

УДК 621.31

**Коновалов Юрий Васильевич,**

к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

e-mail: yrvaskon@mail.ru

**Тинина Людмила Павловна,**

доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

e-mail: tinina-lp@inbox.ru

**Наумова Лилия Алексеевна,**

обучающаяся группы АТПм-18-1,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

e-mail: naumliliya@yandex.ru

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА****Konovalov Y.V., Tinina L.P., Naumova L.A.****AUTOMATION OF THE SYSTEM OF PROTECTION OF THE POWER TRANSFORMER**

**Аннотация.** В статье приведен анализ основных видов повреждений силовых трансформаторов, обоснованы требования к современным многофункциональным микропроцессорным защитам, предложена техническая реализация автоматизации защиты силового трансформатора.

**Ключевые слова:** силовые трансформаторы, повреждения, требования, многофункциональные, микропроцессорные, защита, техническая реализация, автоматизация.

**Abstract.** The article analyzes the main types of damage to power transformers, substantiates the requirements for modern multifunctional microprocessor protection, proposed the technical implementation of the automation of protection of a power transformer.

**Keywords:** power transformers, damage, requirements, multifunctional, microprocessor-based, protection, technical implementation, automation.

Силовые трансформаторы являются одним из наиболее важных элементов энергосистем. Естественно, что надежность работы сетей, электростанций и энергосистем в значительной степени зависит от надежности работы трансформаторов, тем более, что значительная часть трансформаторов отработала определенный стандартом минимальный

срок службы в 25 лет.

В таблице 1 приведены результаты исследований видов повреждений силовых трансформаторов по узлам и классам напряжений за трехлетний период по данным анализа Генеральной инспекции РАО «ЕЭС России», НИЦ «ЗТЗ-Сервис» [1, 2].

Таблица 1 – Распределение повреждений силовых трансформаторов по узлам и классам напряжений

Узел трансформатора	Класс напряжения, кВ													
	35		110		220		330		500		750		Всего	
	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%
Обмотки	61	30	43	13	10	7	1	8	0	0	0	0	115	16
Магнитопровод	0	0	0	0	2	1,5	1	8	0	0	0	0	3	1
Система охлаждения	7	3	16	5	8	6	2	15	3	14	0	0	36	5
Устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН)	4	2	61	18	26	19	1	8	5	24	0	0	97	14

## окончание таблицы 1

Вводы	27	13	77	23	44	32	3	23	7	34	0	0	158	22
Течь масла	54	37	113	32	45	33,5	5	38	6	28	0	0	240	33
Вандализм	31	15	31	9	1	1	0	0	0	0	0	0	63	9
Итого	204	100	338	100	136	100	13	100	21	100	0	0	712	100

Для предупреждения, локализации и устранения аварий, связанных с повреждениями трансформаторов, создаются современные системы защиты трансформаторов, которые отражают прогресс в области трансформаторостроения.

Обмотки высоковольтных трансформаторов, подключенные к воздушным линиям электропередачи, подвергаются воздействию крутых фронтов импульсов напряжений, возникающих при ударе молний, при коротком замыкании (КЗ) или коммутационных перенапряжениях. Всплеск напряжений при этом может превышать в несколько раз номинальное напряжение системы. Могут возникать и резонансные явления, ведущие к еще большему превышению напряжения, при этом возможно перекрытие межвитковой изоляции. Такие межвитковые замыкания желательно обнаружить на ранней стадии.

При повреждении магнитопровода (сердечника), проводящие мостики, образованные между ламинированными структурами сердечника, являются причиной протекания значительных вихревых токов, приводящих к локальному значительному повышению температуры, что может привести к повреждению изоляции.

Перегрузки трансформаторов ведут к «увеличению потерь в меди», и в результате к повышению температуры. Перегрузки допустимы в течение ограниченного времени, по рекомендации завода изготовителя. Во время перегрузок возникает перегрев трансформатора. Защита при перегрузке может быть включена как составная часть системы полного мониторинга состояния трансформатора. Повреждения в системе охлаждения ведут к интенсивному нагреву обмоток питающих трансформаторов.

Уровень стойкости их к коротким замыканиям определяется нормативными документами. Максимальное механическое воздействие на обмотку происходит в первом периоде тока КЗ. Предотвращение повреждений является важным вопросом при разработке конструкции трансформаторов.

Перенапряжения в энергосистеме ведут как к повышению нагрузки на изоляцию, так и к увеличению рабочего магнитного потока. А это приводит к увеличению потерь в железе и непропорциональному увеличению тока намагничивания. Дополнительный магнитный поток рассеивается из ламинированного сердечника в металлические части конструкции трансформатора, что ведет к повышению температуры болтов и к разрушению изоляции.

Во время переходных процессов, происходящих при включении трансформатора или при восстановлении напряжения, возникают броски тока намагничивания. Типовые броски тока намагничивания содержат значительную долю второй гармоники. По мере увеличения степени насыщения увеличивается общий процент гармонических составляющих, особенно повышаются составляющие пятой гармоники.

Для современных автоматизированных систем защиты является нормой обеспечить все требуемые функции защиты в одном пакете (терминале). Согласно нормам технологического проектирования подстанций, при новом строительстве и реконструкции подстанций, должны применяться современные устройства релейной защиты и автоматики (РЗА), соответствующие действующим нормам и прошедшим регламентированной процедуре проверки качества оборудования.

Применяемая аппаратура РЗА должна иметь стандартные протоколы обмена информацией по ГОСТ, стандартам международной электротехнической комиссии (МЭК), отвечать требованиям надежности и электромагнитной совместимости (ЭМС). Алгоритм функционирования должен обеспечивать отсутствие излишней работы данного устройства при внешнем КЗ и насыщении трансформатора тока (ТТ).

Многофункциональные устройства имеют возможность значительно улучшить быстродействие, что важно для снижения эффективности теплового воздействия и электродинамических сил, при выполнении со-

гласования с нижележащими по иерархии защитами, а также чувствительность и селективное действие защиты.

Основным видом защиты трансформаторов при повреждениях их обмоток, на вводах и ошиновке является дифференциальная защита. Ввиду ее сравнительной сложности дифференциальная защита устанавливается лишь на одиночно работающих трансформаторах 6300 кВА и выше, на параллельно работающих трансформаторах мощностью 4000 кВА и выше и на трансформаторах мощностью 1000 кВА и выше, если токовая отсечка не обеспечивает защитное действие, а максимальная токовая защита имеет выдержку времени более 1 с.

Действие дифференциальной защиты поясняется тем, что с обеих сторон трансформатора устанавливаются трансформаторы тока, вторичные обмотки которых включены последовательно. Параллельно им подключается токовое реле. Если характеристики трансформаторов тока будут одинаковы, то в нормальном режиме, а также при внешнем коротком замыкании, токи во вторичных обмотках трансформаторов тока будут равны, разность их будет равна нулю, ток через обмотку токового реле протекать не будет, следовательно, защита действовать не будет.

Дифференциальная защита обладает высокой чувствительностью и является быстродействующей, так как для нее не требуется выдержка времени, она может выполняться с мгновенным действием, что и является ее главным положительным свойством. Однако она не обеспечивает защиты при внешних коротких замыканиях и может вызывать ложные отключения при обрыве в соединительных проводах вторичной цепи.

Для силовых трансформаторов дифференциальная защита может быть реализована на терминале MiCOM P63x (MiCOM P631/P632/P633/P632) [3].

Семейство устройств MiCOM P63x обеспечивают трехступенчатую дифференциальную защиту, используя отключающую характеристику с двумя точками излома и

двумя настраиваемыми на высокое значение уставками дифференциального тока для быстрого отключения, а также стабилизацию при броске тока включения, стабилизацию при перевозбуждении защищаемого объекта и стабилизацию при протекании сквозных токов короткого замыкания.

Согласование по амплитуде и группе соединения выполняется простым вводом номинальных величин каждой стороны трансформатора и соответствующих трансформаторов тока. Новая, дополнительная функция контроля исправности цепей измерения предотвращает несанкционированное отключение дифференциальной защиты при КЗ во вторичной обмотке ТТ.

При применении полуторной схемы выключателя и кольцевой схемы соединения шин также возможно определить виртуальную сторону, где могут быть геометрически сложены (как геометрическая сумма векторов) фазные токи и ток нулевой последовательности от двух сторон трансформатора по выбору оператора.

Функция фазоинвертирования обеспечивается для применения на гидроаккумулирующих электростанциях (ГАЭС).

В устройстве, в котором реализовано более одной функции защиты, каждую функцию можно легко назначить на отдельную сторону трансформатора. Кроме того, могут быть обеспечены многочисленные функции резервной защиты и автоматического управления.

Соответствующие параметры защиты могут сохраняться в четырех независимых подгруппах параметров в целях адаптации устройства защиты к различным условиям эксплуатации и системам управления электроэнергией.

Основные функции - это цельные функциональные группы, каждую из которых можно конфигурировать и деконфигурировать в зависимости от типа применения (например, включить или исключить из конфигурации устройства). Набор этих функций представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Основные функции контроля и защиты различных серий устройств MiCOM P63x

Основные функции	P631	P632	P633	P634
Дифференциальная защита, обеспечивающая: трехступенчатую дифференциальную защиту, согласование по амплитуде и группе соединения, фильтрацию тока нулевой последовательности, характеристику срабатывания с двумя точками излома, стабилизацию фазных токов при броске тока включения трансформатора, стабилизацию дифференциального тока при перевозбуждении защищаемого объекта, стабилизацию при протекании сквозных токов короткого замыкания	2 стороны	2 стороны	3 стороны	4 стороны
Дифференциальная защита нулевой последовательности (от замыканий на землю)	-	2	3	3
Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени	2	2	3	3
Максимальная токовая защита с инверсной времязадержкой-характеристикой	2	2	3	3
Защита от тепловой перегрузки	1	1	2	2
Защита от понижения/повышения напряжения с выдержкой времени	-	1	1	1
Защита от понижения/повышения частоты	-	1	1	1
Стабилизация дифференциального тока при перевозбуждении защищаемого объекта	-	1	1	1
Функция контроля трансформатора тока	опция			
Контроль исправности цепей измерений	2	2	3	4
Контроль наличия предельных величин	2	2	3	3
Параметрируемая логика	1	1	1	1

На терминале MiCOM P64x было разработано реле защиты P64x для обеспечения автоматизации защиты силовых трансформаторов [4] с использованием последних цифровых технологий. Возросшая функциональность цифровых реле дает возможность использования расширенных функций защиты для широкого спектра приложений, которые в сочетании с большим количеством дополнительных (незащитных) функций могут выполнять требования контроля и мониторинга энергосистем.

Основные функции защиты реле MiCOM P64x:

- полная дифференциальная защита с торможением,
- дифференциальная защита от замыканий на землю для отдельных обмоток трансформатора,
- направленная/ненаправленная, без выдержки времени/с выдержкой времени фазная максимальная токовая защита,
- направленная/ненаправленная, с вычислением величин/с измерением величин, без выдержки времени/с выдержкой времени токовая защита от замыкания на землю,
- направленная/ненаправленная, без выдержки времени/с выдержкой времени токовая защита обратной последовательности,

- защита от термической перегрузки, - защита от понижения/повышения напряжения и защита от повышения напряжения нулевой последовательности,

- защита от понижения/повышения частоты,

- защита от перевозбуждения,

- токовая защита ошиновки/токовая защита обмоток (имеется только в версиях реле P643/5),

- устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ),

- дискретные (оптически изолированные) входы и программируемая логика схем (PSL) для передачи внешним устройствам сообщений предупредительной сигнализации и сообщений об отключении.

В дополнение к выполнению всех общих требований относительно защиты трансформатора, реле серии P64x обладает многими общими функциями, характерными для других реле семейства MiCOM. Благодаря своему цифровому дизайну и стандартизации аппаратных средств, реле серии P64x предлагают разнообразие дополнительных функций:

- статистика сокращения срока службы изоляции,
- контроль сквозного повреждения,

- контроль ТТ и трансформаторов напряжения (ТН),
- контроль отключенной фазы (только в Р643/5 при заказе 3-фазного входа ТН),
- протоколирование повреждений (сводка причин отключений),
- протоколирование событий (сводка аварийных сообщений и событий реле),
- протоколирование аномальных событий (протоколирование аналоговых сигналов и функционирования дискретных входов и выходных реле),
- присвоение меток даты и времени всем записям,
- вспомогательные средства установки,
- средства удаленной связи,

- высокая степень непрерывной самодиагностики.

В нашей стране в ближайшие годы, как по экономическим, так и по техническим причинам, не ожидается существенного обновления отработавших свой срок трансформаторов, и на ближайшую перспективу усиления по сохранению работоспособности энергосистем будут направлены в основном на продление срока службы ныне работающих трансформаторных подстанций. Это возможно реализовать широким внедрением современных цифровых реле с обеспечением всех требуемых функций защиты силовых трансформаторов в соответствии с требованиями ГОСТ и стандартов МЭК.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Быстрый рост доли оборудования [Электронный ресурс]. URL:<http://textarchive.ru/> (28.10.2018).
2. Крюков А.В., Арсентьев О.В., Арсентьев Г.О. Модельные исследования несимметрии в трехфазных электрических сетях / А.В. Крюков, О.В. Арсентьев, Г.О. Арсентьев // Сборник научных трудов Ангарской государственной технической академии: Изд-во АГТА, г. Ангарск. – 2015. Т. 1. № 1. С. 122-131.
3. Техническое описание реле MiCOM P63x (Alstom).
4. Указания по применению устройств MiCOM P642, P643, P645. – 2009. с. 112.