

линий по причине воздействия на них птиц, что подтверждено экономическим расчётом.

Исследование величины токов утечки через покрытие провода ВЛП показало, что при падении на провод дерева для людей опасности поражением электрическим током нет. Эти результаты могут быть использованы при разработке правил техники безопасности при эксплуатации ВЛП. Экономический расчёт показал, что применение одноцепных ВЛП выгодно при требованиях высокой надёжности, а также при прохождении трасс по лесам, населённым пунктам и в других случаях, когда требуется уменьшить габариты линий.

Литература

1. Степанчук, К.Ф. От 1 000 до 1 500 000 вольт. – Минск: Выш. шк., 1985. – 192 с.
2. Электротехнический справочник: В 4 т. – Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.
3. Определение наведённых потенциалов и разрядных токов на автотранспорте, различных видах ограждений и подвесок и способов их заземления / Отчет о НИР. – Минск, Белорусское отделение «Энергосетьпроект», 1974.
4. Гончарик, Е.П. Напряжения, индуцированные на автотранспорте в электрическом поле ВЛ // Электричество. – 1974. – № 5. – С. 54–58.

УДК 621.316.925(075,5)

СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА ОТ РЕЖИМА ПЕРЕВОЗБУЖДЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ЗАЩИТАХ

Ковалёв С.Г., Коржовник И.В., Сингаевская Е.М.
Научный руководитель – БУЛОЙЧИК Е.В.

Одним из требований к высокочувствительной защите силового трансформатора является правильное и быстрое распознавание режима перевозбуждения, возникающего при повышении питающего напряжения или понижении частоты в энергосистеме.

Перевозбуждением трансформатора называют режим, при котором амплитудное значение индукции в магнитопроводе превышает номинальную индукцию холостого хода. При перевозбуждении (ПВ) возрастает намагничивающий ток трансформатора, но характеристики тока, важные для релейной защиты, при ПВ не зависят от момента возникновения аномального режима.

Количественно величина перевозбуждения характеризуется кратностью перевозбуждения:

$$B_m = \frac{U f_n}{U_n f},$$

где B_m – максимальная индукция в магнитопроводе;

U, f – напряжение обмотки и частота напряжения;

U_n – номинальное напряжение обмотки трансформатора;

f_n – номинальная частота энергосистемы.

Таким образом, ПВ может приводить к насыщению магнитопровода в целом или его отдельных участков. При индукциях в магнитопроводе $B_m > 1,9 - 2,0$ Тл начинается

быстрый рост намагничивающего тока и деформация магнитного поля вне магнитопровода. Токи намагничивания трансформатора при ПВ воздействуют на дифференциальную защиту как ток внутреннего повреждения, что может приводить к ложному срабатыванию без выдержки времени ступеней быстродействующей защиты повышенной чувствительности. В связи с этим необходимо предусматривать специальные измерительные органы (ИО), обеспечивающие блокировку или загроубление ступеней дифференциальной защиты повышенной чувствительности.

В режиме ПВ насыщение трансформатора происходит в оба полупериода, т. е. рабочий участок кривой намагничивания симметричен, и ток является периодическим, в котором отсутствуют постоянные составляющие и четные гармоники. Для выявления режима ПВ могут быть использованы различные способы:

– контроль одного линейного или фазных напряжений. При этом рассчитывается отношение напряжения к частоте $\frac{U}{f}$;

– контроль токов, когда факт перевозбуждения определяется по величине пятой гармонической составляющей, так как режим перевозбуждения характеризуется наличием нечетных гармоник. Поэтому третья и пятая гармоники подходят для определения этого явления. Но поскольку в силовом трансформаторе третья гармоника часто исключается (например, благодаря обмотке собранной по схеме треугольника), в основном используется пятая гармоника. Если соотношение пятой гармоники к первой в дифференциальном токе превышает заданную уставку, то производится блокирование дифференциальной защиты трансформатора (ДЗТ). Однако при опасных для изоляции трансформатора перенапряжениях блокировка выводится из действия, использованием датчиков поля на поверхности магнитопровода трансформатора и т. д.

В современных микропроцессорных устройствах защиты ПВ определяется или по величине пятой гармоники или по отношению $\frac{U}{f}$.

Аналитические методы расчёта режима ПВ достаточно сложны, поэтому методом вычислительного эксперимента на базе комплексных математических моделей, реализованных на ПЭВМ, были исследованы переходные процессы в силовом трансформаторе в режиме ПВ магнитных систем и режимах различных видов повреждений и их отключении.

Как говорилось ранее, для выявления режима ПВ можно использовать относительное содержание пятой гармоники в дифференциальном токе. Величина $\frac{I_5}{I_1}$ при ПВ зависит от конструктивных параметров трансформатора и увеличивается с ростом рабочей индукции в магнитопроводе трансформатора. Характер изменения мгновенного значения дифференциального тока, действующего значения первой I_1 и пятой I_5 гармоник и отношение $\frac{I_5}{I_1}$ для одной из фаз трансформатора при перевозбуждении магнитным потоком вследствие повышения питающего напряжения показан на рисунке 1.

На рисунках 2–4 показаны уровни отношений $\frac{I_5}{I_1}$ для трёх фаз силового трансформатора при значениях питающего напряжения 165, 145, 115 кВ соответственно.

Для сравнения на рисунке 5 приведён характер изменения отношения $\frac{I_5}{I_1}$ при внешнем трёхфазном коротком замыкании (КЗ) и при повреждении в зоне действия

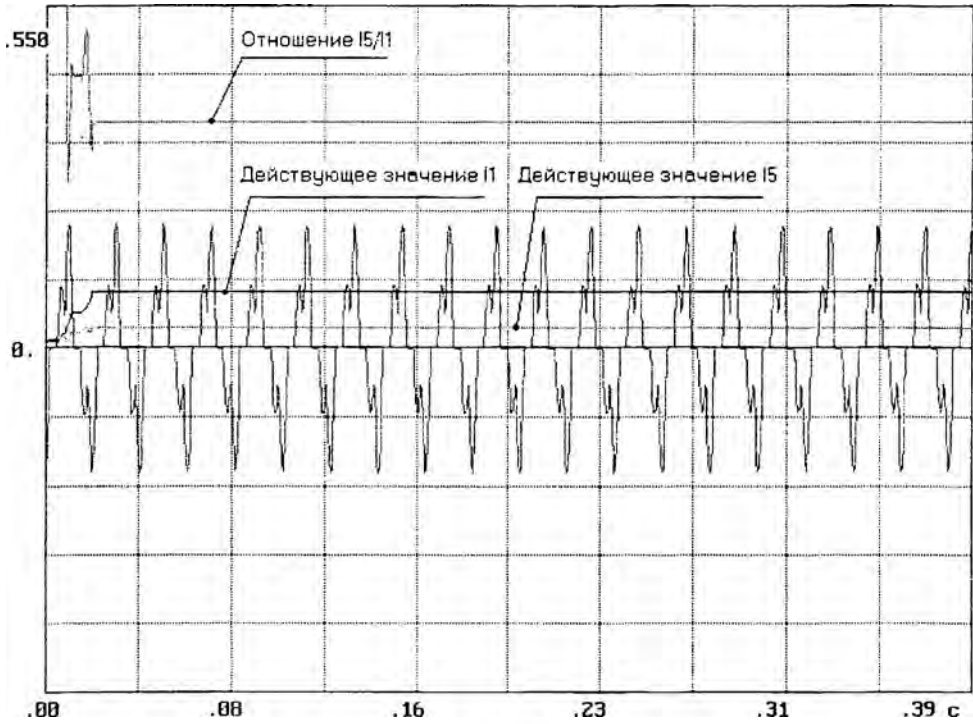


Рисунок 1

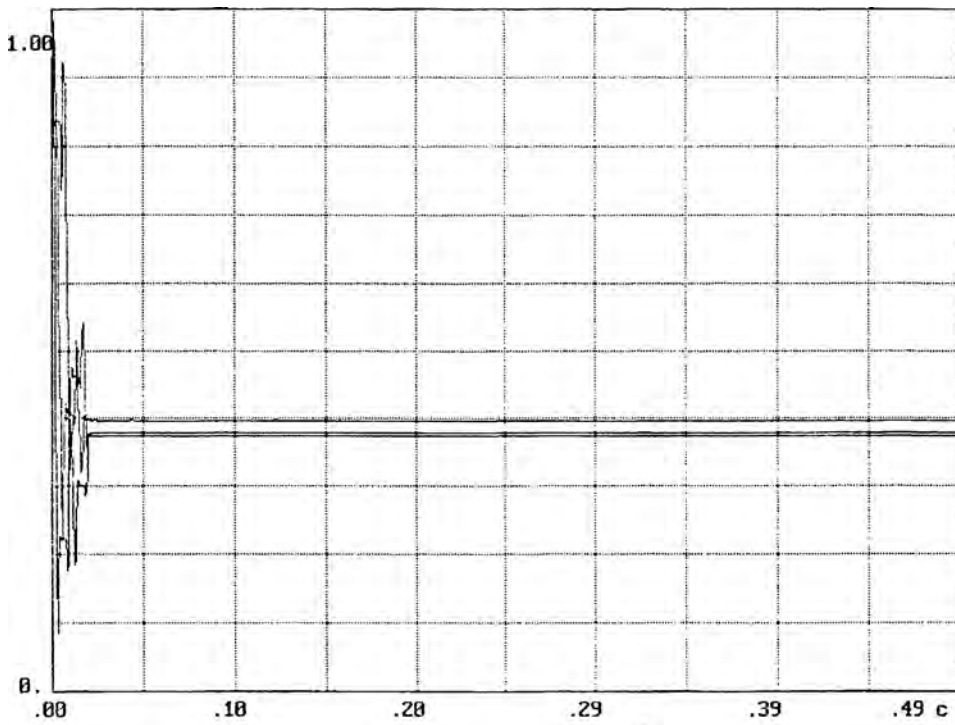


Рисунок 2. Характер изменения отношения $\frac{I_5}{I_1}$ при значениях питающего напряжения 165 кВ

защиты (трансформаторы тока со стороны питания соединены в треугольник). Как видно из рисунка 5б, при КЗ в зоне действия защиты, когда насыщение трансформаторов тока мало, относительное содержание пятой гармоники незначительно, что приводит к надёжному срабатыванию защиты. При насыщении трансформаторов тока, отношение

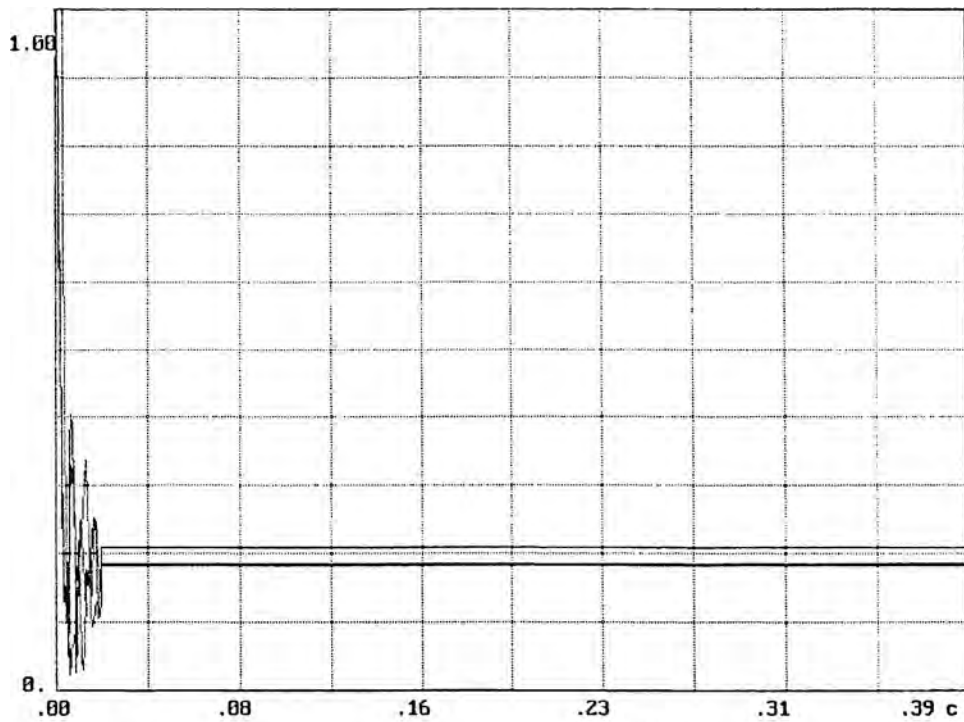


Рисунок 3. Характер изменения отношения $\frac{I_5}{I_1}$ при значениях
питающего напряжения 145 кВ

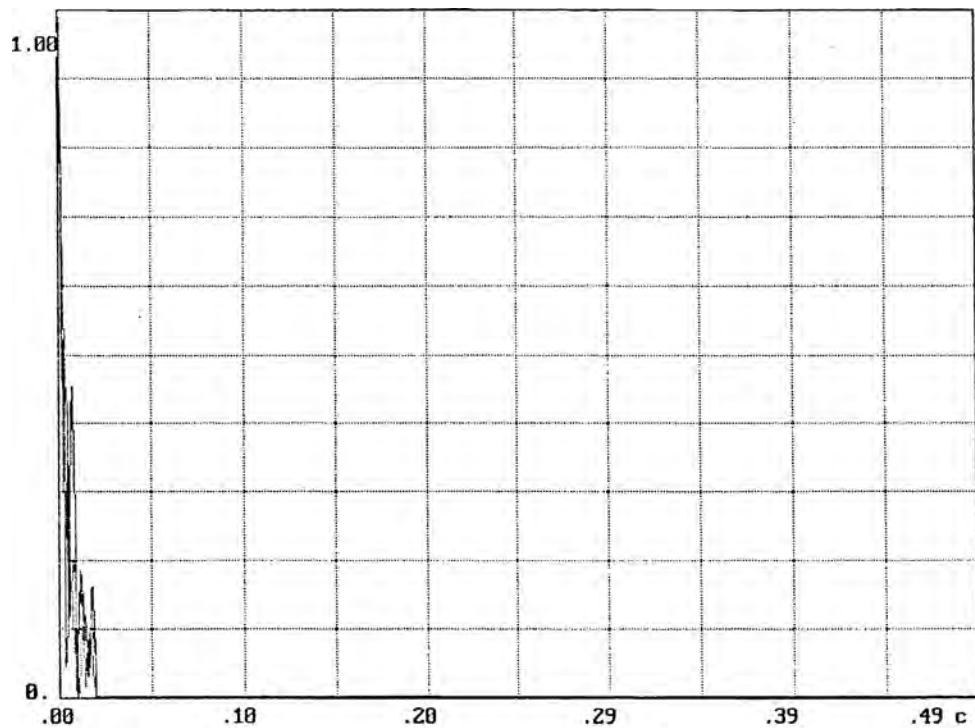


Рисунок 4. Характер изменения отношения $\frac{I_5}{I_1}$ при значениях
питающего напряжения 115 кВ

$\frac{I_5}{I_1}$ увеличивается, что может явиться причиной блокировки защиты в режиме внутреннего КЗ. В тяжёлых случаях трёхфазного КЗ в насыщении могут находиться 1, 2 или

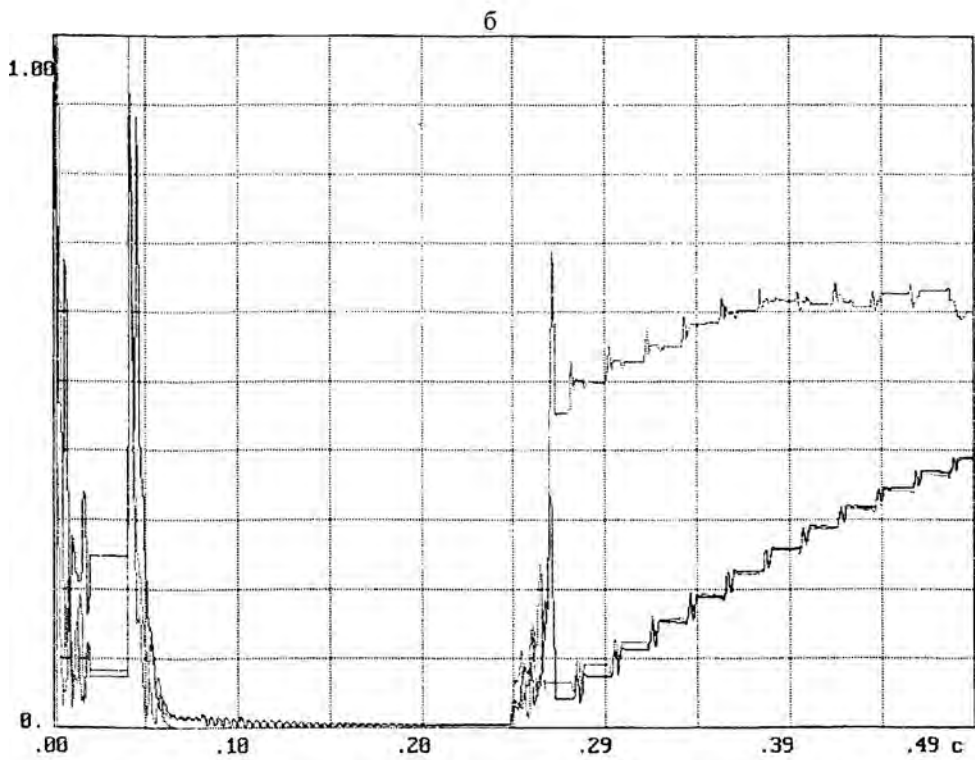
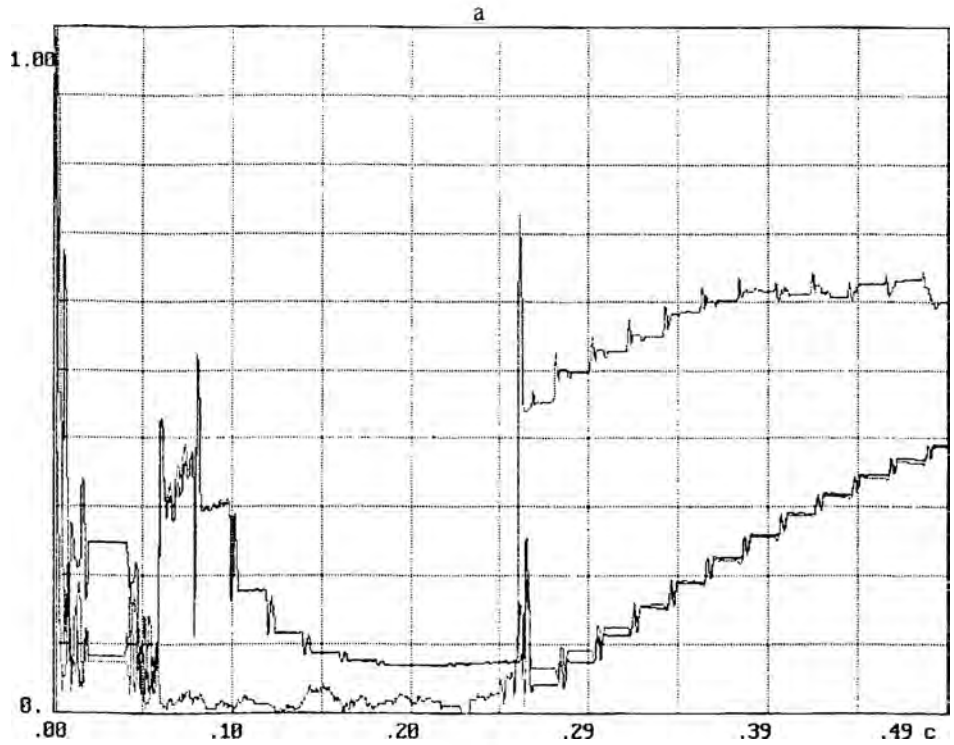


Рисунок 5. Характер изменения отношения $\frac{I_5}{I_1}$ при трехфазном КЗ:

а – внешнее КЗ; б – КЗ в зоне действий защиты

все 3 трансформатора тока, причём степень их насыщения различна. При соединении трансформаторов тока в треугольник, отношения $\frac{I_5}{I_1}$, как правило, велики для всех трёх фаз, следовательно обмотки трансформаторов тока нужно соединить в звезду, не-

зависимо от схемы соединения обмоток силового трансформатора, а компенсацию фазового сдвига производить программным путём.

В режиме внешнего КЗ наличие дифференциального тока обусловлено неточным выравниванием токов намагничивания, изменением коэффициента трансформации силового трансформатора под нагрузкой, насыщением трансформаторов тока и т. д.

Таким образом, при насыщении трансформаторов тока в режиме внешнего КЗ отношение $\frac{I_5}{I_1}$ может быть велико (рисунок 5а) и это приводит к блокировке защиты, а, следовательно, к повышению надёжности отстройки защиты от внешних КЗ.

Таким образом, при контроле ПВ по пятой гармонике необходимо учитывать:

– схемы соединений трансформаторов тока (ТА) в трехфазные группы. При соединении ТА по схеме «звезда-звезда» вторичные токи в плечах дифференциальной защиты будут пропорциональны намагничивающим токам фаз трансформатора. При соединении вторичных обмоток ТА по схеме «треугольник» токи в плечах защиты будут пропорциональны разностям намагничивающих токов соответствующих фаз трансформатора, что приводит к изменению гармонического состава токов;

– режим заземления нейтрали трансформатора;

– возможность контроля одного или всех линейных напряжений со стороны низшего напряжения трансформатора.

Литература

1. Засыпкин, А.С. Релейная защита трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
2. Дьяков, А.Ф., Овчаренко, Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 199 с.
3. Гловацкий, В.Г., Пономарев, И.В. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей. – 3 электронная версия. – Киев: Энергомашвин, 2003. – 535 с.
4. Дифференциальная защита 7UT613, версия 4.0. Руководство по эксплуатации. – Siemens, 2003. – 498 с.
5. Микропроцессорное устройство основной защиты двухобмоточного трансформатора «Сириус-Т». Руководство по эксплуатации. – М.: ЗАО «РАДИУС Автоматика», 2005. – 68 с.
6. Арсентьев, А.П., Дмитренко, А.М., Проказов, С.Н. Системы дифференциальных защит в решениях «АББ Автоматизация». – ООО «АББ Автоматизация», 2003.
7. Терминал защиты трансформатора RET 521*RU. Руководство по эксплуатации. – ABB, 2004.

УДК 621.315

УПРОЩЕННЫЙ РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ ТЯЖЕНИЙ ПРОВОДОВ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Сазонов И.Е., Ефремов П.В., Андрукевич А.П.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор СЕРГЕЙ И.И.

Гибкие шины распределительных устройств (РУ) обладают существенной гибкостью и могут принимать форму, обусловленную действием распределенных электродинамических усилий (ЭДУ), возникающих при КЗ. Поэтому динамика гибких шин в общем случае описывается с использованием расчетной модели гибкой нити с распределенной по длине массой. Движение гибкой нити под воздействием распределенных нагрузок описывается дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных. Получить решение таких уравнений можно лишь численными методами. Алгоритмы решения таких уравнений реализованы в ряде коммерческих программ.