

Особенности расчета уставок микропроцессорных и электромеханических ДФЗ

В статье рассмотрены вопросы расчета уставок микропроцессорной ДФЗ при наличии на другом конце линии электромеханической защиты. Предложены необходимые меры для выполнения совместимости защит.

При внедрении микропроцессорных (МП) защит с абсолютной селективностью возникают ситуации, когда необходима их совместимость с защитами предыдущих поколений. Наиболее сложно данный процесс происходит с дифференциально-фазными защитами (ДФЗ). Помимо проблем, связанных с обеспечением идентичных сигналов органов манипуляции, возникает задача обеспечения чувствительности пусковых (отключающих) измерительных органов (ИО) полуккомплектов защиты.

Совместимость уставок

При совместном использовании электромеханических (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 измерительные органы (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. В таком случае при недостаточной чувствительности электромеханических ДФЗ-201 к земляным КЗ стандартному решению по применению I_2 для пусковых/отключающих ИО добавляют ИО по току нулевой последовательности $3I_0$. В итоге получается 9 различных комбинаций уставок, представляемых в виде нелинейных графиков [1], с помощью кото-

рых по определенной методике [2,3] рассчитывается минимальный коэффициент чувствительности защиты.

Перенос для выполнения совместимости всех возможных комбинаций I_2 и $3I_0$ с [1] в МП ДФЗ нецелесообразен и затруднителен. 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 [4] 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 [5] $i_1 = \frac{U}{x_{1\Sigma} + \Delta x_{1\Sigma}}$, для расчета тока I_2 при $K^{(2)}$ и $K^{(1)}$ одного и того же расчетного режима получим:

– при $K^{(2)}$ модуль тока обратной последовательности будет равен току прямой и составит

$$|i_1^{(2)}| = |i_2^{(2)}| = \frac{U}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}} ;$$

– при $K^{(1)}$ будет еще и ток нулевой последовательности равный также току обратной и прямой последовательностей

$$|i_1^{(1)}| = |i_2^{(1)}| = \frac{U}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} .$$

И в итоге, взяв соотношение токов I_2 при $K^{(2)}$ и $K^{(1)}$, имеем аналитическое выражение

$$\frac{I_2^{(2)}}{I_2^{(1)}} = \frac{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}} .$$

Для стандартной линии электропередачи напряжением 110 кВ, соединяющей

две энергосистемы, суммарные эквивалентные сопротивления прямой и обратной последовательностей равны $X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma}$, а по нулевой последовательности в зависимости от соотношения эквивалентных сопротивлений прямой и нулевой последовательностей систем суммарное сопротивление нулевой последовательности принимается равным в диапазоне $x_{0\Sigma} = (1.3 \div 3.0) \cdot x_{1\Sigma}$.

Таким образом, соотношение токов обратной последовательности при $K^{(2)}$ и $K^{(1)}$ будет равно $I_2^{(2)} / I_2^{(1)} = (3.3 \div 5.0) X_{1\Sigma} / 2.0 X_{1\Sigma} = (1.65 \div 2.5)$, 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 I_0 у ДФЗ-201 будет больше, чем от тока I_2 .

Исходя из полученных результатов, для микропроцессорных ДФЗ 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_y должен быть обеспечен применением ИО тока нулевой последовательности I_0 : $I_{0\text{уст}}^{(1)} / I_{0\text{уст}} \geq 2.0$. 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 ($I_0 \geq I_{0\text{неб}} + I_{0\text{нес}}$) одинакова с формулой для расчета I_2 и вероятность получения требуемого коэффициента чувствительности $K_y \geq 2$ у ИО по току I_0 очень мала.

Таким образом, применение двух токовых ИО по I_2 и I_0 в МП ДФЗ не могут обеспечить требуемый

коэффициент чувствительности при $K^{(1)}$ при совместной работе с ЭМ ДФЗ;

2) ООО «Релематика» рекомендует применение одного комбинированного ИО токов обратной и нулевой последовательности ($I_2 + I_0$) [6]. Такой ИО способен работать как при $K^{(2)}$ (условия выбора I_2 по $K^{(2)}$), так и при земляных КЗ.

Определим расчетный вид КЗ на землю. Рассчитаем модули токов на входе комбинированного ИО ($I_2 + I_0$) при $K^{(1)}$ и $K^{(1.1)}$ и вывзим их соотношение:

$$(I_2^{(1)} + I_0^{(1)}) = \frac{2U}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}};$$

$$\text{и } (I_2^{(1.1)} + I_0^{(1.1)}) = I_1^{(1.1)} = \frac{U}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} // x_{0\Sigma}}.$$

Их соотношение

$$(I_2^{(1)} + I_0^{(1)}) / (I_2^{(1.1)} + I_0^{(1.1)}) = \frac{2(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} // x_{0\Sigma})}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} \quad (1)$$

при принятых ранее коэффициентах $x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma}$ и $x_{0\Sigma} = (1.3 \div 3.0) \cdot x_{1\Sigma}$ получим для (1)

$$(I_2^{(1)} + I_0^{(1)}) / (I_2^{(1.1)} + I_0^{(1.1)}) = 0.95 \div 0.70.$$

Таким образом, при земляных замыканиях расчетным видом оказалось однофазное замыкание $K^{(1)}$. Для него определим уставку ИО ($I_2 + I_0$) по уже рассчитанному для ЭМ ДФЗ $K_{\text{ДФЗ-201}}$ или требуемому коэффициенту чувствительности $K_{\text{ч треб}} \geq 2$ т.е.

$$(I_2 + I_0)_{\text{уст}} = \frac{I_{2\text{min}}^{(1)} + I_{0\text{min}}^{(1)}}{K_{\text{ч ДФЗ-201}}} \text{ или}$$

$$(I_2 + I_0)_{\text{уст}} \geq \frac{I_{2\text{min}}^{(1)} + I_{0\text{min}}^{(1)}}{K_{\text{ч треб}}} \quad (2).$$

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

Вывод

Для обеспечения совместности ЭМ и МП ДФЗ и согласования чувствительности предлагается применять:

– стандартные методики расчета параметров срабатывания защиты по току I_2 , если в ДФЗ-201 не используется ток I_0 ;

– в МП ДФЗ комбинированный ИО тока ($I_2 + I_0$), если для обеспечения чувствительности в ДФЗ-201 используется ток I_0 . Уставка отключающего ИО в МП ДФЗ определяется по рассчитанному в ДФЗ-201 $K_{\text{ч ДФЗ-201}}$ или по минимальным $K_{\text{ч треб}} \geq 2$ коэффициентам чувствительности. ■

Литература

[1] Панели защитные типов ДФЗ-201 УХЛ4 и ДФЗ-20104. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ИАЕЖ.656264.012ТО

[2] Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2000, 248 с.

[3] Платонов В.В., Чмышалов Г.Н. Специальные вопросы проектирования релейной защиты электрических энергосистем: Учебное пособие. Новочеркасск: Изд. ЮРГТУ (НПИ), 2000.

[4] Руководящие указания по релейной защите. Вып.9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линии 110-330 кВ. М.: Энергия, 1972.

[5] Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы. М.: Энергия, 1970

[6] Микропроцессорная защита линии 110-220 кВ типа «ТОР 300 ДФЗ 5хх». Рекомендации по расчету уставок АИПБ.656467.001-04 РРУ v16.2. Чебоксары: 2016.

**О. АНИСИМОВА,
А. ЕФРЕМОВ,
А. ГРИГОРЬЕВА,
В. ЕФРЕМОВ**

Чебоксары, ООО «Релематика»
E-mail: efremov_va@relematika.ru