

Определение β_{\max} по трансцендентному уравнению вызывает определенные затруднения, поэтому для ускорения и упрощения расчета для длины подпролета 5 м была получена зависимость угла β_{\max} от сочетания следующих параметров: ток КЗ, шаг расщепления и удельный вес провода на единицу длины $\beta_{\max} = f\left(\frac{I}{\sqrt{S \cdot q}}\right)$ (рисунок 2).

Как видно из рисунка 2, полученные кривые можно представить одной общей зависимостью $\beta_{\max} = f\left(\frac{I}{\sqrt{S \cdot q}}\right)$ при длине подпролета 5 м. Целью дальнейших исследований должно стать получение аналогичных зависимостей для других длин подпролета и, в конечном итоге, получение универсального графика определения угла предельного стягивания проводников расщепленной фазы независимо от длины подпролета, количества проводов в фазе и других конструктивных параметров.

УДК 621.316

СОВРЕМЕННАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ЗАЩИТА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Васильева И.В., Анфилец С.В.

Научный руководитель – БУЛОЙЧИК Е.В.

Одним из наиболее массовых объектов энергосистемы являются силовые трансформаторы. Система релейной защиты (РЗ) трансформаторов имеет два назначения: основное – автоматическое без выдержки времени отключение трансформатора от энергосистемы при возникновении аварийных режимов; дополнительное – сигнализация либо отключение трансформатора с выдержкой времени при возникновении опасных аномальных режимах работы.

К аварийным режимам относятся все виды внутренних коротких замыканий (КЗ), а к аномальным – броски намагничивающегося тока, перевозбуждения, перегрузки, прохождение через трансформатор сверхтоков внешних КЗ.

Основными показателями технического совершенства устройств РЗ трансформаторов являются защитоспособность и быстрота срабатывания.

Наиболее технически совершенными в настоящее время являются микропроцессорные комплексы РЗ. Применение микропроцессорных технологий обработки информации при повышении качества входных промежуточных измерительных преобразователей современных терминалов релейной защиты и автоматики (РЗА) позволяет получить ряд преимуществ устройств РЗ, в частности, дифференциальных защит. Ранее выявление повреждения благодаря высокой чувствительности и быстродействию позволяет уменьшить степень повреждения и время восстановления защищаемого объекта.

Микропроцессорная база позволяет существенно повысить (по сравнению с электромеханическими и микроэлектронными устройствами) технические характеристики устройств защиты различного первичного оборудования (постоянная самодиагностика, высокая селективность, чувствительность и быстродействие) за счет применения более совершенных алгоритмов.

В цифровых устройствах, как правило, производится компенсация фазового сдвига токов в обмотках силового трансформатора математическим путем. При этом электрическое соединение измерительных трансформаторов тока (ТА) сторон высшего на-

пряжения и низшего напряжения – всегда в звезду, а группа соединений трансформатора вводится в реле в виде уставки. Это позволяет уменьшить нагрузку на ТА и тем самым улучшить условия их работы.

Для отстройки от токов небаланса, вызванных любой причиной, в большинстве современных цифровых дифференциальных защитах трансформатора используются так называемое «процентное» торможение от токов плеч защиты. При этом ток срабатывания автоматически изменяется с изменением тока управления, называемым тормозным током. Эта зависимость называется тормозной характеристикой, а степень торможения определяется наклонной характеристики.

Устойчивая работа микропроцессорных дифференциальных защит трансформатора в переходных режимах и, соответственно, высокая чувствительность достигается рядом мер, в числе которых: торможение от полусуммы действующих значений первых гармонических составляющих токов цепей циркуляции, с учетом среднего за период значения дифференциального тока («Сириус-Т» Радиус Автоматика), от арифметической суммы токов всех плеч (7UT612, 7UT613 Siemens). В некоторых терминалах тормозной ток рассчитывается как наибольший из токов всех плеч с учетом внутренней компенсации их величины и угла (T35, T60, GE).

Для обеспечения быстрого отключения КЗ в трансформаторах при больших токах, приводящих к глубокому насыщению первичных измерительных ТА, всегда чувствительная дифференциальная защита может иметь замедление в срабатывании, часто предусматривается дифференциальная токовая отсечка.

Для отстройки от бросков тока намагничивания широко применяется гармоническое торможение – по второй гармонике, т. к. содержание второй гармоники по отношению к первой в дифференциальном токе составляет не менее 17 %. При превышении контролируемого отношения действующих значений второй гармоники к первой, защита блокируется.

В защите также может предусматриваться блокировка от режима перевозбуждения. Может выполняться с действием на относительное содержание пятой гармоники (т. к. режим перевозбуждения характеризуется наличием нечетных гармоник), или

осуществляет контроль линейного либо фазных напряжений и соотношения $\frac{U}{f}$, т. к. режим перегрузки может вызываться повышением напряжения в обмотках трансформатора либо понижением частоты в системе.

Для примера приведем основные характеристики некоторых изученных микропроцессорных реле защиты трансформаторов различных фирм изготовителей.

SIPROTEC 7UT6 (Siemens). Цифровое реле дифференциальной защиты сосредоточенных элементов.

Реле дифференциальной защиты 7UT6 применяются для быстрого и селективного отключения коротких замыканий в трансформаторах всех уровней напряжения, во вращающихся электрических машинах, например, в двигателях и генераторах, а также на коротких линиях и сборных шинах. Защита может применяться для трехфазных и однофазных трансформаторов.

Кроме функции дифференциальной защиты устройство включает резервную токовую защиту обмоток со стороны звезды. Дополнительно можно использовать защиту от низко- или высокоомных замыканий на землю, защиту обратной последовательности и защиту при отказе выключателя. Реле позволяет выполнять измерение и контроль температур с помощью внешних термодатчиков. Поэтому возможно полностью контролировать термическое состояние трансформатора, например, вычислить температуру масла на активном участке.

Реле обеспечивает легкодоступное местное управление и функции автоматизации.

Функции защиты:

- дифференциальная защита с пофазным измерением;
- чувствительное измерение для определения повреждений с малыми по величине токами;
- быстрое отключение при повреждениях с большими по величине токами;
- блокирование при бросках тока намагничивания;
- защита от коротких замыканий или замыканий на землю;
- защита от перегрузок с измерением или без измерения температуры;
- защита обратной последовательности;
- защита при отказе выключателя (УРОВ);
- ограниченная защита от низко- или высокоомных замыканий на землю.

T35, T60 (GE). Устройство защиты и контроля силового трансформатора.

Дифференциальное реле защиты трансформатора T35 (T60) представляет собой микропроцессорное устройство, предназначенное для защиты трехфазных силовых трансформаторов малой, средней и большой мощности, включенных в энергосистему со сложной конфигурацией. Реле может иметь от двух до шести наборов трехфазных входов переменного тока, предназначенных для подключения либо ТА, либо ТА и TV (измерительных трансформаторов напряжения). Реле может быть настроено для защиты трансформаторов с любым сдвигом по фазе между обмотками. Измерение напряжения, токов фаз со всех сторон, дифференциальных токов, составляющих второй и пятой гармоник в дифференциальном токе, мощности встроены в реле как стандартная функция. Параметры тока представлены или в виде полного среднеквадратичного значения амплитуды, или в виде среднеквадратичного значения амплитуды основной гармоники и угла (вектора).

Функции защиты T35:

- дифференциальная защита с торможением и дифференциальная отсечка;
- резервная МТЗ (максимальная токовая защита) каждой стороны силового трансформатора;
- контроль от 2 до 6 первичных обмоток;
- блокировка дифференциальной защиты по 2-й и 5-й гармоникам;
- шесть групп уставок.

Функции защиты T60:

- дифференциальная защита с торможением и дифференциальная отсечка;
- резервная ТО и МТЗ с каждой стороны трансформатора;
- резервная направленная МТЗ (опция);
- резервная направленная МТЗ по $3I_0$ (опция);
- резервная ТО и МТЗ с каждой стороны трансформатора. Контроль от 2-х до 4-х первичных обмоток;
- минимального и максимального напряжения (опция);
- максимального напряжения нулевой последовательности (опция);
- четыре ступени максимальной и шесть ступеней минимальной частоты (опция);
- шесть групп уставок.

Сириус-Т (Сириус-ТЗ) (Радиус Автоматика). Устройство микропроцессорной защиты «Сириус-Т» предназначено для выполнения функций основной защиты двух-обмоточного (в том числе с расщепленной обмоткой) трансформатора с высшим напряжением 35–220 кВ. Также возможно использование в качестве дифференциальной защиты реактора или мощного синхронного двигателя. Устройство защиты «Сириус-ТЗ» предназначено для выполнения функций основной защиты трехобмоточного трансформатора с высшим напряжением 35–220 кВ либо автотрансформатора.

Функции защиты:

- быстродействующая дифференциальная токовая отсечка с контролем как действующего, так и мгновенного значения дифференциального тока;
- дифференциальная токовая защита с уставкой $(0,3-1,0)I_{ном}$, с торможением от сквозного тока и отстройкой от бросков тока намагничивания;
- двухступенчатая токовая защита высшей стороны трансформатора с возможностью комбинированного пуска по напряжению. Для увеличения чувствительности имеется возможность ввести блокировку по 2-й гармонике дифференциального тока. Предусмотрен автоматический ввод ускорения при включении выключателя ВН;
- ступени МТЗ средней и низшей сторон трансформатора с возможностью комбинированного пуска по напряжению. Предусмотрен автоматический ввод ускорения при включении выключателя НН;
- защита от перегрузки по каждой стороне напряжения трансформатора с действием на сигнализацию.

Литература

1. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 199 с.
2. Овчаренко Н.И. Микропроцессорные комплексы релейной защиты и автоматики распределительных электрических сетей. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 1999. – 64 с.
3. Гловацкий В.Г., Пономарев И.В. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей. – 3 электронная версия. – Киев: Энергомашвин, 2003. – 535 с.
4. Лычковский Г.И. Рекомендации по выбору уставок терминалов Т35 и Т60, GE. – Минск, 2005. – 27 с.
5. Дифференциальное реле защиты трансформатора Т35, версия 4.4. Руководство по использованию серии УР. – GE, 2005. – 130 с.
6. Дифференциальная защита 7UT612, версия 4.0. Руководство по эксплуатации. – Siemens, 2002. – 394 с.
7. Дифференциальная защита 7UT613, версия 4.0. Руководство по эксплуатации. – Siemens, 2003. – 498 с.
8. Микропроцессорное устройство основной защиты двухобмоточного трансформатора «Сириус-Т». Руководство по эксплуатации. – М.: ЗАО «Радиус Автоматика», 2005. – 68 с.
9. Дмитренко А.М. Рекомендации по применению и выбору уставок функционального блока дифференциальной защиты трансформаторов терминала типа RET316. – 3-я редакция. – АББ Реле-Чебоксары, 2002.
10. Терминал защиты трансформатора RET 521*RU. Руководство по эксплуатации. – АББ, 2004.
11. Барабанов Ю.А., Езерский В.Г., Гондуров С.А., Турченко В.В. Комплекс защит подстанционного оборудования производства НТЦ «Механотроника». – НТЦ «Механотроника», 2005.

УДК 621.3

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Грabcкая С.С., Никифоров П.С.
Научный руководитель – ГЛИНСКИЙ Е.В.

Основными повреждениями в цепях электрического тока являются короткие замыкания, вызванные рядом причин. Для выбора оборудования на электрических станциях и подстанциях необходимым является расчет токов короткого замыкания. Ручной расчет токов КЗ в цепях постоянного оперативного тока электрических станций и подстанций является трудоемким и требует дополнительных затрат времени. Для упроще-