



# СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

## РЕЛАВЭКСПО-2017

## 18-20 АПРЕЛЯ

Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары,  
Театр оперы и балета

### IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

# РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РОССИИ

Организаторы



Правительство  
Чувашской  
Республики



ООО «РИЦ «СРЗАУ»



НП «СРЗАУ»



Ассоциация «ИНТЭК»

При поддержке



ПАО «Россети»



ПАО «ФСК ЕЭС»



Генеральные спонсоры



Официальные спонсоры



Спонсоры



Генеральный  
медиа-партнер



Медиа-партнеры



Генеральный  
отраслевой  
медиа-партнер



кчем случае нельзя отказываться и от зарекомендовавшего себя метода по ПАР, и в идеале устройство должно выполнять расчёт места повреждения, используя разные принципы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов В.Н., Павлов А.О., Бычков Ю.В. Развитие микропроцессорных средств определения места повреждения на линиях электропередачи. // Релейная защита и автоматизация. – 2014. – № 2. – С. 45-49.

2. Токарев С.Ю. Аппроксимация фазо-модального преобразования многопроводных линий в задаче волнового определения места повреждения // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем: сборник докладов 5-й международной научно-технической конференции. Сочи. 1-5 июня 2015.

3. Козлов В.Н., Бычков Ю.В., Ермаков К.И. О точности современных устройств ОМП. // Релейная защита и автоматизация. – 2016. – № 1. – С. 40-44. ■

## О МЕТОДЕ РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНОЙ КРАТНОСТИ ТТ В СХЕМАХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРОВ

04

д.т.н., профессор ДМИТРЕНКО А.М., к.т.н. НАУМОВ В.А.,

СОЛДАТОВ А.В., ЖУРАВЛЕВ Д.П.

Россия, г. Чебоксары, ООО НПП «ЭКРА»

e-mail: e3ra@ekra.ru

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Трансформатор тока, насыщение сердечника, предельная кратность по точности.

### ВВЕДЕНИЕ

Основным элементом связи между первичной сетью и устройствами релейной защиты является трансформатор тока (ТТ). Правильный выбор ТТ позволяет обеспечить надежное и селективное функционирование защит в переходных режимах. Однако ввиду отсутствия нормативных требований к характеристикам ТТ в переходных режимах, производители устройств РЗ в России вынуждены предъявлять требования к ТТ лишь в установившемся режиме сети на основе [1, 2]. В связи с этим предлагается в качестве оценочного параметра ТТ в переходном режиме использовать время до насыщения и на его основе рассчитывать приведенную предельную кратность режима с учетом постоянной времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания (КЗ), остаточной индукции и тока внешнего КЗ.

### ОПИСАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ПРИВЕДЕННОЙ ПРЕДЕЛЬНОЙ КРАТНОСТИ

Согласно [1], требования к ТТ дифференциальных защит трансформаторов сформулированы следующим образом: полная погрешность  $\varepsilon$  ТТ в установившемся режиме при внешних КЗ не должна превышать 10%. Вычисление полной погрешности  $\varepsilon$  в проектных расчетах связано с определенными трудностями, поэтому используется понятие предельной кратности по точности  $K_{пр}$  ТТ, которую мож-

но вычислить по формуле [3]

$$K_{пр} = \frac{\omega B_{пр} w_2 s_m}{\sqrt{2} I_{2ном} z_2}, \quad (1)$$

где  $B_{пр} = 1,8 \div 1,85$  Тл – предельное значение индукции при выполнении магнитопровода ТТ из холоднокатаной электротехнической стали;  $w_2$  – число витков вторичной обмотки;  $s_m$  – площадь поперечного сечения стали магнитопровода;  $I_{2ном}$  – вторичный номинальный ток;  $z_2 = |Z_{обм.2} + Z_{нг}|$  – модуль комплексного сопротивления вторичной цепи ТТ;  $Z_{обм.2}$  – комплексное сопротивление вторичной обмотки ТТ в Т-образной схеме замещения;  $Z_{нг}$  – комплексное сопротивление нагрузки.

Одним из основных параметров ТТ является номинальная предельная кратность  $K_{ном}$ . На основании формулы (1) можно записать

$$K_{ном} = \frac{4,44 f \Psi_{пр}}{I_{2ном} z_{2ном}}, \quad (2)$$

где  $\Psi_{пр} = B_{пр} s_m w_2$  – предельное потокосцепление вторичной обмотки;  $z_{2ном} = S_{2ном} / I_{2ном}^2$ ;  $S_{2ном}$  – номинальная мощность нагрузки ТТ;  $f$  – частота.

Согласно формулам (1) и (2) выражение для реальной предельной кратности в конкретной схеме дифференциальной защиты имеет следующий вид:

$$K_{пр.р} = \frac{K_{ном} z_{2ном}}{z_{2р}}. \quad (3)$$

В схемах защит трансформаторов, как правило, используются ТТ с витыми кольцевыми магнитопроводами. При этом вторичная обмотка наматывается равномерно на магнитопровод. С учетом этого реактивное сопротивление вторичной обмотки  $x_{обм.2}$

(сопротивление рассеяния) пренебрежимо мало по сравнению с активным сопротивлением  $r_{обм.2}$  [3]. В итоге можно записать

$$z_2 = |r_{обм.2} + r_{нг} + jx_{нг}|. \quad (4)$$

Согласно ГОСТ 7746-2015 [4] сопротивление  $r_{обм.2}$  должно приводиться в паспорте ТТ.

Номинальное значение  $z_{2ном}$  задается с  $\cos \varphi_{нг} = 0,8$ . Сопротивление входных токовых цепей шкафа микропроцессорных защит трансформатора значительно меньше практически активного сопротивления жил контрольного кабеля. С учетом изложенного и формулы (4) получаем

$$K_{пр.п} = K_{ном} \frac{\sqrt{r_{обм.2}^2 + 1,6r_{обм.2}z_{нг.ном} + z_{нг.ном}^2}}{r_{обм.2} + r_{нг.расч}}. \quad (5)$$

Общепринятой практикой при вычислении токов КЗ и расчете уставок является выбор базисной величины. Для дифференциальной защиты трансформатора в качестве базисного тока принимается номинальный ток силового трансформатора  $I_{ном.т}$ . В связи с этим необходимо ввести понятие приведенной к номинальному току трансформатора предельной кратности режима

$$K'_{пр.п} = \frac{I_{ном.тТ}}{I_{ном.т}} K_{пр.п}. \quad (6)$$

Выражение для тока КЗ в переходном режиме можно записать в следующем виде

$$i_1 = I_{1m} \left[ e^{-t/T_{1экв}} \cos \psi - \cos(\omega t + \psi) \right],$$

где  $T_{1экв}$  – эквивалентная постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ;  $\psi$  – начальная фаза сверхпереходной ЭДС генератора или системы.

Время до насыщения ТТ  $t_s$  при спрямленной характеристике намагничивания (СХН) – это интервал времени от момента подведения к ТТ тока переходного режима сети до момента, когда индукция в магнитопроводе  $B$  достигает значения индукции условного насыщения,  $B_{s,усл}$ , т.е.  $B = B_{s,усл}$ . Время до насыщения  $t_s$  ТТ с активной нагрузкой можно найти, используя уравнение [5]

$$\frac{B_{s,усл} - B_r}{B_m} = \omega T_1 \left( e^{-t_s/T_2} - e^{-t_s/T_{1экв}} \right) \cos \psi + \sin \psi e^{-t_s/T_2} - \sin(\omega t_s + \psi), \quad (7)$$

где  $B_{s,усл}$  – индукция условного насыщения магнитопровода при СХН;  $B_r$  – остаточная индукция;

$B_m = \frac{I_{1m} w_1 r_2}{\omega s_m w_2^2}$  – амплитуда гармонической составляющей индукции, вычисленная при условии, что отсутствует насыщение;  $T_2$  – постоянная времени вторичной схемы ТТ при ненасыщенном магнитопроводе. Преобразуем уравнение (7) к виду

$$\frac{B_{s,усл} \left( 1 - B_r \right)}{B_m} = K_{Ba}, \quad (8)$$

где  $B_r = \frac{B_r}{B_{s,усл}}$ ;  $K_{Ba}$  – коэффициент, равный

правой части уравнения (7).

На основании положений [5] и формулы (6) несложно показать, что соблюдается равенство

$$\frac{B_{s,усл}}{B_m} = \frac{K'_{пр.п}}{I_{кз*}}. \quad (9)$$

На основании формул (8) и (9) получаем условие для расчета приведенной предельной кратности ТТ в конкретном режиме

$$K'_{пр.п} \geq \frac{K_{Ba} I_{кз*}}{1 - B_r}. \quad (10)$$

Коэффициент  $K_{Ba}$  находится по кривым, приведенным на рисунке 1, для заданных значений  $t_s$ :

7-8 мс – для ТТ с вторичным номинальным током 5 А;

10 мс – для ТТ с вторичным номинальным током 1 А.

При таких сравнительно малых значениях  $t_s$  коэффициент  $e^{-t_s/T_2} \approx 1$ . Однако при малых значениях  $I_{кз*}$  порядка 1÷3 время  $t_s$  может существенно возрасти. При этом указанный коэффициент становится значительно меньше 1, что позволяет уточнить метод расчета  $t_s$ .

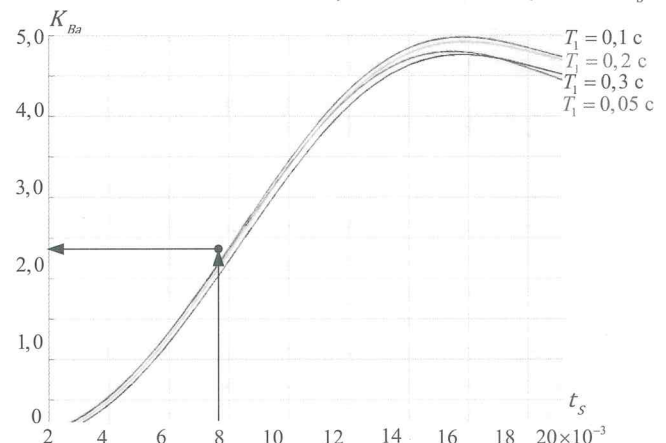


рис. 1 – Зависимости  $K_{Ba} = f(t_s)$  при различных значениях  $T_1$ ;  $\psi = 30^\circ$ ;  $T_2 = 2 с$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предъявление требований к ТТ лишь по условиям погрешностей в установившемся режиме нецелесообразно, т.к. в переходном режиме на интервале времени насыщенного состояния магнитопровода погрешности ТТ зависят не только от параметров самого ТТ, но и от условий его функционирования. Применение предложенного метода расчета приведенной предельной кратности позволяет более эффективно сформулировать требования к ТТ в переходных режимах. Данный метод может быть сравнительно легко освоен проектными организациями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 461 с.
2. Королев Е.П., Либерзон Э.М. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. М.: Энергия, 1980.
3. Афанасьев, В.В. Трансформаторы тока / В.В. Афанасьев, Н.М. Адоньев, В.М. Кибель [и др.]. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.
4. Трансформаторы тока. Общие технические условия: ГОСТ 7746-2015. – Введ. 2017-03-01.
5. Дмитренко А.М., Журавлев Д.П. Анализ и исследование способов торможения цифровых дифференциальных защит блочных трансформаторов // Электрические станции. – 2014. – №11. – С. 36-41. ■

## ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ: НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**д.т.н. БУЛЫЧЕВ А.В., БУЛЫЧЕВА И.Б.**

Россия, г. Чебоксары, НОУ ДПО «ИПК РЗА»  
e-mail: info@bresler.ru

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Повышение квалификации, релейная защита, автоматика, управление ЭЭС, подготовка кадров, учебные программы.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В марте 2014 года по решению Общества с ограниченной ответственностью «НПП Бреслер» (Учредителя) открыт «Институт повышения квалификации специалистов релейной защиты и автоматики» (НОУ ДПО «ИПК РЗА»).

ИПК РЗА является негосударственным образовательным учреждением с правом реализации образовательных программ дополнительного профессионального образования (лицензия на право ведения образовательной деятельности выдана Министерством образования и молодежной политики Чувашской Республики №1236 от 11.03.2014).

Высокий научно-технический потенциал ИПК РЗА обеспечивается материальными и кадровыми ресурсами ООО «НПП Бреслер». В процессе обучения задействовано современное технологическое оборудование, которым располагает ООО «НПП Бреслер». Обучение и консультации проводят высококвалифицированные сотрудники ООО «НПП Бреслер» (11 сотрудников имеют ученые степени доктора и кандидата технических наук; являются признанными специалистами в области релейной защиты и автоматики, авторами книг, изобретений, статей и научно-технических докладов).

Деятельность ИПК РЗА направлена на повышение квалификации работников, занятых в сфере про-

ектирования, монтажа, наладки и эксплуатации релейной защиты электроэнергетических систем. ИПК РЗА осуществляет образовательную деятельность путем организации курсов, лекций, семинаров, практических занятий, производственного обучения, практики, стажировок, консультаций.

Перечень программ повышения квалификации ИПК РЗА охватывает широкий круг направлений, актуальных для специалистов в сфере РЗА:

- новые технологии в электроэнергетике и релейной защите и автоматике энергосистем;
- оборудование, выпускаемое ООО «НПП Бреслер»;
- проверка и испытание отдельных элементов и систем релейной защиты;
- особенности цифровой элементной базы для релейной защиты и автоматики;
- анализ компьютерных систем;
- проектирование компьютерных систем;
- консультации в области компьютерной техники;
- методы и технические средства управляемого заземления нейтрали электрических сетей 6-35 кВ.

По сути ИПК РЗА выполняет две функции. Во-первых, основную, связанную с повышением квалификации персонала эксплуатирующих, проектирующих, монтирующих и других организаций. Здесь миссия ИПК РЗА абсолютно совпадает с интересами предприятий-поставщиков оборудования для релейной защиты и автоматики. Во-вторых, ИПК РЗА и другие подобные образовательные учреждения вынуждены исправлять ошибки базового профессионального образования для сферы релейной защиты и автоматики (РЗА) электроэнергетических систем (ЭЭС).

Согласно действующему законодательству осно-