

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

М. Л. Сапунков, М. А. Бычин, аспирант

Пермский государственный технический университет

В статье рассмотрены вопросы защиты сетей 6–35 кВ от однофазных замыканий на землю. Предложена методика выбора характеристик для микропроцессорных защит от замыканий на землю.

В электрических сетях напряжением 6–35 кВ широко применяется токовая защита от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), реагирующая на действующее значение тока нулевой последовательности промышленной частоты. Эта защита обычно работает с независимой характеристикой срабатывания и имеет следующие особенности:

1. Ток срабатывания защиты $I_{\text{ср.з}}$ необходимо отстраивать от собственного емкостного тока линии $I_{\text{л.собст}}$. А с условием необходимой чувствительности защиты его значение регламентируется следующим двойным неравенством:

$$\frac{I_{\text{СЗ}}^{(1)} - I_{\text{л.собст}}}{k_{\text{ч}}} \geq I_{\text{ср.з}} \geq k_{\text{н}} k_{\text{бр}} I_{\text{л.собст}}, \quad (1)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надёжности;

$k_{\text{бр}} = 3 \div 5$ – коэффициент «броска», учитывающий бросок емкостного тока в момент возникновения ОЗЗ, а также способность реле реагировать на него;

$k_{\text{ч}} = 1,5 \div 2$ – коэффициент чувствительности;

$I_{C\Sigma}^{(1)}$ – ток однофазного замыкания на землю в данной сети;

$I_{ср.з}$ – ток срабатывания защиты (первичный).

2. Ограниченная область применения, а именно ее успешно можно применять только в сетях с количеством линий хотя бы больше двух и с соизмеримыми по величине емкостными токами линий.

Область применения этой защиты можно оценить, воспользовавшись выражением (1), отношением собственного тока линии к значению общего тока замыкания на землю:

$$\frac{I_{л.собст}}{I_{C\Sigma}^{(1)}} \leq \frac{1}{k_{ч}k_{н}k_{бр} + 1}. \quad (2)$$

Например, в тех случаях, когда в качестве измерительного органа защиты от ОЗЗ используется электромеханическое токовое реле типа РТ-40 ($k_{ч} = 1,5$, $k_{н} = 1,2$, $k_{бр} = 3$), селективная работа этой защиты может быть обеспечена лишь при кратности токов в сети

$$\frac{I_{л.собст}}{I_{C\Sigma}^{(1)}} \leq \frac{1}{1,5 \cdot 1,2 \cdot 3 + 1} \leq 0,15,$$

т.е. предельное значение доли собственного тока линии в общем токе сети может составлять не более 15 %. Это существенно ограничивает область применения защиты от ОЗЗ на базе электромеханических реле.

С появлением в последние годы современных цифровых защит, например серии SPACOM (SPAC 800 и SPAC 810), расширилась область применения защит, улучшились их функциональные возможности [1]. В данных терминалах защита от ОЗЗ основана на том же принципе действия и может быть реализована либо с независимой характеристикой, либо с использованием специальных нелинейных характеристик срабатывания.

При использовании независимой характеристики срабатывания выбор тока срабатывания защиты проводят по общепринятой методике с учетом условия несрабатывания защиты при внешнем ОЗЗ и условия достаточной чувствительности, что описывается двойным неравенством (1). Однако в этом случае расширяется область применения защиты за счет уменьшения для цифровых реле коэффициента броска до значения 1,5 [2]. Допустимая кратность токов по (2) при этом будет

$$\frac{I_{\text{л.собст}}}{I_{\text{С}\Sigma}^{(1)}} \leq \frac{1}{1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,5 + 1} \leq 0,27.$$

При использовании нелинейных характеристик срабатывания вида RXIDG (рис. 1) расчет уставок защиты несколько усложняется. Зависимость времени срабатывания защиты от кратности входного тока в защите линии по этим характеристикам основывается на следующем математическом выражении:

$$t_{\text{ср.з}} = 5,8 - 1,35 \ln \left(\frac{I_{\text{ОЗЗ}}}{k I_{\text{ср.з}}} \right), \quad (3)$$

где $t_{\text{ср.з}}$ – время срабатывания защиты, с;

k – выставяемый коэффициент времени;

$I_{\text{ОЗЗ}}$ – входной ток защиты от замыканий на землю при ОЗЗ.

Под величиной тока $I_{\text{ОЗЗ}}$ надо понимать $I_{\text{ОЗЗ}} = I_{\text{С}\Sigma}^{(1)} - I_{\text{л.собст}}$, т. е. ток, контролируемый ТТНП.

Временной коэффициент k может быть задан в диапазоне 0,05–1,0 [2]. Он определяет из семейства характеристик конкретную характеристику срабатывания, в соответствии с которой устройство срабатывает с необходимой выдержкой времени в зависимости от кратности входного тока по отношению к уставке. Воспользовавшись выражением (3), можно получить значение временного коэффициента k :

$$k = 0,0137 \cdot I^* \cdot e^{0,74t_{\text{ср.з}}}, \quad (4)$$

где $I^* = \frac{I_{\text{ОЗЗ}}}{I_{\text{ср.з}}}$ – кратность входного тока.

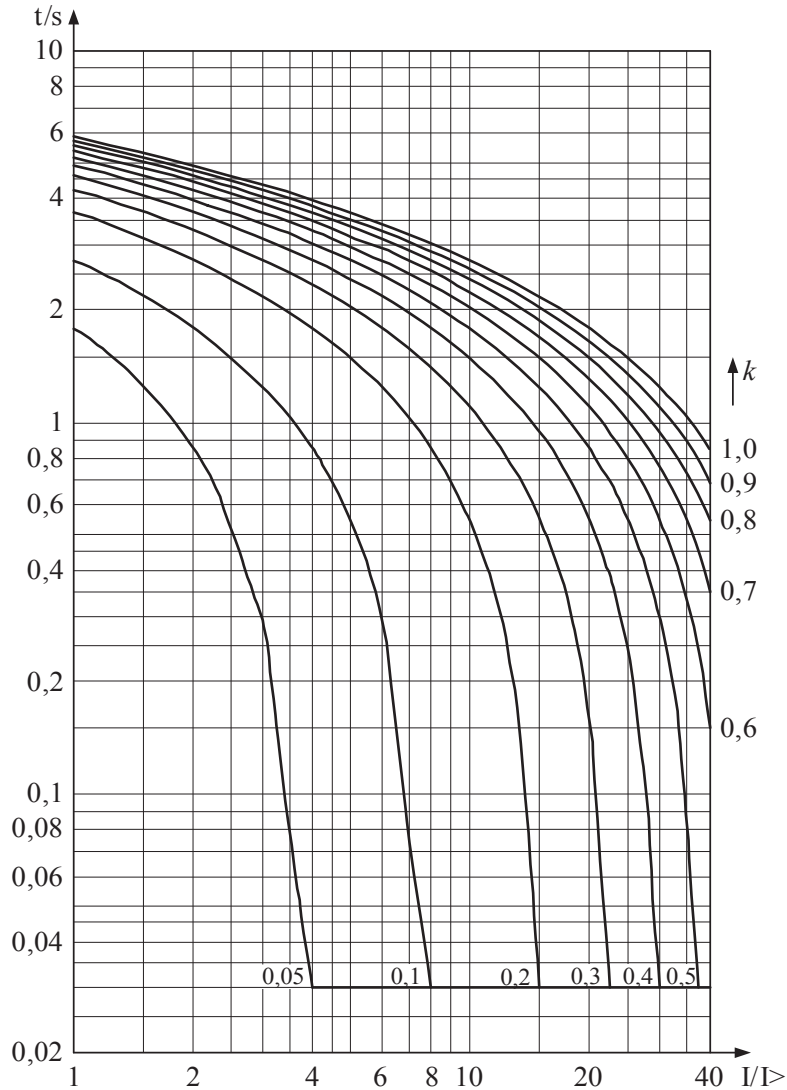


Рис. 1. Характеристики вида RXIDG

Рассмотрим на примере упрощенной принципиальной схемы электроснабжения (рис. 2) методику расчета параметров и уставок защиты от ОЗЗ с использованием нелинейных характеристик вида RXIDG. Для настройки защиты необходимо рассчитать для каждой линии: ток срабатывания защиты $I_{\text{ср.з}}$ и временной коэффициент k .

Для их определения необходимо предварительно знать значение полного ёмкостного тока сети $I_{C\Sigma}^{(1)}$ и далее руководствоваться следующим.

По выражению (1) для каждой линии необходимо рассчитать ток срабатывания защиты и затем найти кратность тока (I^*). После чего задать для защит всех линий выдержку времени $t_{\text{ср.з}}$ и, воспользовавшись выражением (4), определить коэффициент k также для защит каждой из линий. Найденные значения коэффициента k и тока срабатывания $I_{\text{ср.з}}$ необходимо выставить на соответствующих терминалах защиты от ОЗЗ.

В результате такой настройки защит при возникновении ОЗЗ в сети будет запускаться и срабатывать защита только на поврежденной линии. В случае изменения параметров электрической сети и тока, контролируемого ТТНП, значения выдержки времени будут также изменяться в определенном диапазоне в соответствии с выбранной характеристикой, вплоть до крайнего случая – отказа защиты на запуск.

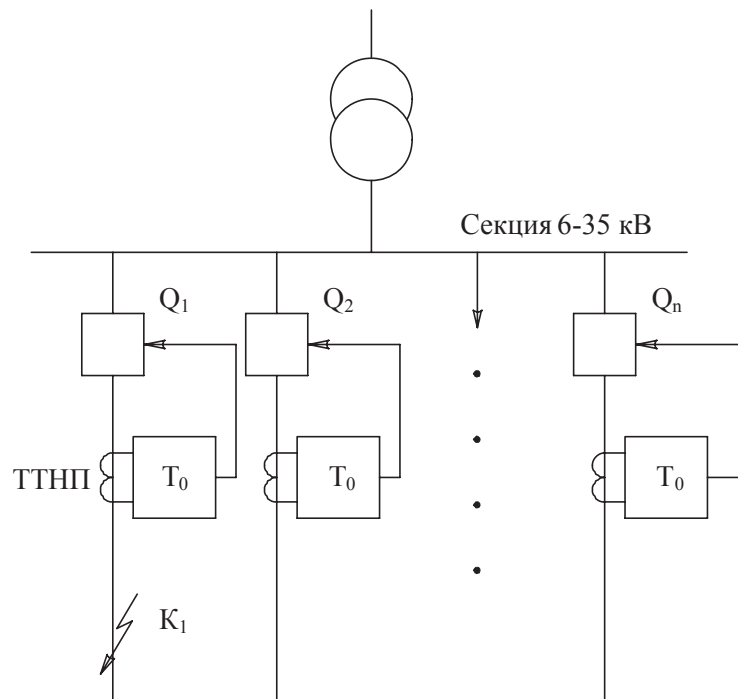


Рис. 2. Схема защиты от замыканий на землю группы линий

Однако с использованием нелинейных характеристик вида RXIDG имеется возможность дополнительно расширить область применения защиты от ОЗЗ. Это можно обеспечить, если ток срабатывания всех защит группы линий рассчитывать не по собственному току линий, а по минимальному значению собственного емкостного тока одной из линий $I_{л.собст.min}$. Кроме того, и в другом порядке следует рассчитывать и задавать временной коэффициент k .

В таком случае при возникновении ОЗЗ в сети все защиты группы линий будут запускаться одновременно. Но первой будет срабатывать защита на поврежденной линии. Защиты на других линиях будут автоматически отстроены по времени срабатывания.

Для обеспечения селективности работы защиты с расширением области ее применения ток срабатывания защит группы линий надо также рассчитывать с учетом двойного неравенства (1), но с условием, что $I_{л.собст.} = I_{л.собст.min}$. Далее, для защиты линии с наименьшим собственным током $I_{л.собст.min}$, например первая линия на рис. 2, необходимо задать время срабатывания защиты $t_{ср.з.1}$. Затем, зная полный емкостной ток сети $I_{СΣ}^{(1)}$, необходимо рассчитать кратность тока (I_1^*) и по выражению (4) вычислить значение временного коэффициента k_1 . Рассчитанные значения тока срабатывания защиты $I_{ср.з.1}$ и временного коэффициента k_1 необходимо выставить на всех терминалах защиты группы линий $1 \div n$, т. е. задать одну одинаковую характеристику срабатывания.

Такая методика расчета уставок и выбора характеристик защиты будет обеспечивать селективную отстройку по времени срабатывания защит в сети по схеме рис. 2, потому что

кратность входного тока (I^*) на поврежденной линии всегда будет больше, чем на неповрежденных линиях. Однако следует отметить, что это будет справедливо тоже при некоторых ограничениях допустимой доли собственного тока линии в общем токе замыкания на землю сети.

В данном случае для обеспечения селективной работы защиты с достаточной чувствительностью на линии с наибольшей долей собственного тока должно выполняться условие:

$$\frac{I_{C\Sigma}^{(1)} - I_{\text{л.собст.маx}}}{k_{\text{ч}}} \geq I_{\text{ср.з.мин}} \quad (5)$$

или
$$I_{\text{л.собст.маx}} \leq I_{C\Sigma}^{(1)} - k_{\text{ч}} k_{\text{н}} k_{\text{бр}} I_{\text{л.собст.мин}} .$$

Если ввести обозначения:

$$n_{\text{мин}} = \frac{I_{\text{л.собст.мин}}}{I_{C\Sigma}^{(1)}} \text{ — коэффициент долевого участия линии}$$

с наименьшим собственным током в общем токе ОЗЗ

и
$$n_{\text{маx}} = \frac{I_{\text{л.собст.маx}}}{I_{C\Sigma}^{(1)}} \text{ — коэффициент долевого участия линии}$$

с наибольшим собственным током в общем токе ОЗЗ, то выражение (5) можно представить в виде

$$n_{\text{маx}} I_{C\Sigma}^{(1)} \leq I_{C\Sigma}^{(1)} (1 - k_{\text{ч}} k_{\text{н}} k_{\text{бр}} n_{\text{мин}}) . \quad (6)$$

Откуда получим

$$n_{\text{маx}} \leq 1 - k_{\text{ч}} k_{\text{н}} k_{\text{бр}} n_{\text{мин}} . \quad (7)$$

По (7) можно определить предельно допустимую величину кратности наибольшего собственного тока линии, при котором защита еще будет срабатывать при достаточной чувствительности.

Например, при $k_{\text{ч}} = 1,5$, $k_{\text{н}} = 1,2$, $k_{\text{бр}} = 1,5$ и $n_{\text{min}} = 0,05$ получим $n_{\text{max}} \leq 1 - 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 0,05 \leq 0,865$. Варьируя значением n_{min} можно получить ряд значений n_{max} .

$n_{\text{min}}, \%$	5	10	15	20	25
$n_{\text{max}}, \%$	86,5	73	59,5	46	32,5

Из анализа значений следует, что за счет выбора тока срабатывания группы защит по наименьшему собственному току линии данной сети и путем соответствующего выбора характеристики срабатывания действительно можно расширить область применения защиты от ОЗЗ с нелинейными характеристиками вида RXIDG. Применять такую защиту при правильной настройке можно в сетях с большой неоднородностью конфигурации по величине собственного тока линий.

Список литературы

1. Нудельман Г. С. Избирательная защита от замыканий на землю для распределительных сетей 6–35 кВ / 2 авт. – М: Энергетик, 2001. – № 3.
2. Шабад М. А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6–35 кВ: учебное пособие / 1 авт. – СПб.: ПЭИПК, Минэнерго РФ, 2003.

Получено 07.12.06.