

УДК 621.316.125

## О ВЫПОЛНЕНИИ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Докт. техн. наук, проф. РОМАНЮК Ф. А., канд. техн. наук, доц. ТИШЕЧКИН А. А.,  
доц. БОБКО Н. Н., инж. ГЛИНСКИЙ Е. В.

*Белорусский национальный технический университет*

Максимальные токовые защиты (МТЗ) широко используются в распределительных сетях для защиты отдельных элементов от междуфазных коротких замыканий (КЗ) и дальнего резервирования (ДР). В настоящее время в Республике Беларусь электромеханические устройства защиты заменяются микропроцессорными устройствами защиты производства отечественных и зарубежных фирм.

Как правило, в микропроцессорных устройствах предусматривается возможность выполнения МТЗ с независимой (НХ) или обратозависимой (ЗХ) от тока характеристикой времени срабатывания. Пользователю предоставляется возможность выбирать НХ или одну из ряда ЗХ, которые в цифровых реле разных фирм могут реализовываться по различным стандартам. Однако вопросу выбора оптимальной токовременной характеристики срабатывания МТЗ в литературе уделяется недостаточное внимание.

Как известно, для обеспечения селективности действия защит в распределительной сети производится согласование характеристик МТЗ как по времени, так и по току срабатывания. Эта задача усложняется тем, что схемы распределительных сетей весьма разнообразны [1], а для защиты отдельных элементов распределительной сети могут использоваться различные устройства. На питающих трансформаторах, как правило, применяются МТЗ или МТЗ с блокировкой по напряжению с НХ характеристикой, что позволяет ускорить отключение КЗ с малыми токами. На трансформаторах городских сетей и отпаечных трансформаторах сельских электросетей используются предохранители обычно типа ПК с обратозависимой токовременной характеристикой [1, 2].

Время срабатывания  $t_{cs}$  МТЗ с НХ выбирается по ступенчатому принципу наиболее просто, с нарастанием по направлению к источнику питания (рис. 1а) и не зависит от величины токов нагрузки, КЗ и срабатывания:

$$t_{cs1} \geq t_{cs2} + \Delta t; \quad t_{cs2} \geq t_{cs3} + \Delta t. \quad (1)$$

Степень селективности  $\Delta t$  определяется точностью отсчета выдержек времени смежных защит сети и временем отключения выключателей и для электромеханических устройств принимается  $\Delta t \approx 0,4-0,6$  с.

При установке в сети одноступенчатых микропроцессорных защит и выключателей величина ступени может быть значительно снижена до 0,15–0,20 с, соответственно существенно снижается эффект накопления выдержек времени.

Основными недостатками МТЗ с НХ являются: худшие условия согласования с ЗХ МТЗ и предохранителей; накопление выдержек в многоступенчатых сетях, в результате которого КЗ на головных участках сети могут отключаться со значительными выдержками времени. Для исключения этого недостатка применяют токовые отсечки. Однако их использование в ряде случаев, например на коротких кабельных линиях, оказывается затруднительным.

Выбор выдержек времени МТЗ с ЗХ гораздо сложнее, что является иногда причиной ошибок и неселективного действия защит и выполняется с использованием соответствующих графиков (рис. 1в). Выдержка времени защиты 2  $t_{cs2}$  должна превышать выдержку времени защиты 3  $t_{cs3}$  на величину  $\Delta t$  при максимальном значении тока трехфазного КЗ в точке К2 в месте установки защиты 3 (рис. 1в).

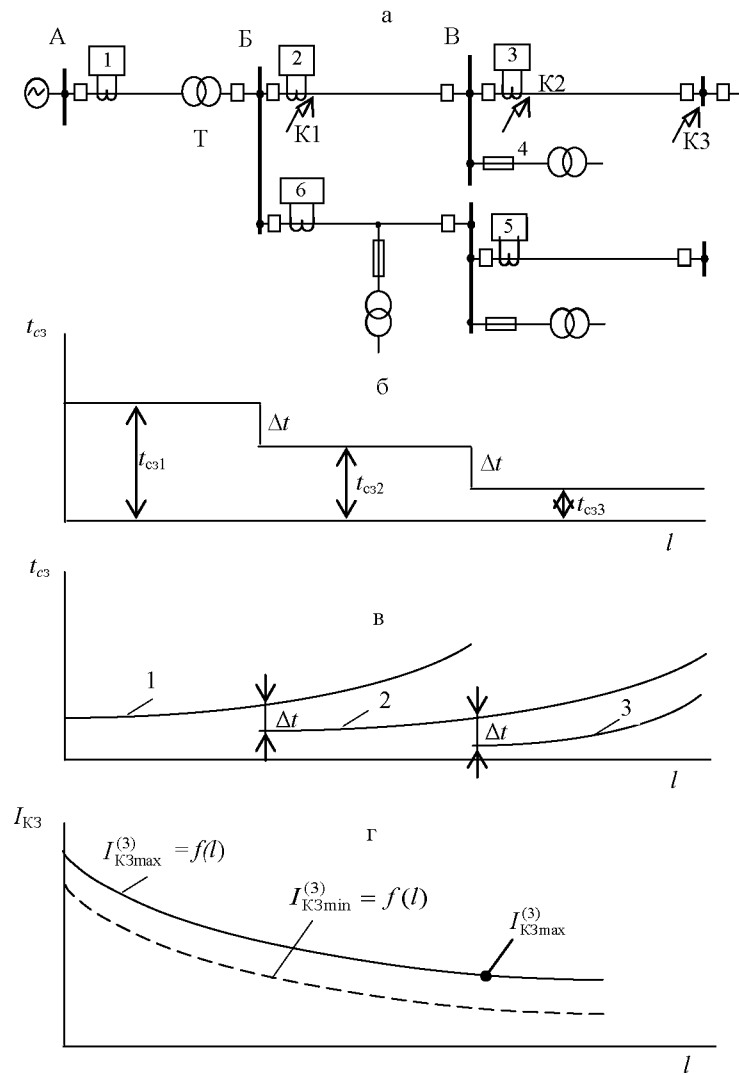


Рис. 1. Фрагмент схемы распределительной сети

Это условие должно выполняться при всех меньших, чем  $I_{\text{КЗmax}}^{(3)}$ , токах КЗ. При этом следует учитывать, что при трехфазном КЗ в точке К2 токи нагрузки по защитам 2 и 3 не протекают, а при трехфазном КЗ в точке К3 (зона ДР защиты 2) токи нагрузки протекают только по защите 2. Величина этих токов определяется при прочих равных условиях величиной остаточного напряжения на шинах подстанции В. Без учета нагрузки по защитам 2 и 3 протекают одинаковые токи КЗ, однако кратности токов КЗ по отношению к токам срабатывания  $I_{\text{сз}}$  защит различны:

$$k_2 = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(3)}}{I_{\text{сз2}}}; \quad k_3 = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(3)}}{I_{\text{сз3}}}.$$

Вследствие этого при однотипных токовременных характеристиках необходимо условие  $t_{\text{сз2}} > t_{\text{сз3}}$  и для обеспечения селективной работы  $t_{\text{сз2}} \geq t_{\text{сз3}} + \Delta t$ . Учет влияния нагрузки приводит к тому, что при КЗ в точке К3 по вышестоящей защите 2 протекает суммарный ток КЗ и нагрузки, что увеличивает кратность  $k_2 = (I_{\text{КЗ}}^{(3)} + I_{\text{нагр}}) / I_{\text{сз2}}$ . Защита 2 начинает работать быстрее относительно защиты 3, и, следовательно, для обеспечения селективной работы необходимо увеличивать  $\Delta t$ . Нужно отметить, что при двухфазных КЗ по защитам 2 и 3 всегда протекает ток КЗ и нагрузки.

Аналогичным образом согласуются токовременные характеристики МТЗ с ЗХ и предохранителей с учетом их 20%-го разброса характеристик. При использовании электромеханических реле рекомендуется применять  $\Delta t \approx 0,6-1,0$  с. Для микропроцессорных реле в [3]  $\Delta t$  принимается равной 0,3 с.

В современных микропроцессорных реле обычно предусматривается возможность выбора одной из набора ЗХ с различной крутизной, которые задаются математическими формулами по стандартам МЭК, IEEE, IAS и иного вида [4].

При реализации ОЗХ по стандарту МЭК

$$t_{(I_*)} = \frac{k\beta}{I_*^\alpha - 1}, \quad (2)$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$  – постоянные коэффициенты, определяющие крутизну ОЗХ;  $I_* = I_p / I_{\text{ср}}$  – относительное значение (кратность) тока в реле при КЗ к току срабатывания реле.

В [3, 5] выбор наиболее подходящей характеристики рекомендуется начинать с нормальной характеристики по стандарту МЭК:  $\alpha = 0,02$ ;  $\beta = 0,14$ . В дальнейшем может возникнуть необходимость в использовании ЗХ другого типа.

Как следует из (2), МТЗ при токе  $I_p$ , равном току срабатывания реле  $I_{\text{ср}}$ , не срабатывает, а при токах несколько больших  $I_{\text{ср}}$  срабатывает с большими выдержками времени. Чувствительность защиты, оцениваемая коэффициентом чувствительности, оказывается несколько заниженной по сравнению с расчетным значением.

В цифровых реле РУП «Белэлектромонтажналадка» реализуется ЗХ следующего вида:

$$t_{(I_*)} = \frac{10k}{I_* - 0,6}. \quad (3)$$

Как следует из выражения (3), при токе срабатывания защита срабатывает с конечным временем, а коэффициент чувствительности при токах повреждения, равных току срабатывания защиты, равен расчетному значению.

Таким образом, МТЗ с ЗХ в ряде случаев позволяют исключить эффект накопления выдержки времени в многоступенчатых сетях, ускорить отключение КЗ, сопровождающихся большими значениями токов КЗ, улучшить отстройку от кратковременных перегрузок и условия согласования с токовыми характеристиками предохранителей. Однако КЗ, сопровождающиеся токами, близкими по величине к току срабатывания защиты, отключаются с большими выдержками времени. Кроме изменения величины тока КЗ, например при изменении режима работы питающей системы, на время срабатывания МТЗ может оказать значительное влияние изменение величины и характера нагрузки, насыщение трансформаторов тока. Точный учет этих факторов затруднителен, и это может явиться причиной неселективного действия защит. В процессе эксплуатации установки этих защит следует постоянно держать под наблюдением и корректировать при изменении нагрузок, токов КЗ и токов срабатывания защит.

Ток срабатывания  $I_{сз}$  ( $I_{ср}$ ) МТЗ независимо от вида токовой характеристики выбирается одинаково по следующим трем условиям: несрабатывание МТЗ в послеаварийном режиме; согласование чувствительности защит смежных элементов; обеспечение достаточной чувствительности при КЗ в основной зоне и в зоне ДР:

$$I_{сз1} = \frac{k_{отс} k_{сз}}{k_B} I_{н.макс}; \quad I_{сз2} = k_H I_{сз3}; \quad I_{сз3} = \frac{I_{КЗmin}^{(2)}}{k_ч}, \quad (4)$$

где  $k_{отс}$ ,  $k_B$ ,  $k_H$ ,  $k_{сз}$  – коэффициенты отстройки, возврата, надежности согласования, самозапуска электродвигательной нагрузки;  $I_{н.макс}$  – максимальный ток нагрузки;  $I_{КЗmin}^{(2)}$  – минимально возможное значение тока двухфазного КЗ в конце защищаемой зоны;  $k_ч$  – коэффициент чувствительности.

По первому из этих условий  $I_{сз}$  выбирается из наиболее тяжелых условий симметричного режима работы оборудования с учетом перегрузок и самозапуска двигательной нагрузки, которые могут существовать непродолжительное время, а их учет приводит к загроблению защиты и недостаточной их чувствительности, что в конечном итоге приводит к ограничению области использования МТЗ и необходимости применения более сложных МТЗ с блокировкой по напряжению и дистанционных защит, использующих информацию не только о токах, но и о напряжениях. Кроме того, при неисправности цепей напряжения указанные защиты оказываются неработоспособными.

Таким образом, в соответствии с существующей методикой расчета отстройка от режимов самозапуска ведется соответствующим выбором тока срабатывания, что приводит к загроблению защиты.

При расчетах для микропроцессорных защит рекомендуется принимать:  $k_{отс} = 1,10$ ;  $k_B = 0,96$ ;  $k_H = 1,10$ . Значение  $k_{сз}$  зависит от многих факторов, и практически его невозможно определить для каждой линии и трансформаторов, так как двигательная нагрузка состоит из большого числа двигателей разной мощности с различными условиями пуска и самозапуска. При расчетах его величина может быть равной 2,5–3,0. При отсутствии в составе нагрузки высоковольтных двигателей и при времени срабатывания МТЗ больше 0,3 с согласно рекомендаций [3, 5] можно принимать  $k_{сз} \geq 1,1$ –1,3. Информация о длительности процесса самозапуска в распределительных сетях разного типа в литературе не приводится.

При использовании МТЗ с ЗХ имеется возможность отстраиваться от режима самозапуска не только по току, но и по времени срабатывания, что позволит уменьшить ток срабатывания и повысить чувствительность МТЗ. На длительность режима самозапуска влияют многие факторы, которые не могут быть определены точно для каждой линии и трансформатора. В литературе отсутствуют сведения об интенсивности (величине) и длительности самозапуска для распределительных сетей разного назначения. Эту информацию могут фиксировать микропроцессорные устройства, позволяющие регистрировать не только величину токов аварийного и послеаварийного режимов, но и их длительность. Такие данные могут быть использованы для более точного расчета параметров срабатывания МТЗ.

## ВЫВОД

Наличие зависимой от тока выдержки времени может придать МТЗ новые возможности для повышения чувствительности за счет отстройки от режимов самозапуска по времени или по току и времени. Реализация такого принципа возможна путем разработки адаптивных самообучающихся микропроцессорных защит. МТЗ с независимой токовременной характеристикой в микропроцессорном исполнении позволяют значительно ускорить отключение коротких замыканий, особенно с малыми токами, упростить расчеты и эксплуатацию защитных устройств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ш а б а д, М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М. А. Шабад. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.
2. Р у к о в о д я щ и е указания по релейной защите. Релейная защита понижающих трансформаторов 110–500 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Ш а б а д, М. А. Выбор характеристик и уставок цифровых токовых защит серии SPACOM и RE-500 / М. А. Шабад. – СПб.: ПЭИПК, 2000. – 56 с.
4. С о л о в ь е в, А. Л. Релейная защита городских электрических сетей в 10 кВ / А. Л. Соловьев, М. А. Шабад. – СПб.: Политехника, 2007. – 172 с.
5. Ш а б а д, М. А. Расчеты релейной защиты и автоматика распределительных сетей / М. А. Шабад. – 4-е изд. – СПб.: ПЭИПК, 2003.

Представлена кафедрой  
электрических станций

Поступила 10.03.2010