

Для расщепленных проводов используются распорки с вращающимися зажимами с которыми установлены эксцентричные грузы, как и на одиночных проводах. Широко используется комбинация различных способов подавления пляски проводов. В Бельгии разработан новый демпфер пляски расщепленных проводов типа TDD, сочетающий принципы расстройки маятниковой системой и демпфирования крутильных колебаний. TDD имеет динамическое действие способное избегать перемещения энергии от кручения к вертикальному движению. Ослабление скручивания с помощью TDD увеличивает критическую скорость ветра при которой начинается пляска. Гаситель прошел успешные испытания в полевых условиях и рекомендован для применения.

В связи с отсутствием надежных методов подавления и ограничения пляски проводов, в этой области требуются как теоретические, так и практические работы по созданию и применению устройств по борьбе с этим явлением.

УДК 621.314.222.6

## О ПРИНЦИПАХ ВЫПОЛНЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА

Томкевич А.П.

Существующие дифференциальные защиты трансформаторов анализируют разность приведенных токов со стороны высшего и низшего напряжений и в случае превышения величины уставки, обусловленной различного рода небалансами, выдают сигнал на отключение трансформатора. Традиционно выполняется общая защита для всех обмоток, требующая учета схем соединения обмоток, отстройки от аномальных режимов и работы устройства РПН, что приводит к увеличению тока срабатывания. Такой подход позволяет независимо решать вопросы проектирования трансформатора и его релейной защиты.

Теоретически возможна реализация дифференциальной защиты индивидуально для каждой из обмоток. Это техническое решение требует изменений в конструкции трансформатора – установку дополнительных трансформаторов тока (ТТ), а также большего числа измерительных органов, что приводит к его экономической неэффективности.

Основным аномальным режимом, обуславливающим значительный коэффициент отстройки при расчете тока срабатывания, является бросок тока намагничивания (БТН), возникающий при включении трансформатора или при устранении внешнего короткого замыкания и превышающий номинальный ток трансформатора ( $I_{ном}$ ) в 6–8 раз [1].

Разработанные способы отстройки от БТН и сверхтоков внешних КЗ [1, 2] с использованием быстронасыщающихся трансформаторов (реле РНТ-56х) и торможением от токов плеч (реле ДЗТ-11) обеспечивают ток срабатывания защиты порядка  $(1–1,2)I_{ном}$ . В случае применения реле, дополнительно реализующих принципы распознавания сигналов (ДЗТ-21 или устройства ЯРЭ-2201 на микроэлектронной базе) удастся достичь тока срабатывания в пределах  $(0,3–0,7)I_{ном}$ .

В современных цифровых защитах трансформаторов получило развитие второе направление. Фактически переход на новую элементную базу позволил адаптивно выбирать плечо торможения, улучшить характеристики фильтрации сигнала и осуществлять контроль по следующим критериям: процентное содержание второй гармоники в первичном токе и характерной форме кривой тока при БТН, что привело к снижению тока срабатывания защиты до  $(0,15–0,4)I_{ном}$ . Как и предшественники, цифровые защи-

ты не всегда реагируют на витковые замыкания обмоток – для ликвидации таких режимов предусмотрена газовая защита. Добиться удовлетворительной чувствительности к витковым замыканиям удалось лишь для определенного вида повышающих трансформаторов [2].

В настоящее время основными задачами исследований в области совершенствования дифференциальных защит трансформатора являются уменьшение тока срабатывания защиты до величин  $(0,03 - 0,1)I_{ном}$  и обеспечение 100 %-ной защитоспособности объекта.

Цифровая элементная база открывает перед разработчиками новые возможности – использование математических моделей не только для исследований режимов работы оборудования, но и для построения на их базе непосредственно устройств релейной защиты. Это преимущество уже используется для реализации тепловых защит двигателей, генераторов, трансформаторов и др. оборудования. Решение тепловой модели объекта позволяет отказаться от применения тепловых датчиков, контролировать температуру в труднодоступных местах. Используемые математические модели характеризуются относительной простотой, а существенная инертность процессов позволяет не учитывать влияние импульсных помех и не требует значительных вычислительных мощностей.

Разрабатываемый алгоритм функционирования устройства релейной защиты трансформатора от внутренних повреждений, выполненного на основе математической модели, сохраняет дифференциальный принцип. Основопологающим отличием от существующих защит является сравнение (вычитание) трансформированных реальных первичных токов и вычисленных «модельных» токов трансформатора. Такой подход не требует отстройки от аномальных режимов, т. к. они воспроизводятся математической моделью.

Ключевые задачи, возникающие при реализации описанной защиты состоят в следующем:

- модель трансформатора должна гарантированно решаться в реальном времени (за 0.2–0.5 мс) и содержать в себе наименьшую погрешность;
- необходимость использования моделей ТТ, позволяющих уточнить вторичные токи ТТ при их насыщении;
- необходимость использования цепей напряжения для получения сведений о текущем режиме энергосистемы (исходные данные для модели трансформатора);
- наличие адекватных и простых аппроксимаций кривых намагничивания, а также конструктивных параметров силового трансформатора и трансформаторов тока.

### Литература

1. Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.
2. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.

УДК 621.311

### ВЫБОР ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ 10–35 КВ

*Булавина Т.А., Климович А.К., Вабищевич А.Г.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент РЖЕВСКАЯ С.П.

Правильный подбор ограничителей перенапряжений является очень важным, так как имеет решающее влияние на правильную работу ограничителя. Чаще всего причинами аварий ограничителей является не правильно проведенный их выбор.