

с номерами секций РУ напряжением 6 кВ. Задание расчета самозапуска электродвигателей какой-либо секции выполняется путем выбора номера этой секции в вертикальном меню.

В процессе расчета результаты расчета выдаются на экран монитора в графическом отображении. При этом на экран видеомонитора выводится масштабная сетка для отображения контролируемых параметров процесса самозапуска электродвигателей в функции времени. В верхней части масштабной сетки в процессе расчета выдаются сообщения о рассчитываемом в настоящий момент виде режима (исходный режим, короткое замыкание, групповой выбег, самозапуск электродвигателей). По окончании расчета в верхней части масштабной сетки появляется сообщение, в котором показываются номера секций и дата выполнения расчета.

Проведенные расчеты позволяют в доступной и удобной форме отображать результаты расчета и документально фиксировать. Поэтому программа расчета самозапуска электродвигателей станции может быть использована как на стадии проектирования электрических станций, так и для оперативных расчетов персоналом на действующих электрических станциях.

УДК 621.316.925

## **СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ ТОКОВ НЕБАЛАНСА**

*Белкин Д.Г., Маркевич Н.Н.*

**Научный руководитель – БУЛОЙЧИК Е.В.**

Надежная работа энергосистем и входящих в их состав электростанций, электросетей и электроустановок потребителей электроэнергии в значительной мере зависит от уровня эксплуатации устройств релейной защиты и электроавтоматики.

Наряду с другим электротехническим оборудованием силовые трансформаторы являются неотъемлемой частью энергосистемы.

На трансформаторах мощностью более 7,5 МВА в качестве основной быстродействующей защиты устанавливается продольная дифференциальная токовая защита. Для выполнения дифференциальной защиты трансформатора (автотрансформатора) (ДЗТ) устанавливаются трансформаторы тока (ТА) со стороны всех его обмоток. Вторичные обмотки трансформаторов тока соединяются в дифференциальную схему и параллельно к ним подключается токовое реле. Однако особенности трансформатора как объекта защиты приводят к тому, что ток небаланса в дифференциальной защите трансформатора, который появляется вследствие неравенства вторичных токов в реле при внешних коротких замыканиях (КЗ) и нагрузке, значительно больше, чем в дифференциальных защитах других элементов системы электроснабжения. Поэтому для корректной работы дифференциальной защиты трансформатора необходимо производить отстройку от этих токов.

Неравенство вторичных токов обуславливается следующими факторами: погрешностью трансформаторов тока; изменением коэффициента трансформации силового трансформатора при регулировании напряжения; неполной компенсацией неравенства вторичных токов в плечах защиты; наличием намагничивающих токов силового трансформатора, вносящих искажение в его коэффициент трансформации.

Различие признаков у составляющих тока небаланса затрудняет поиск эффективного универсального технического средства, обеспечивающего отстройку дифференци-

альной защиты трансформатора от токов небаланса. Отстройка по току срабатывания (загрубление защиты) делает защиту нечувствительной к внутренним КЗ. Фиксация искажения формы кривой дифференциального тока, используемая для распознавания бросков намагничивающего тока, эффективна для отстройки от токов небаланса только защит трансформатора, не имеющих регулирования напряжения.

Традиционным способом отстройки дифференциальных реле защиты электроустановок от токов небаланса, вызванных любой причиной, является процентное торможение, загрубление до большего тока срабатывания или блокировка в функции от параметров токов плеч.

Загрубление защиты посредством использования апериодической слагающей в переходном токе небаланса реализовано в реле РНТ с насыщающимся трансформатором тока (НТТ). НТТ плохо трансформируют апериодическую составляющую. Поэтому чувствительность РНТ зависит от формы кривой тока, проходящего по рабочей обмотке. При синусоидальном токе НТТ не оказывает существенного влияния на работу реле. Защита загрубляется на время существования переходного тока небаланса или броска тока намагничивания. Это дает возможность отстраивать защиту только от установившихся токов небаланса.

Для отстройки от установившихся, а также переходных токов небаланса используют так называемое «процентное» торможение от токов плеч защиты. Этот принцип реализован в реле ДЗТ и используется в современных микропроцессорных защитах. У дифференциальных реле тока с торможением ток срабатывания автоматически изменяется с изменением тока управления, называемым тормозным током. Эта зависимость называется тормозной характеристикой. Степень торможения определяется наклоном характеристики, а отношение тока срабатывания к тормозному называется тормозным коэффициентом. Таким образом, при увеличении тока сквозного КЗ ток срабатывания также возрастает, что обеспечивает отстройку от увеличивающихся токов небаланса.

В дифференциальных защитах с торможением типов ДЗТ-21 и ДЗТ-23 для отстройки от переходных токов небаланса и бросков тока намагничивания используется импульсный принцип блокирования защиты в сочетании с торможением от составляющих второй гармонической тока, содержащихся в токах намагничивания. В защите предусмотрено также торможение от фазных токов в двух плечах защиты, улучшающее отстройку от установившихся и переходных токов небаланса. Для обеспечения надежности и быстродействия защиты при насыщении ТА защиты в схеме предусмотрена дополнительная отсечка.

В настоящее время наиболее технически совершенными являются комплексы РЗ, обработка входной информации в которых производится в цифровом виде. Применение микропроцессорных технологий обработки информации позволяет получить ряд преимуществ устройств РЗ, в том числе и 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.

Устойчивая работа микропроцессорных ДЗТ 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, либо от арифметической суммы токов всех плеч. Такой подход используется в терминале

Сириус-Т, тормозная характеристика и способ расчёта тормозного тока которой представлены на рисунке 1. Для этого подхода

$$I_{\text{дифф}} = |I_1 + I_2|;$$

$$I_{\text{торм}} = 0,5 \cdot |I_1 - I_2|.$$

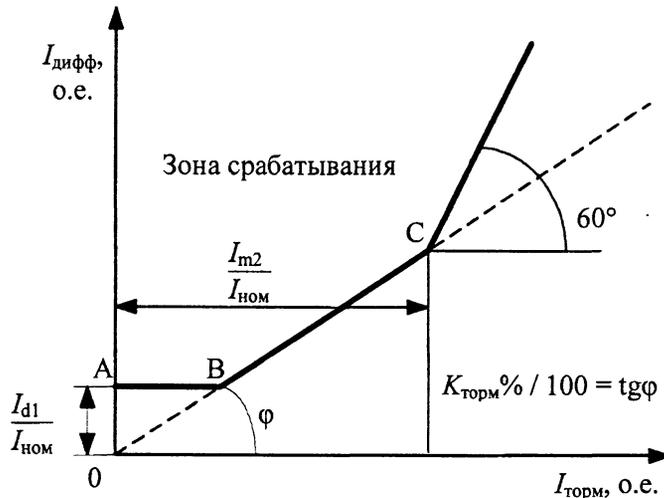


Рис. 1. Характеристика срабатывания дифференциальной защиты Сириус-Т

В некоторых терминалах тормозной ток рассчитывается как наибольший из токов всех плеч с учетом внутренней компенсации их величины и угла.

В терминалах RET\*\*\* фирмы АВВ тормозной ток определяется с учетом угла между векторами токов плеч. Характеристика срабатывания дифференциальной защиты RET316 представлена на рисунке 2. Для этого подхода

$$I_{\text{дифф}} = |I_1 + I_2|;$$

$$I_{\text{торм}} = \sqrt{I_1' I_2' \cos \alpha}, \text{ для } \cos \alpha \geq 0;$$

$$I_{\text{торм}} = 0, \text{ для } \cos \alpha < 0.$$

где  $I_1'$  – действующее значение первой гармоники наибольшего из токов плеч;

$$I_2' = |I_{\text{дифф}} - I_1'|;$$

$$\alpha = \angle(I_1' - I_2');$$

по умолчанию принимаем  $g = 0,2$ , а  $b = 1,50$ .

Для дифференциальной защиты Т35 (рисунок 3)

$$I_{\text{дифф}} = |I_1 + I_2|;$$

$$I_{\text{торм}} = \max\{|I_1|, |I_2|\}.$$

Тормозные характеристики дифференциальных микропроцессорных защит генераторов и трансформаторов формируются, как правило, на базе первых гармоник.

Для повышения отстройки чувствительного органа дифференциальной защиты от токов небаланса, возникающих при максимальных токах внешних КЗ, может использоваться какой-либо информационный параметр (параметры) переходного режима.

Наряду с совершенствованием способов распознавания токов небаланса при внешних КЗ и отстройки от них разрабатываются способы устранения тех или иных

Причин возникновения токов небаланса. Прежде всего, чтобы уменьшить составляющую тока небаланса, обусловленную погрешностью трансформаторов тока, следует подбирать ТА и их вторичную нагрузку таким образом, чтобы они не насыщались при максимальном значении тока сквозного КЗ. Для этого трансформаторы тока выбирают по кривым предельной красности или характеристикам намагничивания так, чтобы погрешность ТА не превышала 10 %.

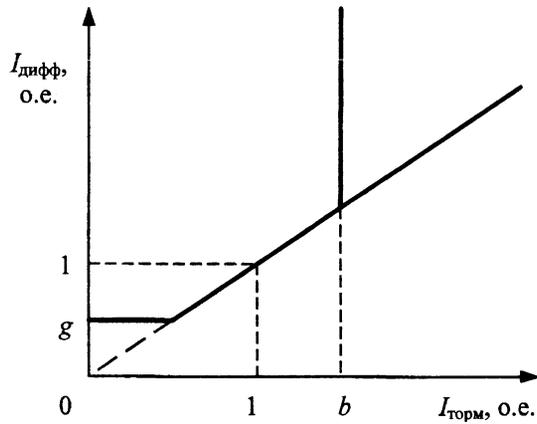


Рис. 2. Характеристика срабатывания дифференциальной защиты RET316

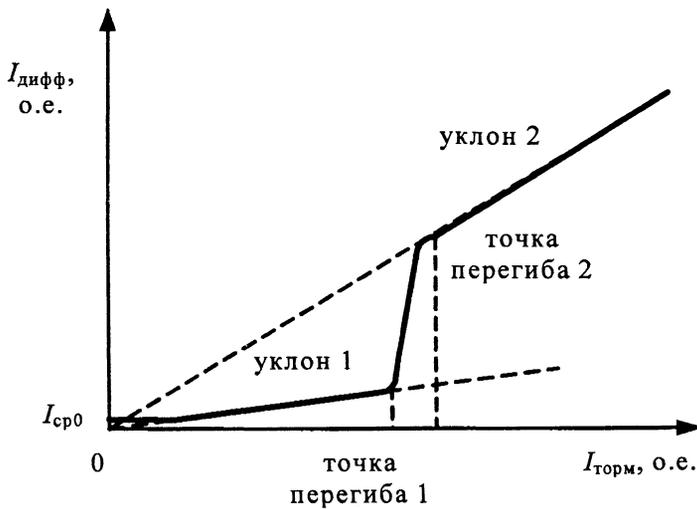


Рис. 3. Характеристика срабатывания дифференциальной защиты ТЗ5

Устранить влияние остаточных индукций можно, применяя ТА с малым зазором или с подмагничиванием постоянным током.

В цифровых устройствах, как правило, производится компенсация фазового сдвига токов в обмотках силового трансформатора математическим путем. При этом электрическое соединение измерительных трансформаторов тока сторон высшего и низшего напряжения – всегда в звезду, а группа соединений трансформатора и полярность ТА вводится в реле в виде уставки. Это позволяет уменьшить нагрузку на измерительные ТА, а также обеспечивает корректную работу устройства.

Выравнивание токов плеч ДЗТ можно выполнить двухступенчатым: грубое предварительное выравнивание путем установки коэффициентов трансформации на входных измерительных трансформаторах тока и точное окончательное выравнивание, вы-

полняемое программным способом. Тогда установка внешних выравнивающих трансформаторов не требуется.

### Литература

1. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
2. Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 526 с.
3. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 199 с.
4. Голанцов Е.Б., Молчанов В.В. Дифференциальные защиты трансформаторов с реле типа ДЗТ-21 (ДЗТ-23). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 88 с.
5. Овчинников В.В. Реле РНТ в схемах дифференциальных защит. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 88 с.
6. Дифференциальное реле защиты трансформатора ТЗ5, версия 4.4. Руководство по использованию серии УР. – GE, 2005. – 130 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. – АBB, 2004.

УДК 621.396

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

*Велитченко П.Г.*

**Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.**

В качестве наиболее распространенных кабелей передачи данных, применяемых для прокладки в пределах зданий, в настоящее время используются оптоволоконные и кабели типа «витая пара». Вследствие диэлектрического характера первых электромагнитное влияние на оптоволоконные линии существенно не отразится на распространении сигнала. Однако этого нельзя сказать о медных кабелях, для которых может быть использовано понятие электромагнитной совместимости (ЭМС). Применительно к этому вопросу под ЭМС понимают способность нормального функционирования кабельных линий передачи данных в условиях воздействия на них электрических, магнитных и электромагнитных полей, существующих в окружающей обстановке, а также возможность не создавать недопустимые помехи другим объектам.

Источники электромагнитного излучения следует разделить на функциональные и нефункциональные. К функциональным можно отнести источники помех, которые возникают в результате работы устройства по прямому назначению. Нефункциональные источники создают электромагнитное излучение вследствие неидеальности конструкции. С излучением от вторых можно и нужно бороться, при возникновении помех от функциональных источников следует искать компромиссное решение, определив, что важнее: работа источника излучения или окружающего его оборудования.

Следующим критерием является разделение по естественному или искусственному происхождению. Также помехи могут быть узкополосными или широкополосными. Узкополосные источники могут создавать узкие полосы излучения на нескольких кратных частотах, широкополосные помехи могут занимать от 10–15 % полосы полезного