

УДК 681.3.06

СПОСОБЫ РАСШИРЕНИЯ ЗОНЫ МГНОВЕННОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ

Петровская Е.Н.

Научный руководитель – Булойчик Е.В.

Одним из недостатков существующих токовых защит линий распределительных сетей 6 – 35 кВ является относительно короткая зона мгновенного отключения первой ступени – токовой отсечки (ТО). Кроме того, так как ток срабатывания ТО выбирается по наиболее тяжёлым условиям симметричных режимов, то зона действия указанной ступени непостоянна и уменьшается во многих случаях несимметричных КЗ.

Ток срабатывания первой определяется по условию отстройки от максимального значения тока трехфазного КЗ при повреждении в конце защищаемой линии

$$I'_{сз} = k'_{отс} I_{кз max}^{(3)}, \quad (1)$$

где $k'_{отс}$ – коэффициент отстройки.

Увеличить зону мгновенного отключения ТО для двухфазных КЗ можно путём выявления режимов несимметричных КЗ и изменением соответствующим образом тока срабатывания первой ступени

$$I'_{сз} = k'_{отс} I_{кз max}^{(2)}. \quad (2)$$

Выявление режимов двухфазных КЗ может осуществляться на основе контроля:

- появления в токах фаз составляющих обратной последовательности;
- относительной не симметрии токов фаз.

Реализация первого способа предполагает использование фильтров тока обратной последовательности, которые содержат частотно-зависимые элементы. Выходной сигнал этих фильтров может значительно варьироваться при эксплуатационных отклонениях частоты в энергосистеме, изменениях величин и состава высших гармоник во входных токах из-за нелинейных характеристик нагрузки, при коммутации силовых трансформаторов, вследствие насыщения трансформаторов тока и т. п. Все эти трудно учитываемые факторы отрицательно сказываются на чувствительности определения режимов двухфазных КЗ.

Для реализации второго способа не требуются частотно-зависимые элементы, что обеспечивает исключение влияния на его чувствительность изменений частоты и высших гармоник.

Сущность способа выявления указанных КЗ на основе контроля относительной несимметрии токов фаз заключается в следующем. Определяют действующие значения токов фаз линии, из которых выделяют наибольшее I_{max} и наименьшее I_{min} значения токов фаз. По ним вычисляют относительную несимметрию по

$$\Delta I = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max}}, \quad (3)$$

$$\Delta I = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{min}}. \quad (4)$$

Для режимов двухфазных КЗ I_{max} является наибольшим током поврежденных фаз, а I_{min} – током нагрузки неповрежденных фаз. В результате выполненных исследований [1, 2] установлено, что если $\Delta I > 0,6$ для (3) и $\Delta I > 0,5$ для (4), то КЗ является двухфазным, в противном случае – трехфазным.

Второй способ выявления двухфазных КЗ предпочтительней, т к имеет в 1,67 раза более высокую чувствительность к двухфазным КЗ.

В результате исследований методом вычислительного эксперимента (4) позволяет чётко выявить режим двухфазных металлических КЗ как на контролируемой, так и на смежной линиях [2]. При этом время определения вида повреждения на защищаемой линии зависит от места его возникновения и не превышает одного периода промышленной частоты. В установившихся режимах трехфазных металлических КЗ как на контролируемой, так и на смежной линии относительная несимметрия ΔI равна 0. При указанных повреждениях на головном участке контролируемой линии ($l_* \leq 0,35$) в переходных режимах значения ΔI превышают 0,5 и трехфазные КЗ кратковременно будут восприниматься как двухфазные, что не будет приводить ни к ложным, ни к излишним срабатываниям токовой защиты.

На рисунке 1 представлены зависимости относительной несимметрии токов ΔI от сопротивления дуги R_d отнесенного к сопротивлению линии при двухфазных КЗ на контролируемой линии. Их анализ показывает, что повреждения в начале линии ($l_* = 0$) при $R_d / Z_l \leq 8$ и в конце ($l_* = 1$) при $R_d / Z_l \leq 2,5$ фиксируются как двухфазные КЗ, а ΔI при этом превышает значение 0,5.

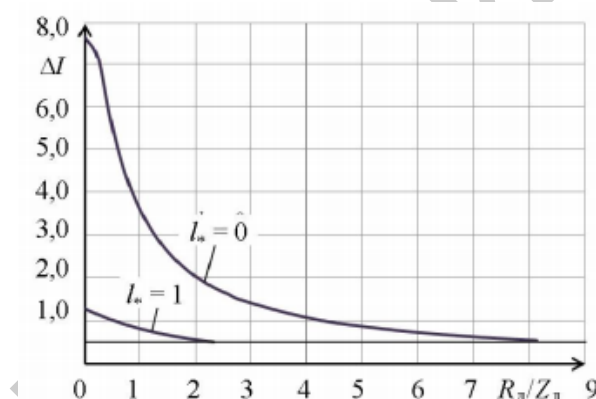


Рисунок 1 – Зависимость относительной не симметрии токов в фазах контролируемой линии от сопротивления дуги отнесенного к сопротивлению линии при двухфазном коротком замыкании

Следует отметить, что трехфазные КЗ на головном участке при $0,5 < R_d / Z_l \leq 2,5$ могут восприниматься как двухфазные из-за влияния переходного сопротивления. Однако это не будет приводить к негативным последствиям в действиях токовой защиты.

Изменение характера нагрузки контролируемой линии в широких пределах оказывает незначительное влияние на изменения относительной несимметрии токов фаз ΔI , а несимметричные КЗ на параллельной линии не приводят к повышению ΔI своего граничного значения на защищаемой линии.

Описанный метод позволяет только расширить зону мгновенного отключения при несимметричном КЗ. Значительно расширить зону действия можно путём введения в алгоритм функционирования защиты, функции определения места короткого замыкания (ОМКЗ). Этот способ создаёт предпосылки для исключения зависимости зоны действия ТО от вида КЗ.

ОМКЗ может быть выполнено на основе сравнения расстояния от места установки защиты до точки повреждения $l_{кз}$ с длиной защищаемой линии $l_{л}$. Если $l_{кз} \leq l_{л}$, то КЗ находится в пределах линии, в противном случае оно расположено за ее пределами.

Для получения достоверной информации о месте повреждения $l_{кз}$ необходимо вычислять с учетом вида КЗ.

При двухфазных КЗ $l_{кз}$ необходимо рассчитывать путем проведения операций с токами и напряжениями поврежденных фаз.

Для трёхфазных КЗ расстояние до места повреждения можно определить как: наименьшее для рассчитанных l_{*} для всех петель повреждения l_{AB} , l_{AC} , l_{CA} , среднее арифметическое всех трёх или двух наименьших значений l_{AB} , l_{AC} , l_{CA} [3].

Для определения l_{AB} , l_{AC} , l_{CA} целесообразно использовать дистанционный принцип измерения составляющих комплексного сопротивления поврежденной петли. С целью снижения влияния переходного сопротивления в месте повреждения на расчетную удаленность для соответствующей петли l_{ij} искомое расстояние необходимо вычислять по значению реактивной составляющей X_{ij} входного сопротивления по

$$l_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{уд}}, \quad (5)$$

где $X_{уд}$ – удельное реактивное сопротивление.

К алгоритму ОМКЗ предъявляются высокие требования по быстродействию, поскольку оно в значительной степени определяет быстродействие защиты. Достижение высокой точности определения $l_{кз}$ в большинстве случаев не требуется, так как ОМКЗ фиксирует место повреждения на предмет его возникновения на защищаемой линии или за ее пределами. Исключением являются отрезки, расположенные в конце защищаемой линии или вблизи на смежном участке. Существенные погрешности определения $l_{кз}$ в указанных местах могут приводить к сокращению зоны мгновенного отключения КЗ или неселективной работе защиты.

Реактивную составляющую входного сопротивления можно вычислить при известных синусной и косинусной ортогональным составляющим токов и напряжений.

Следует отметить, что функция ОМКЗ реализуется на временном интервале существования КЗ. При этом она запускается сработавшими измерительными органами тока последней ступени защиты.

Анализ описанного принципа ОМКЗ и оценка его работоспособности осуществлялись методом вычислительного эксперимента.

На рисунке 2 приведены относительные погрешности δ определения $l_{кз}$ при трех- и двухфазных КЗ на линии с односторонним питанием при ее работе в режиме максимальной нагрузки. При этом, если $l_{*} \leq 1$, то местом КЗ является защищаемая линия, а при $l_{*} > 1$ – смежная.

Расстояние $l_{кз}$ при трехфазном КЗ определялось как среднее из двух наименьших значений l_{AB} , l_{AC} , l_{CA} , т. к. при этом обеспечиваются минимальные уровни погрешности определения $l_{кз}$ при КЗ через переходное сопротивление на ЛЭП с односторонним питанием.

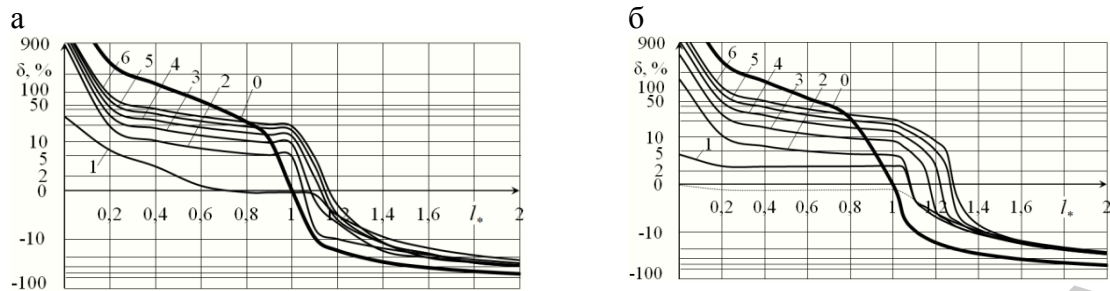


Рисунок 2 – Относительные погрешности определения $l_{кз}$ в режиме максимальных нагрузок: а – режим при трёхфазном КЗ; б – режим двухфазных КЗ; 0 – кривая предельных погрешностей; 1 – металлические КЗ; 2–6 – КЗ через переходное сопротивление с $R_d = 2, 4, 6, 8, 10$ Ом соответственно

Анализ представленных на рисунке 2 зависимостей показывает, что характер изменения относительных погрешностей δ при различных видах повреждений примерно одинаковый.

Наличие переходного сопротивления R_d в месте повреждения обуславливает увеличение δ , и тем больше, чем выше R_d .

Представленная на рисунке 2 кривая предельных погрешностей 0 ($\delta_{пр} = f(l_*)$) ограничивает область допустимых значений относительных погрешностей, при которых обеспечивается достоверное ОМКЗ. При повреждениях на защищаемой линии ($l_* \leq 1$) достоверное установление места КЗ будет обеспечено, если все возможные значения δ расположены ниже кривой 0. В противном случае место КЗ будет установлено неверно и им может оказаться смежная линия. Это будет сопровождаться сокращением зоны мгновенного отключения КЗ, и повреждения на защищаемой линии будут отключаться медленно действующей ступенью. Следует отметить, что реально существующие погрешности $\delta > \delta_{пр}$ на участке $l_* \leq 1$ уменьшают зону мгновенного отключения КЗ и меньше по модулю при КЗ через переходное сопротивление.

Для достоверного установления места КЗ с учетом имеющихся по различным причинам погрешностей $l_{кз}$ необходимо сравнивать не с фактической длиной линии $l_{кз}$, а с ее скорректированным значением $K_k l_l$.

K_k рассчитывается исходя из существующих погрешностей определения места КЗ для исключения неселективной работы защиты при КЗ на защищаемой и смежной линиях.

При работе линии на холостом ходу погрешности δ являются положительными при КЗ как на защищаемом, так и на смежном участках.

Исходя из полученных методом вычислительного эксперимента уровней δ для различных режимов работы линии и видов КЗ в соответствующих точках, а также с учетом влияющих факторов для рассмотренного случая можно принять $K_k = (0,90-0,95)$ и таким образом зона мгновенного отключения будет охватывать до 95 % линии [3].

Рассмотренный алгоритм ОМКЗ обеспечивает фиксацию места повреждения за время, не превышающее 1,5 периода промышленной частоты как при металлических КЗ, так и через переходное сопротивление.

Расчет численных значений $I_{кз}$ с минимальными δ обеспечивается при частоте 50 Гц. Дополнительные погрешности определения $I_{кз}$ при отклонении частоты (50 ± 1) Гц могут достигать порядка $\pm 3,7\%$.

Литература

1 Ковалевский, А. В. Выбор численного значения критерия для определения вида короткого замыкания в адаптивной микропроцессорной токовой защите линий / А. В. Ковалевский // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2007. – № 5. – С. 37–41;

2 Романюк, Ф. А. Определение вида повреждения на линиях распределительных сетей в объеме функций микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, Е. В. Булойчик // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2011. – № 4. – С. 5–10;

3 Романюк, Ф. А. Определение места короткого замыкания на линиях радиальных сетей с односторонним питанием / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, Е. В. Булойчик // Наука и техника... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2012. – № 4. – С. 69–72.