

МОДЕЛИ ТРЕБОВАНИЙ К УСТРОЙСТВАМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

В работе с применением продукционных моделей представления знаний разработаны модели требований к устройствам автоматического управления и защиты трансформаторного оборудования. Модели дают возможность сформировать алгоритмы вариантов решений при ликвидации аварийных ситуаций, связанных с автоматическим отключением трансформаторного оборудования действием автоматического управления и защит и разработать соответствующие рекомендации для сотрудников функциональных служб.

продукционные модели, виды устройств автоматического управления и защиты трансформаторного оборудования, модели требований к устройствам защиты оборудования, алгоритмы вариантов решений

Введение

Электрические машины и аппараты, линии электропередач и другие части электрических установок и электрических сетей постоянно находятся под напряжением и обтекаются током, вызывающим их нагрев. Поэтому в процессе эксплуатации могут возникать повреждения, приводящие к коротким замыканиям (КЗ). В результате происходит глубокое снижение напряжения, что может привести к остановке электродвигателей и нарушению параллельной работы генераторов.

В большинстве случаев развитие аварии может быть предотвращено быстрым отключением поврежденного участка электрической установки или сети при помощи специальных автоматических устройств управления и защиты, получивших название релейная защита, которые действуют на отключение выключателей.

Кроме повреждений электрического оборудования, могут возникать такие нарушения нормальных режимов его работы, как перегрузка, замыкание на землю одной фазы в сети с изолированными нейтральными, выделение газа, в результате разложения масла в трансформаторе, или понижение уровня масла в его расширителе. В указанных случаях нет необходимости немедленного отключения оборудования, т.к. эти явления не представляют непосредственной опасности для оборудования и могут самоустраниться. Поэтому при нарушении нормального режима работы на подстанциях, как правило, достаточно дать предупредительный сигнал персоналу подстанции или отключить оборудование, но обязательно с выдержкой времени [1].

Постановка задачи исследования и формулирование целей статьи. Основными видами устройств автоматического управления и защиты

трансформаторного оборудования являются: автоматическое повторное включение, автоматическое включение резерва, газовая защита, дифференциальная защита, резервная защита, токовая защита. Таким образом, целесообразно рассмотреть характеристики данных устройств автоматического управления и защит оборудования и разработать математические модели требований к устройствам автоматического управления и защиты трансформаторного оборудования, что даст возможность разработать алгоритмы вариантов решений по ликвидации аварийных ситуаций, связанных с автоматическим отключением трансформаторного оборудования, и сформировать конкретные варианты решений для пользователей.

Анализ достижений и публикаций, в которых предложено решение данной проблемы. При возникновении аварийной ситуации эксплуатационный персонал принимает меры по локализации и ликвидации создавшегося положения, обеспечивая безопасность персонала и сохранность оборудования. Все переключения в аварийных ситуациях производятся оперативным персоналом в соответствии с инструкциями предприятия при обязательном применении всех защитных средств. Оперативный персонал контролирует работу автоматики; убедившись в ее неправильных действиях, переходит на ручное управление. В работу защит оперативный персонал не вмешивается, и лишь при отказе действия защиты персонал выполняет ее функции.

Проведение соответствующих организационно-технологических мероприятий в электроэнергетических сетях осуществляется на основе постоянно накапливаемых статистических материалов по аварийным ситуациям, связанным с автоматическим отключением трансформаторного оборудования [2].

Выделение нерешенных вопросов общей проблемы, которым посвящена данная статья. Однако, отсутствие разработанных моделей требований к устройствам автоматического управления и защиты трансформаторного оборудования не дает возможности разработать алгоритмы вариантов решений при ликвидации аварийных ситуаций, связанных с автоматическим отключением трансформаторного оборудования действием защит и сформировать конкретные рекомендации сотрудникам функциональных служб.

Изложение основного материала исследования

Основные виды устройств автоматического управления и защиты трансформаторным оборудованием включают: автоматическое повторное включение, автоматическое включение резерва, газовая защита, дифференциальная защита, резервная защита, токовая отсечка.

Формализуем требования к устройствам автоматического управления трансформаторным оборудованием. Для этого представим данные об устройствах автоматического управления и видах защит трансформаторного оборудования в виде продукционных моделей, т.к. они наиболее наглядно отражают знания о предметной области, по сравнению с другими моделями представления знаний. В общем виде продукция может быть представлена выражением следующего вида [3]:

$$(i); Q; P; A \Rightarrow B; N$$

где i – имя продукции, описывающей устройства автоматического управления и защиты; Q – сфера применения продукции; P – условие применимости ядра продукции, если $P = 1$, ядро активизируется; $A \Rightarrow B$ – ядро продукции (A описывает некоторое условие, необходимое для того, чтобы можно было совершить действие B); N – постусловия продукции (при условии, что ядро реализовалось).

Ядро продукции может быть представлено в виде выражения [4]:

$$\langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle \Rightarrow \langle B_1, B_2, \dots, B_n \rangle,$$

где A_n – множество продукционных условий; B_n – множество продукционных действий.

Кроме того, ядро продукции можно представить в виде:

$$\langle A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n \rangle \Rightarrow \langle B_1 \vee B_2 \vee \dots \vee B_n \rangle,$$

где « \vee » дизъюнкция (логическая операция «или») множество продукционных правил и множества продукционных действий.

Таким образом, модель требований к устройствам автоматического повторного включения трансформаторного оборудования можно представить в виде:

$$(АПВ); Q_{АПВ}; P_1; A_{АПВ} \Rightarrow B_{АПВ}; N_{АПВ},$$

где (АПВ) – устройство автоматического повторного включения трансформатора; $Q_{АПВ}$ – все одиночно работающие трансформаторы 1000 кВА и более, трансформаторы, питающие ответственную нагрузку; $P_1 = 1$ условие истинно, $P_1 = 0$ условие ложно; $A_{АПВ} \Rightarrow B_{АПВ}$ – продукционное правило: если «возникают неустойчивые КЗ», то «срабатывает АПВ»; $N_{АПВ}$ – дальнейшая успешная работа трансформатора.

Аналогично модель требований к устройствам автоматического включения резерва трансформаторного оборудования можно представить в виде:

$$(АВР); Q_{АВР}; P_2; A_{АВР} \Rightarrow B_{АВР}; N_{АВР},$$

где (АВР) – устройство автоматического включения резерва трансформатора; $Q_{АВР}$ – трансформаторы высокого напряжения, трансформаторы собственных нужд; $P_2 = 1$ условие истинно, $P_2 = 0$ условие ложно; $A_{АВР} \Rightarrow B_{АВР}$ – продукционное правило: если «возникает перерыв питания потребителей», то «срабатывает АВР»; $N_{АВР}$ – быстрое возобновление питания потребителей.

Аналогично модель требований к устройствам газовой защиты трансформаторного оборудования можно представить в виде:

$$(ГЗ); Q_{ГЗ}; P_3; \langle A_{ГЗ1}, A_{ГЗ2} \vee A_{ГЗ3} \rangle \Rightarrow \langle B_{ГЗ1}, B_{ГЗ2} \rangle; N_{ГЗ},$$

где (ГЗ) – устройство газовой защиты трансформатора; $Q_{ГЗ}$ – трансформаторы с масляным охлаждением, имеющие расширители; трансформаторы 6300 кВА и более, 1000 – 4000 кВА без дифференциальной защиты; $P_3 = 1$ условие истинно, $P_3 = 0$ условие ложно; $\langle A_{ГЗ1}, A_{ГЗ2} \vee A_{ГЗ3} \rangle \Rightarrow \langle B_{ГЗ1}, B_{ГЗ2} \rangle$ – продукционные правила: «если возникает медленное газообразование в масле, то срабатывает предупредительный сигнал газовой защиты», иначе «если возникает бурное газообразование (при КЗ)» или «понижение уровня масла в баке», то «газовая защита отключает трансформатор»; $N_{ГЗ}$ – своевременное отключение трансформатора с невозможностью дальнейшей работы без проведения анализа масла и газа, устранения выявленных дефектов.

Аналогично модель требований к устройствам дифференциальной защиты трансформаторного оборудования можно представить в виде:

$$(ДЗ); Q_{ДЗ}; P_4; \langle A_{ДЗ1} \vee A_{ДЗ2} \rangle \Rightarrow \langle B_{ДЗ} \rangle; N_{ДЗ},$$

где (ДЗ) – устройство дифференциальной защиты трансформатора; $Q_{ДЗ}$ – одиночно работающие трансформаторы 6300 кВА и более, параллельно работающие трансформаторы 4000 кВА и более; $P_4 = 1$ условие истинно, $P_4 = 0$ условие ложно; $\langle A_{ДЗ1} \vee A_{ДЗ2} \rangle \Rightarrow \langle B_{ДЗ} \rangle$ – продукционные правила: «если возникает повреждение на выводах» или «любые внутренние повреждения трансформатора», то «дифференциальная защита отключает трансформа-

тор»; $N_{ДЗ}$ – своевременное отключение трансформатора с невозможностью дальнейшей работы без проведения анализа масла и газа, устранения выявленных дефектов.

Аналогично модель требований к устройствам резервной защиты трансформаторного оборудования можно представить в виде:

$$(PЗ); Q_{PЗ}; P_5; \langle A_{PЗ1} \vee A_{PЗ2} \vee A_{PЗ3} \vee A_{PЗ4} \rangle \Rightarrow \langle B_{PЗ} \rangle; N_{PЗ},$$

где (PЗ) – устройство резервной защиты трансформатора; $Q_{PЗ}$ – все трансформаторы; $P_2 = 1$ условие истинно, $P_2 = 0$ условие ложно; $\langle A_{PЗ1} \vee A_{PЗ2} \vee A_{PЗ3} \vee A_{PЗ4} \rangle \Rightarrow \langle B_{PЗ} \rangle$ – производственные правила: «если возникает прохождение сверхтоков», или «отказ основных защит трансформатора», или «повреждения смежного оборудования», или «отказы защит смежного оборудования», то «отключение трансформатора от источников питания»; $N_{PЗ}$ – отключение питания трансформатора.

Аналогично модель требований к устройствам токовой отсечки трансформаторного оборудования можно представить в виде:

$$(ТО); Q_{ТО}; P_6; \langle A_{ТО1} \vee A_{ТО2} \rangle \Rightarrow \langle B_{ТО} \rangle; N_{ТО},$$

где (ТО) – устройство токовой отсечки трансформатора; $Q_{ТО}$ – трансформаторы, в которых не предусмотрена дифференциальная защита, понижающие трансформаторы небольшой и средней мощности; $P_2 = 1$ условие истинно, $P_2 = 0$ условие ложно; $\langle A_{ТО1} \vee A_{ТО2} \rangle \Rightarrow \langle B_{ТО} \rangle$ – производственные правила: «если возникают повреждения линий, питающих трансформатор», или «отключения от энергосистемы поврежденного трансформатора при наиболее тяжелых КЗ», то «мгновенная работа токовой отсечки отключает поврежденное оборудование»; $N_{ТО}$ –

быстрая ликвидация КЗ, наиболее тяжелых, близких к месту установки защиты.

Выводы из данного исследования

Полученные производственные модели требований к устройствам автоматического управления и защиты трансформаторного оборудования дают возможность сформировать алгоритмы вариантов решений при ликвидации аварийных ситуаций, связанных с автоматическим отключением трансформаторного оборудования действием автоматического управления и защит и разработать соответствующие рекомендации для сотрудников функциональных служб.

Разработанные модели простые в реализации, модификации и понимании отдельных правил, в них отсутствуют жесткие ограничения, характерные для логических исчислений, что дает возможность изменять интерпретацию элементов продукции.

Список литературы

1 *Электродинамическая стойкость трансформаторов и реакторов при коротких замыканиях // Сб. статей.* – М.: Знак, 2005. – 240 с.

2 *Инструкція «Розслідування і облік технологічних порушень на об'єктах електроенергетики і в об'єднаній енергетичній системі України».* – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2005. – 48 с.

3 *Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход.* – М.: Вильямс, 2007. – 1408 с.

4 *Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем.* – М.: Вильямс, 2005. – 864 с.

Поступила в редколлегию 00.00.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Авраменко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.