

трехполочного газового реактора в производстве аммиака. На основании полученных результатов составляются программы для реализации предложенных алгоритмов в АСУ ТП производства аммиака, а также ведутся работы по адаптации их к производству метанола. Внедрение данной системы позволит сузить диапазон параметров технологического процесса вокруг оптимального значения, что приведет к получению реального экономического эффекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система экстремального управления многополочным реактором с моделью / Д. Абдалхамид [и др.] // Вісник СНУ. – 2012. – Ч. 2, № 15(186). – С. 152–156.
2. Кутепов, А. М. Общая химическая технология / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Беренгартен. – М.: Высш. шк., 1990. – 520 с.
3. Математическое моделирование технологических объектов / А. Б. Целищев [и др.]. – Луганск: Изд-во ВНУ, 2011. – 421 с.

4. Бромберг, Э. М. Тестовые методы повышения точности измерений / Э. М. Бромберг, К. Л. Куликовский. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.

REFERENCES

1. Abdalhamid, D. (2012) System of Extreme Control over Multi-Shell Reactor with Model. *Visnik Shidnoukra-ins'kogo Nacional'nogo Universitetu Imeni Volodomyra Dalja [Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University]*, 15, 152–156.
2. Kutevov, A. M., Bondareva, T. I., & Berengarten, M. G. (1990) *General Chemical Technology*. Moscow: Vysshaya Shkola.
3. Tselishev, A. B. (2011) *Mathematical Modeling of Technological Objects*. Lugansk: Publisher East Ukrainian National University.
4. Bromberg, E. M., & Kulikovskiy, K. L. (1978) *Test Methods for Improvement of Measuring Accuracy*. Moscow: Energia.

Поступила 10.04.2013

УДК 621.316.925

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА

Асп. БУЛОЙЧИК Е. В.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: ekpst@list.ru

INVESTIGATION OF MICROPROCESSOR CURRENT PROTECTION LINES WITH IMPROVED INDICES OF TECHNICAL PERFECTION

BULOICHYK E. V.

Belarusian National Technical University

Повышение технического совершенства микропроцессорной токовой защиты линий распределительных сетей обеспечивается путем введения в алгоритм ее функционирования функций определения вида и места короткого замыкания. Методом вычислительного эксперимента получены основные показатели технического совершенства токовой защиты. Подтверждена высокая эффективность предлагаемых методик, обеспечивающих селективное и правильное функционирование защиты в различных режимах работы контролируемой линии.

Ключевые слова: микропроцессорная токовая защита, линия распределительных сетей, короткое замыкание, техническое совершенство.

Ил. 5. Библиогр.: 3 назв.

Technical perfection improvement of microprocessor current protection of distribution networks lines is provided by introduction of asymmetrical fault mode determination and fault location functions in the algorithm of its functioning. As a result of computing experiment the basic indices of the technical perfection of current protection have been obtained in the paper. The paper proves high efficiency of the proposed methods that ensure selective and proper operation in the different modes of the controlled line.

Keywords: microprocessor current protection, line of distributive networks, short circuit, technical perfection.

Fig. 5. Ref.: 3 titles.

Введение. Микропроцессорные токовые защиты обеспечивают защиту линий распределительных сетей от междуфазных коротких замыканий (КЗ). Алгоритм функционирования рассматриваемой микропроцессорной токовой защиты включает в себя функции определения вида и места повреждения, которые при необходимости могут быть выведены из действия. Как и большинство существующих защит, исследуемая содержит три ступени. Первая обеспечивает функции токовой отсечки (ТО) мгновенного действия и имеет перестраиваемую структуру в зависимости от исправности цепей напряжения или их наличия. Вторая ступень представляет собой токовую отсечку с выдержкой времени (ТОВ), в качестве третьей применяется максимальная токовая защита (МТЗ). Все три ступени предусматривают возможность изменения уставок в соответствии с видом повреждения при выполнении определенных условий.

Применение блоков определения места и вида повреждения целесообразно для повышения технического совершенства исследуемой токовой защиты, так как существующие защиты обладают рядом недостатков [1, 2]. Для оценки эффективности применения указанных выше блоков методом вычислительного эксперимента определяли и анализировали следующие показатели: селективность действия для всех трех ступеней, быстродействие и зону мгновенного отключения ТО, чувствительность ТОВ и МТЗ.

Методы исследования. Базой для проведения вычислительного эксперимента послужил программный комплекс, воспроизводящий математическую модель узла распределительной сети с защищаемой линией и математическую модель защиты. Входными сигналами защиты являются токи и напряжения линии, которые представлены эквивалентными ортогональными составляющими, получаемыми на выходе цифровых фильтров. Прежде чем пройти цифровую обработку, сигналы от трансформаторов тока и напряжения после вторичных преобразователей тока и напряжения подвергаются аналоговой частотной фильтрации и аналого-цифровому преобразованию для получения цифровых отсчетов контролируемых величин.

Ортогональные составляющие токов и напряжений непосредственно используются для расчета реактивных составляющих сопротив-

лений поврежденных петель, на основе которых определяется место КЗ [3]. Для определения вида повреждения по ортогональным составляющим определяются действующие значения токов фаз, из которых с помощью максиминиселектора выделяются наибольшее и наименьшее значения токов и на их основе рассчитывается относительная несимметрия токов фаз, численное значение которой является критерием определения вида КЗ [2].

Исполнение токовой защиты подразумевает две конфигурации. Первая доступна при наличии в месте установки защиты измерительных трансформаторов напряжения. В этом случае блоки определения вида повреждения и определения места короткого замыкания (ОМКЗ) находятся в работе. При этом в алгоритм функционирования защиты введена обязательная проверка исправности цепей напряжения. Если цепи напряжения неисправны или отсутствуют, то защита автоматически изменяет конфигурацию на вторую, при которой обеспечивается улучшение показателей технического совершенства только за счет выявления несимметричных повреждений.

При наличии цепей напряжения и их исправности для первой ступени защиты реализуется функция ОМКЗ с учетом вида повреждения, а для третьей ступени производится пересчет уставок в соответствии с видом КЗ. В обратном случае в соответствии с видом КЗ производится пересчет уставок всех трех ступеней защиты.

Блок ОМКЗ фиксирует возникновение внутренних коротких замыканий, чтобы обеспечить отключение линии без выдержки времени в пределах всей линии. Пуск первой ступени в этом случае обеспечивается срабатыванием более чувствительной третьей ступени защиты. Зона мгновенного отключения при этом ограничивается существующими погрешностями определения места повреждения [3]. Если блок ОМКЗ фиксирует возникновение повреждения за пределами защищаемой линии, первая ступень не функционирует.

Использование функции определения места КЗ позволяет расширить зону действия токовой отсечки до 95 % от длины линии как при трех-, так и при двухфазных металлических КЗ в режимах максимальной нагрузки и холостого хода (рис. 1).

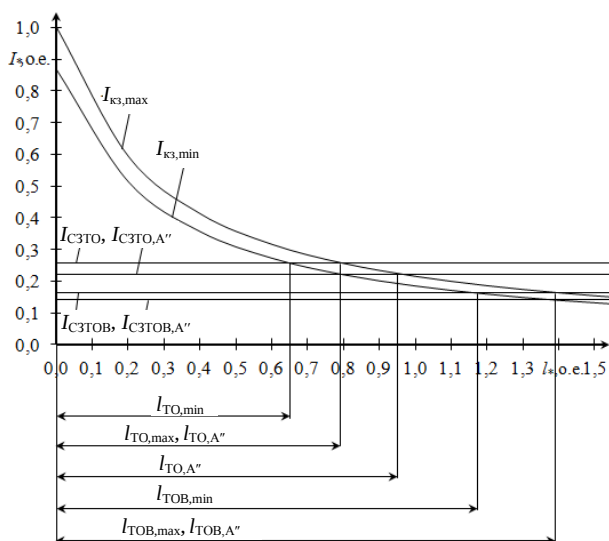


Рис. 1. Зоны мгновенного отключения микропроцессорной токовой защиты: $l_{ТО,min}$, $l_{ТОВ,min}$, $l_{ТО,max}$, $l_{ТОВ,max}$ — зоны действия ТО и ТОВ для режимов двух- и трехфазного КЗ соответственно, если адаптивность защиты выведена; $l_{ТО,A''}$ — зона действия первой ступени для первой конфигурации защиты; $l_{ТО,A''}$, $l_{ТОВ,A''}$ — зоны действия ТО и ТОВ для второй конфигурации защиты; $I_{CЗТО}$, $I_{CЗТОВ}$, $I_{CЗТО,A''}$, $I_{CЗТОВ,A''}$ — токи срабатывания первой и второй ступеней в случае выполнения защиты обычной и адаптивной (вторая конфигурация защиты) соответственно

При КЗ через переходное сопротивление в режиме максимальных нагрузок, когда сопротивление дуги в 2,5 раза превышает сопротивление линии (в пределах работоспособности метода определения вида повреждения), зона мгновенного отключения первой ступени сокращается до 71 % от длины линии при двух- и до 75 % при трехфазных КЗ из-за увеличения погрешностей определения места повреждения. В режиме холостого хода при двухфазных КЗ и тех же значениях сопротивления дуги зона действия первой ступени сокращается до 91 % от длины линии. При трехфазных КЗ, если сопротивление дуги не превышает сопротивление линии (в обратном случае при КЗ в конце защищаемой линии вид повреждения определяется некорректно, что приводит к нечеткому определению места повреждения и может привести к неселективному действию защиты), зона мгновенного отключения составляет 86 %.

Таким образом, функция ОМКЗ обеспечивает расширение зоны действия токовой отсечки при металлических трехфазных КЗ в 1,21 раза, а при двухфазных — в 1,47 раза по сравнению с защитой обычного исполнения независимо от режима работы сети. Наличие переходного со-

противления в месте повреждения приводит к уменьшению тока КЗ, что вызывает сокращение зоны мгновенного отключения обычной токовой отсечки, причем чем больше сопротивление дуги, тем менее эффективна ТО. В то же время первая ступень с функцией ОМКЗ в этих условиях обеспечивает защиту более 70 % линии для любого вида КЗ.

Если цепи напряжения отсутствуют или неисправны, блок ОМКЗ выводится из действия. Ток срабатывания первой ступени пересчитывается в соответствии с видом повреждения, за счет чего достигается увеличение зоны мгновенного отключения при двухфазных КЗ до значений, как при трехфазных (рис. 1). Это справедливо как для металлических КЗ, так и для коротких замыканий через переходное сопротивление, если оно не превышает полное сопротивление линии в 2,5 раза в режиме максимальных нагрузок.

Вторая ступень по току срабатывания должна быть отстроена от токов КЗ в конце зон действия отсечек всех отходящих присоединений. Если предполагается изменение тока срабатывания первой ступени в зависимости от вида повреждения, то соответственно предусматривается и пересчет уставки для токовой отсечки с выдержкой времени, что обеспечивает расширение ее зоны действия до 1,19 раза. Если расширение зоны мгновенного отключения первой ступени обеспечивается блоком ОМКЗ, то вторая ступень выполняется как обычная.

Независимо от конфигурации защиты и состояния цепей напряжения, если адаптивность введена, с учетом вида повреждения автоматически пересчитываются токи срабатывания МТЗ. При этом повышается чувствительность третьей ступени к несимметричным КЗ для сильно нагруженных линий и обеспечиваются требуемые значения коэффициента чувствительности при КЗ в конце как защищаемой, так и смежной линий.

Временные диаграммы моментов срабатывания и возврата измерительных органов (ИО) тока при внутренних и внешних КЗ в наиболее характерных точках сети и после их отключения, приведенные на рис. 2–5, позволяют оценить селективность действия всех трех ступеней и работоспособность рассматриваемой защиты в целом.

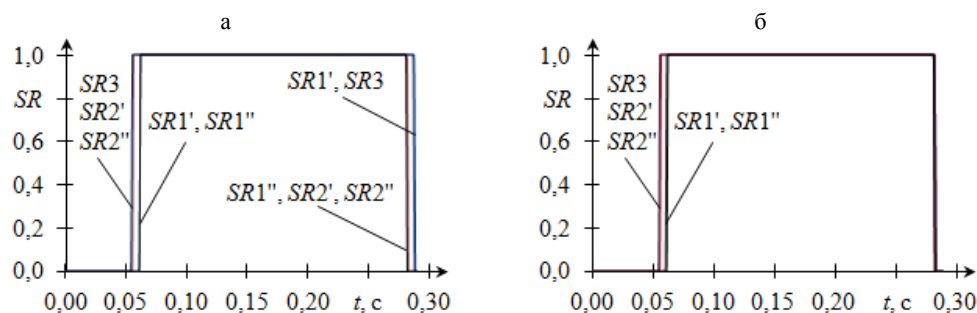


Рис. 2. Временные диаграммы моментов срабатывания и возврата ИО тока при двух- (а) и трехфазных (б) КЗ в начале защищаемой линии: $SR1'$, $SR2'$ – признаки срабатывания ИО соответственно первой и второй ступеней защиты для первой конфигурации защиты; $SR1''$, $SR2''$ – признаки срабатывания ИО соответственно первой и второй ступеней защиты для второй конфигурации защиты; $SR3$ – признак срабатывания ИО тока третьей ступени защиты

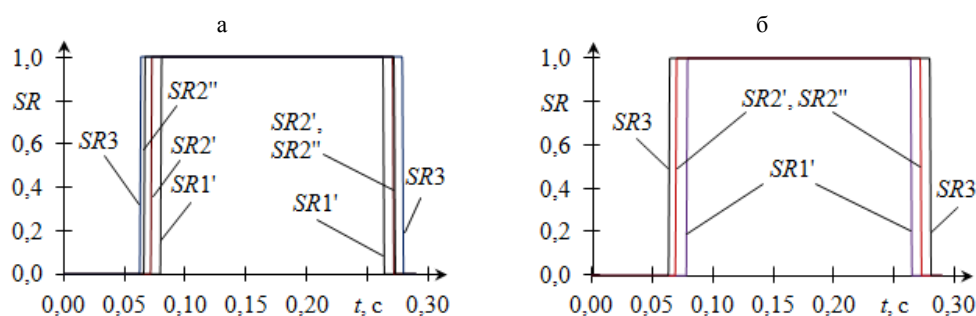


Рис. 3. Временные диаграммы моментов срабатывания и возврата ИО тока при двух- (а) и трехфазных (б) КЗ в конце защищаемой линии ($l_* = 0,95$): $SR1'$, $SR2'$, $SR2''$, $SR3$ – то же, что на рис. 2

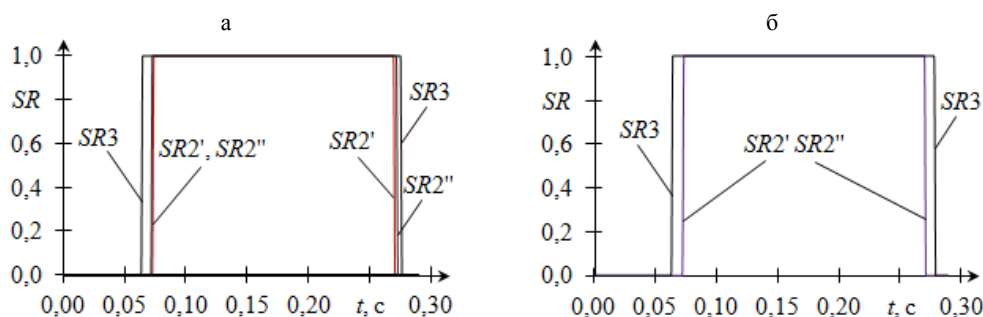


Рис. 4. Временные диаграммы моментов срабатывания и возврата ИО тока при двух- (а) и трехфазных (б) КЗ в начале смежной линии ($l_* = 1,02$): $SR2'$, $SR2''$, $SR3$ – то же, что на рис. 2

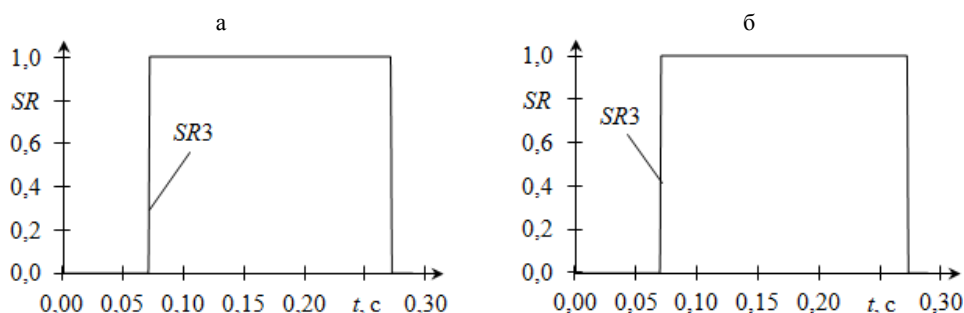


Рис. 5. Временные диаграммы моментов срабатывания и возврата ИО тока при двух- (а) и трехфазных (б) КЗ в конце смежной линии ($l_* = 2$): $SR3$ – то же, что на рис. 2

Анализируя приведенные временные зависимости, можно сделать вывод, что токовая за-

щита работает селективно независимо от выбранной конфигурации. При любых видах КЗ

на защищаемой линии в действие приходят ИО всех трех ступеней. Исключением является только первая ступень для второй конфигурации защиты при КЗ в конце линии ($I_* = 0,95$), зона действия которой несколько меньше и составляет порядка 79 % от длины линии. Хотя время срабатывания ИО тока первой ступени больше, чем время срабатывания ИО второй и третьей ступеней, с учетом задаваемых выдержек времени при возникновении КЗ в пределах зоны действия ТО линия будет отключаться без выдержки времени. Очевидное преимущество использования функции ОМКЗ, так как отключение повреждения при КЗ в конце защищаемой линии будет производиться первой ступенью, иллюстрируют рис. 2, 3.

При любых видах КЗ в начале смежной линии в действие приходят только ИО тока второй и третьей ступеней. С учетом задаваемых выдержек времени при отказе защиты или выключателя смежного участка линия будет отключаться второй ступенью. Следует учесть, что если введена вторая конфигурация защиты, то ТОВ охватывает больший участок смежной линии (примерно на 19 %). При КЗ в конце смежной линии в действие приходят только ИО третьей ступени.

Независимо от конфигурации защиты во всех рассмотренных случаях ИО тока всех трех ступеней надежно возвращаются в исходное состояние после отключения повреждения. Для обеих конфигураций защиты время срабатывания ИО всех ступеней отличается незначительно и уменьшается с увеличением кратности тока КЗ. Особое внимание следует уделить первой ступени. Так как в общем случае она не имеет специально создаваемой выдержки времени, быстродействие ТО определяется временем срабатывания ИО тока в конце зоны действия от момента возникновения внутреннего КЗ. В случае если блок ОМКЗ введен в работу, наибольшее собственное время срабатывания ИО первой ступени составляет 1,5 периода промышленной частоты (при трехфазном КЗ). Если цепи напряжения отсутствуют или неисправны, быстродействие ТО в конце зоны мгновенного отключения (порядка 79 % от длины линии) составляет 1,29 периода промышленной частоты независимо от вида повреждения. Меньшее время срабатывания ИО в этом случае частично объясняется отсутствием затрат времени на работу блока ОМКЗ и большей кратностью тока КЗ. Наличие переходного сопротивления приводит к незначительному увеличению времени срабатывания ИО тока.

ВЫВОДЫ

1. Анализируя приведенные зависимости, можно прийти к заключению, что вид и место короткого замыкания в алгоритме функционирования токовой защиты линии определяются достоверно, обеспечивая улучшенные показатели ее технического совершенства по сравнению с существующими аналогичными защитами других исполнений.

2. При этом зона мгновенного отключения охватывает до 95 % длины линии независимо от вида короткого замыкания и режима работы сети при металлических коротких замыканиях, обеспечивая расширение зоны действия первой ступени в 1,21 раза для трех- и в 1,47 раза для двухфазных коротких замыканий.

3. Реализация метода определения вида повреждения приводит к повышению чувствительности третьей ступени защиты к несимметричным коротким замыканиям. Если функция определения места короткого замыкания выведена, обеспечивается расширение зон действия первой и второй ступеней защиты при двухфазных коротких замыканиях в 1,22 и 1,19 раза соответственно. При этом достигается увеличение чувствительности токовой отсечки с выдержкой времени к несимметричным коротким замыканиям в 1,16 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем / А. М. Федосеев, М. А. Федосеев. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
2. Романюк, Ф. А. Определение вида повреждения на линиях распределительных сетей в объеме функций микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тищенко, 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. Тищенко, Е. В. Булойчик // Наука и техника. – 2012. – № 4. – С. 69–73.

REFERENCES

1. Fedoseev, A. M., & Fedoseev, M. A. (1992) *Relay Protection of Electric Power Systems*. Moscow: Energoatomizdat.
2. Romaniuk, F. A., Tishechkin, A. A., & Bulochyk, E. V. (2011) Fault Type Determination on Distribution Networks Lines Within Functions of Microprocessor Current Protections. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika [Proceedings of the Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering]*, 4, 5–10.
3. Romaniuk, F. A., Tishechkin, A. A., & Bulochyk, E. V. (2012) Detection of Short Circuit Location in Radial Network Lines with One-Side Supply. *Nauka i Tekhnika [Science and Technique]*, 4, 69–73.

Поступила 20.12.2013