

**Горная
книга**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»

Председатель
Л.А. ПУЧКОВ

Зам. председателя
Л.Х. ГИТИС

Члены редсовета
А.А. БАРЯХ

А.П. ДМИТРИЕВ

В.Н. ЗАХАРОВ

Д.Р. КАПЛУНОВ

Б.А. КАРТОЗИЯ

А.В. КОРЧАК

М.В. КУРЛЕНЯ

В.Н. ОПАРИН

В.Л. ПЕТРОВ

И.Ю. РАССКАЗОВ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

В.А. ЧАНТУРИЯ

В.Л. ШКУРАТНИК

чл.-корр. РАН

директор
Издательства
«Горная книга»

директор ГИ УрО РАН

академик РАЕН

директор ИПКОН РАН

чл.-корр. РАН

академик РАЕН

академик МАН ВШ

академик РАН

чл.-корр. РАН

академик МАН ВШ

директор ИГД ДВО РАН

академик РАН

академик РАН

зав. кафедрой МГТУ

Л.А. Плащанский

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

РАЗДЕЛ «РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА»

*Допущено Учебно-методическим объединением
вузов Российской Федерации по образованию
в области горного дела в качестве учебного
пособия для студентов вузов, обучающихся
по специальности «Электрификация
и автоматизация горного производства»*



МОСКВА

♦ ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»

♦ 2013

УДК 621.31:622.3.012
ББК 32.211
П37

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253—03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.014367.12.12

Рецензенты:

- канд. техн. наук, проф. *А.Д. Яризов* (кафедра «Теоретическая электротехника и электрификация нефтяной и газовой промышленности» Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина);
- д-р техн. наук, проф. *А.Т. Ерыгин* (ведущий научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр РАН)

Плащанский Л.А.

П37 Электроснабжение горного производства. Релейная защита: Учебное пособие. — М.: Издательство «Горная книга», 2013. — 299 с.: ил.

ISBN 978-5-98672-332-7 (в пер.)

Изложены вопросы, связанные с защитой электроустановок и линий, использующих различные средства, включая микропроцессорные модули SEPAM. Рассмотрены варианты согласования терминов SEPAM с различными типами реле. Представлены требования, предъявляемые к релейной защите, элементам защиты, источникам оперативного тока. Рассмотрены функции защиты от внешних коротких замыканий в электроустановках напряжением выше 1 кВ, защиты силовых трансформаторов, синхронных и асинхронных электродвигателей, КРУ, ТПА, шинных конструкций, воздушных и кабельных линий. Приведены методики расчета уставок защит и проверки правильности выбора уставок защиты.

Для студентов вузов, обучающихся по специализации «Электрификация и автоматизация горного производства» направления подготовки «Горное дело», а также магистров, аспирантов и специалистов, занимающихся вопросами релейной защиты.

ISBN 978-5-98672-332-7

УДК 621.31:622.3.012
ББК 32.211



© Л.А. Плащанский, 2013
© Издательство «Горная книга», 2013
© Дизайн книги.
Издательство «Горная книга», 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Со времени выхода в свет предыдущего издания (2005 г.) в области релейной защиты появились определенные изменения. На электротехническом рынке устойчивое положение заняли микропроцессорные устройства, которые широко стали применяться для защиты генераторов, трансформаторов, электрических сетей различного назначения. Это вызывает определенные трудности при проектировании и эксплуатации новых устройств из-за недостаточной информированности будущих специалистов в этой области.

Поэтому настоящее пособие стремится рассмотреть те общие принципы построения отдельных элементов и схем релейной защиты, которые не зависят от элементной базы и являются общими, и в то же время представить новую элементную базу, схемные решения и их характеристики, позволившие значительно уменьшить габариты и повысить надежность. Новые решения представлены разработками известной электротехнической фирмы Schneider Electric серии SEPAM.

Пособие переработано, введены новые главы с анализом и схемными решениями представленной серии SEPAM. Технические решения, использованные при разработке серии SEPAM 1000+, позволили создать фактически новые универсальные устройства широкого спектра применения в сетях напряжением 6–35 кВ, обладающие всеми стандартными функциями микропроцессорных устройств. Они построены по модульному принципу и позволяют программное формирование защит.

На практике используются многофункциональные программируемые устройства различного назначения SEPAM 20, SEPAM 40 и SEPAM 80.

SEPAM серии 20 представляет собой терминал для простых защит одного присоединения на основе измерения токов и напряжений: защита воздушных линий со встроенным АПВ; защита вводов и фидеров подстанций от междуфазных КЗ

и замыканий на землю, защита электродвигателей, трансформаторов и шин.

SEPAM серии 40 обеспечивают выполнение направленных защит. Используется серия в кольцевых схемах питания или в сетях с вводами, работающих параллельно; для защиты от замыканий на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью, резистивнозаземленной нейтралью и изолированной. Эта серия снабжена логическим редактором, позволяющим реализовывать различные функции автоматики.

Для защиты любого электрооборудования в сетях напряжением 6–35 кВ и силовых трансформаторов на напряжение 110 (220) кВ рекомендуется серия 80. Серия снабжена всеми видами защит, имеет большое число входов и выходов, расширенный редактор логических уравнений, что позволяет применять ее в устройствах сложной системной автоматики.

Все замечания и предложения по учебному пособию автор примет с признательностью.

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

В процессе эксплуатации электрических сетей и электроустановок возникают повреждения и аномальные режимы работы, приводящие к резкому увеличению тока и понижению напряжения в элементах системы электроснабжения. Особенно опасны короткие замыкания (КЗ).

Короткое замыкание может быть внутренним, если происходит в защищаемом электрооборудовании, или внешним, если происходит в сети. КЗ может быть самозатухающим, когда время жизни его мало и защита не включается; переходящим, устраняемое защитой после отключения с последующей установкой защиты в рабочий режим; неустраняемым после отключения защитой.

Различают следующие виды КЗ: трехфазные, при котором токи КЗ достигают наибольшей силы; двухфазные; двухфазные на землю и однофазные КЗ на землю, наиболее часто встречающиеся на горных предприятиях (рис. 1.1).

При КЗ возникают резкие провалы напряжения, оборудование испытывает резкие электродинамические усилия, способные вызвать разрыв цепи; перегрев, приводящий к разрушению изоляции и расплаву проводов.

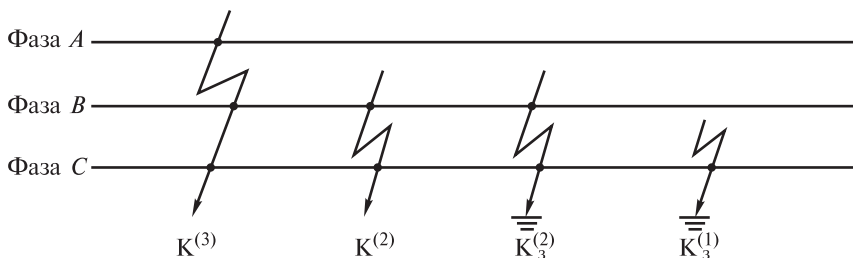


Рис. 1.1. Виды коротких замыканий

В большинстве случаев при КЗ возникает электрическая дуга с высокой температурой, приводящей к разрушению электрических аппаратов, изоляторов и токоведущих частей. Так как при КЗ к месту повреждения притекают большие токи, то возможен перегрев неповрежденных токоведущих частей, что вызывает развитие аварии.

При нормальной работе и симметричном режиме расчет токов КЗ сводится к расчету однофазной эквивалентной схемы, для которой характерно напряжение, ток и сопротивление короткозамкнутой цепи. При возникновении несимметрии в работе или топологии сети это сопротивление уже не характеризует электрическое соотношение в проводниках. В этом случае используют метод разложения на симметричные составляющие, который позволяет фактическую систему представить в виде трех независимых однофазных цепей, т.е. цепи прямой последовательности (d), обратной (i) и нулевой (o).

Для каждой системы напряжения U_d , U_i и U_o и токи I_d , I_i и I_o связаны через полные сопротивления Z_d , Z_i и Z_o . Разложение трехфазной сети можно представить в виде:

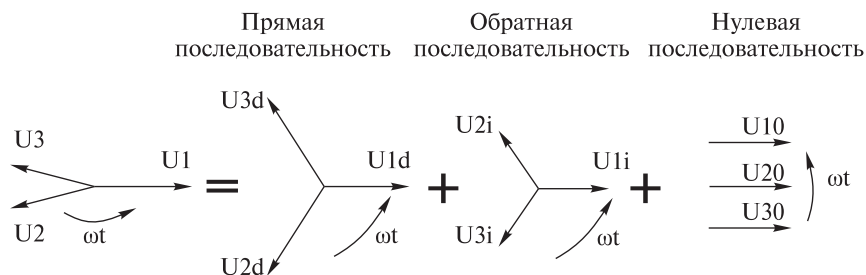


Рис. 1.2. Разложение трехфазной системы на симметричные составляющие

Таким образом значения напряжений можно определить по формулам:

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{U}_d + \dot{U}_i + \dot{U}_o; & \dot{U}_d &= 1/3(\dot{U}_1 + a\dot{U}_2 + a^2\dot{U}_3); \\ \dot{U}_B &= a^2\dot{U}_d + a\dot{U}_i + \dot{U}_o; & \dot{U}_i &= 1/3(\dot{U}_1 + a^2\dot{U}_2 + a\dot{U}_3); \\ \dot{U}_C &= a\dot{U}_d + a^2\dot{U}_i + \dot{U}_o; & \dot{U}_0 &= 1/3(\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3). \end{aligned} \quad (1.1)$$

Для сетей значения полного сопротивления прямой, обратной, нулевой последовательности и какого-либо элемента сети могут быть представлены значениями полного сопротивления этого элемента, работающего в сети напряжения, соответственно, трехфазной системы прямой последовательности, трехфазной системы обратной последовательности и системы «фаза—земля» по трем параллельным фазам. В трансформаторах при замыкании на землю возникает составляющая нулевой последовательности, создающая поле нулевой последовательности внутри бака трансформатора. В электродвигателях составляющая прямой последовательности создает вращающееся поле полезной работы, в то время как составляющая обратной последовательности порождает тормозящее вращающееся поле.

Для обеспечения надежного электроснабжения, предотвращения разрушения оборудования электроустановок и сохранения устойчивой работы элементов системы необходимы возможно быстрое отключение поврежденного участка или элемента, а также ликвидация опасного аномального режима. В основном для этих целей используют специальные автоматические устройства в виде релейной защиты, отключающей выключатели.

При отключении выключателей электрическая дуга в месте повреждения гаснет, прохождение тока КЗ прекращается и восстанавливается напряжение на неповрежденной части сети.

При нарушении нормального режима работы иногда нет необходимости в отключении электрооборудования, а достаточно дать предупредительный сигнал обслуживающему персоналу на подстанции; при его отсутствии — оборудование автоматически отключается, но обязательно с выдержкой времени.

Одним из основных видов аномальных режимов являются перегрузки, представляющие серьезную опасность для изоляции электродвигателей, трансформаторов и генераторов. Защита от перегрузок осуществляется с выдержкой времени большей, чем у защит от КЗ. Защита от перегрузок в сетях не предусматривается, так как в правильно спроектированной сети перегрузки маловероятны. Для некоторых видов электрооборудования характерны специфические повреждения и аномальные режимы, а именно недопустимое снижение напряжения при самозапуске

электродвигателей; витковые замыкания у трансформаторов и понижение уровня масла в кожухе; витковые замыкания и повышение напряжения в обмотке статора, замыкания в цепи возбуждения генераторов; однофазные замыкания.

Таким образом, релейной защитой (РЗ) называют защиту электрических установок от возможных повреждений и аномальных режимов работы, осуществляемую посредством автоматических устройств (контактных, бесконтактных). Основным назначением РЗ являются выявление места повреждения и быстрое автоматическое отключение выключателем поврежденного участка или оборудования, а также обнаружение нарушения нормального режима работы с последующей подачей предупредительного сигнала обслуживающему персоналу или отключением оборудования с выдержкой времени.

Для предупреждения каждого из перечисленных повреждений необходим свой вид релейной защиты, в соответствии с чем, для отдельных элементов электроустановок рекомендуются следующие наборы защит:

1) для генераторов — от внешних КЗ, перегрузок, многофазных замыканий, однофазных замыканий на землю, замыканий между витками одной фазы в обмотке статора, замыканий на корпус в цепи возбуждения и повышения напряжения в обмотке статора;

2) для силовых трансформаторов — от внешних КЗ, перегрузок, многофазных замыканий, однофазных замыканий на землю, витковых замыканий в обмотках, понижения уровня масла в кожухе трансформатора;

3) для воздушных и кабельных линий — от многофазных замыканий, однофазных замыканий на землю и внешних КЗ;

4) для синхронных и асинхронных электродвигателей — от многофазных замыканий, однофазных замыканий на землю, перегрузок, снижения напряжения и асинхронного режима для СД;

5) для конденсаторных установок — от КЗ, повышения напряжения и перегрузок токами высших гармоник при наличии в сети вентильных преобразовательных и выпрямительных установок.

Для защиты ряда электроустановок вместо автоматических выключателей и РЗ следует применять предохранители или открытые плавкие вставки. Если они выбраны с требуемыми параметрами, то обеспечивают селективность и чувствительность и не препятствуют применению автоматики.

Для изображения на чертежах схем РЗ применяются специальные условные обозначения электрических машин, трансформаторов, электрических аппаратов, приборов, реле, контактов и т.д. в соответствии с Государственными стандартами, входящими в седьмую классификационную группу ЕСКД [2].

Предохранители и устройства РЗ от многофазных замыканий являются основными средствами защиты, однако, в случае выхода их из строя в качестве резервной для сетей, трансформаторов и генераторов предусматривается защита от внешних коротких замыканий. Такая защита осуществляет отключение только с определенной выдержкой времени, так как предназначена для работы только при отказе основной защиты.

В устройствах РЗ рекомендуется, по соображениям снижения стоимости электроустановок, применять реле прямого действия в отличие от схем, где используются реле косвенного действия.

Наиболее распространены следующие виды схем релейной защиты: принципиальные совмещенные, принципиальные развернутые, монтажные и структурные.

Принципиальные совмещенные схемы наиболее наглядно показывают связь между реле и другими аппаратами и последовательность их действия, однако для сложных схем РЗ и автоматики удобнее принципиальные развернутые схемы, выполненные по отдельным цепям: тока, напряжения, оперативного тока, сигнализации и т.д. В этих схемах реле могут изображаться в одной части схемы, а их контакты — в другой.

Монтажные схемы представляют собой рабочие чертежи, по которым производится монтаж панелей РЗ, автоматики, сигнализации. Схемы, отражающие все фактические соединения, выполненные при монтаже и наладке, называются исполнительными.

Для изображения общей структуры устройств РЗ без выделения отдельных реле и других аппаратов используются структурные схемы, на которых надписями указываются назначения отдельных блоков, узлов, органов.

При проектировании РЗ и автоматики должны учитываться: схемы первичных соединений сетей и подстанций, необходимый уровень надежности электроснабжения электроприемников; их режимы работы, включая переходные; технические требования, предъявляемые к защите электрооборудования, технические требования энергосистемы; возможные виды повреждений и аномальных режимов работы. Как правило используются устройства, выполненные электромеханическими или полупроводниковыми реле, а также комплектные устройства РЗ и автоматики с измерительными и функциональными органами на интегральных микросхемах.

В настоящее время на электротехнический рынок России широко поставляется электрооборудование известной фирмы Schneider Electric. Это оборудование включает и микропроцессорные (цифровые) устройства серии SEPAM.

Широкое распространение получила серия микропроцессорных защит SEPAM 1000+. Технические решения, принятые при разработке этой серии, позволили создать универсальные устройства для сетей напряжением 6–35 кВ. Они имеют модульную конструкцию, обеспечивают программное формирование защит и обладают стандартными функциями микропроцессорных защит: измерением, релейной защитой, самодиагностикой, диагностикой работы коммутационного аппарата и сети, системной автоматикой, позволяют осуществлять осциллографирование и выход на АСУ по соответствующему интерфейсу. Это позволяет применять в системах РЗ и автоматики многофункциональные программируемые устройства. Различают три серии электронных аппаратов SEPAM: серия 20, серия 40 и серия 80.

SEPAM серия 20 используется в относительно простых защитах одного присоединения, основанных на измерении напряжений и токов (защита ВЛ со встроенным АПВ, защита трансформаторов малой мощности напряжением 6–10 кВ от

перегрузок, защита фидеров подстанций от КЗ и замыканий на землю, защита электродвигателей от внутренних повреждений, контроль режима пуска, включая защиту от перегрузок).

SEPAM серии 40 позволяют одновременно измерять напряжение и ток, поэтому обеспечивают реализацию токовых направленных защит. Эта серия используется в кольцевых сетях и на параллельных вводах, для защиты от замыканий на землю в сетях с глухозамкнутой нейтралью, изолированной нейтралью и в сетях с заземлением нейтрали через резистор. Эта серия имеет редактор логических уравнений, который позволяет реализовать различные функции автоматики.

Серия 80 используется для защиты любого электротехнического оборудования в сетях напряжением 6–35 кВ и трансформаторов напряжением 110(220) кВ. Устройства этой серии включают все необходимые защиты, имеют большое количество дискретных входов и выходов реле, а также расширенный редактор логических уравнений, что позволяет использовать такие терминалы в устройствах сложной системной автоматики. Очень важно, что такие терминалы позволяют строить токовременные характеристики. Используются они для защиты силовых трансформаторов напряжением 35–220 кВ, мощных асинхронных и синхронных электродвигателей, трансформаторных вводов 6–10 кВ, а также генераторов.

При применении устройств РЗ функции защит кодируются в соответствии с таблицей кодов стандарта ANSI C37.2 (American National Standards Institute — Американский национальный институт стандартов) (табл. 1.1).

Серия SEPAM 2000 обладает более высокими характеристиками и используется в тех случаях, когда к защите электрооборудования предъявляются строгие требования. Благодаря встроенному программируемому контроллеру и интерфейсу связи с централизованной системой управления или с системой диспетчеризации эта система располагает широкими возможностями управления и контроля.

Каждый модуль поставляется со стандартной программой управления и сигнализации, что дает возможность использовать ее без дополнительного проектирования и программирования.

**Основные стандарты ANSI C37.2 функций устройств РЗ,
реализованных в терминалах SEPAM**

Код ANSI	Наименование функции защиты	Назначение защиты
9	Устройство реверса	Элемент, используемый для изменения полярности возбуждения электрической машины или выполняющий функцию реверса
12	Защита от максимальной частоты вращения электрических машин	Определение повышенной частоты вращения машин
15	Электронный потенциометр	Переводит измеряемую физическую величину (например, частоту вращения дизеля-генератора) в токовый сигнал 0–20 мА
18	Устройства разгона/торможения	Устройство, инициирующее включение цепей, обеспечивающих увеличение/снижение скорости агрегата
14	Защита от минимальной частоты вращения электрических машин	Определение пониженной частоты вращения машин
21	Дистанционная защита	Измерение полного сопротивления
21B	Защита полного минимального сопротивления	Резервная защита генератора от междоузльных КЗ
21G	Трехфазная защита минимального сопротивления	Трехфазная защита минимального сопротивления
23	Устройство контроля температуры	Действует на увеличение или снижение температуры машины, аппарата или среды, если температура последних снижается или поднимается ниже установленных пределов
24	Защита от перевозбуждения	Контроль перенасыщения
25	Контроль синхронизма	Контроль синхронизма/контроль напряжения (разрешенного соединения двух частей электрической сети)
26	Термореле	Тепловая защита от перегрузок
27	Защита минимального напряжения	Защита от снижения напряжения
27D	Защита минимального напряжения прямой последовательности	Защита двигателей от понижения или несимметричного напряжения питания

Код ANSI	Наименование функции защиты	Назначение защиты
27R	Защита минимального напряжения, однофазная	Контроль исчезновения напряжения, поддерживаемого вращающимися машинами после отключения питания
27TN	Защита минимального напряжения нулевой последовательности 3-й гармоники	Обнаружение замыкания на землю в изоляции статорных обмоток электрических машин при резисторном заземлении нейтрали)
30	Сигнальное реле	Устройство, не имеющее функцию автоматической переустановки (сброса), подающее серию раздельных визуальных сигналов о срабатывании устройств защиты; может быть использовано для выполнения функций блокировки
32P	Максимальная защита активной мощности, направленная	Защита с контролем максимального значения активной мощности
32Q	Максимальная защита реактивной мощности, направленная	Защита с контролем максимального значения реактивной мощности
36	Устройство контроля полярности напряжения	Устройство, срабатывающее или разрешающее включение другого устройства при определенной полярности напряжения или контролирующее наличие заданного напряжения смещения
37	Минимальная токовая защита в фазах	Трехфазная защита от снижения тока нагрузки
37P	Минимальная защита активной мощности, направленная	Защита с контролем минимального значения активной мощности
37Q	Минимальная защита реактивной мощности, направленная	Защита с контролем минимального значения реактивной мощности
38	Контроль температуры (осевых) подшипников	Защита от перегрева подшипников электрических машин
40	Защита от асинхронного режима с потерей возбуждения	Защита синхронных машин от асинхронного режима или потери возбуждения
46	Максимальная токовая защита обратной последовательности	Защита от небаланса фазных токов или обрыва фаз

Код ANSI	Наименование функции защиты	Назначение защиты
46R	Максимальная токовая защита обратной последовательности от обратного чередования фаз	Максимальная токовая защита от обратного чередования фаз
47	Защита максимального напряжения обратной последовательности	Защита по напряжению обратной последовательности для обнаружения обратного направления вращения вращающейся машины
50	Контроль мгновенного нарастания тока	Защита фиксирует скорость нарастания тока при междуфазных КЗ
50G/N	Контроль мгновенного нарастания тока при замыканиях на землю	Защита фиксирует скорость нарастания тока при 033
50 BF	Контроль неисправности выключателя	Защита контролирует исправность выключателя (УРОВ)
48; 51LR	Защита от затянутого пуска и блокировки ротора электрической машины	Защита двигателей при запуске с перегрузкой или при недостаточном напряжении и защита от блокировки ротора, вызванная нагрузкой
51NC	Защита от тока небаланса	Защита от тока небаланса батареи конденсаторов
49	Тепловая защита	Защита от перегрузок, «псевдотепловая» защита
49F	Трехфазная защита кабелей от тепловой перегрузки	Трехфазная защита кабелей от тепловой перегрузки, «псевдотепловая» защита
49M/49G/ 49T	Трехфазная защита двигателя, генератора и трансформатора от перегрузки	Трехфазная защита двигателя, генератора и трансформатора, «псевдотепловая» защита
50	Максимальная токовая защита в фазах, мгновенная	Трехфазная защита от междуфазных КЗ
50/51B	Максимальная токовая защита в фазах, мгновенная	Быстродействующая трехфазная защита от междуфазных КЗ (первая ступень)
50BF	Защита от отказов выключателя (УРОВ)	Резервная защита в случае отказа выключателя после команды «отключение»
50N или 50G	Максимальная токовая защита от замыкания на землю, мгновенная	Защита от замыканий на землю: 50N: вычисление или измерение тока нулевой с помощью трех трансформаторов тока;

Код ANSI	Наименование функции защиты	Назначение защиты
		50G: прямое измерение тока нулевой последовательности с помощью трансформатора
50V	Максимальная токовая защита в фазах с коррекцией по напряжению, мгновенная	Трехфазная защита от междуфазных КЗ с токовой уставкой, корректируемой по напряжению
50/27	Защита генератора от ошибочного включения в сеть	Защита от ошибочного включения генератора в сеть
51	Максимальная токовая защита в фазах, с выдержкой времени	Трехфазная защита от перегрузок и междуфазных КЗ
51N или 51G	Максимальная токовая защита на землю, с выдержкой времени	Защита от замыканий на землю: 51N: вычисление или измерение тока нулевой последовательности с помощью трех трансформаторов тока; 51G: прямое измерение тока нулевой последовательности с помощью одного датчика (трансформатора тока или тора)
51V	Максимальная токовая защита в фазах с коррекцией по напряжению, с выдержкой времени	Трехфазная защита от междуфазных КЗ с корректируемой токовой уставкой по напряжению
59	Защита максимального напряжения	Защита от недопустимого повышения напряжения
59N	Защита максимального напряжения нулевой последовательности	Защита от повреждения изоляции (от однофазных замыканий на землю)
60	(FUSEF) Контроль исправности цепей переменного напряжения	Защита, выполняющая контроль исправности цепей переменного напряжения
63	Контроль давления	Обнаружение внутреннего повреждения трансформатора (газовое реле на основе датчика давления)
64REF	Дифференциальная защита от замыканий на землю	Защита от замыканий на землю трехфазных обмоток, соединенных по схеме «звезда» с заземленной нейтралью
64G	100% защита статора генератора	Обнаружение замыканий на землю изоляции статорных обмоток

Код ANSI	Наименование функции защиты	Назначение защиты
66	Защита ограничения количества пусков электродвигателя	Защита, обеспечивающая контроль количества пусков двигателя
67	Максимальная токовая направленная защита в фазах	Трехфазная защита (от коротких замыканий}, действующая в зависимости от направления мощности к месту повреждения
67N/67NC	Максимальная токовая направленная защита от замыканий на землю	Защита от замыканий на землю в зависимости от направления тока повреждения [NC — для сетей с компенсированной нейтралью]
68	Контроль за бросками тока	Обнаружение броска тока намагничивания трансформатора или пускового тока электродвигателя
78	Контроль синхронной работы синхронных машин	Реле, срабатывающее при заданном значении угла между напряжениями двух систем или током и напряжением
78PS	Потеря синхронизма (pole-slip)	Защита синхронных машин от потери синхронизма (реле качания мощности)
79	Автоматическое повторное включение (АПВ)	Автоматическое повторное включение выключателя после отключения при неустойчивом повреждении в линии
81H	Защита максимальной частоты	Защита от недопустимого повышения частоты
81L	Защита минимальной повышения	Защита от недопустимого снижения частоты
81R	Защита по производной от частоты	Защита действует в случае быстрого разъединения двух частей электрической сети
81 U/81O	Защита от повышения/снижения скорости изменения частоты	Защита от недопустимого повышения/снижения и скорости изменения частот
87 B	Дифференциальная защита сборных шин	Трехфазная защита от внутренних повреждений сборных шин
87G	Дифференциальная защита генератора	Трехфазная защита от внутренних повреждений генераторов переменного тока; трехфазная дифференциальная защита, ступень с торможением, дифференциальная отсечка
87 L	Дифференциальная защита линии	Трехфазная защита от внутренних повреждений линии

Код ANSI	Наименование функции защиты	Назначение защиты
87 М	Дифференциальная защита двигателя	Трехфазная защита от внутренних повреждений двигателя
87N	Продольная дифференциальная защита от замыканий на землю	Высокоимпедансная продольная дифференциальная защита от замыканий на землю
87Т	Дифференциальная защита трансформатора	Трехфазная защита от внутренних повреждений трансформатора
94	Реле отключения или реле свободного расцепления	Срабатывание реле приводит к отключению выключателя, контактора, иного аппарата или выдает сигнал на отключение, осуществляемое промежуточным устройством; срабатывание реле блокирует немедленное повторное включение, если есть запрет со стороны автоматики, даже если цепь включения выключателя остается активной

SEPAM 2000 может быть интегрирована в систему управления электроснабжением путем набора стандартных модификаций: достаточно по таблице функций выбрать модуль для соответствующего элемента системы электроснабжения: подстанция — сборные шины — трансформатор — электродвигатель — конденсатор, генератор. Структурное построение модуля позволяет заменить амперметр, вольтметр, ваттметр, счетчики активной и реактивной энергии, фазометры и др.

Модуль связи обеспечивает измерение электрических величин, сигнализацию, управление аппаратурой, считывание и изменение регулировок и уставок, диагностику сети, осциллографирование аварийных режимов.

Весьма совершенна дифференциальная защита трансформаторов. Модули SEPAM 2000 Д21, Д22, Д31 предназначены для трансформаторов, автотрансформаторов или блока «трансформатор-электродвигатель». Блоки Д21 и Д22 предназначены для защиты двухобмоточных трансформаторов, а Д31 — трехобмоточных. Они осуществляют полную защиту от внутренних неисправностей трансформатора; дифференциальную защиту

от замыканий на землю; обработку информации, поступающей от термостата, газового реле или ТТ в цепи нейтрали; обладают простотой ввода в эксплуатацию благодаря использованию теории нейронных сетей; ограниченное число регулировок; не требуется согласующий трансформатор; позволяют измерять токи во всех обмотках трансформатора и сдвиг фаз, остаточные токи, сквозные токи; запоминание сквозных и дифференциальных токов при неисправности; запись осциллограмм аварийных режимов.

Для обеспечения полной адаптации с требованиями заказчика в SEPAM есть возможность изменения или добавления новых функций управления и сигнализации путем программирования на языке Logipam.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Причины и виды коротких замыканий.
2. Какие защиты предусматриваются для различных элементов СЭС?
3. Какие используются схемы релейной защиты?
4. Что собой представляют модульные устройства защиты серии SEPAM?
5. Как классифицируются функции защиты, реализованных в терминалах SEPAM, по стандарту ANSI?

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

К релейной защите от повреждений и аномальных режимов работы предъявляют следующие основные требования: 1) селективность; 2) быстродействие; 3) надежность; 4) чувствительность.

Селективностью или избирательностью защиты называется способность ее отключать при коротких замыканиях только поврежденный участок ближайшими к нему выключателями. Так, при КЗ в т. К1 (рис. 2.1) должна сработать защита только на выключателе QF1 и отключить этот выключатель. При этом остальная неповрежденная часть электроустановки остается в работе. Если же неправильно сработает защита и отключится выключатель QF5, то следствием такого неселективного срабатывания будет отключение неповрежденных электродвигателей.

Таким образом, требование селективности является основным условием для обеспечения надежного питания потребителей.

Для обеспечения надлежащей селективности защиты электрических сетей используют следующие способы:

- временная селективность с выдержкой времени;
- селективность по току;
- логическая селективность;

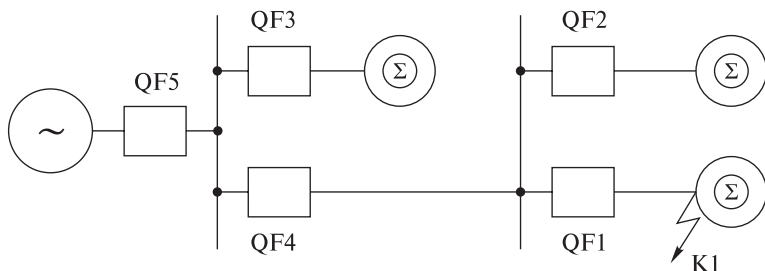


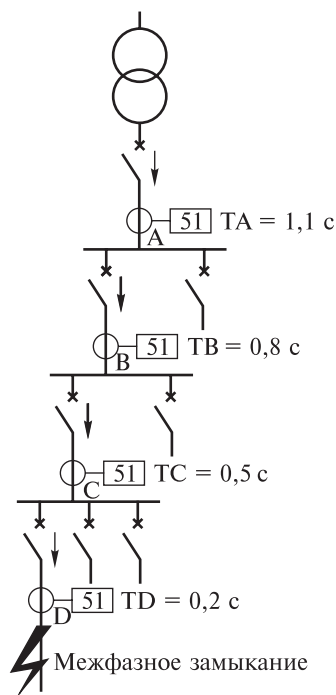
Рис. 2.1. Схема, поясняющая принцип селективности релейной защиты

- селективность с функциями направленной защиты;
- селективность с функциями дифференциальной защиты;
- комбинированная система для обеспечения наилучших общих показателей (технических и экономических) или соответствующего уровня резервирования.

Временная селективность

При временной селективности создаются различные выдержки времени для защит на различных уровнях системы электроснабжения: чем реле ближе к источнику питания, тем больше выдержка времени.

На схеме электроснабжения (рис. 2.2) видно, что межфазное КЗ на уровне Д фиксируется всеми защитами (А, В, С и Д). Однако защита уровня Д срабатывает быстрее, чем защита уровня С и т.д.



После отключения выключателя Д и устранения тока повреждения не опрашиваемые более защиты С, В и А возвращаются в исходное положение.

Разность времени срабатывания двух последовательных защит называют интервалом селективности, который определяется (рис. 2.3) по формуле:

$$\Delta T \geq T_{\text{выкл}} + t_{\text{ист}} + dT + m, \quad (2.1)$$

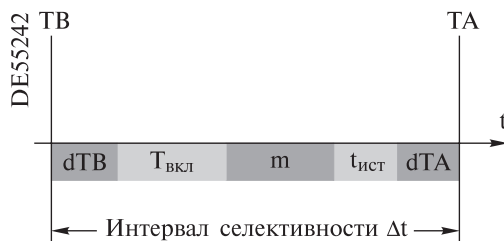


Рис. 2.2. Принцип построения временной селективности

Рис. 2.3. Составляющие интервала селективности

Рис. 2.4. Временная селективность в радиальной сети

где $T_{\text{выкл}}$ — время отключения выключателя со стороны нагрузки; dT — допуск выдержки времени; $t_{\text{ист}}$ — время превышения защиты со стороны источника питания; m — запас безопасности.

Недостатком временной селективности является то, что при наличии большого числа каскадных реле защита, расположенная ближе к источнику питания и имеющая наибольшую выдержку времени, создает «запретительное» время устранения неисправности, не совместимое со стойкостью оборудования к токам КЗ.

Изложенный принцип селективности используется в радиальных сетях (рис. 2.4), в которых выдержка времени срабатывает, если значение тока превышает ток срабатывания реле (порог срабатывания). Различают два варианта в схемах временной селективности в зависимости от характера выдержки времени, когда используется реле с независимой выдержкой времени (рис. 2.5) и с зависимой (рис. 2.6).

Для реле с независимой выдержкой времени необходимо условия:

$$I_{sA} > I_{sB} > I_{sC} \text{ и } T_A > T_B > T_C. \quad (2.2)$$

Интервал селективности ΔT обычно составляет 0,3 с.

Для реле с зависимой выдержкой времени согласованность пороговых уставок обеспечивается, если регулировка порогов

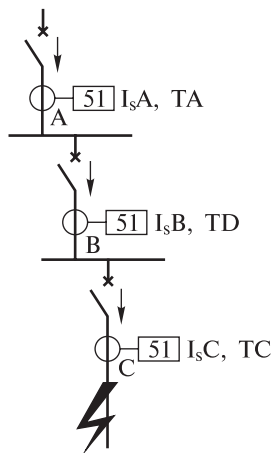
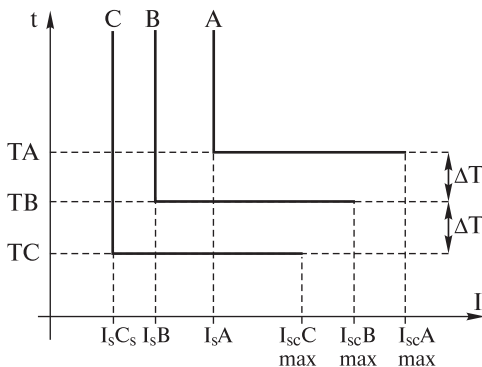


Рис. 2.5. Временная селективность для реле с независимой выдержкой времени



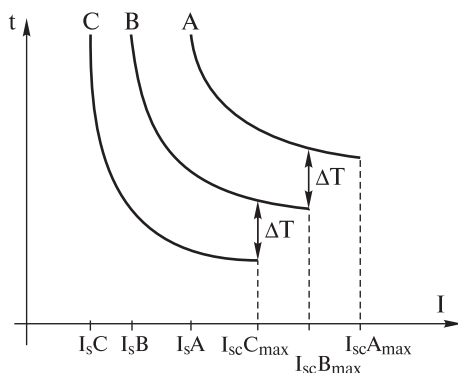


Рис. 2.6. Временная селективность для реле с зависимой выдержкой времени

произведена по установленному (пороговому) току I_{π} и защит от КЗ:

$$I_{\pi}A > I_{\pi}B > I_{\pi}C, \quad (2.3)$$

$$I_{SA} = I_{\pi}A; \quad I_{SB} = I_{\pi}B;$$

$$I_{SC} = I_{\pi}C,$$

где I_{SA} , I_{SB} , I_{SC} — ток уставки реле в фазах А, В и С.

Регулировка выдержки времени осуществляется для получения интервала селективности ΔT при максимальном значении тока, который фиксируется защитой со стороны потребителя.

Токовая селективность

Этот тип селективности основан на изменении тока КЗ по мере удаления от источника питания, т.е. чем дальше от источника, тем больше сопротивление короткозамкнутой цепи и меньше ток КЗ.

Токовая защита размещается в начале каждого участка сети, порог срабатывания принимается меньше минимального значения тока КЗ на защищаемом участке и больше максимально возможного тока со стороны потребителя (вне защищаемой зоны).

При таком размещении защиты она срабатывает только при повреждении, произошедшем со стороны потребителя (относительно расположения этой защиты), т.е. внутри защищаемой зоны. Она будет не чувствительной к КЗ вне зоны защиты. Такая защита используется на линиях с трансформаторами (рис. 2.7).

Величина уставки определяется:

$$I_{cc}B_{\max} < I_{SA} < I_{cc}A_{\min}, \quad (2.4)$$

где I_{SA} — ток уставки, $I_{cc}B_{\max}$ — ток на первичной обмотке при максимальном токе КЗ на вторичной обмотке ($I_{K3}^{(3)}$); $I_{cc}A_{\min}$ — минимальный ток (пусковой) со стороны потребителя.

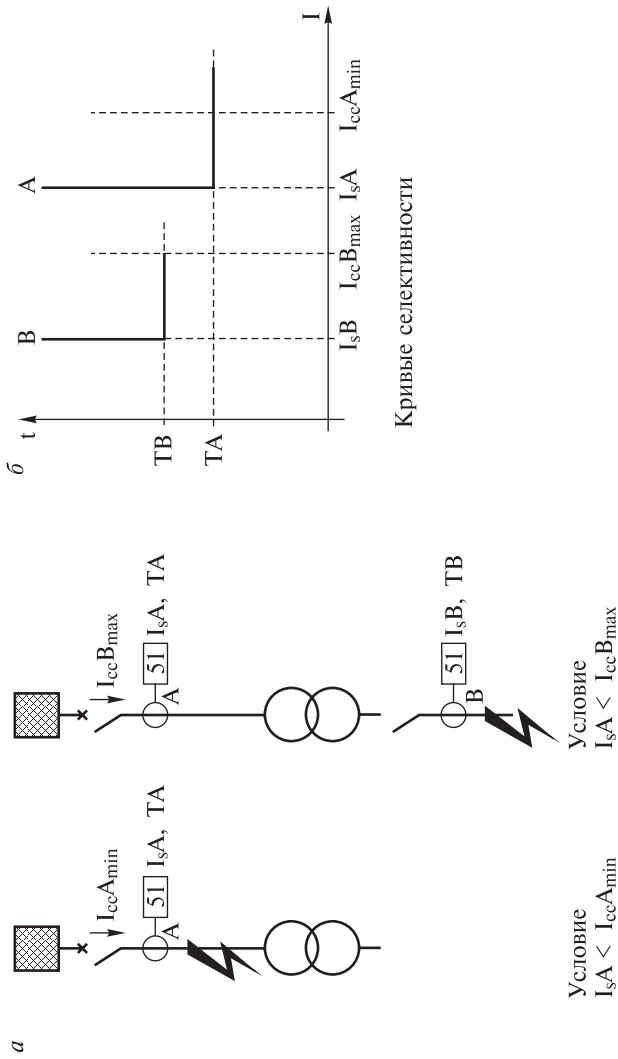


Рис. 2.7. Токовая селективность (а) и кривые селективности (б)

Выдержка времени T_A и T_B — независимая, у T_A — меньше, чем у T_B .

Следует иметь в виду, что защита, расположенная со стороны источника питания (А) обеспечивает только аварийный режим по отношению к защите В со стороны потребителя.

Селективность обеих защит обеспечивается, когда уставка I_s МТЗ регулируется в следующем диапазоне:

$$1,25I_{cc}B_{\max} < I_sA < 0,8I_{cc}A_{\min}. \quad (2.5)$$

Логическая селективность

Эта защита используется тогда, когда требуется быстро устранить неисправность и недостатки временной селективности. Принимается в сетях среднего напряжения при радиальном питании несколькими порогами селективности.

Принцип логической селективности приведен на рис. 2.8. На такой многоуровневой радиальной схеме питания обмен информацией между последовательно расположенными защитами позволяет устранить интервалы селективности и значительно снизить выдержку времени отключения выключателей, расположенных ближе к источнику питания.

Так как в радиальной сети защиты, расположенные со стороны источника питания выше места повреждения, срабатывают, а защиты со стороны потребителя ниже места КЗ не включаются, то достаточно точно можно установить место повреждения и отключающий выключатель.

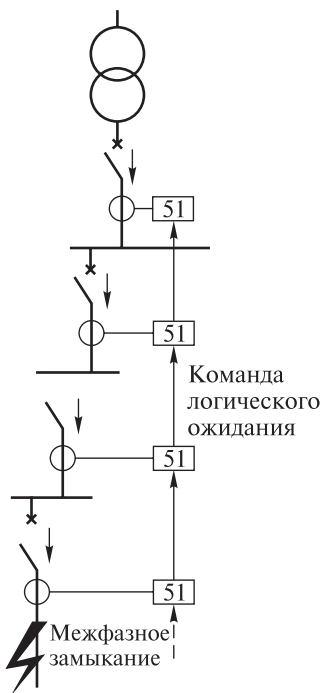
Каждая защита при повреждении выдает команды:

1) логического ожидания на увеличение собственной выдержки времени реле, расположенного со стороны источника питания; 2) на отключение соответствующего выключателя, если не него не пришла команда логического ожидания (задержки) со стороны ступени потребителя.

Отключение с выдержкой времени предусмотрено как аварийный режим.

Принцип работы (рис. 2.8, б) проявляется: 1) при повреждении ниже места установки трансформатора тока В. Защита по В блокирует защиту по А; 2) защита В производит отключение

а



б

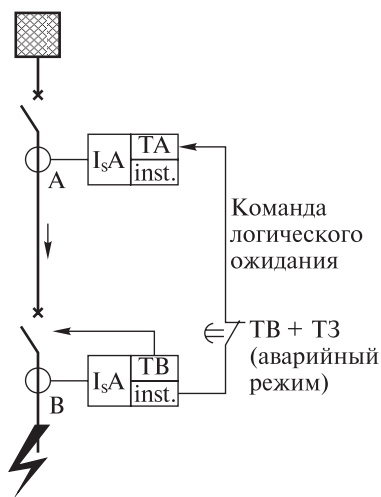


Рис. 2.8. Принцип логической селективности (а) и принцип работы схемы (б)

после ТВ, при условии, что на эту ступень защиты не подана команда ожидания; 3) продолжительность задержки для защиты по А ограничена величиной $TВ + ТЗ$, где $TЗ \geq$ времени размыкания и разрыва дуги выключателя В (200 мс); 4) если выключатель В не отключен, защита А выдает команду на отключение по $TВ + ТЗ$; 5) если повреждение произошло между А и В, то защита А сработает ($TВ$ — время срабатывания выключателя; $TЗ$ — продолжительность задержки).

Такая схема дает возможность обеспечить селективность между защитой со стороны источника питания с малой выдержкой времени и защитой со стороны потребителя с большой выдержкой времени. Такая система обладает аварийным режимом работы. Так как данная схема предполагает передачу логических сигналов между различными ступенями защиты, то для ее реализации требуются дополнительные цепи, т.е. уве-