПН.
49. Причины появления тока небаланса $I_{нб}$ и меры по их ограничению в дифференциальных защитах силовых трансформаторов.
50. Распределение токов в обмотках трансформатора с соединением обмоток Y/Δ при двухфазном к.з. на стороне НН (Δ).
51. Защита трансформатора от перегрузок и внешних к.з.
52. Защита трансформатора без выключателя на высокой стороне.
53. Цифровые защиты трансформаторов: устройство, работа
54. Цифровая защита СГ: устройство, работа
55. Автоматическое регулирование возбуждения СГ. Назначение и требования к АРВ.
56. Характеристика режима сети 6-35 кВ при замыкании фазы на землю. Схемное замещение, векторные диаграммы.

57. Схема замещения для токов нулевой последовательности. Токораспределение токов нулевой последовательности в распределительных сетях 6-35 кВ.
58. Фильтры токов нулевой последовательности (ФТНП); фильтры напряжения нулевой последовательности. Требования при установке.
59. Схемы защит от замыкания на землю: а) Токовая защита нулевой последовательности. Схемное исполнение, настройка, недостатки. Реле нулевой последовательности РТЗ-51;
б) Направленные защиты нулевой последовательности. Схемное исполнение. Защита типа ЗЗП-1М. Импульсное реле направления мощности;
в) Защиты, реагирующие на высшие гармоники тока замыкания. Схемы устройства УСЗ-2/2, УСЗ-3М, их работа;
г) Схемы, реагирующие на токи переходного режима (i-разрядный и i-зарядный); схема распределения переходных токов (i-разрядный и i-зарядный) при замыкании; знаки волн тока, напряжения, мгновенной мощности при замыкании на землю. Схемное исполнение РЗ.
60. Максимальные токовые защиты от к.з. в сети с глухозаземленной нейтралью. Распределение токов нулевой последовательности при однофазном к.з.
61. Ненаправленная МТЗ нулевой последовательности. Устройство, работа, настройка.
62. Направленная токовая защита нулевой последовательности. Устройство, работа, настройка.
63. Виды всех возможных защит применяемых от повреждений и ненормальных режимов ЛЭП. Их краткая характеристика и настройка.
64. Цифровая защита ЛЭП: устройство, работа.
65. Высокочастотные каналы воздушных ЛЭП. Дифференциально-фазовая высокочастотная защита: устройство, работа.
66. Защита сборных шин.
67. Роль и требования к АПВ. Классификация.
68. Схема и работа механического однократного АПВ.
69. Схема и работа электрического однократного АПВ.
70. Работа АПВ на межсистемных ЛЭП. Уравнивающие токи. Напряжение биения. Реле контроля синхронизма.
71. АПВ с ожиданием синхронизма. Устройство, работа.
72. АПВ с улавливанием синхронизма. Устройство, работа.
73. Ключи управления.
74. Назначение и роль АЧР; баланс мощностей в энергосистеме. Регулирующий эффект нагрузки. Очереди АЧР.
75. Реле частоты РЧ-1; устройство, работа.
76. Назначение АВР. Холодный и горячий резерв. АВР источников, ЛЭП, трансформаторов, секционных шин. Пусковые органы АВР. Схемы.

Используемая литература

1. Булычев, А. В. Релейная защита в распределительных электрических сетях. / А. В. Булычев ;. – Москва: ЭНАС, 2011. – 206 с.
2. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения/ Г. Н. Ополева. – Москва: ФОРУМ. – [Б. м.] : ИНФРА-М, 2008. – 480 с.
3. Фролов, Ю. М. Основы электроснабжения [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин; Издательство "Лань" (ЭБС). – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 432 с.
4. Андреев В.А. Релейная защита и автоматизация системы электроснабжения. – М.: Высшая школа, 2006 .