

АДАПТИВНЫЕ УСТАВКИ ДЛЯ ЗАЩИТ С ОДНОЙ ПОДВЕДЕННОЙ ВЕЛИЧИНОЙ

В настоящее время наблюдается активная работа по созданию методик расчета параметров срабатывания (уставок) релейной защиты и автоматики (РЗА). Основная тенденция направлена на формирование адаптивных уставок срабатывания. Под адаптацией в РЗА понимается способность выбора уставки срабатывания по параметрам текущего доаварийного нагрузочного режима [1].

Цифровизация электрических сетей также предполагает автоматизацию процесса расчета уставок. Главная цель такой автоматизации – увеличение чувствительности защит, получаемое за счет постоянного расчета текущего нагрузочного режима, а также учета конфигурации сети в момент возникновения аварии. Побочным положительным эффектом такого метода можно назвать и снижение количества ошибочных расчетов за счет исключения «человеческого фактора» из процесса расчета.

В формировании адаптивных уставок РЗА можно выделить два этапа:

1) полная автоматизация расчетов сети на внешнем сервере и формирование на их основе уставок защит для автоматической их записи в устройства РЗА. Наличие информационных связей между подстанциями и отдельными элементами электрической системы позволяют поднять эффективность таких расчетов, например, при реконфигурировании системы или после аварийных коммутаций в ней [2];

2) расчет уставок на базе получаемых текущих величин тока и напряжения непосредственно в термине защиты.

В докладе рассматривается второй этап формирования адаптивных уставок. Он заключается в том, что в качестве информационных параметров используются аварийные составляющие токов и напряжений [3], источником которых является место повреждения.

Для РЗА с одной подведенной величиной требуется минимальное количество расчетов, а формирование новых уставок будет происходить практически мгновенно после смены режима сети, например, отключение части энергосистемы при аварии. В отличие от описанного в [2] такой метод формирования уставок не зависит от состояния информационной сети, что может оказаться определяющим фактором с учетом возникающих помех в сети во время коммутаций выключателей на подстанции.

Алгоритм расчета адаптивной уставки по второму методу предполагает определение аварийных составляющих напряжений и токов фаз $\nu=A, B, C$ по параметрам текущего $\underline{U}_\nu, \underline{I}_\nu$ и предшествующего (нагрузочного) $\underline{U}_{\nu\text{пред}}, \underline{I}_{\nu\text{пред}}$ режимов

$$\underline{U}_{\nu\text{ав}} = \underline{U}_\nu - \underline{U}_{\nu\text{пред}}; \quad \underline{I}_{\nu\text{ав}} = \underline{I}_\nu - \underline{I}_{\nu\text{пред}};$$

и далее по величинам $\underline{U}_\nu, \underline{I}_\nu$ и $\underline{U}_{\nu\text{пред}}, \underline{I}_{\nu\text{пред}}$ определяются симметричные составляющие текущего $\underline{U}_z, \underline{I}_z$ и предшествующего $\underline{U}_{z\text{пред}}, \underline{I}_{z\text{пред}}$ режимов и на их основе рассчитываются аварийные симметричные составляющие напряжений и токов: $z=1,2,0$

$$\underline{U}_{z\text{ав}} = \underline{U}_z - \underline{U}_{z\text{пред}}; \quad \underline{I}_{z\text{ав}} = \underline{I}_z - \underline{I}_{z\text{пред}}.$$

Адаптивная уставка, например, токовых измерительных органов (ИО), реагирующих на фазные величины $I_{\text{ф уст}}$, максимальной токовой защиты (МТЗ) или ИО, реагирующий на составляющие прямой последовательности $I_{\text{с уст}}$, будет определяться по величинам предшествующего режима

$$I_{\text{ф уст}} = \text{mod}(K_{\text{нб}} I_{m\text{ пред}}), \quad (1, \text{а})$$

$$I_{\text{с уст}} = \text{mod}(K_{\text{нб}} I_{m1\text{ пред}}), \quad (1, \text{б})$$

где $I_{m\text{ пред}} = \max[\text{mod}(I_A), \text{mod}(I_B), \text{mod}(I_C)]$, $I_{m1\text{ пред}} = \text{mod}(I_1)$ соответственно максимальные действующие значения фазных токов и тока прямой последовательности; $K_{\text{нб}}$ – коэффициент небаланса.

Формулы (1, а) и (1, б) могут быть использованы и для формирования уставок срабатывания токовых ИО, реагирующих на составляющие обратной и нулевой последовательностей.

Полученная адаптивная уставка сравнивается с текущей аварийной составляющей, тогда например, срабатывание фазных ИО будет описано формулой

$$\text{spf}[I_{\phi \text{ уст}}] = \begin{cases} 0, & I_{\phi \text{ уст}} < \max(I_{\text{вав}})/K_{\text{отс}}, \\ 1, & I_{\phi \text{ уст}} \geq \max(I_{\text{вав}})/K_{\text{отс}}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\max(I_{\text{вав}})$ – максимальное значение аварийной составляющей фазных токов; $K_{\text{отс}}$ – коэффициента отстройки, значение которого в зависимости от степени защиты принимается равным $K_{\text{отс}}=1,3 \div 2,0$.

Такое формирование адаптивной уставки позволяет получить максимальную чувствительность для первой степени МТЗ. В отличие от классической первой степени МТЗ – токовой отсечки первая степень МТЗ с адаптивной уставкой всегда будет охватывать значительную длину линии и решается проблема о целесообразности её применения.

Для формирования токового реле с адаптивной уставкой, которое защищает всю линию целиком (вторая степень МТЗ) и резервирует защиту смежной подстанции (третья степень МТЗ) предлагается дополнить алгоритм расчетами величин аварийного тока при трехфазном ($K^{(3)}$) повреждении на шинах смежной подстанции (вторая степень) и в конце смежной линии (третья степень). В этих расчетах необходимы эквиваленты сопротивлений «за спиной» и эквивалентная ЭДС.

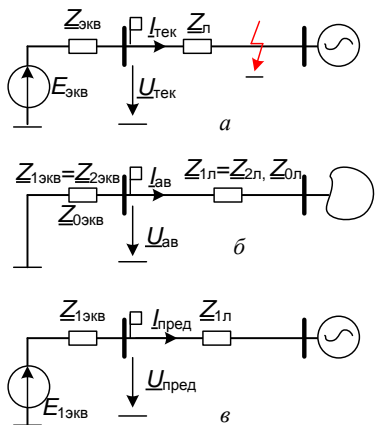


Рис. 1. К определению эквивалентов энергосистемы

На рис. 1 приведена методика определения эквивалентов. По рис. 1, а определяют аварийные токи и напряжения симметричных составляющих. На рис. 1, б приведена модель аварийного режима, из которой определяют эквивалентные сопротивления. На рис. 1, в представлена модель предшествующего режима, из которой определяют эквивалентную

ЭДС.

В режиме КЗ на шинах смежной подстанции согласно рис. 2 рассчитывают с учетом заранее подготовленных погонных со-

противлений всех последовательностей аварийные составляющие токов прямой последовательности $I_{I_{ав}}$ при симметричных и токов всех последовательностей при несимметричных КЗ. По величинам расчетных токов выполняется выбор первой или второй ступени.

Аналогично принимается решение о работе третьей ступенью защиты (рис. 3). При расчете третьей

ступени следует учитывать коэффициент токораспределения в сети. Если от шин смежной подстанции отходят несколько линий, то расчетной будет самая короткая из них.

Таким образом, адаптивную защиту с одной подведенной величиной можно построить на основе только текущих и нагрузочных значений токов и напряжений.

Литература

1. Диагностика линии электропередачи / Ю. Я. Лямец [и др.] // Электротехнические микропроцессорные устройства и системы. Чебоксары: Изд-во чуваш. ун-та, 1992. С. 9–33.

2. Шарыгин М. В., Куликов А. Л., Фальков А. А. Автоматизация расчетов адаптивной многопараметрической релейной защиты для реконфигурируемых распределительных сетей // Релейщик. 2022. № 1(42). С. 12–16.

3. Лямец Ю. Я., Ефремов В. А. Способ выделения аварийной слагаемой тока короткого замыкания. Патент 2058747 Россия. БИ № 12. 1996.

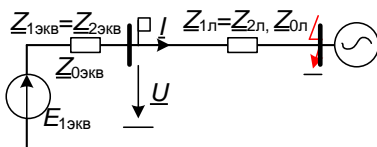


Рис. 2. Расчетная модель для определения адаптивной уставки второй ступени МТЗ

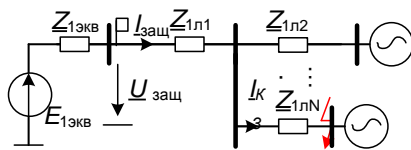


Рис. 3. Расчетная модель для определения адаптивной уставки третьей ступени МТЗ