

УДК 621.316.125

О ВЫБОРЕ ХАРАКТЕРИСТИК СРАБАТЫВАНИЯ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ С ОДНОСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

Докт. техн. наук, проф. РОМАНЮК Ф. А.,
кандидаты техн. наук, доценты ТИШЕЧКИН А. А., РУМЯНЦЕВ В. Ю., НОВАШ И. В.,
доц. БОБКО Н. Н., инж. ГЛИНСКИЙ Е. В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время для защиты от коротких замыканий (КЗ) и дальнего резервирования (ДР) в распределительных сетях с односторонним питанием преимущественно используются токовые защиты, реагирующие на полные токи фаз. Недостатки этих защит особенно проявляются в сетях сельскохозяйственного назначения. Большинство протяженных воздушных линий 10(6) кВ в таких сетях питают по несколько трансформаторных подстанций 10(6)/0,4 кВ мощностью от 25 до 630 кВ·А, подключаемых к ответвлениям от линии через предохранители (П), главным образом типа ПКТ [1]. В ряде случаев, особенно на трансформаторах малой мощности, предохранители на ВН не устанавливаются и их защита осуществляется защитой питающей линии. На стороне 0,4 кВ вместо П возможна установка автоматических выключателей.

В соответствии с рекомендациями [1] номинальные токи плавких вставок П $I_{н.вс}$ со стороны высшего напряжения (ВН) выбираются равными примерно двукратному номинальному току (Т) $I_{н.вс} \approx 2I_{н.т}$, а со стороны низшего напряжения (НН) $I_{н.вс} \approx I_{н.т}$. При таком выборе П на стороне НН защищают Т от перегрузок и КЗ в сети низшего напряжения. Предохранители на стороне ВН предназначены только для защиты Т от КЗ на выводах ВН и повреждений внутри Т. Время плавления плавкой вставки П $t_{пл}$ зависит от величины тока. При токах $(1,3-2,0)I_{н.вс}$ плавкая вставка плавится в течение $t = 1$ ч, а при токах $10I_{н.вс}$ этот показатель составит $t_{пл} \approx 0,1-0,2$ с.

На питающих линиях в зависимости от конкретных условий применения токовая защита может выполняться одноступенчатой в форме максимальной токовой защиты (МТЗ) или (для более быстрой ликвидации повреждений) со ступенчатой характеристикой выдержки времени.

На рис. 1 показан фрагмент схемы распределительной сети.

В таких сетях повреждения в конце линии (точка К4) и за Т (точка К3) могут сопровождаться прохождением в начале линии соизмеримых токов,

а разница в токах КЗ в точках К1 и К2 может быть невелика. Повреждения внутри Т могут сопровождаться малыми токами, что приводит к очень медленному расплавлению плавкой вставки П1. Поэтому выполнить требования селективности и чувствительности токовой защиты питающей линии при удовлетворительной скорости действия очень трудно или даже невозможно. Для улучшения селективности нужно увеличивать выдержку времени защиты питающей линии, что приводит к увеличению объема разрушений, снижению доли успешных АПВ и возрастанию ущерба от недоотпуска электроэнергии.

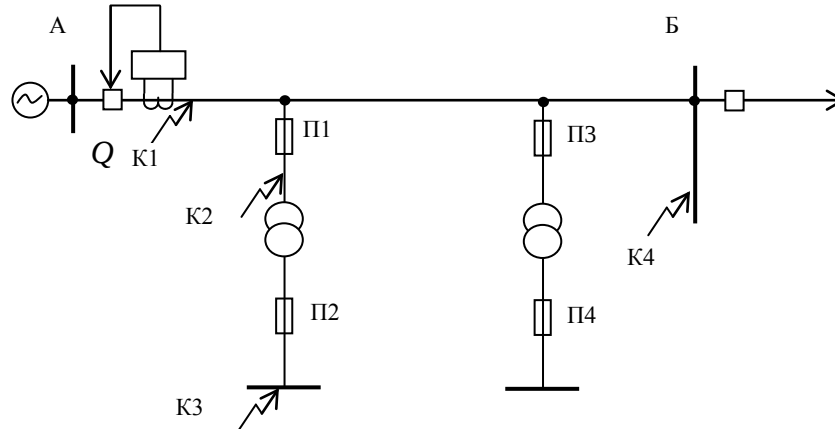


Рис. 1. Схема распределительной сети

В настоящее время для защиты линий распределительной сети используются микропроцессорные (цифровые) устройства отечественных и зарубежных фирм, реализующих, кроме функций токовой защиты, ряд дополнительных функций: многократных АПВ, частотной фильтрации входных токов, выделение симметричных составляющих, фиксации параметров режима защищаемого элемента и т. д. Токовые защиты обычно содержат две–четыре ступени, реагирующие на полные токи фаз (в некоторых реле имеются ступени, реагирующие на токи обратной последовательности) и позволяющие реализовать функции мгновенной токовой отсечки (ТО), отсечки с выдержкой времени (ТОВ) и максимальной токовой защиты (МТЗ). МТЗ может выполняться или с независимой или с обратозависимой от тока (инверсной) характеристикой времени срабатывания. Пользователю предоставляется возможность выбирать или независимую или одну из ряда инверсных характеристик. Однако вопросам выбора нужной характеристики в литературе уделяется недостаточное внимание. В [2] указывается на ряд существенных преимуществ обратозависимых времятоковых характеристик токовых защит по сравнению с независимыми. Несмотря на ряд несомненных достоинств МТЗ с инверсной характеристикой, в [3] рекомендуется применять их только в случае явного преимущества.

В соответствии со стандартами МЭК инверсные характеристики срабатывания описываются выражением

$$t = \frac{k\beta}{I_*^a - 1}, \quad (1)$$

где $I_*^\alpha = \frac{I_{КЗ}}{I_{сз}}$ – кратность тока КЗ к току срабатывания $I_{сз}$ ступени; t – время

срабатывания ступени; α, β – коэффициенты, определяющие крутизну характеристики; k – временный коэффициент.

Время срабатывания МТЗ с инверсной характеристикой 2 должно быть на ступень селективности Δt больше времени плавления плавкой вставки $t_{пл}$ с учетом разброса времятоковой характеристики предохранителя 1 при расчетном значении тока КЗ на выводах Т (точка К2)

$$t_{сз} = t_{пл} + \Delta t. \quad (2)$$

Селективность работы предохранителя П1 на ВН Т и МТЗ питающей линии нужно обеспечить во всем возможном диапазоне токов КЗ, в том числе и при малых токах КЗ в Т1 (рис. 2). Однако это практически невозможно, так как при малых токах плавкие вставки расплавляются медленно в течение времени, намного превышающего допустимое время срабатывания защит линии. Поэтому допускается обеспечивать селективность только при токах, соответствующих двухфазному КЗ на выводах ВН каждого из Т (точка К2). В этом случае говорят о неполной селективности между защитой питающей линии и предохранителем при повреждении в Т [2].

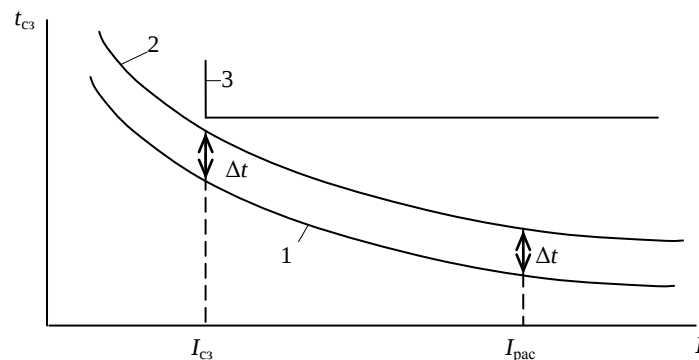


Рис. 2. Времятоковые характеристики МТЗ питающей линии (2 – инверсная; 3 – независимая) и 1 – предохранителя

Инверсная характеристика 2 защиты линии достаточно хорошо согласуется с характеристикой 1 предохранителя, что позволяет ускорить отключение КЗ в начале линии. Однако при токах, близких к току срабатывания, защита действует с большими выдержками времени, что увеличивает время отключения КЗ, особенно в зоне ДР. На время ее действия оказывают влияние величины тока нагрузки и тока срабатывания. В результате вопросы согласования характеристик требуют значительных затрат, возрастающих по мере увеличения числа отпаечных Т, изменения нагрузок систем электроснабжения из-за их развития в случае применения адаптивной токовой защиты линии, в которой $I_{сз}$ может изменяться в зависимости от вида КЗ и режима работы сети.

В случае применения МТЗ с независимой характеристикой 3 ступень селективности Δt должна обеспечиваться при токе КЗ, равном току срабатывания $I_{сз}$. Это приводит к тому, что для получения такого же $t_{сз}$ необхо-

можно было бы выбрать $I_{сз}$ значительно больший, чем у защиты с инверсной характеристикой. Если это недопустимо по условиям чувствительности, то нужно значительно увеличивать $t_{сз}$. Таким образом, основными недостатками одноступенчатой токовой защиты с независимой характеристикой выдержки времени являются накопление выдержек времени, особенно в многоступенчатых сетях, и худшие условия согласования с характеристиками предохранителей. Однако согласование выдержек времени смежных защит значительно проще. Следует учитывать и то обстоятельство, что при использовании для защиты в сети микропроцессорных защит и однотипных выключателей степень селективности Δt может быть снижена до 0,15–0,2 с [2], и таким образом значительно ослабляется эффект накопления выдержек времени в многоступенчатых сетях.

Как известно, эффективным средством ускорения отключения КЗ в сети являются быстродействующие токовые отсечки. Селективность мгновенных ТО обеспечивается выбором тока ее срабатывания $I_{сз}$ из следующих двух условий:

$$I_{сз} \geq k_n I_{K_{\max}}^{(3)}; \quad (3)$$

$$I_{сз} \geq k_n \Sigma I_{н.т}. \quad (4)$$

Для обеспечения селективного действия защит по первому условию $I_{сз}$ выбирается больше максимального тока КЗ в конце защищаемой линии в точке К4, а при наличии отпайки – и в точке К2. Коэффициент надежности для цифровых защит выбирается равным 1,1–1,15. Исходя из условия необходимой чувствительности ТО, выполняющей функцию дополнительной защиты, коэффициент чувствительности K_{χ} должен быть больше или равен 1,2 при КЗ в месте установки ТО (точка К1) в наиболее благоприятном по условию чувствительности режиме [1]. Таким образом, по этому условию ТО можно применять только на тех линиях, где отношение максимальных значений токов КЗ в начале и конце линий превышает 1,4. Как правило, ТО оказывается неэффективной для реактированных, кабельных линий, а зачастую и на линиях с отпайками, так как разница в токах КЗ в точках К1 и К2 обычно невелика.

По второму условию нужно обеспечить несрабатывание отсечки при бросках тока намагничивания (БТН) всех трансформаторов, подключаемых к линии. Величину k_n рекомендуется принимать в зависимости от времени срабатывания ТО. (При $t_{сз} = 0,1$ с $k_n \approx 3$ –4, а при $t_{сз} = 0,04$ с $k_n \approx 5$.) Для улучшения отстройки от БТН в некоторых микропроцессорных реле имеется специальный переключатель, с помощью которого можно обеспечить удвоение уставки при включении линии.

При таком выборе параметров срабатывания селективной быстродействующей ТО ограничивается область ее использования, и единственной защитой питающей линии зачастую является МТЗ, работающая с выдержкой времени.

При селективной настройке защит питающей линии и предохранителей при КЗ на отпайке в точке К2 или внутри Т в зависимости от вида КЗ могут

перегорать один или несколько предохранителей, что связано с возможностью возникновения неполнофазного режима и опасностью массового повреждения электродвигателей нагрузки, а также необходимостью длительного времени для замены сработавших предохранителей, что приводит к снижению надежности электроснабжения потребителей.

Учитывая, что междуфазные КЗ в Т маловероятны и повреждения в силовых Т происходят значительно реже, чем на воздушных линиях, предлагается использовать неселективную ТО, отстраиваемую от КЗ за Т (независимо от наличия предохранителей на стороне ВН Т) по следующим причинам: большинство повреждений на воздушных линиях являются неустойчивыми и самоустраниются при снятии напряжения с линии. При высоком быстродействии ТО предохранители сохраняются, так как не успевают перегорать. При успешном АПВ быстро восстанавливается электроснабжение потребителей, что приводит к увеличению надежности электроснабжения, повышается эффективность работы АПВ. При срабатывании АПВ неселективная ТО должна автоматически выводиться из работы на время, достаточное для работы селективной ступени защиты, работающей с выдержкой времени. За время работы этой ступени в случае устойчивого КЗ предохранители поврежденной отпайки будут перегорать, а питание линии восстанавливается во втором цикле АПВ.

Для предотвращения ложного срабатывания быстродействующей ТО от БТН предлагается блокировать ее действие в зависимости от содержания второй гармоники в фазных токах линии. Это позволит при расчете $I_{сз}$ ТО исключить условие 2, расширить область применения ТО. Для целей блокировки целесообразно использовать не величину тока второй гармоники I_2 , а относительное содержание этой гармоники в фазном токе I_2/I_ϕ .

Для повышения эффективности ДР и защиты отпаечных трансформаторов (например, при отсутствии П на стороне ВН Т) в составе токовой защиты питающей линии целесообразно предусматривать дополнительную высокочувствительную ступень защиты, работающую с выдержкой времени. В качестве такой ступени возможно использование адаптивной МТЗ, ток срабатывания которой изменяется в зависимости от текущей нагрузки линии. Для предотвращения неселективных срабатываний этой ступени при КЗ в сети 0,4 кВ можно выполнять ее блокировку в зависимости от уровня третьих гармоник в фазных токах [4].

ВЫВОД

Возможности повышения технического совершенства токовых защит линий распределительных сетей, предоставляемые микропроцессорными устройствами защиты, в настоящее время используются не в полной мере. Значительного улучшения основных показателей технического совершенства можно достигнуть на пути разработки и исследования многоступенчатых адаптивных токовых защит, характеристики срабатывания которых изменяются в зависимости от режима работы сети, вида КЗ и ряда других факторов. В общем случае такие защиты должны контролировать не только полные токи фаз и их симметричные составляющие, но и вторую и третью гармоники в этих токах. Быстродействующие ступени защиты могут

характеризоваться неполной селективностью, которая исправляется в результате работы АПВ. Исследование и анализ поведения таких защит в переходных и установившихся режимах работы распределительных сетей целесообразно выполнять на базе комплексных математических моделей методом вычислительного эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ш а б а д, М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М. А. Шабад. – Л., 1985.
2. Ш а б а д, М. А. Выбор характеристик и уставок цифровых токовых защит серии SPACOM и RE – 500 / М. А. Шабад. – СПб., 2000.
3. Ч е р н о б р о в о в, Н. В. Релейная защита / Н. В. Чернобровов. – М.: Энергия, 1974.
4. А н д р е е в, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. – М.: Высш. шк., 1991.

Представлена кафедрой
электрических станций

Поступила 07.07.2008

УДК 621.315

ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОТ ПЕРЕТОКОВ РЕАКТИВНЫХ МОЩНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И ПУТИ ИХ ОГРАНИЧЕНИЯ

**Инж. ПОСПЕЛОВ Е. Г.,
засл. деят. науки и техн. РБ, докт. техн. наук, проф. ПОСПЕЛОВ Г. Е.**

Белорусский национальный технический университет

Потери электроэнергии в электрических сетях СНГ возрастают. В электрических сетях РАО «ЕЭС России» за последние 10 лет увеличились потери от 8 до 13,1 % [1]. Потери в электрических сетях ГПО «Белэнерго» за 2006 г. составили 11,25 % [2], в то время как в промышленно развитых странах потери в сети составляют 4–6 % и постоянно снижаются. Основной причиной больших потерь в сетях СНГ являются перетоки реактивной мощности, включающие зарядные мощности линий. В частности, максимальная реактивная мощность в сетях РАО «ЕЭС России» составляет 165 Гвар; нагрузка в режиме минимума потребляет 60 Гвар, а оставшаяся реактивная мощность растекается по сети, увеличивая потери и создавая повышенные уровни напряжения [1].

Потери энергии на нагрев проводов наиболее точно могут быть подсчитаны, если известны графики работы линии и распределение проходящего тока вдоль линии. Тогда за время t потери на нагревание проводов можно определить по формуле