

## 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]:

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

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

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

$$\langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle \Rightarrow \langle V_1, V_2, \dots, V_n \rangle,$$

где  $A_n$  – множество продукционных условий;  $V_n$  – множество продукционных действий.

Кроме того, ядро продукции можно представить в виде:

$$\langle A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n \rangle \Rightarrow \langle V_1 \vee V_2 \vee \dots \vee V_n \rangle,$$

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:

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

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;  $A_{АПВ} \Rightarrow V_{АПВ}$  – 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:

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

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;  $A_{АВР} \Rightarrow V_{АВР}$  – 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:

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

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;  $\langle A_{ГЗ1}, A_{ГЗ2} \vee A_{ГЗ3} \rangle \Rightarrow \langle V_{ГЗ1}, V_{ГЗ2} \rangle$  – 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:

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

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;  $\langle A_{ДЗ1} \vee A_{ДЗ2} \rangle \Rightarrow \langle V_{ДЗ} \rangle$  – 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.