

ОПТИМИЗАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ РЗА

ЕФРЕМОВ В.А., к.т.н. ООО «Релематика»

ИВАНОВ С.В., к.т.н., ООО «Релематика»

ЕФРЕМОВ А.В., аспирант, ЧувГУ им.Ульянова

Пришедший век микропроцессорной (МП) техники привнес много новаций в аппаратную составляющую устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). В то же время алгоритмы функционирования устройств внедрением МП РЗА практически не изменились. МП РЗА с точки зрения алгоритмизации имеют ряд преимуществ, главное из которых – появление памяти на запись предшествующего нагрузочного режима, что позволяет кардинально улучшить алгоритмические характеристики защит. Однако практически неизменными остались методики расчета параметров срабатывания (уставки) МП защит. Здравый консерватизм релейщиков с внедрением цифровой аппаратуры не позволил такими же темпами изменить расчетные условия режимных параметров сети и сделать защиты более чувствительными.

Ключевые слова: релейная защита, коэффициенты параметров срабатывания, адаптивная уставка, аварийные составляющие

До сих пор расчет коэффициентов в формулах для определения параметров срабатывания РЗА ведется на базе выпущенных для электромеханики руководящих указаний. Если для защит, например, максимального действия коэффициенты надежности K_n , запаса K_3 , возврата K_v и их гибрида – коэффициента отстройки Котс, который был введен институтом «Энергосетьпроект», для оптимизации расчета микроэлектронных защит, а также коэффициенты небаланса K_{nb} , несимметрии K_{nc} , при расчетах параметров срабатывания МП защит можно адаптировать путем изменения их значений, то неизменным остается узаконенный в [1] коэффициент чувствительности K_v . На практике для МП РЗА из регламентированного диапазона для коэффициентов K_n , K_3 , K_{nb} , K_{nc} выбирают минимальное значение, а коэф-

фициент возврата K_v доводится до значений 0,95 ... 0,97 и более.

Как уже было отмечено в [2], коэффициент чувствительности оказывает наибольшее влияние на уставки РЗА. Чувствительность есть свойство РЗА реагировать на все возможные повреждения в зоне защиты, селективно отключать их и минимизировать ущерб поврежденному участку. Коэффициент чувствительности K_v защит, выполняющий функцию контроля применимости защиты для рассматриваемого энергообъекта, в минимальных режимах короткого замыкания (КЗ) предписывает наличие тока, который на определенную величину должен превышать параметр срабатывания защиты.

Расчет коэффициентов чувствительности для классических защит должен производиться в соответствии с требованиями [1] с воз-

можной корректировкой величин K_v в меньшую сторону. Анализ значений коэффициентов чувствительности для разных типов защит показывает, что на их величину влияет ряд факторов, связанных:

- с надежностью действия защиты;
- с глубиной резервирования защит;
- с временем срабатывания и возврата защит;
- с частотными и температурными погрешностями и др.

При решении задачи по оптимизации коэффициента чувствительности микропроцессорной РЗА следует рассмотреть три различных направления:

- особенности расчета коэффициента чувствительности K_v для адаптивных защит;
- уменьшение значений коэффициента чувствительности при расчете защит высокой чувствительности, например, микропроцессорных;

■ определение коэффициента чувствительности для защит с абсолютной селективностью линий при наличии полуккомплектов, выполненных на разной элементной базе.

Как уже было отмечено в [2, 3] коэффициент чувствительности для адаптивных защит

$$K_{v, \text{адапт}} \geq \frac{K_{\text{отс}}}{K_v} K_f I_{f=50\text{Гц}}$$

где $K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, который для микропроцессорных защит может быть принят в диапазоне $K_{\text{отс}} = 1,1 \div 1,2$; K_v – коэффициент возврата.

Для МП РЗА $K_v \geq 0,95$; K_f – частотный коэффициент коррекции, $K_f = 1,0$ при $f = 50,0$ Гц. Для всего диапазона изменения частот сети $\Delta f = 45 \div 55$ Гц частотный коэффициент коррекции будет изменяться в пределах $K_f = 0,95 \div 1,05$.

Таким образом, коэффициент чувствительности для адаптивных защит максимального действия может быть принят равным не более

$$K_{v, \text{адапт}} \leq \frac{1,2}{0,95} \cdot 1,05 = 1,33.$$

Оптимизация коэффициентов чувствительности при расчете параметров срабатывания устройств РЗА в первую очередь упирается на регламентированные значения, указанные в [1]. При коррекции K_v в меньшую сторону в первую очередь следует учитывать возможную величину переходного сопротивления R_f в месте повреждения. В соответствии с рекомендациями системного оператора расчеты параметров срабатывания производятся при металлических КЗ ($R_f = 0$ Ом), хотя международная электротехническая комиссия (МЭК) предлагает выполнять расчеты еще и с величиной $R_f = 20$ Ом. Реальные величины R_f зависят от вида КЗ, например, величина переходного сопротивления между фазами для линий 110/220 кВ (виды КЗ $K^{(2)}$, $K^{(1-1)}$, $K^{(3)}$) составляет не более 5,0 Ом ($R_f \leq 5,0$ Ом) [2], в то время как при однофазных замыканиях $K^{(1)}$ величина варьируется очень в широком диапазоне и может составить от $R_f = (5,0 \div 10,0)$ Ом через

подросшее дерево (через сухое дерево сопротивление значительно больше и может достигать 15 Ом и более: $R_f \geq 15,0 \div 20,0$ Ом), более 40 Ом ($R_f \geq 40,0$ Ом) для скальных грунтов среднегорья Дальнего Востока или центральной Азии, а снежные заносы в горах приводят к однофазным замыканиям через $R_f = 55,0 \div 60,0$ Ом.

Повышение быстродействия защит также приводит к увеличению значения величины K_v . По данным специалистов института «Энергосетьпроект» для уменьшения времени срабатывания микроэлектронных защит до 40 мс необходимо иметь $K_v \geq 3,0$.

Коэффициент чувствительности для классических защит, которые для принятия решения используют только текущие токи и напряжения, рассчитывается по выражению:

$$K_v \geq \frac{I_{\text{КЗ мин}}^{(r)}}{I_{\text{сп.з}}} I_{R_f=0, f=50\text{Гц}}$$

где $I_{\text{КЗ мин}}^{(r)}$ – измеренное минимальное значение тока при КЗ в расчетной точке; r – расчетный вид КЗ: однофазное КЗ $K^{(1)}$, междуфазное КЗ $K^{(2)}$; $I_{\text{сп.з}}^m$ – величина тока срабатывания (уставка) в первичных величинах; m – номер ступени защиты; $m = I, II, III, IV$.

Регламентированная величина коэффициента чувствительности принимает значения, указанные в [1], из-за учета значительного диапазона переходных сопротивлений и возникающих при этом погрешностей защиты при увеличении R_f и возможном снижении частоты сети до $f = 45,0$ Гц. Если расчеты максимального для определения коэффициента чувствительности режимов производить для регионов, где максимальное переходное сопротивление уже известно, то разница в токах при расчетных КЗ будет незначительной и, как следствие, уменьшится значение суммарного коэффициента чувствительности. Увеличение K_v из-за коэффициента возврата, который для микропроцессорных защит принимается близким к предельному значению, а также изменение K_v из-

за принятых для микропроцессорных защит частотного коэффициента K_f , коэффициентов надежности, запаса и др., которые в цифровых защитах выражены коэффициентом отстройки $K_{\text{отс}}$, приводят к увеличению коэффициентов чувствительности не более, чем на 20 %.

Таким образом, уменьшение K_v для классических защит лежит в сфере учета величин переходного сопротивления и выбора расчетного режима.

Иная ситуация возникает при совместной работе защит, реализованных на разной элементной базе. В первую очередь речь идет о защитах с абсолютной селективностью, когда полуккомплекты защиты на разных концах одной и той же линии состоят из электромеханических панелей ЭПЗ 1643 или ДФЗ-201 (ДФЗ-504, ДФЗ-503) и микропроцессорных шкафов, например, серии ШЭТ. Для совместности измерительных органов электромеханических ДФЗ-201 (ДФЗ-2, ДФЗ-504) была разработана специальная методика [4], которая позволяет в расчетных режимах у микропроцессорного полуккомплекта ДФЗ получить точно такую же чувствительность, которая уже имеется у электромеханической панели.

Известно, что симметричные трехфазные короткие замыкания ($K^{(3)}$) в электромеханических панелях типа ДФЗ-201 фиксируются по току обратной последовательности (I_2), который возникает в первый момент переходного режима. Появляющийся ток I_2 должен вызывать срабатывание блокирующих измерительных органов (ИО) для пуска высокочастотного (ВЧ) передатчика и срабатывание отключающих ИО для контроля минимального реле сопротивления ДФЗ. Какой должен быть коэффициент чувствительности у ИО по току I_2 ?

Рассмотрим совместную работу микропроцессорного шкафа на базе терминала ТОР 300 ДФЗ производства ООО «Релематика» и электромеханической панели ДФЗ-201 при возникновении $K^{(3)}$ и обеспечении требуемой чувствительности защит. Отключение трехфазных коротких ($K^{(3)}$) замыканий устройством ДФЗ-

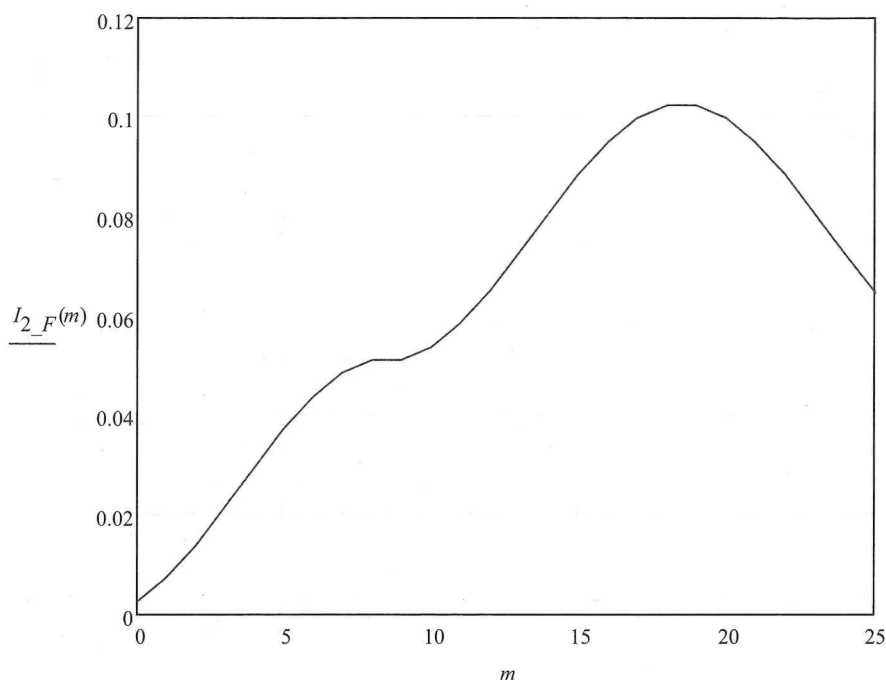


Рис. 1. Выходной сигнал фильтра обратной последовательности

201 обеспечивается при помощи отключающего реле сопротивления, работа которого разрешается отключающими ИО с дополнительной схемой подхвата. На практике в ДФЗ-201 работает отключающий ИО, реагирующий на уровень тока обратной последовательности (I_2). Если рассматривать фильтр Фурье, как модель фильтра обратной последовательности (ФТОП) ДФЗ-201, то при возникновении $K^{(3)}$ он сформирует на своем выходе величину порядка 10 % от тока прямой последовательности (I_1) единичной величины (рис. 1). На самом деле переходный процесс во входных цепях у электромеханической панели длится менее периода исходного сигнала, и как следствие, величина небаланса по I_2 будет значительно меньше.

Согласно ПУЭ [1] коэффициент чувствительности основных защит должен быть не менее 2. Допустим, что уровни фазного тока ($I_{\phi, K3}$) при $K^{(3)}$ и $K^{(1)}$ одинаковы. Для $K^{(1)}$ справедливо выражение:

$$I_2 = I_1 = I_0 = I_{\phi, K3} / 3.$$

С учетом коэффициента чувствительности $K_\psi = 2$ в минимальном режиме $K^{(1)}$:

$$I_{2\text{откл}} \leq \frac{I_{\phi, K3, \min}}{3K_\psi} = \frac{I_{\phi, K3, \min}}{6} = 0,17 I_{\phi, \min}.$$

При возникновении $K^{(3)}$ на выходе ФТОП будет наблюдаться сигнал $0,17 I_{\phi, K3, \min}$.

Для обеспечения гарантированного срабатывания отключающего ИО $I_{2\text{откл}}$ в минимальном режиме $K^{(3)}$ должна обеспечиваться чувствительность 2. С учетом выходного сигнала ФТОП в режиме $K^{(3)}$:

$$I_{2\text{откл}} \leq 0,05 I_{\phi, K3, \min}.$$

Тогда фактическая чувствительность уставки $I_{2\text{откл}}$ должна быть не менее 6.67 при минимальном токе $K^{(1)}$:

$$K_\psi \geq \frac{I_{\phi, K3, \min}}{3 \cdot 0,05 I_{\phi, K3, \min}} = 6,67.$$

Такая высокая чувствительность может вызывать излишние срабатывания и пуски защит и не рекомендована в ПУЭ.

Проведенные испытания показали, что коэффициент передачи ФТОП ДФЗ-201 в режиме $K(3)$ менее 0,06. Таким образом, можно сделать вывод о возможном отказе электромеханических панелей типа ДФЗ-201

при внутренних симметричных трехфазных КЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует пересмотреть коэффициенты в формулах расчета параметров срабатывания для МП защит. Коэффициенты чувствительности для МП защит, использующих классические алгоритмы действия, необходимо рассчитывать с учетом разных факторов, определяющим из которых является максимальное переходное сопротивление в регионе установки защиты.

Для адаптивных защит нет необходимости отдельного расчета K_ψ . Его величина определяется только лишь погрешностями измерительных цепей, в т.ч. температурной зависимостью, методической погрешностью алгоритма действия и частотной погрешностью.

При совместной работе полуккомплектов микропроцессорных и электромеханических защит следует учитывать возможность отказа защит при внутренних симметричных повреждениях из-за недостаточной чувствительности контролирующего ИО по току обратной последовательности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электро-технических установок. М.: Энергия, 1985. 480 с.
2. Ефремов В.А., Ефремов А.В., Таныгин С.А. Определение чувствительности защит с адаптивными уставками // Релейная защита и автоматизация Электроэнергетических систем России. Сборник докладов VII международной научно-практической конференции. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2023. Стр. 281–285.
3. Ефремов В.А., Ефремов А.В., Таныгин С.А. Адаптивные уставки для реле тока и напряжения / Релейная защита и автоматизация № 01, 2023
4. Ефремов В.А., Ефремов А.В., Анисимова О.В., Таныгина А.Г. Особенности расчета уставок микропроцессорных и электромеханических ДФЗ / Энерго Инфо № 3–4 (121–122), 2017. С. 40–41.