

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С ИССЛЕДОВАНИЯМИ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ И ПРЕПОДАВАНИЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ

Никифоров А.П.

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

apnikiforov@yandex.ua

Spent researches in one of the most difficult areas of relay protection have resulted in necessity of attraction of methods of the analysis and the synthesis of devices of relay protection allowing effectively operating by a plenty of the information. Generalizing the received results, a line of positions of the common character is allocated. The common character is understood as generalization of results and the methods received for one of areas of relay protection on possible more the broad audience of tasks of relay protection (basically on area of relay protection as a whole).

Постановка задачи. На современном этапе технического развития количественное накопление конструктивных, интерфейсных, коммуникационных решений привело к появлению качественно новых требований к совершенствованию устройств релейной защиты (РЗ). В статье предлагаются пути совершенствования устройств и средств защиты распределительной сети с точки зрения современного этапа развития технических решений. Современный этап технического развития устройств характеризуется конструктивным и смысловым объединением разных методов защиты объекта управления в едином терминальном устройстве.

Проводимые исследования в одной из сложных областей РЗ привели к необходимости привлечения методов анализа и синтеза устройств РЗ, позволяющих эффективно оперировать большим количеством информации. Имеется в виду область релейной защиты – поиск поврежденного присоединения при повреждении изоляции фазы на землю в распределительной сети среднего класса напряжений. Обобщая полученные автором результаты в этой области РЗ можно выделить следующий ряд положений общего характера. Под общим характером будем понимать обобщение результатов и методов, полученных для одной из областей РЗ на возможно более широкий круг задач РЗ (в принципе на область РЗ в целом).

1. Разработан метод описания поведения многоходовых устройств РЗ и автоматики для условий, характеризующихся наличием на входах этих устройств многообразия смысловых ситуаций. В основе метода положено представление о входных сигналах переходных процессов как о последовательном во времени потоке смысловой информации. Смысловая информация переносится параметрами входных сигналов и является более высоким уровнем абстракции в интерпретации входных координат по отношению с применяемыми представлениями. Работой устройств с точки зрения предлагаемого метода оказывается демодуляция искомым смысловых ситуаций и принятие конечного смыслового решения.

2. Введено представление структуры устройств в виде последовательной триады. Триада состоит из, во-первых, информационных датчиков (морфологический уровень распознавания ситуаций), во-вторых, автомата проверки правильной последовательности срабатывания информационных датчиков, восстановления информации и защиты от неправильных действий (синтаксический уровень), в-третьих, автоматов принятия решения и защиты от неправильных действий (семантический уровень).

3. Наглядность и краткость записи применяемой структурно-лингвистической части метода помогает систематизировать, выделить и развить для дальнейшего использования наилучшие, необходимые и достаточные правила обработки информации устройствами. Среди лучших правил оказываются правила обработки не столько амплитудных информационных составляющих входных сигналов, сколько структурно-логических взаимосвязей между информационными составляющими сигналов. Здесь полезная аналогия – это замена амплитудной демодуляции на частотную или фазовую демодуляцию с декодированием полезной информации.

4. Введена замена представления элементов структуры устройств, связанных с селективностью и блокированием работы от неправильных действий, на подсчет баланса между правилами «за» - «против» формирования конечного результата работы устройств. Такая обобщающая замена позволяет гибко и наглядно анализировать получение конечного результата и строить действенные алгоритмы контроля динамического изменения смысловых составляющих переходных процессов в объекте защиты или управления.

5. Применяя последовательно предлагаемый подход к описанию устройств РЗ, можно выполнить сквозной математически точный анализ (или синтез) устройств, оперирующих различной по иерархии информацией о сути переходных процессов в сети. Рассматриваемые уровни иерархии - устройство, терминал, АСУ ТП «ГЩУ». Результаты анализа дают возможность, просто, обосновано и доказательно, показать причины, нарушающие устойчивую работу тех или иных известных, создаваемых и предполагаемых устройств РЗ, определить их области применения и пути дальнейшего совершенствования как отдельных устройств РЗ, так и всей системы РЗ защищаемого объекта.

Существенных ограничений в обобщении предлагаемого подхода не ожидается, тем более что подход черпает свою основу из методов изначально разработанных для обработки смысловой информации и проверенных на практике. Важными аспектами обобщения подхода оказываются вопросы и задачи методологического характера при обучении специалистов курсам, связанных с защитой и управлением энергообъектов (курсовое и дипломное проектирование).

Анализ последних исследований. В общем случае можно заметить, что в энергетике функционирование различных типов устройств РЗ связано с анализом ярко выраженного возникновения и устойчивого сохранения определенной аварийной ситуации, которая является входным или выходным воздействием защищаемого объекта управления. Принято считать, что удастся организовать надежную работу релейной системы управления на основе принципа измерения возмущения. Тем не менее, возникают трудности в обеспечении устойчивости работы различных типов устройств РЗ. В последнее время появляются работы по совершенствованию устройств РЗ на основе методов распознавания аварийных ситуаций.

Основными недостатками принципа управления по возмущению считаются принципиальная невозможность компенсировать действия неизмеряемых возмущений, а также принципиальная неспособность на достаточно длительном промежутке времени управлять объектом управления с изменяющимися параметрами.

При традиционном анализе функционирования устройств РЗ входные координаты представляются временными и амплитудно-фазо-частотными характеристиками (АФЧХ) электрических сигналов. Руководствуясь таким представлением как инструментом, расчлняют множество возможных состояний объекта управления на множество интересующих состояний, характеризующих поврежденный участок объекта управления, и на множество не характерных для аварийной ситуации состояний. Такой инструмент анализа применим для множеств с малым количеством состояний, обладающих достаточной простотой.

В то же время при разборе аварийных файлов рассматривают переходный процесс целиком, со всеми составляющими входных координат. Подход человека к распознаванию образов как эталон распознавателя начинается с рассмотрения полного переходного процесса. На первом этапе – по огибающим ω , НЧС, СЧС, ВЧС, затем – по совокупности соотношений между составляющими входных координат далее – по сравнению переходного процесса и составляющих входных координат. На каждом этапе происходит сравнение вновь получаемых результатов с базой данных, накопленной при распознавании предыдущих переходных процессов.

При большом количестве и сложности рассматриваемых состояний объекта защиты или управления удобнее представлять входные координаты РЗ каналами поступления потока информации, состоящей из смысловых ситуаций (образов), характеризующих поведение объекта. Параметры электрических сигналов оказываются лишь носителями смысловых ситуаций. Практически оказывается, что переходной процесс состоит из конечного числа смысловых ситуаций. Возникает задача о разделении информационного множества и распознавании смысловых ситуаций.

В задаче селективного определения поврежденного участка объекта защиты важная с точки зрения классификации информация в общем случае содержится в структурных отношениях между составными частями сигналов входных координат устройств РЗ. Характерными особенностями входных координат РЗ являются естественная пространственно-временная последовательность рассмотрения характерных информационных составляющих. Другой особенностью является то, что определяемые смысловые ситуации расположены не произвольным образом, а связаны некоторой структурой, охватывающей переходный процесс. Все смысловые ситуации расположены определенным образом друг относительно друга и относительно общесинхронизирующей оси времени. Кроме того, и сами смысловые ситуации образованы из некоторых элементарных частей и также связаны некоторой структурой [1].

Всю смысловую информацию о состоянии объекта защиты или управления (например, сети, энергоблока, контура нулевой последовательности сети) можно представить в виде отдельных элементарных смысловых ситуаций. Из элементарных смысловых ситуаций состоит переходный процесс в объекте защиты. Каждая смысловая ситуация характеризует соответствующее хорошо известное (классическое) состояние объекта защиты.

При оперировании понятием пространства образов будем основываться на понятии передаточной функции (см. рис. 1).

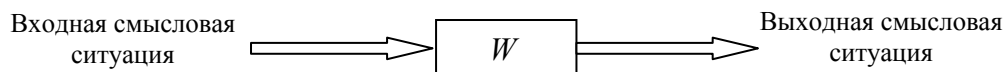


Рисунок 1

Под входной и выходной смысловыми ситуациями будем понимать смысл происходящего переходного процесса. Под передаточной функцией W понимается совокупность действий, необходимых для преобразования входной смысловой ситуации с целью получения выходной смысловой ситуации. Развивая такой подход к анализу участка схемы (объекта) проводят анализ и синтез устройств РЗ в пространстве смысловых ситуаций, а не сигналов. Образ аварийной ситуации появляется как возмущение, выпуклость в равновесном состоянии образа, характеризующего нормальный режим работы сети.

Проиллюстрируем путь прохождения информационных составляющих. От причины возникновения переходного процесса, имеющей стихийный характер, через объект управления (сети), на вход анализатора ин-

формационных составляющих устройства РЗ. Далее преобразование информационных составляющих смысловых ситуаций выполняется структурными элементами, задающими критерии срабатывания устройств РЗ. Далее через элементы принятия решения и защиты от неправильных действий. Смысловая информация преобразуется в управления исполнительными органами, которые воздействуют на объект управления.

Определим смысловую ситуацию «Нормальный режим работы» сети в качестве уставки некоторой замкнутой системы стабилизации. Отсюда возникает задача стабилизации в пространстве смысловых ситуаций уставки «Нормальный режим работы» сети. Тогда отклонения от уставки сверх допустимой погрешности будут определяться разностным элементом ε . Выход блока ε обрабатывается элементами системы стабилизации с целью управления исполнительными органами для устранения отклонения. Здесь заметим, что смысловое описание пути прохождения информационных составляющих приводит к появлению и построению автоматической системы стабилизации нормального режима работы (АСНОР) сети. Система АСНОР сети имеет классическую структуру, хорошо проработанную в теории автоматического управления. Замкнутая система АСНОР сети с отрицательной обратной связью по информационным составляющим может быть автоматической, автоматизированной или той и другой в назначаемых пропорциях.

Задача исследований. Наиболее приемлемым для рассматриваемых задач оказался структурно-лингвистический метод определения переходных процессов. Метод основан на аналогии между структурой объектов и синтаксисом языка. В рамках этого подхода считается, что объекты состоят из соединенных подобъектов так же, как фразы и предложения строятся путем соединения слов, а слова состояются из букв. Любой компаратор или релейный элемент является детектором образа. Для устройств РЗ с целью определения текущей смысловой ситуации входная информация поступает на входы информационных датчиков. Задачей информационных датчиков является разделение текущей общей смысловой ситуации на отдельные элементарные информационные составляющие – терминальный символ (ТС). Самым простым детектором информационных составляющих является n -пороговый элемент, формирующий N -первичный ТС. Смысловой образ складывается из ТС как из первичных кирпичиков. Задавая имена собственные каждой элементарной информационной составляющей, получаем возможность определить характерные особенности, присущие той или иной текущей смысловой ситуации по отношению к допустимому смысловому потоку информации (переходному процессу в сети, являющемуся следствием аварийной ситуации).

Задаче, связанной с РЗ и управлением сети, присуща особенность пересечения или наложения смысловых ситуаций. Вообще говоря, для повышения надежности работы устройств РЗ каждой области наложения смысловых ситуаций желательно определить собственный информационный датчик. Получается, что чем качественнее стремятся определить текущую смысловую ситуацию, тем больше количество информационных датчиков должно быть заложено в структуру устройства РЗ.

Изложение основного материала. Каждое устройство РЗ можно разделить на подготовительную и логическую части. Подготовительная часть устройств РЗ формирует ТС. Логическая часть устройств РЗ формирует корневой символ S и принимает решение о выдаче сигнала “Поврежденный участок” сети.

Для улучшения восприятия результатов, получаемых при анализе устройств РЗ, вначале лучше провести анализ логической части устройств РЗ. Анализ подготовительной части РЗ можно выполнить позднее таким же образом, то есть на основе и опираясь на понятия структурного подхода к распознаванию образов. Приведем этапы работы с устройствами РЗ.

Этап 1. Разложение сигналов входных координат на структурные информационные составляющие.

Поток смысловой информации, который переносится параметрами сигналов входных координат рассматриваемых устройств РЗ, разделяется соответствующими известными (или синтезируемыми) специальными информационными датчиками с пороговым выходом ТС. Практическое построение информационных датчиков основывается на технически и экономически оправданных методах. Срабатывание информационных датчиков (появление на пороговом выходе логической единицы) происходит при появлении или наличии во входных сигналах соответствующей информационной составляющей.

Для простоты, удобства и наглядности дальнейшей работы ТС называются именем собственным, например, токовая низкочастотная составляющая (НЧС) обозначается «НЧС $3i_D$ ». Исходя из структурно-лингвистического метода, разложение лучше вести на максимальное количество информационных составляющих для того, чтобы была учтена вся имеющаяся информация.

Этап 2. Построение обобщенного дерева распознавания образов. Выходы информационных датчиков являются первичной информацией для критериев работы устройств РЗ и структурно-лингвистического метода. Реализуются критерии работы с помощью вторичных символов - нетерминальных символов (НТС). Набор правил P обработки информации и НТС формируют в конечном итоге корневой искомым символ S . В некоторых случаях корневых символов S может быть несколько.

Алгоритмы работы известных устройств РЗ формируются с помощью определенных структурных правил P получения промежуточных НТС. Правила P выполняются над двумя символами A, B (в качестве которых могут выступать ТС или НТС) с помощью ограниченного набора действий – это сложение f_1 , перемножение f_2 , накопление f_3 , фиксация $f_{t,5}$ появившегося на время t , фильтрация $f_{\text{шум}}$. Такого небольшого набора действий оказалось достаточно для построения логической части устройств СП. Форма записи правила P

$$PN \rightarrow fM(A, B), \quad (1)$$

где N – порядковый номер перечне правил P , перечни действий $M - fl, f\&, ft1.5, \hat{f}, f_{ши}$.

Конечным результатом применения правил распознавания P является корневой символ S , который также имеет имя собственное (например, «Поврежденный участок» сети). Получившаяся структура визуально напоминает дерево, которое называется деревом распознавания. ТС представляют листья дерева. Использование деревьев для описания структур – довольно простая процедура. В сущности, любая иерархически упорядоченная схема ведет к представлению объекта в виде дерева, то есть такое описание информации можно отнести к общеметодологическим.

Этап 3. Уточнение известных описаний устройств РЗ с точки зрения рассматриваемого подхода.

При построении дерева распознавания можно натолкнуться на недостаточную полноту изложения в литературе работы структурных и принципиальных схем устройств РЗ. Так, например, при описании работы некоторых устройств РЗ приводится общий алгоритм или критерии работы, недостаточно детализированные для непосредственного построения дерева распознавания. Также, может оказаться, что приведенные описания не позволяют однозначно выделить ТС, НТС и правила P . Для уточнения или однозначности определения ТС, НТС, S и правил распознавания P может выполняться моделирование в САПР работы принципиальных схем таких устройств, а также и всей системы РЗ в целом.

Этап 4. Построение дерева распознавания образов. Правила P последовательного соединения ТС, НТС задаются грамматикой G . Из теории структурно-лингвистического метода известно, что грамматики G подразделяются на порождающие и распознающие. Грамматика порождающая задает множество правильных цепочек ТС их перечислением. С помощью порождающей грамматики описывается лишь некоторое подмножество распознаваемых, то есть идеальных сигналов. Наблюдаемые сигналы отличаются от идеальных сигналов наличием различных помех. Грамматика распознающая задает множество правильных цепочек ТС распознаванием ТС

Следующим шагом является разработка процедуры (синтаксического разбора), устанавливающей, является или нет данная цепочка ТС допустимым предложением. Будем рассматривать два типа грамматического разбора – «сверху» - «вниз» и «снизу» - «вверх». Процедура разбора «сверху» - «вниз» полезна для разбора смысловых ситуаций, зафиксированных в аварийном файле. Другая процедура «снизу» - «вверх» начинается с конкретного терминального предложения и заключается в попытках дойти до корневого символа S с помощью применения правил P . Именно на основе такой процедуры, работает логическая часть устройств РЗ.

Обобщая правила грамматики P получают дерево разбора смысловой ситуации, с помощью которого является возможность впредь распознавать и отделять цепочку ТС, характерную для поврежденного участка сети, от последовательностей цепочек ТС неискомых объектов (неповрежденных участков сети, помех и сигналов не связанных с причиной переходного процесса в сети). При распознавании цепочек ТС неискомых объектов устройств РЗ должно заблокироваться. В тех практических ситуациях, когда цепочка ТС не может быть правильно распознана, то есть такое предложение не вошло в обучающую выборку, распознающая грамматика G может быть легко расширена на основе тех же формальных методов (добавление ТС, НТС, S, P).

Снижение риска неправильного распознавания связано с применением правил синтаксиса грамматики G . Синтаксис определяется как последовательное соединение объектов ТС, НТС. С помощью введения в процесс поиска эвристических правил P , указывающих структурному анализатору способ действия в ситуациях, когда возможны несколько вариантов продолжения.

Синтаксический подход к распознаванию позволяет описывать большую совокупность сложных смысловых ситуаций, используя небольшие наборы ТС, НТС и правил P грамматики G . Грамматическое правило можно использовать произвольное число раз, и таким образом очень компактно выразить структурные особенности, вообще говоря, бесконечного множества смысловых ситуаций и помех, составленных из цепочек ТС.

Например, анализ деревьев распознавания и грамматики G , восстановленных по принципиальным схемам устройств селективного поиска (СП) поврежденного присоединения сети, показывает, что в каждом устройстве СП реализовано дерево распознавания с таким хотя и частным, но принципиально сходным набором правил грамматики P , который ориентирован на минимальную реализацию известного общего критерия селективности устройств СП. Грамматика G для СП задается набором

$$G = (V_T, V_N, P, S1, S3, S4, S5, S7), \quad (2)$$

где $V_T = \{BЧC+3U_0, BЧC-3U_0, BЧC+3I_0, BЧC-3I_0, НЧC3U_0 15B, НЧC3U_0 30B, \{HЧC3I_0, \{CЧC3I_0\},$
 $V_N = \{P1, P2, \dots P21\},$

$S \quad S1 \rightarrow fn\exists(P9); \quad S3 \rightarrow f\&(\{CЧC3I_0\}); \quad S4 \rightarrow fn\exists(P19); \quad S5 \rightarrow fn\exists(P18); \quad S7 \rightarrow ft(\{HЧC3I_0\}).$

$P \quad P1 \rightarrow fl(BЧC+3I_0, BЧC-3I_0); \quad P2 \rightarrow f\&(BЧC+3I_0, BЧC+3U_0); \quad P3 \rightarrow f\&(BЧC-3I_0, BЧC-3U_0);$

$P4 \rightarrow f\&(BЧC+3I_0, BЧC-3U_0); \quad P5 \rightarrow f\&(BЧC-3I_0, BЧC+3U_0); \quad P6 \rightarrow fl(P2, P3);$

$P7 \rightarrow f\&(P21, P12); \quad P8 \rightarrow ft(P7, t 1.5c); \quad P9 \rightarrow f\&(P7, НЧC3U_0 30B);$

$P10 \rightarrow ft(P9, t 1.5c); \quad P11 \rightarrow f\&(P8, P20); \quad P12 \rightarrow ft(P1, t 0.5c);$

$P13 \rightarrow ft(НЧC3U_0 15B, t 3mc); \quad P14 \rightarrow f\&(P13, НЧC3U_0 30B); \quad P15 \rightarrow fl(\{CЧC3I_0, S\});$

$$P18 \rightarrow ft(\int HЧC3I_0, t 60mc); \quad P19 \rightarrow f\&(P15, t 50mc);$$

$$P20 \rightarrow fI(P4, P5); \quad P21 \rightarrow fI(P6, P14);$$

Распознавание корневого символа $S1$ дерева распознавания выполняется на основе ожидания появления в течение развития ОЗЗ цепочки ТС «Поврежденный участок». Вторая вершина дерева распознавания $S2$, является вспомогательной.

Результатом последовательной работы структурного анализатора устройства РЗ (или системы РЗ) является классификация смысловой ситуации (поврежденный или неповрежденный участок сети) подаваемого на вход устройства РЗ. Исходя из метода распознавания образов результирующих сигналов три – корневой символ $S1$ «Поврежденный участок», сигнал о нечетком распознавании «Нечеткое определение» и сигнал «Процессы, не связанные с аварийной ситуацией». Дополнительное «Неповрежденный участок» сети. Замалчивание принципиального наличия сигнала «Нечеткое определение» вселяет напрасную уверенность в устойчивости работы устройств и всей системы защиты и управления.

Этап 5. Анализ работы дерева распознавания. С помощью дерева распознавания можно определять реакцию устройств РЗ на любые по сложности сценарии развития переходного процесса, а также совершенствовать устройства РЗ. Таким образом, можно сравнительно просто выполнить анализ логической части известных устройств РЗ, единого дерева распознавания и разбор предложений, а также автоматизировать средствами САПР. Для этого необходимо восстановить дерево распознавания и ограничительные эмпирические правила каждого испытуемого устройства РЗ, черпая информацию из принципиальных схем устройств РЗ.

Выводы.

1. Анализ совершенствования устройств РЗ показывает, что развитие идет в направлениях автоматизации смысловой оценки происходящих процессов в объекте защиты. Принятие решения выполняется по конечному смысловому результату. Системы, работающие по возмущению можно заменить системами, работающие по отклонению, то есть системами преимущественно относительного действия.

2. Известные методы построения устройств РЗ сводятся к частным случаям метода распознавания образов. Для метода распознавания образов использование фильтрации, порогов чувствительности, метода фазового детектирования, выдержки времени являются действиями над ТС и цепочками ТС. Очередность рассмотрения ТС образуют дерево распознавания образов.

3. В силу простоты применения рассмотренный подход предлагается для совместного анализа и синтеза не только устройств РЗ, но и различных конструктивных технических решений в области РЗ и управления, а также программных продуктов и алгоритмов смысловой обработки информации для разных уровней иерархии систем управления. При анализе метод применяется в направлении «сверху» - «вниз», то есть, начиная от обработки информации множеством первичных информационных датчиков, далее обработка информации концентрируется в «ветвях» обработки структурных смысловых взаимосвязей и далее в «корне» автоматического принятия решения о выдаче результата. Очевидно, что для задач синтеза метод лучше применять «снизу» - «вверх». Рассматривая схемы РЗ любой сложности (например, схемы РЗ блоков и так далее) можно легко разделить схемы на составные части и элементы согласно предлагаемому подходу. Также легко и эффективно можно решать задачи анализа и синтеза этих схем, что значительно ускоряет и облегчает методологический аспект в изучении РЗ.

4. Известные устройства РЗ синтезировались исходя из анализа алфавита задающих формальных грамматик, частично или полностью игнорируя алфавит помех и дополнительных возмущающих факторов. Ограничения при построении устройств РЗ можно связать отчасти с неэффективностью элементной базы имеющейся на момент их разработки, отчасти с недостаточной изученностью реально развивающихся сигналов, присутствующих на входах устройств РЗ. В настоящее время развитие элементной базы позволяет выполнить устройство РЗ в тех же габаритах, что и известные устройства РЗ, с функциями и возможностями аварийного регистратора и реализовать все необходимые алгоритмы и критерии, необходимые для надежного определения поврежденного участка сети при различных сочетаниях параметров сетей и типов заземления нейтрали.

Для снижения степени неселективной работы устройств РЗ резонно синтезировать устройства РЗ на основе распознающей грамматики.

5. Эффективное использование имеющейся информации, определяет эффективность защитных мероприятий, направленных на уменьшение последствий развития аварийных ситуаций и переходных процессов в сети. При работе системы АСНОР сети и совершенных терминалов РЗ, возможно, сохранить максимальную эффективность работы защищающего оборудования на длительных интервалах времени эксплуатации. Появляется техническая возможность устранить или свести к минимуму, те трудно решаемые задачи и практические противоречия, отсутствие решения которых приводили к снижению надежности эксплуатации сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж Ту, Р. Гонсалес. Принципы распознавания образов., М: «Мир», 1978. - 411 с.

Рекомендовано д.т.н. Сивокобиленко В.Ф.

РОЗПІЗНАВАННЯ ВИДУ МІЖФАЗНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ В МЕРЕЖАХ 6-35 кВ

М.В. Базилевич, І.О.Сабадаш, В.М. Амброз, І.М. Мардаль.
Національний університет "Львівська політехніка"
mik_398500@yahoo.com

In the article the method of increase of sensitiveness of the current protecting is described from short circuits by recognition of type of damage.

Постановка проблеми.

Мережі 6, 10, і 35 кВ в Україні експлуатуються з ізольованою/компенсованою нейтраллю. Основним видом захисту від коротких замикань (КЗ) між фазами є струмовий. Такі захисти є основними для мереж 6 кВ та 10 кВ та резервним в мережах 35 кВ. Перевагами таких захистів є простота і надійність. Недоліком таких захистів є відносна селективність та іноді недостатня чутливість. Все більше захистів будується як мікропроцесорні пристрої. Але ці захисти, по суті, імітують роботу електромеханічних реле. Всі потенційні недоліки використання струмових електромеханічних реле автоматично переносяться на мікропроцесорні пристрої і при цьому не використовуються в повній мірі можливості нової техніки. Для покращення характеристик струмових захистів необхідно проводити більш глибоку обробку вхідних сигналів, використовуючи найхарактерніші ознаки, що дозволяють однозначно охарактеризувати процес. Одним з найперспективніших варіантів є визначення виду пошкодження і, відповідно, робота захисту має залежити від виду пошкодження.

Аналіз останніх досліджень.

Використання розпізнавання виду міжфазного замикання використовується в сучасних мікропроцесорних захистах провідних фірм світу (ABB, Siemens та ін.), що призначені для використання в мережах напругою 110 кВ та вище. В першу чергу розпізнавання виду пошкодження використовується в дистанційних захистах. В програмі мікропроцесорного струмового захисту, що обробляє вхідний сигнал, створюються три ідентичні вітки, які визначають пошкоджену фазу (чи фази) по перевищенню діючим значенням аварійного струму уставки. Ця інформація використовується тільки для інформування оперативного персоналу. Струмові захисти не використовують цю додаткову інформацію, а алгоритм їх роботи і величина уставки не залежить від виду КЗ.

Задачі дослідження.

Враховуючи широке використання струмових захистів в мережах 6÷35 кВ необхідно встановити наскільки використання розпізнавання виду КЗ може покращити функціонування захисту, а саме час спрацювання, чутливість, збільшення зони дії захисту.

Виклад основного матеріалу.

Для в'яснення умов функціонування роботи струмових захистів від міжфазних коротких замикань було сформовано модель типової мережі постачання електроенергії до споживачів за допомогою повітряних ліній. На основі цієї моделі проводились дослідження з використанням програмного комплексу RE [1].

За основу взято радіальну мережу, що живиться від системи безмежної потужності 110 кВ через повітряні лінії електропередачі (ЛЕП). Повітряні лінії 35 кВ марки проводу для ПЛ Л1: АС-150/24, для ПЛ Л2: АС-120/19, для ПЛ Л3 і Л4: АС-70/11. Схема мережі показана на Рис. 1. В даній схемі враховані всі основні елементи мережі.

Мережа, що підлягає моделюванню складається з чотирьох повітряних ліній. В кінці кожної лінії ввімкнені споживачі електроенергії. Живиться мережа від системи 110 кВ через трансформатор Т1 110/35/10 кВ. Для забезпечення нормального (номінального) режиму роботи трансформатора Т1 на стороні нижчої напруги ввімкнено навантаження потужністю 5 МВА.

Повітряні лінії однакових класів напруг мають різну довжину. Повітряні лінії Л1, Л2 і Л4 мають довжину 5 км. Повітряна лінія Л3 мережі має довжину 40 км.

Всі модельні параметри елементів мережі приводились до базової напруги 35 кВ.

Було створено дві комп'ютерні моделі даної мережі. Одна модель (повна) враховувала всі параметри ліній, трансформаторів, навантаження. Вона використовувалась для моделювання процесів за різних видів КЗ. За результатами, отриманих на цій моделі, будували систему визначення виду КЗ. Друга модель (спрощена) враховувала тільки поздовжні параметри елементів і служила для обчислення струмів КЗ в мінімальному та максимальному режимах і вибору уставок захистів (як це відбувається практично). [2].

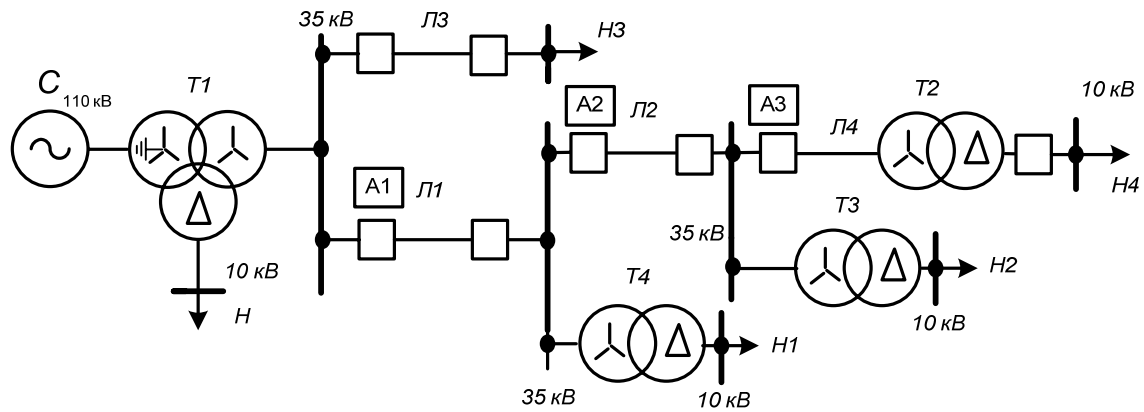


Рисунок 1 - Принципова схема тестової мережі

Для побудови системи розпізнавання виду КЗ використовували дані, отримані під час моделювання різних видів КЗ. В якості вхідних даних використовували три фазних струми I_A , I_B , I_C . За відсутності на лінії третього трансформатора струму можна цей струм визначити за двома фазними і струмом нульової послідовності. Також вважаємо, що трансформатори струму і прилади є ідеальними.

На Рис.2. показано типові криві фазних струмів за випадку замикання між фазами А і С в кінці лінії Л1. На малюнку показані фазні струми на початку ліній Л1 і Л2, тобто в типових місцях встановлення струмових захистів.

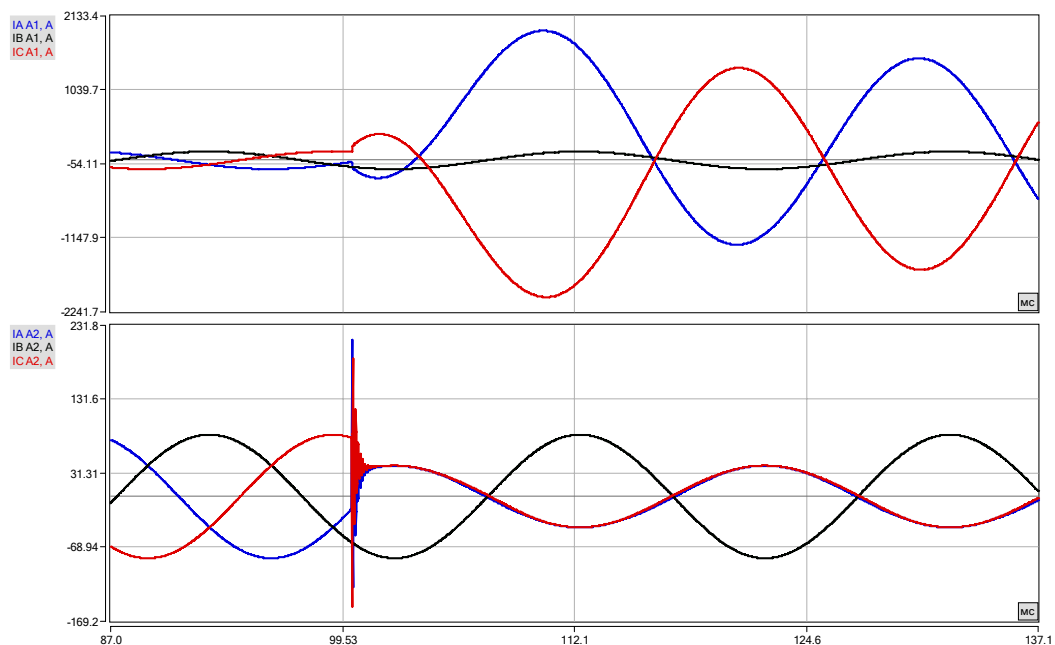


Рисунок 2 - Фазні струми під час замикання між фазами А і С в кінці лінії Л1. Час – в мс, струм – в А.

З Рис. 2 видно, що в точці А1 струми аварійних фаз в протифазі, їх значення відповідає струму через місце КЗ. Струм непошкодженої фази В це номінальний робочий струм лінії Л1. Струми в точці А2 мають більш цікавий характер: струми пошкоджених фаз однакові і знаходяться в протифазі із струмом непошкодженої фази. Струм непошкодженої фази проходить від джерела живлення через трансформатор Т1 через непошкоджену фазу В лінії Л1, через фазу В лінії Л2, через лінію Л4, через фазу В трансформаторів Т3, Т4, навантаження Н2, Н4. Тут цей струм розподіляється на два струми, що повертаються до джерела живлення по фазах А і С. В нашому випадку параметри різних фаз однакові, тому струми фаз А і С в точці А2 однакові. Співвідношення між величинами струмів та між їхніми фазами добре описане в літературі [3].

В момент виникнення КЗ в усіх трьох фазах виникають крім аперіодичної складової струму і височастотні вільні складові струму. Величина аперіодичної складової і височастотних складових залежать від виду КЗ, конфігурації мережі, моменту виникнення КЗ, а також інших факторів. На роботу захисту ці височастотні складові не впливають – захисти працюють, як правило, по діючих значеннях струму. Але можуть вплинути на роботу системи розпізнавання виду КЗ. Необхідно також врахувати, що в розподільчих мережах 6÷35 кВ має місце високий рівень завад. Тому для розпізнавання виду КЗ будемо використовувати діючі значення фазних струмів. Крім високої заводозахисності використання діючих значень струму має ще одну перевагу – отримання цієї інформації фактично не вимагає додаткових ресурсів на обчислення – діюче значення обчислюється під час роботи самого струмового захисту.

Розпізнавати вид пошкодження будемо на основі аналізу співвідношень між діючими значеннями фазних струмів. Самі ж співвідношення між значеннями струму легко описуються логічними рівняннями. Результатом розв'язку логічного рівняння є "1" у випадку виконання всіх рівностей, і "0" якщо хоч одна рівність не виконується.

Для встановлення факту трифазного КЗ достатньо встановити виконання двох умов:

- 1) Діючі значення струмів більші значення струму уставки;
- 2) Діючі значення струмів всіх трьох фаз однакові.

Це можна описати звичайним булевим рівнянням:

$$REZ^{III} = (I_A > I_{уст}) \& (I_A = I_B = I_C),$$

де REZ^{III} – результат, що сигналізує про трифазне КЗ, булева величина;

I_A, I_B, I_C – діючі значення фазних струмів, А;

$I_{уст}$ – значення уставки за струмом, А.

Якщо ці дві умови виконуються, то існує трифазне КЗ і значення REZ^{III} стає рівним "1", інакше $REZ^{III}=0$.

У випадку двофазного КЗ необхідно проаналізувати більше умов, тому що можуть виникнути 3 випадки: КЗ між А і В; між А і С; між В і С. Для кожного випадку необхідно виконання трьох вимог:

- 1) Діюче значення струму більше значення уставки за струмом;
- 2) Діючі значення струмів двох фаз однакові;
- 3) Діюче значення струму третьої фази менше значення уставки.

Для перевірки приведених умов необхідна система із трьох булевих рівнянь з 8 логічними операціями. Але після спрощення кількість рівнянь сильно зменшується тому, що деякі рівняння дублюють один одного. Після спрощення булеве рівняння набере вигляду:

$$REZ^{II} = ((I_A > I_{уст}) \& (((I_A = I_B) \& (I_A \neq I_C)) \text{АБО} ((I_A = I_C) \& (I_A \neq I_B))))$$

$$\text{АБО}((I_B > I_{уст}) \& ((I_B = I_C) \& (I_B \neq I_A)))$$

де REZ^{II} – результат, що сигналізує про трифазне КЗ, булева величина;

I_A, I_B, I_C – діючі значення фазних струмів, А;

$I_{уст}$ – значення уставки, А.

Було змодельовано роботу системи визначення виду КЗ. Система спрацювала, коли діюче значення струму перевищувало значення уставки. Уставки спрацювання захисту отримували на основі стандартних методик [3]. Коли відбувався старт системи визначення виду КЗ визначається виконання умов, наведених вище. Якщо ж жодна умова не виконується, то формується повідомлення про нерозпізнавання виду КЗ. Це необхідно для усунення помилкової роботи захисту.

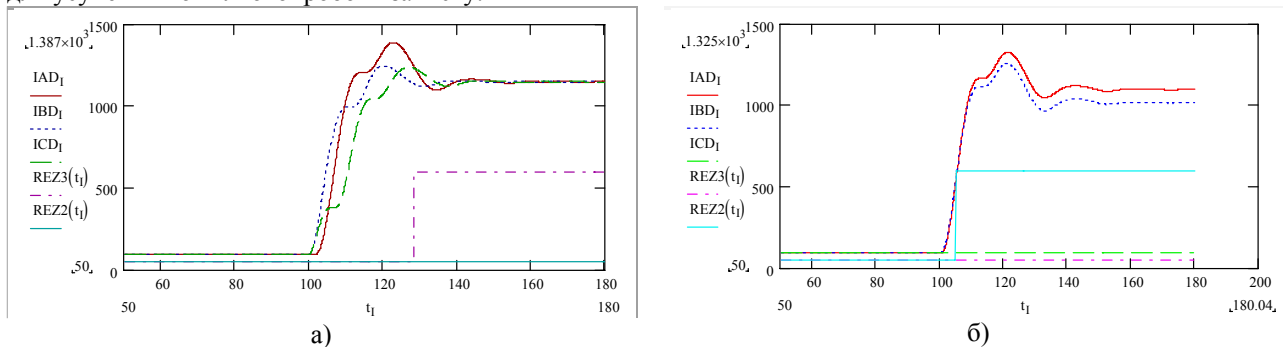


Рисунок 3- Часові діаграми визначення виду пошкодження випадку трифазного (а) і двофазного (б) короткого замикання. Час – в мс, струм – в А.

На Рис. 3 показано часові діаграми роботи розпізнавання виду КЗ для випадку трифазного і двофазного КЗ. Для наочності також показані криві зміни діючих значень фазних струмів в доаварійному і аварійному режимах. Величина діаграми визначення виду КЗ є збільшеною від "1" до "600" для наочності.

З Рис. 3 помітно, що діючі значення струмів обчислюються з певним перехідним процесом. Визначення виду КЗ відбувається теж з певною затримкою. Ця затримка залежить від тривалості перехідного процесу під час КЗ. Тобто даний метод впливає на час спрацювання захисту. Якщо захист працює з певною витримкою часу, то зміна часу спрацювання захисту практично не помітна. Було проведено спеціальні дослідження по затримці визначення виду КЗ. Час затримки залежить головним чином від початкової величини та коефіцієнту затухання аперіодичної складової. Для даної мережі затримка визначення виду КЗ не перевищує 40 мс. З врахуванням реальних моментів виникнення КЗ затримка визначення не перевищує 20 мс.

Проаналізовано використання традиційних методів побудови захисту і з використанням системи розпізнавання виду КЗ. Аналізували роботу цих захистів для чотирьох випадків КЗ на лінії Л2: трифазне КЗ в мінімальному та максимальному режимі роботи мережі і двофазне КЗ в максимальному і мінімальному режимах роботи мережі. Проаналізували час спрацювання захисту А2, вибраного по стандартній методиці. Захист А2 складається із двох струмових захистів: струмової відсічки із витримкою часу і максимальним струмовим

захистом. Струмова відсічка із витримкою часу не проходить за умовою чутливості. Під час КЗ в кінці лінії Л2 час спрацювання струмової відсічки з витримкою часу становить 0,6 с під час трифазного КЗ (двофазного і трифазного) в кінці лінії. Під час роботи максимального струмового захисту час відімкнення змінюється від 1,1 с до 1,7 с в залежності від виду КЗ і режиму роботи мережі. При цьому струми короткого замикання змінюються від 750 А до 915 А. Такий великий час відключення аварії негативно впливає на обладнання. При цьому зона дії захисту під час трифазних КЗ становить від 70 % до 100 % від довжини лінії. Під час двофазних КЗ зона дії захисту становить від 40 % до 65 % від довжини лінії.

Використання системи розпізнавання виду КЗ “в лоб” не дає ніяких переваг по швидкості роботи при побудові типових максимальних струмових захистів. Застосування системи розпізнавання виду КЗ найбільш ефективне у струмових відсічках без витримки часу. Це дозволяє підвищити чутливість захистів і використати захисти із більшою швидкодією, що дозволяє зменшити вплив струмів КЗ на обладнання.

Але не є ефективним застосування уставки по струму для різних видів КЗ. Більш ефективним є задання різних уставок для захистів від різних видів КЗ. Принципово це незначно ускладнює програмне забезпечення. Апаратне забезпечення струмового захисту не змінюється.

У нашому випадку система визначення виду КЗ (і струмовий захист, що її використовує) використовує вала дві уставки: одна уставка для випадку трифазного КЗ інша для двофазних КЗ. Уставку по струму для двофазних КЗ задавали на основі уставки для трифазних КЗ прямим перерахунком:

$$I_{уст}^{II} = \sqrt{3}/2 \cdot I_{уст}$$

При цьому також оцінювалось час спрацювання. Час спрацювання максимального струмового захисту при трифазних КЗ практично не змінився, як і час спрацювання відсічки із витримкою часу. Але виникла можливість використовувати струмову відсічку без витримки часу (захист А2). Це суттєво зменшує час ліквідації КЗ. При двофазних КЗ час ліквідації аварії максимальним струмовим захистом зменшився в середньому на 0,3 с.

Додатково оцінювали зміну зони дії захисту при використанні системи розпізнавання виду КЗ. Зона дії захисту для трифазних КЗ не змінилась і становить від 70 % до 100 % від довжини лінії (як і у випадку для звичайного струмового захисту). Під час двофазних КЗ зона дії захисту розширилась і стала складати від 70 % до 100 % від довжини лінії. Тобто зона дії захисту під час двофазних КЗ стає такою самою, як і для трифазних.

Висновки.

На основі використання діючих значень фазних струмів можна визначати вид міжфазного короткого замикання в мережах 6÷35 кВ.

Сформовані правила визначення виду пошкодження та перевірена надійність роботи системи визначення виду короткого замикання.

Визначення виду короткого замикання за даним методом триває до 40 мс.

Система визначення виду міжфазного замикання дозволяє суттєво підвищити чутливість та селективність струмових захистів за рахунок задання різних уставок для різних видів пошкодження.

При використанні системи визначення виду короткого замикання збільшується зона дії захисту у випадку двофазних коротких замикань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Равлик О., Гречин Т., Іваноньків В. Цифровий комплекс для аналізу роботи та проектування пристроїв релейного захисту й автоматики // Вісник ДУ “Львівська політехніка” - 1997. - №340 - С. 96-101.
2. Кідиба В.П., Шелепетень Т.М. Захист ліній електропередавання – видавництво НУ „Львівська політехніка”, 2004, – 183с.
3. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. Пособие для вузов.-4-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат, 1989.-608 с.

Рекомендовано д.т.н. Заболотним І.П.