

УДК 621.316

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Баран А. А., Козел А. С., Беседа А. С.

Научный руководитель – Булойчик Е. В.

В радиальных распределительных сетях 6 – 35 кВ с одним источником питания для защиты линий от междуфазных коротких замыканий (КЗ) широко применяется микропроцессорные токовые защиты, содержащие в общем случае три ступени: токовую отсечку без выдержки времени (ТО), токовую отсечку с выдержкой времени (ТОВ) и максимальную токовую защиту (МТЗ). Токи срабатывания указанных ступеней выбираются по наиболее тяжелым условиям симметричных режимов, что определяет основные недостатки существующих токовых защит: относительно короткую зону мгновенного отключения ТО и недостаточную чувствительность третьей ступени во многих случаях несимметричных КЗ.

Одним из способов устранения указанных недостатков является определение вида повреждения и изменение соответствующим образом тока срабатывания ступеней защиты [1].

Выявление режимов двухфазных КЗ может осуществляться одним из следующих способов:

1. контроль появления в токах фаз составляющих обратной последовательности;
2. контроль относительной несимметрии 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.

Второй метод предполагает определение действующих значений токов фаз линии, из которых выделяются наибольшее I_{\max} и наименьшее I_{\min} значения, по которым вычисляют относительную несимметрию ΔI

$$\Delta I = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max}}, \quad (1)$$

либо

$$\Delta I = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\min}}. \quad (2)$$

В нормальном режиме, при симметричной перегрузке, самозапуске электродвигательной нагрузки, трехфазных КЗ, а также при несимметричных КЗ на параллельной линии и ступени защиты работают с изначально заданными уставками. В случае возникновения несимметричных КЗ уставки защиты автоматически изменяются.

Ток срабатывания ТО отстраивается от максимального значения тока двухфазного КЗ $I_{\text{кз max}}^{(2)}$ при повреждении в конце защищаемой линии

$$I_{\text{сз}}^{\text{I}} = k_{\text{отс}}^{\text{I}} \cdot I_{\text{кз max}}^{(2)}. \quad (3)$$

Ток срабатывания МТЗ отстраивается от максимальных нагрузочных токов несимметричного режима работы линии $I_{н,нес}$ без учета самозапуска электродвигательной нагрузки

$$I_{сз}^{III} = \frac{k_{отс}^{III} \cdot I_{н,нес}}{k_B}. \quad (4)$$

Благодаря уменьшению токов срабатывания ступеней расширяется зона мгновенного отключения ТО и повышается чувствительность МТЗ при несимметричных КЗ.

Одним из способов увеличения зоны мгновенного отключения ТО является введение в алгоритм функционирования защиты функции определения места короткого замыкания (ОМКЗ) [2]. Суть метода заключается в следующем: определяется расстояние до места КЗ $l_{кз}$ и сравнивается с длиной защищаемой линии l_l . Если КЗ находится в пределах линии $l_{кз} \leq l_l$, то при выполнении других условий ее отключение необходимо производить без выдержки времени. Если КЗ расположено за пределами линии $l_{кз} > l_l$, то ее следует отключать с выдержкой времени. Данный метод обеспечивает расширение зоны мгновенного отключения КЗ и сокращает число измерительных органов за счет оптимизации их функций.

Следует обратить внимание на то, что расстояние до места КЗ $l_{кз}$ не может быть определено достаточно точно. Из-за погрешностей в определении указанного расстояния для обеспечения достоверного установления места КЗ сравнение $l_{кз}$ нужно производить не с фактической длиной линии l_l , а с ее скорректированным значением $K_l l_l$. Корректирующий коэффициент K_l может быть больше или меньше единицы в зависимости от уровня и знака погрешности определения $l_{кз}$, на которую оказывают влияние ряд факторов. Такими факторами являются: погрешности измерительных трансформаторов, погрешности расчета расстояния, наличие переходных сопротивлений в месте КЗ, наличие подпиток места КЗ и т. д.

Определение места короткого замыкания в объеме функций микропроцессорных токовых защит предполагает выполнение расчетов расстояния $l_{кз}$ на основе использования информации о токах и напряжениях в месте установки защиты. Возникающие искажения замеров на линиях с двусторонним питанием, а также в случае КЗ через переходное сопротивление могут быть уменьшены путем соответствующих алгоритмов вычислений.

Это вполне осуществимо для относительно коротких участков линий 10–35 кВ, когда распределенными параметрами линии можно пренебречь.

Для получения наиболее достоверных значений расчеты необходимо производить в зависимости от вида повреждения.

Для ОМКЗ наиболее широко используется дистанционный принцип измерения составляющих комплексного сопротивления поврежденной петли. С целью снижения влияния переходного сопротивления на расчетную удаленность до места КЗ в петле lij искомое расстояние следует вычислять по значению реактивной составляющей X_{ij} входного сопротивления

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

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

Для получения реактивной составляющей входного сопротивления X_{ij} соответствующей петли предполагается использовать информацию о токах и напряжениях, на основе которой реализуется алгоритм функционирования защиты. В микропроцессорных защитах такой информацией, как правило, являются ортогональные составляющие (ОС) входных токов и напряжений, полученные в

результате их цифровой фильтрации. По этим значениям могут быть вычислены все величины, необходимые для определения соответствующей петли КЗ.

При известных ОС токов i_{sij} , i_{cij} и напряжений u_{sij} , u_{cij} петли КЗ реактивная составляющая входного сопротивления вычисляется как

$$X_{ij} = \frac{u_{sij} \cdot i_{cij} + u_{cij} \cdot i_{sij}}{i_{sij}^2 + i_{cij}^2}. \quad (6)$$

Этот алгоритм вполне приемлем для ОМКЗ, а его несущественным недостатком является относительно большое количество вычислительных операций и чувствительность к отклонениям частоты сигналов от номинального значения.

В основу определения X_{ij} может быть положено дифференциальное уравнение линии. Если известны отсчеты мгновенных значений тока i_{ij} и напряжения u_{ij} в петле КЗ для трех последовательных моментов времени $t_{(n-2)}$, $t_{(n-1)}$, $t_{(n)}$, то выражение для X_{ij} имеет вид

$$X_{ij} = \frac{(u_{ij(n-1)} + u_{ij(n)}) \cdot (i_{ij(n-2)} + i_{ij(n-1)}) - (u_{ij(n-2)} + u_{ij(n-1)}) \cdot (i_{ij(n-1)} + i_{ij(n)})}{(i_{ij(n-2)} + i_{ij(n-1)}) \cdot (i_{ij(n)} - i_{ij(n-1)}) - (i_{ij(n-1)} + i_{ij(n-2)}) \cdot (i_{ij(n-1)} - i_{ij(n)})} \frac{\Delta t}{2} \cdot \omega. \quad (7)$$

где Δt – шаг дискретизации входных сигналов;

ω – угловая частота.

Этот алгоритм малочувствителен к искажениям форм тока и напряжения, отклонениям частоты от номинального значения. Его основным недостатком является большая погрешность измерения при наличии дуги в месте КЗ, чем погрешность измерения при металлических КЗ.

Вместе с тем, каждый из рассмотренных алгоритмов является работоспособным и обеспечивает получение необходимой информации для эффективной реализации функций ОМКЗ.

Литература

1. 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.
2. Романюк, Ф. А. Определение места короткого замыкания на линиях распределительных сетей в объеме функций микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, О. А. Гурьянчик // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). –2010. – № 6.– С. 5–13.