

Особенности расчета параметров срабатывания устройств РЗА в неординарных режимах работы

В.А. ЕФРЕМОВ, А.В. ЕФРЕМОВ, А.А. МАЛЬЧУГИНА
ООО «Релематика», ЧувГУ им. И.Н.Ульянова

Россия

Efremov_VA@relematika.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

релейная защита и автоматика, руководящие указания, алгоритмическое моделирование, расчет параметров срабатывания, совместимость защит, электромеханические защиты, адаптивные защиты, параметрирование защит

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение надежной и устойчивой работы Единой национальной электрической сети (ЕНЭС) в определяющей мере связано с функционированием релейной защиты и линейной автоматики (РЗА), предназначенной осуществлять быструю и селективную автоматическую ликвидацию повреждений и аномальных режимов в электрической части энергосистем.

Качество функционирования защит в определяющей степени зависит от правильного выбора их параметров срабатывания (уставок), а для цифровых защит – и от безошибочного конфигурирования терминалов релейных устройств. Непрерывный процесс внедрения микропроцессорных (МП) защит высветил здесь ряд проблем, которые были объединены в задачи, связанные с разработкой методических указаний и созданием на их основе автоматизированных программных комплексов по расчету уставок защит [1].

Анализируя первую из задач, можно сделать вывод, что существующие сегодня методики рассчитаны на аналоговые защиты и во многом не учитывают специфику цифровых устройств. Это такие факторы, как:

1. повышение качества защиты, ее точности и надежности;
2. изменение структуры отдельных алгоритмов (например, фильтров) при конфигурировании;
3. введение новых информационных параметров в алгоритмы защиты;
4. совместимость защит разных поколений или разных производителей, установленных на разных концах одной и той же линии;
5. особенности расчета параметров срабатывания адаптивных защит, а также согласование защит, выполненных на разной элементной базе.

В докладе рассмотрены только некоторые из указанных проблем, а именно: применение аварийных составляющих в измерительных органах (ИО) РЗА, расчет параметров срабатывания полукомплектов дифференциально-фазной защиты, выполненных на электромеханической (э/м) и МП элементных базах при их совместной работе на одной линии, согласование ступеней адаптивной дистанционной защиты и ряд других.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Особенности расчета уставок БК. Внедрение МП устройств позволило значительно увеличить алгоритмическую базу РЗА. В первую очередь здесь необходимо отметить алгоритмы, использующие в своей структуре данные о предшествующем режиме. Такая РЗА, наряду с классическими алгоритмами, которые для принятия решения используют только текущие токи и напряжения, применяет измерительные органы, реагирующие на приращения вектора тока (аварийную составляющую тока). Для получения приращения комплекса синусоидальной величины $\Delta \underline{F} = \underline{F}_{ав}$ необходимы специальные фильтры, которые получили

название фильтров аварийных составляющих (ФАС) [2]
$$\Delta \underline{F}(k) = \underline{F}_{ав}(k) = \underline{F}(k) - \hat{\underline{F}}_{пред}(k)$$

Заметим, что ФАС подавляет нулевую гармонику и ослабляет низкочастотные колебания

качаний. Например, третий порядок нерекурсивного ФАС достаточен при использовании на линиях с частотами скольжения при качаниях или асинхронном ходе до 3 Гц.

Классическим примером применения аварийных составляющих является пусковой орган блокировки при качаниях. Значения токов и напряжений в режиме качаний соизмеримы со значениями токов и напряжений при коротких замыканиях. В этом аномальном режиме возникает вероятность ложного срабатывания или отказов срабатывания устройств релейной защиты (УРЗ), в первую очередь, дистанционной защиты (ДЗ). Во избежание неправильного функционирования УРЗ дополняются упомянутыми пусковыми органами блокировки при качаниях (БК I).

Рассмотрим расчет БК I грубого органа, реагирующего на аварийную составляющую тока прямой последовательности, уставка которого обычно вычисляется по обеспечению требуемого коэффициента чувствительности по формуле:

$$dI_{1 \text{ груб}} \leq \frac{dI_{1 \text{ мин}}}{k_{\text{ч.треб}} k_3}, \quad (1)$$

где $dI_{1 \text{ мин}} = \text{mod}(I_{1\text{кз,мин}} - I_{\text{раб,макс}})$ – модуль первичного минимального приращения (аварийной составляющей) тока прямой последовательности при симметричном КЗ в конце зоны действия рассматриваемой ступени ДЗ, А;

$I_{1\text{кз,мин}}$ – минимальное комплексное значение тока в защите при трехфазном КЗ в конце зоны действия ступени ДЗ, А;

$I_{\text{раб,макс}} = I_{\text{раб,макс}} \angle \varphi_{\text{наг, макс}}$ – комплекс максимального тока нагрузки линии, А;

$\varphi_{\text{наг, макс}}$ – максимальный угол нагрузки. В расчетах угол нагрузки принимают равным $(30\text{--}40)^\circ$ [5];

$k_{\text{ч.треб}} = 1,2$ – минимальный требуемый коэффициент чувствительности;

$k_3 = 1,1$ – коэффициент запаса, учитывающий погрешности измерительных приборов, ошибки расчета и необходимый запас.

На практике часто наблюдается ситуация, когда вместо векторной разности в формуле (1) для расчета $dI_{1 \text{ мин}}$ используют разность модулей, например, $dI_{1 \text{ мин}} = I_{1\text{кз,мин}} - I_{\text{раб,макс}}$, что приводит к заниженным или даже отрицательным значениям приращения тока $dI_{1 \text{ мин}}$. На рис.1 приведены возможные случаи реальных величин аварийной составляющей тока $dI_{1 \text{ мин}}$. Для исключения подобных ситуаций ООО «Релематика» предлагает производить расчет аварийных составляющих тока с применением теоремы косинусов. Например, аварийная составляющая тока прямой последовательности может быть рассчитана по формуле (2):

$$dI_{1 \text{ мин}} = \sqrt{I_{1\text{кз,мин}}^2 + I_{\text{раб,макс}}^2 - 2 \cdot I_{1\text{кз,мин}} \cdot I_{\text{раб,макс}} \cdot \cos \varphi}, \quad (2)$$

где φ – угол между током нагрузки и током прямой последовательности в режиме трехфазного повреждения (см. приложение), град.

Для канала БК I, реагирующего на величины обратной последовательности для

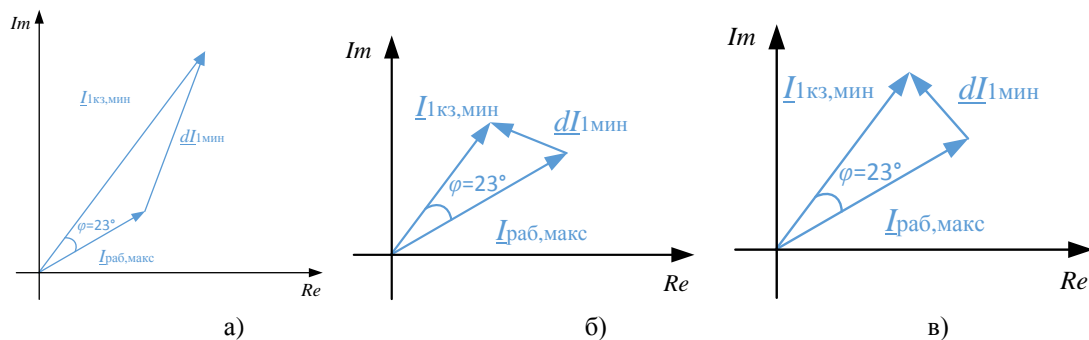


Рис. 1. Определение аварийной составляющей тока прямой последовательности: а) ток нагрузки меньше тока КЗ; б) ток нагрузки больше тока КЗ; в) эти токи практически равны

идентификации несимметричных КЗ в энергосистеме, расчет уставок не вызывает трудностей, так как измеренные величины практически равны аварийному току: их уставка отстраивается от небалансов в токовых цепях в максимальном режиме.

Совместимость МП и электромеханических (эм) ДФЗ. Еще одна проблема расчета параметров срабатывания возникает при внедрении микропроцессорных защит с абсолютной селективностью, когда необходима их совместимость с защитами предыдущих поколений. Наиболее сложно данный процесс происходит с дифференциально-фазными защитами (ДФЗ). Помимо проблем, связанных с обеспечением идентичности сигналов органов манипуляции, возникает задача обеспечения чувствительности пусковых (отключающих) измерительных органов (ИО) полуккомплектов защиты. При совместном использовании эм ДФЗ-201 (ДФЗ-2) с МП ДФЗ на разных концах одной и той же линии должно быть соблюдено требование идентичности всех ИО на применяемых полуккомплектах ДФЗ. В частности, в МП ДФЗ должны быть выведены из действия пусковые и отключающие ИО, реагирующие на фазные токи, токи прямой и нулевой последовательностей и ИО, реагирующие на аварийные составляющие (на приращение) токов прямой или обратной последовательности. Для большинства линий расчетной величиной пусковых/отключающих ИО для идентификации несимметричных повреждений является ток обратной последовательности I_2 . Однако для достижения минимального коэффициента чувствительности $K_{\text{ч}} \geq 2$ в ДФЗ-201 одного тока I_2 бывает недостаточно. При недостаточной чувствительности электромеханических ДФЗ-201 к однофазным КЗ к стандартному решению по применению I_2 для пусковых/отключающих ИО добавляют ИО по току нулевой последовательности $3I_0$. Для трех уставок по I_2 в ДФЗ-201 получается 9 различных комбинаций, представляемых в виде нелинейных графиков [3], с помощью которых по определенной методике [4,5] рассчитывается минимальный коэффициент чувствительности защиты.

Перенос для выполнения совместимости всех возможных комбинаций I_2 и $3I_0$ [3] в МП ДФЗ затруднителен и нецелесообразен. ООО «Релематика» предлагает иные методики для обеспечения совместимости МП ДФЗ с ДФЗ-201.

Проанализируем сначала величины токов I_2 и $3I_0$ с точки зрения их применения в ИО МП ДФЗ для обеспечения совместимости с ДФЗ-201 при однофазных ($K^{(1)}$) и двухфазных ($K^{(1,1)}$) замыканиях на землю.

В соответствии с руководящими указаниями в ДФЗ-201 [6] уставку ИО по I_2 рекомендовано выбирать из расчетного вида междуфазного короткого замыкания ($K(2)$).

Как уже было отмечено, на многих линиях такой подход не может обеспечить необходимый коэффициент чувствительности при однофазных замыканиях на землю ($K(1)$). Действительно, используя правило эквивалентности прямой последовательности [7]

$$I_1 = \frac{U}{x_{1\Sigma} + \Delta x_{2\Sigma}},$$

для расчета тока I_2 при $K(2)$ и $K(1)$, как показано в [8], можно получить соотношение токов обратной последовательности, равное

$$I_2^{(2)} / I_2^{(1)} = (3.3 \div 5.0) X_{1\Sigma} / 2.0 X_{1\Sigma} = (1.65 \div 2.5)$$

то есть при $K(2)$ ток I_2 более чем в 1,5 раза превышает аналогичный ток при $K(1)$, а вклад в чувствительность от тока $3I_0$ у ДФЗ-201 будет больше, чем от тока I_2 .

Исходя из полученных результатов, для микропроцессорных ДФЗ с целью учета тока $3I_0$ можно рассмотреть два подхода к выполнению защит:

1) применение двух ИО, реагирующих соответственно на I_2 и I_0 . Как уже упомянуто, уставка I_2 должна быть выбрана из условия обеспечения чувствительности при $K(2)$. В этом случае, при недостаточной чувствительности по I_2 при $K(1)$, требуемый $K_{\text{ч}}$ должен быть

$$I_{0\text{мин}}^{(1)} / I_{0\text{уст}} \geq 2.0$$

обеспечен применением ИО тока нулевой последовательности I_0 : . Известно, что модули токов I_2 и I_0 равны не только в месте повреждения, но и практически мало отличаются в месте установки МП ДФЗ. Такое допущение предполагает иметь ИО по току I_0 намного чувствительнее ИО по току I_2 . Однако структурная формула расчета уставки I_0

$(I_0 \geq I_{0нб} + I_{0нс})$ одинакова с формулой для расчета I_2 и вероятность получения требуемого коэффициента чувствительности $K_{\chi} \geq 2.0$ у ИО по току I_0 очень мала, т. е. применение двух токовых ИО по I_2 и I_0 в МП ДФЗ не могут обеспечить требуемый коэффициент чувствительности в случае К(1) при совместной работе с ЭМ ДФЗ.

2) ООО «Релематика» рекомендует применение одного комбинированного ИО токов обратной и нулевой последовательности $(I_2 + I_0)$ [9]. Такой ИО способен работать как при К(2) (условия выбора I_2 по К(2)), так и при земляных КЗ.

При земляных замыканиях расчетным видом является однофазное замыкание К(1). Для него определим уставку ИО $(I_2 + I_0)$ по уже рассчитанному для э\м ДФЗ $K_{\chi ДФЗ-201}$ или требуемому коэффициенту чувствительности $K_{\chi_{треб}} \geq 2.0$, т. е.

$$(I_2 + I_0)_{уст} = \frac{I}{2 \min_{\substack{K_{\chi ДФЗ-201} \\ (1)_{omin}}}^{(1)}} \quad (I_2 + I_0)_{уст} \geq \frac{I}{2 \min_{\substack{K_{\chi_{треб}} \\ (1)_{omin}}}^{(1)}} \quad (2).$$

Расчет уставок по формулам (2) предопределяет одинаковые коэффициенты чувствительности при внешних несимметричных повреждениях в сети при использовании полуконспекта э\м ДФЗ-201 на одном из концов линии.

Расчет параметров срабатывания адаптивной токовой защиты. Исходя из задачи получения быстродействующего и чувствительного ИО для защиты линий при неуспешном ОАПВ, приходим к выводу о необходимости применения адаптивных составляющих. Как показано [10], наиболее оптимальным решением данной задачи является применение комбинированного реле тока симметричных и аварийных составляющих (КРТСиАС). Само техническое решение данной проблемы можно реализовать на базе токовой защиты неповрежденных фаз (ТЗНФ) [11]. Особый интерес здесь представляет расчет параметров срабатывания токовых ИО [10]. Например, величина уставки суммарного тока комбинированного реле тока симметричных составляющих (КРТСС) $(mod(I_2) + mod(I_0)) \geq I_{уст}$ может быть адаптивно отстроена от текущего режима. Рассмотрим случай расчета по максимальному рабочему току $I_2 + I_0 = f(I_{раб.мах})$ в неполнофазном режиме цикла ОАПВ. Эта уставка суммарного тока будет максимальной и может быть использована как уставка в неадаптивных версиях защиты. Ее можно рассчитать следующим образом:

$$I_2 = 1/3 (a^2 I_B + a I_C) = 1/3 (I_A); \quad I_0 = 1/3 (I_B + I_C) = 1/3 (I_A); \quad I_2 + I_0 = I_2 + I_0 = 2/3 (I_{фазн.раб}),$$

$$I_{уст} \geq k_{отс} \cdot (2/3 \cdot I_{раб.мах}),$$

где I_B, I_C – токи неповрежденных фаз в цикле ОАПВ, I_A – виртуальный ток в третьей фазе;

$I_{раб.мах}$ – первичный максимальный рабочий ток в месте установки защиты (ток нагрузки), А;

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, который можно принять равным требуемому коэффициенту чувствительности $k_{отс} = k_{\chi_{треб}} = 1.25$, а уставка КРТСС будет равна

$$I_{уст} \geq k_{отс} \cdot (2/3 \cdot I_{раб.мах}) \approx 0.8 I_{раб.мах}.$$

Для расчета уставки комбинированного реле тока аварийных симметричных составляющих (КРТАС) $(mod(I_{2авар}) + mod(I_{0авар})) \geq I_{уст}$ по максимальному рабочему току необходимо рассчитать модули токов обратной и нулевой последовательностей.

Составляющие уставки КРТАС по обратной $mod(I_{2авар})$ и по нулевой $mod(I_{0авар})$ последовательностям должны быть отстроены от небалансов, вызываемых погрешностью измерительных цепей фаз, и рассчитываются по выражениям:

$$mod(I_{2авар}) \geq \frac{k_{отс}}{k_{\epsilon}} I_{2нб}, \quad (3)$$

$$mod(I_{0авар}) \geq \frac{k_{отс}}{k_{\epsilon}} I_{0нб}, \quad (4)$$

где $k_{отс} = 2,5$ – коэффициент отстройки;

$k_{\epsilon} = 0,95$ – коэффициент возврата для микропроцессорных защит;

$I_{2нб} = (0,02 \div 0,05) \cdot I_{раб. макс}$ – первичный ток небаланса, вызываемый погрешностью измерительного тракта, начиная от трансформатора тока, А.

Уставка КРТАС по приращению вектора тока обратной и нулевой последовательностей ($mod(I_{2авар}) + mod(I_{0авар})$) $\geq I_{уст}$ принимается равной алгебраической сумме уставок по приращению обратной и нулевой последовательностей:

$$mod(I_{2авар}) + mod(I_{0авар}) \geq \frac{k_{отс}}{k_{\epsilon}} (I_{2нб} + I_{0нб}) = \frac{k_{отс}}{k_{\epsilon}} \cdot 2 \cdot [(0,02 \div 0,05) \cdot I_{раб макс}]. \quad (3)$$

Для случая максимальной погрешности измерительного трансформатора тока формулу (3) можно записать следующим образом:

$$mod(I_{2авар}) + mod(I_{0авар}) \geq \frac{2,5}{0,9} (0,05) \cdot I_{раб макс} \approx 0,3 \cdot I_{раб макс}. \quad (3a)$$

Коэффициент чувствительности выбирается как для защит с абсолютной селективностью по выражению:

$$k_{\chi} = \frac{mod(\Delta I_{2мин}) + mod(\Delta I_{0мин})}{mod(I_{2авар}) + mod(I_{0авар})} = \frac{mod(\Delta I_{2мин}) + mod(\Delta I_{0мин})}{0,3 I_{раб макс}} \geq 1,25$$

где $mod(\Delta I_{2мин})$ и $mod(\Delta I_{0мин})$ – значения приращений векторов первичного тока обратной и нулевой последовательностей при однофазном КЗ во включенной с одной стороны отключавшейся фазе в конце линии в минимальном режиме.

Однако уставки КРТСС и КРТАС при замерах тока в неповрежденных фазах в текущем режиме можно выполнить адаптивными, т. е. зависящими от текущих токов. В этом случае в алгоритмах защиты для любого момента времени будет рассчитываться уставка, принимаемая для КРТСС $I_{устКРТСС} \geq 0,8 I_{наг}$, а для КРТАС соответственно $I_{устКРТАС} \geq 0,3 I_{наг}$.

Таким образом, уставки срабатывания КРТСиАС зависят только от токов фаз линии и могут быть адаптированы к текущему режиму как интегральные значения за 1-3 периода.

Практическое использование адаптивной дистанционной защиты (АДЗ)¹.

Адаптивная защита строится на базе аварийных составляющих [12] (приращений векторных величин). В общем случае можно утверждать, что работа адаптивной РЗА начинается с момента появления аварийных составляющих. При подаче напряжения на защищаемый объект в режимах опробования линии напряжением (ОЛ) или при ТАПВ есть некоторый промежуток с недостоверными аварийными составляющими, который обусловлен переходным процессом в фильтрах аварийных составляющих и может составить от 15 до 30 мс в зависимости от порядка применяемого ФАС [2].

Особенностью адаптивных дистанционных защит является то, что у них отсутствует характеристика срабатывания на комплексной плоскости. Обычно на комплексной плоскости замера сопротивления Z_p строится граничная линия области отображений режимов КЗ «в зоне» (рис.2) [13].

¹ В работе непосредственное участие принимал канд. техн. наук Мартынов М.В.

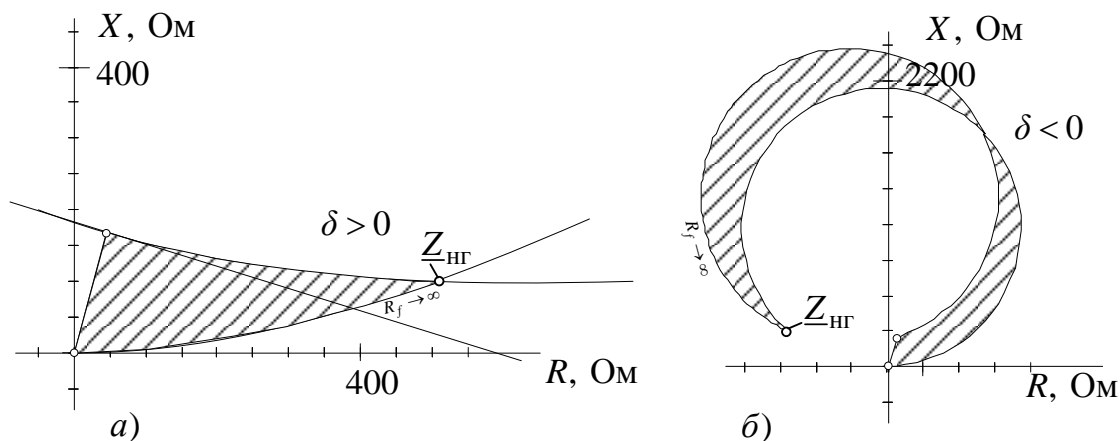


Рис. 2. Отображение на плоскости предельных границ годографов реле сопротивления в зависимости от направления передачи мощности на ЛЭП

Проблемы реализации и согласования ступеней АДЗ. Классическое применение ДЗ помимо адаптивной 1-й ступени в сетях предполагает наличие II ступени с минимальным охватом всего защищаемого объекта и III ступени, которая должна не только резервировать действие I и II ступеней ДЗ, но и срабатывать при больших значениях R_f с учетом чувствительности защиты к таким сопротивлениям. Возникает проблема согласования защит медленнодействующих ступеней на разных подстанциях сети.

Если рассмотреть установку адаптивных защит на всех смежных подстанциях, то получаем достаточно легко решаемую задачу. Выдержки времен ступеней выбираются по стандартным методикам для ступенчатых защит.

Зона действия ДЗ должна составлять:

- у I ступени: не менее 0,85 длины линии. Большая зона нечувствительности АДЗ объясняется подключением к стандартным электромагнитным трансформаторам тока 10P. Применение цифровых трансформаторов тока и напряжения резко сокращает зону нечувствительности 1-й ступени до 0.95-0.98 длины линии;

- у II ступени: максимально возможную длину, ограниченную не более чем половиной длины самой короткой линии, отходящей от смежной подстанции (ПС), или меньшую длину при отстройке от стороны смежного напряжения мощного автотрансформатора (АТ);

- у III ступени: длину, большую или равную самой длинной смежной линии, а максимальная зона действия определяется чувствительностью аппаратно-программного обеспечения защиты.

Иная ситуация возникает при установке на смежной подстанции классического комплекта ступенчатой защиты (КСЗ), включающей ступени ДЗ и направленной токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП). Показано, что АДЗ реагирует на все виды замыканий, в том числе и на однофазные повреждения [13].

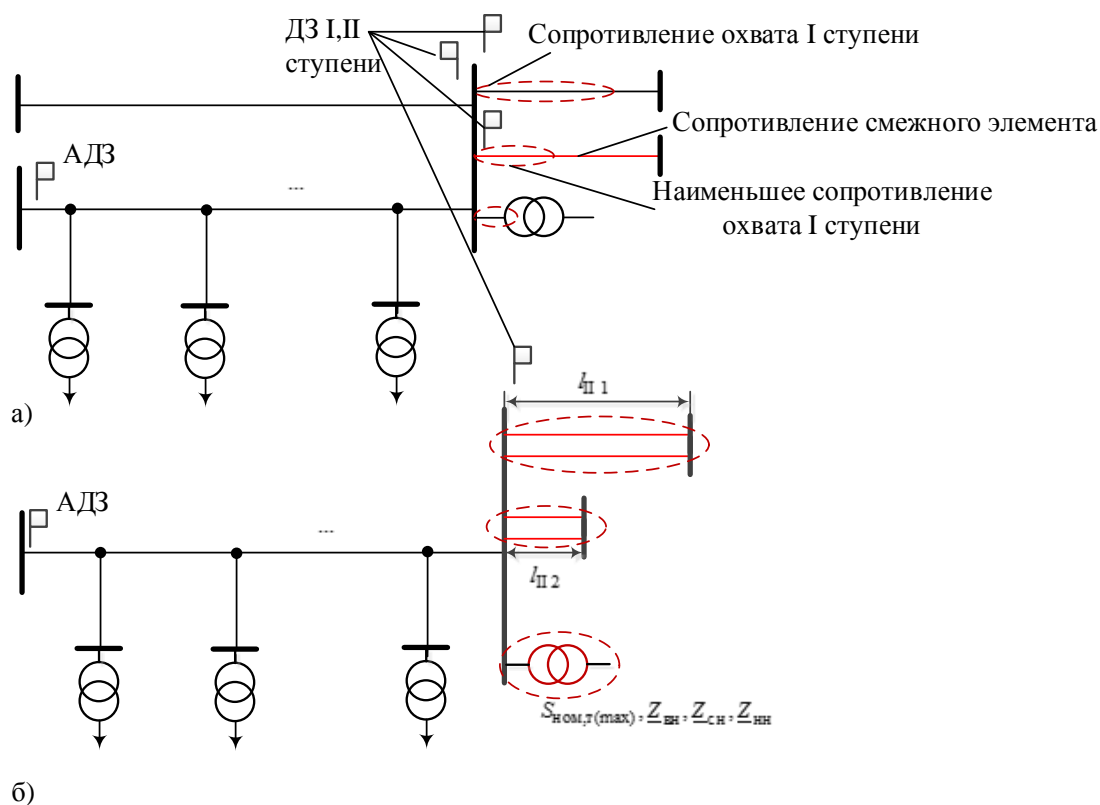


Рис. 1. Условия выбора параметров алгоритмической модели II ступени:

а – выбор минимального значения сопротивления охвата первых ступеней защит смежных элементов для задания уставки охвата II ступени;

б – выбор минимального значения сопротивления смежных двухцепных ВЛ в режиме работы двух цепей и минимального сопротивления смежного трансформатора наибольшей мощности

При наличии КСЗ на смежной подстанции II ступень АДЗ должна быть отстроена от первых ступеней комплекта защит. Если в зоне действия II ступени АДЗ селективность может быть обеспечена путем задания, например, половины длины самой короткой линии, отходящей от смежной подстанции, то высокая чувствительность АДЗ к переходным сопротивлениям может привести к ситуации, когда при КЗ через большое R_f в зоне действия первых ступеней защит смежной ПС произойдет срабатывание II, III ступеней АДЗ и возможное срабатывание II и III ступеней КСЗ на смежной подстанции. Селективность третьих ступеней защит при этом будет обеспечена отстройкой по времени (встречно-ступенчатый принцип), а вот вторые ступени АДЗ и КСЗ, имеющие одинаковые выдержки времени, могут сработать практически одновременно, что неизбежно приведет к неселективному воздействию АДЗ на выключатель своей подстанции.

Особенность алгоритма АДЗ, в отличие от классической реализации, заключается в том, что все ступени АДЗ работают с одинаковой максимальной чувствительностью, а потому для согласования ступень селективности по времени действия II ступени АДЗ должна быть всегда выше аналогичной ступени классического КСЗ: $\Delta t_{\text{АДЗ}} = \Delta t_{\text{селек}} + \Delta t_{\text{доб}}$, где $\Delta t_{\text{АДЗ}}$ – ступень по селективности II ступени АДЗ;

$\Delta t_{\text{селек}}$ – ступень селективности КСЗ, обычно $\Delta t_{\text{селек}} = 0,5$ с;

$\Delta t_{\text{доб}} = t_{\text{откл. см. выкл}} + \Delta t_{\text{зап}}$ – добавочное время, определяемое временем отключения смежного выключателя $t_{\text{откл. см. выкл}}$ и временем запаса $\Delta t_{\text{зап}}$, которое учитывает разновременность срабатывания измерительных органов АДЗ и КСЗ, а также время их возврата; $\Delta t_{\text{зап}} = (0,05 \div 0,1)$ с.

На рис.3 показаны условия выбора параметров алгоритмической модели II ступени на примере объекта – ВЛ с ответвительными подстанциями. Для третьей ступени задаются сопротивления охвата смежного резервируемого элемента.

Изложенные подходы по согласованию ступеней АДЗ со ступенчатыми защитами смежных ПС были заложены в адаптивную защиту ООО «Релематика» для линии 110 кВ, отходящей от подстанции «Лосинка» с установленной на ней АДЗ, до подстанции «Ленинская-2» с двумя АТ мощностью по 125 МВА, от которой отходят еще 4 ВЛ 110 кВ. На ВЛ 110 кВ

подстанции «Ленинская-2» установлены микропроцессорные и электромеханические комплекты ступенчатых защит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложена методика расчета параметров срабатывания ИО прямой последовательности БК I, которая предотвращает неправильную работу ДЗ при качаниях в энергосистеме и выдает разрешающий сигнал работы при появлении повреждения на линии и в режиме качаний.

2. Показано, что минимальные уставки по приращению ИО прямой последовательности составляют не менее 20% от номинального тока измерительного трансформатора тока.

3. Для обеспечения совместимости ЭМ и МП ДФЗ и согласования чувствительности предлагается применять в МП ДФЗ комбинированный ИО тока ($I_2 + I_0$), если для обеспечения чувствительности в ДФЗ-201 используется ток ЗИО. Уставка отключающего ИО в МП ДФЗ при этом определяется по рассчитанному в ДФЗ-201 коэффициенту чувствительности.

4. В качестве быстродействующей защиты линии при неуспешном ОАПВ рекомендована адаптивная токовая защита на базе комбинации симметричных и аварийных составляющих токов обратной и нулевой последовательностей.

5. Адаптивная токовая защита не требует предварительного расчета параметров срабатывания. Ее уставки адаптивно формируются по величинам токов неповрежденных фаз.

6. Алгоритмы адаптивной дистанционной защиты не требуют расчета параметров срабатывания измерительных органов, нуждаясь лишь в задании зоны охвата ступеней. Это исключает потребность в данных об эквивалентах питающих сетей и что значительно упрощает процедуру параметрирования защиты.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ефремов В.А., Климатова И.С., Козлов В.М. Методики и программы расчета уставок микропроцессорных защит // Релейная защита и автоматика энергосистем-2008: Сб. докладов XVIII научно-технической конференции. С.70-72.
- [2] Лямец Ю.Я., Ефремов В.А. Способ выделения аварийной слагаемой тока короткого замыкания. Патент 2058747 Россия БИ № 12, 1996
- [3] Панели защитные типов ДФЗ-201 УХЛ4 и ДФЗ-20104 Техническое описание и инструкция по эксплуатации ИАЕЖ.656264.012ТО
- [4] Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2000.-248 с.
- [5] Платонов В.В., Чмыхалов Г.Н. Специальные вопросы проектирования релейной защиты электрических энергосистем: Учебное пособие. Новочеркасск: Изд.ЮРГТУ (НПИ), 2000.
- [6] Руководящие указания по релейной защите. Вып.9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линии 110-330 кВ. М.: Энергия, 1972.
- [7] Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы. М.: Энергия, 1970
- [8] Ефремов В.А., Анисимова О.В., Ефремов А.В., Григорьева А.Г. Особенности расчета уставок микропроцессорных и электромеханических ДФЗ // Энерго Инфо. №3-4 (121-122), 2017. С.40-41.
- [9] Микропроцессорная защита линии 110-220 кВ типа «ТОР 300 ДФЗ 5хх». Рекомендации по расчету уставок АИПБ.656467.001-04 РРУ v16.2. Чебоксары: 2016.
- [10] Ефремов В. А., Ефремов А. В. Адаптивная быстродействующая защита линии при неуспешном ОАПВ // Электроэнергия. Передача и распределение, 2020, №2, стр.
- [11] Ефремов В.А., Романов Ю.В., Воронов П.И. Токовая защита неповреждённых фаз в цикле ОАПВ// Электроэнергия. Передача и распределение, 2013, №3, стр.98-100.
- [12] Ефремов В.А., Мартынов М.В., Буров А.В., Гайдаш А.А Адаптивная дистанционная защита линии электропередачи// Релейная защита и автоматизация №04(21) , 2015, с.21-25
- [13] Ефремов В.А. Адаптивный дистанционный принцип и средства его реализации. Автореферат диссертации. Чебоксары, 1993г. 24с.
- [14] Гущина Т.А., Герасимов А.С., Есипович А.Х. и др. Опыт использования цифро-аналого-физического комплекса для обеспечения системной надежности ЕЭС России // Электрические станции. 2005. № 12. С. 1-12.