

Авторы:
к.т.н. Васильев Д.С.,
Тарасова В.Н.,
ООО «НПП Бреслер»,
г. Чебоксары, Россия.

Pf.D. Vasilyev D.S.,
Tarasova V.N.,
NPP BRESLER,
Cheboksary, Russia.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ДАЛЬНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ДЛЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ОТВЕТВИТЕЛЬНЫМИ ПОДСТАНЦИЯМИ

PERFECTION OF LONG-RANGE BACKUP PROTECTION FOR POWER LINES WITH TAPPING SUBSTATIONS

Аннотация: в работе представлены результаты исследования, направленного на повышение чувствительности дистанционных защит линий и обеспечения селективного отключения при трудно распознаваемых замыканиях в силовых трансформаторах и на стороне низшего напряжения ответвительных подстанций.

Ключевые слова: защита дальнего резервирования, алгоритмическое моделирование, виртуальные реле сопротивления.

Annotation: the article presents the results of research aimed at improving the distance protection sensitivity and providing selective operation on hardly recognizable power transformer faults and low-voltage side faults on tapping substations.

Keywords: long-range backup protection, algorithm models, virtual resistance relays.

В распределительных сетях России имеется значительное число подстанций, выполненных по упрощенным схемам с использованием отделителей и короткозамыкателей в качестве коммутационных аппаратов, а также с питанием цепей релейной защиты от специальных блоков питания вместо аккумуляторных батарей. В таких сетях широко применяется дальнейшее резервирование защит ответвлений, то есть в случае если замыкание на ответвительной подстанции по каким-либо причинам не будет устранено защитами ответвления, необходимо отключать линию электропередачи. Данное отключение спасет ответвление от полного выгорания и возможного взрыва трансформатора.

Зачастую традиционная дистанционная защита не всегда обеспечивает требуемую чувствительность при замыканиях в ответвлениях. Особенно это актуально на магистральных линиях электропередачи, где токи короткого замыкания в ответвлении могут быть соизмеримы и даже меньше величин нормальных нагрузочных токов в линии [1].

В этой связи совершенствование резервных защит играет важную роль в достижении высокой надежности электроснабжения и является крупной и актуальной научно-технической задачей.

В защите дальнего резервирования производства ООО «НПП Бреслер» пробле-

ма выявления повреждения ответвительного трансформатора решена путем расширения информационной базы. С помощью нового метода, разработанного чебоксарской школой релейщиков и названного информационным анализом [2], создана защита дальнего резервирования, использующая всю доступную информацию при наблюдении за линией электропередачи с одного конца: током и напряжением предшествующего и аварийного режимов. В основу защиты положен адаптивный дистанционный принцип, оперирующий алгоритмической моделью объекта (АМО). Алгоритмическая модель объекта позволяет оценить токи и напряжения в произвольной точке защищаемой схемы [3, 4]. Зная значения аварийных и предшествующих токов и напряжений в месте установки защиты, она по определенным законам оценивает токи и напряжения в месте установки виртуального реле сопротивления (ВРС). С помощью алгоритмических моделей удается настроить виртуальные реле на каждую из нескольких защищаемых ответвительных подстанций. Данный способ эффективен тем, что решает проблему объединения информации о защищаемом объекте.

В предыдущих модификациях защиты дальнего резервирования «Бреслер-0107.030» виртуальные реле сопротивления включают в ветви предполагаемых мест повреждения



Васильев

Дмитрий Сергеевич

Дата рождения: 08.06.1984 г.
В 2008 г. окончил Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, кафедра «ТОЭ и РЗА». В 2011 г. там же защитил кандидатскую диссертацию. Доцент кафедры «ТОЭ и РЗА» Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова. Заведующий сектором ООО «НПП Бреслер».



Тарасова

Вера Николаевна

Дата рождения: 15.02.1991 г.
В 2013 г. окончила Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова по специальности «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

Инженер ООО «НПП Бреслер».

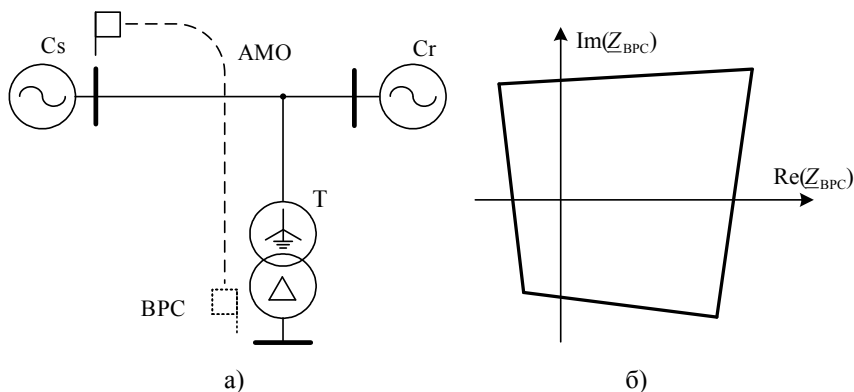


Рис. 1. Виртуальное реле сопротивления, установленное в ветви предполагаемого места повреждения
а) алгоритмическая модель объекта; б) характеристика срабатывания виртуального реле сопротивления

на стороне низшего напряжения защищаемых трансформаторов [5], как показано на рис. 1, а. При этом параметры защищаемого трансформатора учитываются и при описании АМО, и при построении характеристики срабатывания ВРС. В этом случае возникают сложности при выборе параметров срабатывания защиты:

- ввиду трудоемкости расчетов необходимо специализированное программное обеспечение для построения АМО и выбора параметров срабатывания ВРС;
- область срабатывания ВРС неинформативна (рис. 1, б).

Теория алгоритмического моделирования позволяет получать необходимые оценки токов и напряжений в произвольной точке защищаемой схемы. В статье приведена методика построения защиты дальнего резервирования при установке ВРС на стороне высшего напряжения ответвления. Рассмотрено два варианта моделей:

- ВРС направлено в сторону ответвления (рис. 2, а),

- перенос места установки защиты вдоль линии (рис. 2, б).

Для каждого ответвления строится своя алгоритмическая модель объекта. Если в ответвлении несколько трансформаторов, АМО создается общей на группу, но для каждого трансформатора в группе своя уставочная характеристика ВРС. Аналогично для трехобмоточного трансформатора: одна алгоритмическая модель, две уставочные характеристики – для обмотки низшего и среднего напряжения.

Такой подход дает следующие преимущества:

- сопротивление защищаемого трансформатора не влияет на передаточные коэффициенты алгоритмической модели;
- уставочная характеристика виртуального реле «привязана» к сопротивлению защищаемого трансформатора.

В соответствии с методом наложения (рис. 3), ток ветви может быть найден путем суммирования токов различных режимов: предшествующего и собственно

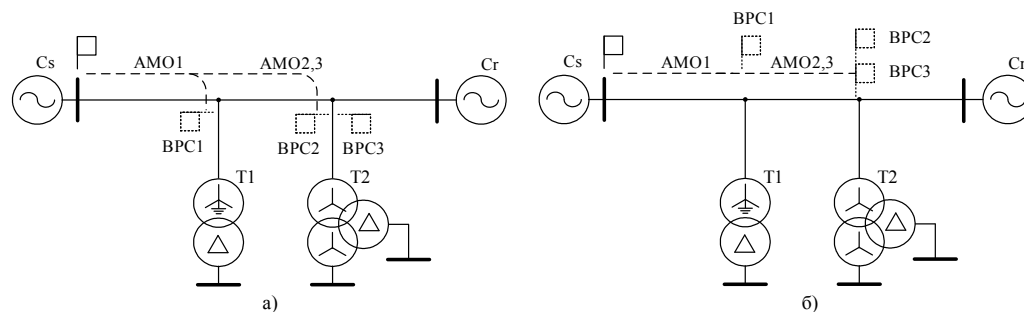
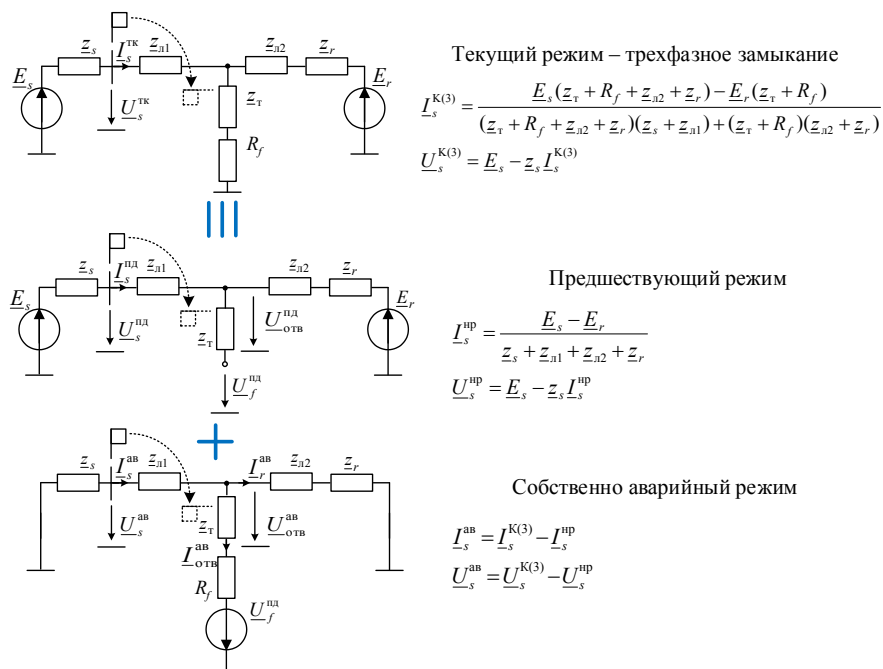


Рис. 2. Варианты расположения виртуальных реле сопротивления
а) ВРС направлено в сторону защищаемого ответвления;
б) ВРС перенесено вдоль линии к точке подключения ответвления



Текущий режим – трехфазное замыкание

$$I_s^{K(3)} = \frac{E_s(z_r + R_f + z_{n2} + z_r) - E_r(z_r + R_f)}{(z_r + R_f + z_{n2} + z_r)(z_s + z_{n1}) + (z_r + R_f)(z_{n2} + z_r)}$$

$$U_s^{K(3)} = E_s - z_s I_s^{K(3)}$$

Предшествующий режим

$$I_s^{ПД} = \frac{E_s - E_r}{z_s + z_{n1} + z_{n2} + z_r}$$

$$U_s^{ПД} = E_s - z_s I_s^{ПД}$$

Собственно аварийный режим

$$I_s^{АВ} = I_s^{K(3)} - I_s^{ПД}$$

$$U_s^{АВ} = U_s^{K(3)} - U_s^{ПД}$$

Рис. 3. Модель линии при трехфазном замыкании на стороне НН ответвительной подстанции

аварийного. В собственно аварийном режиме присутствует только один источник ЭДС, приложенный к месту замыкания, равный напряжению в данной точке в предшествующем режиме.

Алгоритмическая модель объекта также разделяется на модель предшествующего и собственно аварийного режимов.

Модель предшествующего режима формирует замер напряжений $U_{отв}^{ПД}$ в ответвлении по замерам напряжения $U_s^{ПД}$ и тока $I_s^{ПД}$ из места наблюдения. АМО предшествующего режима представлена формулой:

$$U_{отв}^{ПД} = k_1^{ПД} U_s^{ПД} + k_2^{ПД} I_s^{ПД}, \quad (1)$$

$$I_{отв}^{ПД} = 0,$$

где $U_s^{ПД}$, $I_s^{ПД}$ – напряжение, ток в предшествующем режиме в месте установки защиты;

$k_1^{ПД}$, $k_2^{ПД}$ – передаточные коэффициенты АМО предшествующего режима;

$U_{отв}^{ПД}$ – напряжение предшествующего режима в ответвлении.

Учет нагрузки ответвительных

подстанций при построении АМО является сложной задачей по причине ее изменчивости и, во многих случаях, отсутствия данных. Поэтому при построении АМО делается допущение о том, что режим работы ответвительных подстанций – холостой ход. Влияние нагрузки учитывается при построении уставочной характеристики.

Для модели, схема которой изображена на рис. 3, выражение (1) примет вид: $U_{отв}^{ПД} = U_s^{ПД} - I_s^{ПД} z_{л1}$. Передаточные коэффициенты предшествующего режима равны $k_1^{ПД} = 1$ и $k_2^{ПД} = -z_{л1}$.

Модель собственно аварийного режима формирует замер напряжений $U_{отв}^{АВ}$ и токов $I_{отв}^{АВ}$ в поврежденном ответвлении по замерам аварийных составляющих напряжения $U_s^{АВ}$ и тока $I_s^{АВ}$ в месте установки защиты. АМО собственно аварийного режима представлена формулой:

$$U_{отв}^{АВ} = k_1^{АВ} U_s^{АВ} + k_2^{АВ} I_s^{АВ}, \quad (2)$$

$$I_{отв}^{АВ} = k_3^{АВ} U_s^{АВ} + k_4^{АВ} I_s^{АВ},$$

где $U_s^{АВ}$, $I_s^{АВ}$ – аварийные составляющие

напряжения, тока в месте установки защиты;

$k_1^{АВ}$, $k_2^{АВ}$, $k_3^{АВ}$, $k_4^{АВ}$ – передаточные коэффициенты АМО собственно аварийного режима;

$U_{отв}^{АВ}$, $I_{отв}^{АВ}$ – аварийные составляющие напряжения, тока в ответвлении.

Составляющие собственно аварийного режима в месте наблюдения определяются как комплексная разность $U_s^{АВ} = U_s^{TK} - U_s^{ПД}$, $I_s^{АВ} = I_s^{TK} - I_s^{ПД}$.

С учетом $I_{отв}^{TK} = I_{отв}^{АВ} + I_{отв}^{ПД} = U_{отв}^{АВ} + U_{отв}^{ПД}$ получены текущие значения тока и напряжения в ответвлении по составляющим предшествующего и собственно аварийного режимов. Алгоритмическая модель объекта описана формулой:

$$U_{отп}^{TK} = k_1^{ПД} U_s^{ПД} + k_2^{ПД} I_s^{ПД} + k_1^{АВ} U_s^{АВ} + k_2^{АВ} I_s^{АВ},$$

$$I_{отп}^{TK} = k_3^{АВ} U_s^{АВ} + k_4^{АВ} I_s^{АВ},$$

где $U_{отп}^{TK}$, $I_{отп}^{TK}$ – текущие значения напряжения, тока в ответвлении.

В рассматриваемом примере (рис. 3, в) коэффициенты $k_1^{АВ}$ и $k_2^{АВ}$ собственно аварийного режима можно найти из выражения: $U_{отв}^{АВ} = U_s^{АВ} - I_s^{АВ} z_{л1}$, и они равны $k_1^{АВ} = 1$ и $k_2^{АВ} = -z_{л1}$.

Пользуясь схемой собственно аварийного режима, можно найти выражения для двух других передаточных коэффициентов:

$$\begin{cases} U_{отв}^{АВ} = U_s^{АВ} - I_s^{АВ} \cdot z_{л1}; \\ -U_{отв}^{АВ} + I_r^{АВ} \cdot (z_{л2} + z_r^{АМО}) = 0; \\ -I_{отв}^{АВ} + I_s^{АВ} - I_r^{АВ} = 0. \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k_3^{АВ} = -\frac{1}{z_{л2} + z_r^{АМО}};$$

$$k_4^{АВ} = \frac{z_{л1} + z_{л2} + z_r^{АМО}}{z_{л2} + z_r^{АМО}},$$

где $z_r^{АМО}$ – эквивалентное сопротивление системы с противоположного конца, принятое для расчета АМО.

Для схемы, приведенной на рис. 3, замер ВРС при симметричной коммутации в зоне действия защиты имеет вид:



$$\underline{Z}_{\text{BPC}} = \frac{\underline{U}_{\text{отп}}^{\text{пл}} + \underline{U}_{\text{отп}}^{\text{аб}}}{\underline{I}_{\text{отп}}^{\text{пл}} + \underline{I}_{\text{отп}}^{\text{аб}}} = \frac{k_1^{\text{пл}} \underline{U}_s^{\text{пл}} + k_2^{\text{пл}} \underline{I}_s^{\text{пл}} + k_1^{\text{аб}} (\underline{U}_s^{\text{тк}} - \underline{U}_s^{\text{пл}}) + k_2^{\text{аб}} (\underline{I}_s^{\text{тк}} - \underline{I}_s^{\text{пл}})}{k_3^{\text{аб}} (\underline{U}_s^{\text{тк}} - \underline{U}_s^{\text{пл}}) + k_4^{\text{аб}} (\underline{I}_s^{\text{тк}} - \underline{I}_s^{\text{пл}})}$$

Учитывая, что $\underline{U}_s^{\text{тк}} = \underline{E}_s - \underline{I}_s^{\text{тк}} \underline{Z}_s$, $\underline{U}_s^{\text{пл}} = \underline{E}_s - \underline{I}_s^{\text{пл}} \underline{Z}_s$, $k_1^{\text{пл}} = k_1^{\text{аб}}$, $k_2^{\text{пл}} = k_2^{\text{аб}}$, за-
мер ВРС может быть преобразован к
виду $\underline{Z}_{\text{BPC}} = \frac{k_1^{\text{аб}} \underline{E}_s + \underline{I}_s^{\text{тк}} (k_2^{\text{аб}} - k_1^{\text{аб}} \underline{Z}_s)}{(\underline{I}_s^{\text{тк}} - \underline{I}_s^{\text{пл}}) (k_4^{\text{аб}} - k_3^{\text{аб}} \underline{Z}_s)}$.

С учетом полученных коэффициентов АМО выражение примет вид:

$$\underline{Z}_{\text{BPC}} = \frac{\underline{E}_s - \underline{I}_s^{\text{тк}} (\underline{z}_{\text{л1}} + \underline{z}_s)}{\underline{I}_s^{\text{тк}} - \underline{I}_s^{\text{пл}}} \cdot \frac{\underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r^{\text{АМО}}}{\underline{z}_s + \underline{z}_{\text{л1}} + \underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r^{\text{АМО}}}$$

где \underline{z}_s – эквивалентное сопротивление системы относительно места установки защиты в имитационной модели.

При трехфазном замыкании на стороне низшего напряжения ответвительной подстанции замер ВРС примет вид:

$$\underline{Z}_{\text{BPC}}^{\text{К(3)}} = \frac{\underline{E}_s - \underline{I}_s^{\text{К(3)}} (\underline{z}_{\text{л1}} + \underline{z}_s)}{\underline{I}_s^{\text{К(3)}} - \underline{I}_s^{\text{НР}}} \cdot \frac{\underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r^{\text{АМО}}}{\underline{z}_s + \underline{z}_{\text{л1}} + \underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r^{\text{АМО}}} = (\underline{z}_{\text{т}} + R_f) \frac{(\underline{z}_s + \underline{z}_{\text{л1}} + \underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r) (\underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r^{\text{АМО}})}{(\underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r) (\underline{z}_s + \underline{z}_{\text{л1}} + \underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r^{\text{АМО}})}$$

Полученный замер виртуального реле сопротивления не зависит от величин эквивалентных ЭДС систем и угла передачи между ними. На замер ВРС влияет сопротивление трансформатора, переходное сопротивление в месте замыкания и соответствие между принятой алгоритмической моделью и реальной сетью. При полном соответствии между имитационной и алгоритмической моделями (в рассматриваемом примере $\underline{z}_r^{\text{АМО}} = \underline{z}_r$) замер ВРС примет вид $\underline{Z}_{\text{BPC}}^{\text{К(3)}} = \underline{z}_{\text{т}} + R_f$.

Поскольку при расчете коэффициентов АМО принято допущение о работе трансформаторов на холостом ходу, любую линию электропередачи с двухсторонним питанием относительно защищаемого ответвления можно преобразовать к виду, приведенному на рис. 3.

Расчет всех точек комплексной плоскости, соответствующих замерам ВРС, является трудоемким процессом, поэтому для ручного расчета разработана методика построения характеристики срабатывания виртуального реле, учитывающая основные законы перемещения годографа замера ВРС.

При расчете передаточных коэффициентов алгоритмической модели следует использовать значение сопротивления питающей системы с противоположного конца, взятое в максимальном режиме (сопротивление эквивалентной системы минимально).

Характеристика срабатывания ВРС ограничена четырьмя отрезками, как показано на рис. 4, и строится следующим образом: на комплексную плоскость наносится точка $\underline{Z}_{\text{зам}} = \underline{z}_{\text{л}} + \underline{z}_{\text{т}}$, где $\underline{z}_{\text{т}}$ – сопротивление трансформатора в номинальном режиме, $\underline{z}_{\text{л}}$ – сопротивление участка линии от места установки ВРС до трансформатора. Координаты точки А, через которую проводится прямая, ограничивающая область срабатывания сверху, находятся следующим образом:

$$\underline{A} = (\underline{z}_{\text{т}} \cdot k_{\text{РПН}}^{\text{макс}} + \underline{z}_{\text{л}}) \cdot k_{\text{нг}} \cdot k_{\text{зап}}^{\text{макс}}$$

где $k_{\text{РПН}}^{\text{макс}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления трансформатора при крайнем положении РПН; $k_{\text{нг}}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки на замер ВРС (выбирается из диапазона 1,01÷1,05); $k_{\text{зап}}^{\text{макс}}$ – коэффициент запаса.

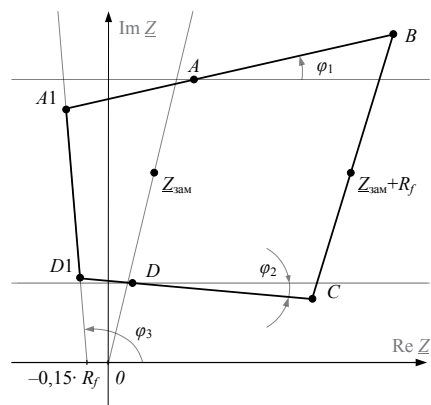


Рис. 4. Характеристика срабатывания виртуального реле сопротивления, направленного в сторону ответвления

Область срабатывания ВРС АМО снизу ограничена прямой, проходящей через точку D, координаты которой вычисляются следующим образом:

$$\underline{D} = (\underline{z}_{\text{т}} \cdot k_{\text{РПН}}^{\text{мин}} \cdot k_{\text{зр}} + \underline{z}_{\text{л}}) \cdot k_{\text{нec_АМО}} \cdot k_{\text{зап}}^{\text{мин}}$$

где $k_{\text{РПН}}^{\text{мин}}$ – коэффициент, учитывающий уменьшение сопротивления трансформатора при крайнем положении РПН; $k_{\text{зр}}$ – коэффициент, учитывающий желаемую зону резервирования при внутренних замыканиях в ответвительном трансформаторе; $k_{\text{зап}}^{\text{мин}}$ – коэффициент запаса; $k_{\text{нec_АМО}}$ – коэффициент, отражающий степень несоответствия алгоритмической модели имитационной, вычисляется по формуле

$$k_{\text{нec_АМО}} = \left| \frac{(\underline{z}_s + \underline{z}_{\text{л1}} + \underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r) (\underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r^{\text{АМО}})}{(\underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r) (\underline{z}_s + \underline{z}_{\text{л1}} + \underline{z}_{\text{л2}} + \underline{z}_r^{\text{АМО}})} \right|$$

Верхняя граница характеристики имеет наклон, равный $\varphi_1 = 15^\circ$, а нижняя граница наклонена на угол $\varphi_2 = 5^\circ$.

Справа характеристика срабатывания ограничивается отрезком BC, лежащим на прямой, параллельной $OZ_{\text{зам}}$, смещенной на величину максимального переходного сопротивления R_f по действительной оси для замера при трехфазном замыкании, и на величину

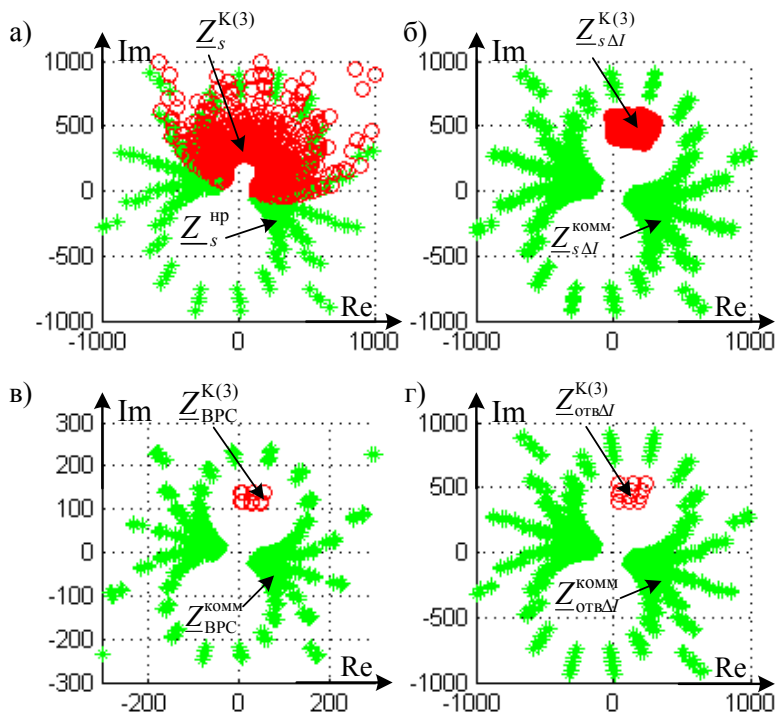


Рис. 5. Области замеров сопротивления при трехфазном замыкании на стороне НН ответственной подстанции а) классическое реле сопротивления; б) реле сопротивления, включенное на приращение тока; в) ВРС, направленное в сторону защищаемого ответвления; г) ВРС, перенесенное вдоль линии к точке подключения ответвления

$R_f/2$ – при междуфазном замыкании.

Граница слева лежит на прямой D1A1, проходящей через точку с координатой $-0,15 \cdot R_f$ по действительной оси, имеющей угол наклона $\varphi_3 = 95^\circ$.

При междуфазном замыкании для защиты трансформатора со схемой соединения обмоток $Y_0 / \Delta - 11$ в защите «Бреслер-0107.030» формируются фазные замеры ВРС, а для трансформатора $Y_0 / Y - 0$ (обмотка среднего напряжения трехобмоточного трансформатора) – междуфазные [5].

Альтернативными режимами для адаптивной защиты, реагирующей на

изменения режима, являются рабочие коммутации и замыкания в смежных элементах. От коммутации «за спиной» защита отстраивается с помощью измерительного органа, реагирующего на мощность аварийных составляющих.

Для реализации дальнего резервирования применяется реле сопротивления, включенное на приращение тока $Z_{ср \Delta I} = \frac{U_s^{TK}}{I_s^{TK} - I_s^{ПД}}$ [1, 5].

В схеме, приведенной на рис. 3, замер $Z_{ср \Delta I}$ при трехфазном замыкании примет вид:

$$Z_{ср \Delta I}^{K(3)} = \frac{(Z_s + Z_{л1} + Z_{л2} + Z_r)}{Z_{л2} + Z_r}$$

$$\frac{\underline{E}_s (Z_{л1} (Z_r + R_f + Z_{л2} + Z_r) + (Z_r + R_f) (Z_{л2} + Z_r)) + \underline{E}_r Z_s (Z_r + R_f)}{\underline{E}_s (Z_{л2} + Z_r) + \underline{E}_r (Z_s + Z_{л1})}$$

Из выражения видно, что на замер оказывают влияние величины эквивалентных ЭДС систем. Аналогично адаптивной защите альтернативными режимами в этом случае являются рабочие коммутации.

В работе рассмотрено реле сопротивления с контролем приращения тока при переносе места установки защиты вдоль линии (рис. 2, б):

$$Z_{отв \Delta I} = \frac{U_{отв}^{TK}}{I_s^{TK} - I_s^{ПД}} = \frac{U_s^{TK} - I_s^{TK} Z_{л1}}{I_s^{TK} - I_s^{ПД}}$$

При данном подходе АМО будет определена эквивалентным сопротивлением участка между местом установки защиты и защищаемым ответвлением. При получении коэффициента АМО делается допущение о том, что режим работы ответственных подстанций – холостой ход. Влияние нагрузки необходимо учитывать при построении характеристики срабатывания.

Для рассматриваемого примера

$$Z_{отв \Delta I}^{K(3)} = (Z_r + R_f) \left(1 + \frac{Z_s + Z_{л1}}{Z_{л2} + Z_r} \right)$$

лученный замер не оказывают влияние эквивалентные ЭДС систем. Однако область замеров в большей степени определяется соотношением сопротивлений эквивалентных систем питающих концов в минимальном и максимальном режимах.

Для имитационной модели (рис. 3, а) построены области замеров сопротивления при трехфазном замыкании с переходным сопротивлением в месте повреждения до 50 Ом, принятые параметры:

$$\begin{aligned} \underline{E}_s &= 110 / \sqrt{3} \text{ кВ,} \\ 0.95 &\leq \left| \underline{E}_r / \underline{E}_s \right| \leq 1.05, \\ -15^\circ &< \arg(\underline{E}_r / \underline{E}_s) < 15^\circ, Z_{л1} = 8 + j16 \text{ Ом,} \\ Z_{л2} &= 2 + j4 \text{ Ом, } Z_s^{\text{МНН}} = 3 + j15 \text{ Ом,} \\ Z_s^{\text{Макс}} &= 2 + j10 \text{ Ом,} \\ Z_r^{\text{МНН}} &= 2.25 + j10.5 \text{ Ом,} \\ Z_r^{\text{Макс}} &= 1.5 + j7 \text{ Ом} \\ \text{и } Z_r &= 8 + j140 \text{ Ом.} \end{aligned}$$



Для замеров, реагирующих на приращение тока, в качестве альтернативного режима принято включение/отключение эквивалентной системы с противоположного конца линии.

Результаты моделирования приведены на рис. 5. Область классического за-

мера сопротивления $Z_s^{K(3)} = \frac{U_s^{K(3)}}{I_s^{K(3)}}$, изо-

браженная на рис. 5, а, имеет наложение на область замеров нагрузочного режима

$Z_s^{HP} = \frac{U_s^{HP}}{I_s^{HP}}$. Осуществить полноценное ре-

зервирование при наличии транзита затруднительно.

Замеры сопротивления, основанные на приращении тока (рис. 5, б, в, г), лучше отстроены от альтернативных режимов (рабочих коммутаций). На рис. 5, б приведена область замеров сопротивления $Z_{s\Delta I}$; график показывает, что область замеров $Z_{s\Delta I}^{K(3)}$, по сравнению с классическим, лучше отстроена от альтернативных режимов $Z_{s\Delta I}^{КОММ}$ и меньше подвержена влиянию транзита.

На области замеров $Z_{отв\Delta I}$ и Z_{BPC} приведенные на рис. 5, г и 5, в соответ-

ственно, транзит мощности оказывает наименьшее влияние (в рассматриваемом примере оно отсутствует). Эквиваленты систем начинают влиять на области замеров в режиме замыкания при несоответствии имитационной модели алгоритмической и при учете реальной нагрузки ответственных трансформаторов.

Различие замеров Z_{BPC} и $Z_{отв\Delta I}$ состоит в том, что влияние эквивалентных сопротивлений питающих систем на получаемые области (при моделировании режима замыкания) в случае использования замера Z_{BPC} сказывается в меньшей степени (в частном случае, при соответствии имитационной и алгоритмической моделей в части величины эквивалента Z_{Σ} , влияние эквивалента питающей системы Z_{Σ} сведено к нулю).

Выводы

Адаптивные алгоритмы, в основе которых лежат алгоритмические модели, позволяют добиться распознавания замыканий за ответственными трансформаторами малой мощности. Рассмотренные в статье АМО позволяют значительно упростить расчет параметров срабатывания ЗДР.

Данные алгоритмы реализованы в устройствах производства ООО «НПП Бреслер»: как отдельно в терминале «Бреслер-0107.030», так и в качестве дополнительной функции в терминалах ступенчатых защит присоединения «Бреслер-0107.510».

Защиты дальнего резервирования, основанные на методе алгоритмического моделирования, успешно эксплуатируются на объектах единой энергетической системы.

Литература:

1. Нагай В.И. Релейная защита ответственных подстанций электрических сетей. – Энергоатомиздат, 2002. – 311 с.
2. Liamets Y., Ivanov S., Podchivaline A., Nudelman G., Zakonjšek J. Informational analysis – new relay protection tool // Proc. 13th Int. Conf. Power System Protection. – Bled, 2002. – P. 197-210.
3. Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Павлов А.О. Алгоритмические модели электрических систем // Труды Академии электротехнических наук Чувашской Республики. / Изд-во Чуваш. ун-та. – Чебоксары, 1999. – № 1-2. – С. 10-21.
4. Бычков Ю.В., Васильев Д.С., Павлов А.О. Алгоритмические модели в релейной защите // Релейная защита и автоматизация. – 2012. – № 1. – С. 26-31.
5. Васильев Д.С., Козлов В.Н., Павлов А.О. Развитие высокочувствительной защиты дальнего резервирования // Релейная защита и автоматизация. – 2011. – № 2. – С. 24-28.

РМЭФ
Российский Международный Энергетический Форум

17–20 МАЯ 2016
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

energetika@expoforum.ru energetika-restec.ru
rief@expoforum.ru energo@restec.ru
+7 812 240 40 40 +7 812 303 88 68
доб. 154, 160

ОРГАНИЗАТОРЫ
EXPOFORUM **РЕСТЭК®**
Выставочное объединение

ENERGETIKA.EXPOFORUM.RU
RIEF.EXPOFORUM.RU

12+

В НОВОМ
КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНОМ ЦЕНТРЕ
ЭКСПОФОРУМ
ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ 64/1