

УДК 621.316.925

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Докт. техн. наук, проф. РОМАНЮК Ф. А., инж. БУЛОЙЧИК Е. В.

Белорусский национальный технический университет

В распределительных сетях микропроцессорные токовые защиты обеспечивают защиту линий от междуфазных коротких замыканий (КЗ) [1]. Принцип выполнения одной из таких защит с повышенной чувствительностью к несимметричным КЗ описан в [2].

Микропроцессорная токовая защита содержит входные преобразователи тока, которые преобразуют выходные токи трансформаторов тока в пропорциональные напряжения. Далее эти напряжения подвергаются частотной фильтрации в аналоговых фильтрах нижних частот. Выходные сигналы указанных фильтров путем аналого-цифрового преобразования превращаются в цифровые отсчеты мгновенных значений для заданных моментов времени.

Указанные отсчеты подвергаются цифровой фильтрации с целью выделения дискретных мгновенных значений основной частоты, по которым затем рассчитываются действующие значения контролируемых величин. Из этих значений с помощью соответственно макси- и миниселектора выделяются наибольший $I_{\max}$ и наименьший $I_{\min}$ входные токи.

Наибольший из токов $I_{\max}$ поступает на входы измерительных органов токовой отсечки мгновенного действия, токовой отсечки с выдержкой времени и максимальной токовой защиты для использования в процессе реализации функций перечисленных ступеней защиты.

При этом по значениям $I_{\max}$ и $I_{\min}$ определяется относительная несимметрия токов фаз [3]

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

В нормальном режиме, при симметричной перегрузке, самозапуске электродвигательной нагрузки, трехфазных КЗ, а также при несимметричных КЗ на параллельной линии $\Delta I \leq 0,5$ и ступени защиты работают с изначально заданными уставками.

При несимметричных КЗ на защищаемой линии $\Delta I > 0,5$, что свидетельствует о целесообразности уменьшения уставок ступеней защиты [3], обеспечивая тем самым повышение ее чувствительности.

Для анализа и оценки работоспособности микропроцессорной токовой защиты описанного выше исполнения использовалась компьютерная программа, в основу которой положена математическая модель распределительной сети 10–35 кВ.

Программа позволяет воспроизводить двух- и трехфазные КЗ как металлические, так и через переходное сопротивление на защищаемой линии и смежных участках, а также на параллельной линии. Полученные на выходе модели линии распределительной сети вторичные токи используются в качестве исходной информации при реализации модели микропроцессорной токовой защиты, которая включает модели элементов измерительного тракта и алгоритма функционирования ее измерительной и логической частей.

Результаты вычислительного эксперимента, позволяющие дать оценку работоспособности и эффективности исследуемой защиты, представлены в виде приведенных ниже зависимостей.

На рис. 1 показаны зоны мгновенного отключения микропроцессорной токовой защиты при ее выполнении обычной и с повышенной чувствительностью к несимметричным КЗ на основе использования выражения (1). В случае выполнения защиты обычной с током срабатывания первой ступени $I_{сз0}$ она имеет зону мгновенного отключения при несимметричных КЗ I_0 . Микропроцессорная токовая защита с повышенной чувствительностью благодаря уменьшению тока срабатывания в тех же условиях до $I_{сзч}$ обеспечивает расширение указанной зоны до значения $I_ч$.

Таким образом, учет вида КЗ в алгоритме функционирования защиты позволяет расширить зону ее мгновенного отключения при несимметричных повреждениях в 1,15–1,20 раза.

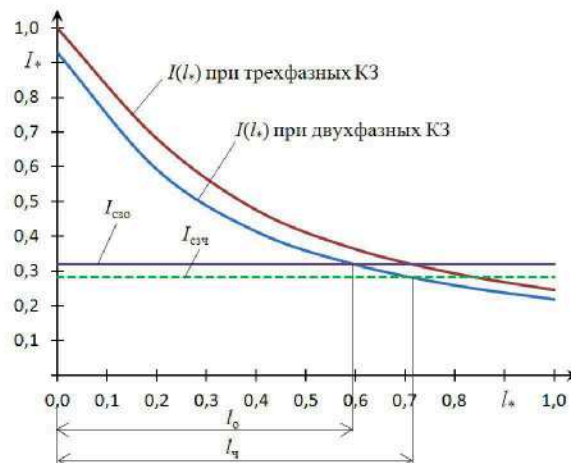


Рис. 1. К определению зоны мгновенного отключения защиты при несимметричных КЗ

На рис. 2 представлена зависимость относительной несимметрии токов ΔI при несимметричных КЗ от отношения тока повреждения I_p к току

нагрузки I_n . Ее анализ показывает, что выражение (1) обеспечивает выявление несимметричных КЗ, когда токи повреждения превышают нагрузочные в 1,5 раза и более. Следует отметить, что это наиболее успешное решение проблемы определения вида КЗ по относительной несимметрии токов фаз.

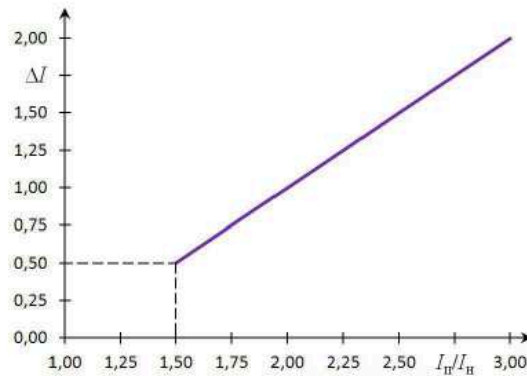


Рис. 2. Зависимость ΔI при несимметричных КЗ от отношения тока повреждения к току нагрузки

На рис. 3–5 показаны временные диаграммы первичных i_1 и вторичных i_2 токов, а также относительных значений их синусных i_{s*} и косинусных i_{c*} ортогональных составляющих (ОС) для трех фаз (a, b, c) при трех- и двухфазных КЗ в различных точках сети как металлических, так и через переходное сопротивление. Моменты срабатывания и возврата токовой отсечки мгновенного действия (первая ступень), токовой отсечки с выдержкой времени (вторая ступень) и максимальной токовой защиты (третья ступень) при симметричных повреждениях отображены соответственно в виде признаков $SR1, SR2, SR3$, а при несимметричных повреждениях – $SR1', SR2', SR3'$. Проверка каждой из ступеней защиты проводилась независимо от других при равной нулю ее выдержке времени. При этом две другие ступени были заблокированы.

При близких к месту установки защиты металлических КЗ происходит искажение формы вторичных токов в первой стадии переходного процесса (рис. 3, 4). Это обусловлено насыщением измерительных трансформаторов тока.

В процессе аналоговой и цифровой фильтраций форма токов ОС приближается к синусоидальной, но медленнее, чем изменяются вторичные токи. Это объясняется инерционностью аналоговой и цифровой фильтраций. По этой причине после отключения КЗ ОС токов уменьшаются плавно.

В случае удаленных от места установки защиты повреждений, а также при наличии переходного сопротивления контролируемые токи искажаются в значительно меньшей степени, что обеспечивает более быстрое приближение формы их ОС к синусоидальной (рис. 3–5).

При трехфазных КЗ в начале линии срабатывают измерительные органы всех трех ступеней защиты (рис. 3а), а при таком же повреждении в конце – второй и третьей ступеней (рис. 3б). В этих случаях четко определяется вид КЗ, благодаря чему уставки измерительных органов ступеней защиты не перестраиваются.

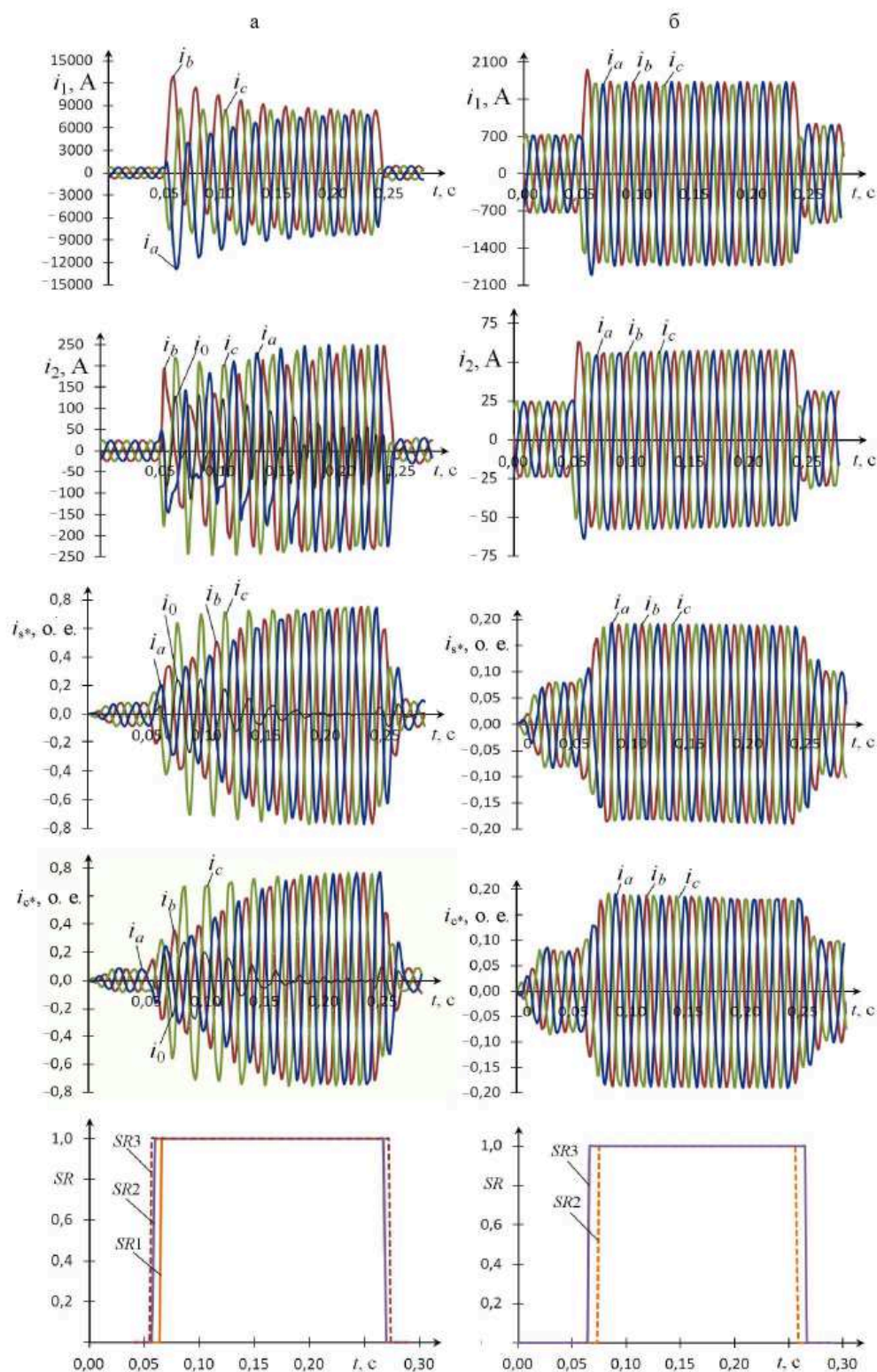


Рис. 3. Трехфазное КЗ: а – в начале линии; б – в конце линии; i_1 – первичные токи в фазах линии; i_2 – вторичные токи; i_{s*} – относительные значения синусных составляющих токов линии; i_{c*} – то же косинусных составляющих токов линии; $SR1, SR2, SR3$ – признаки срабатывания измерительных органов соответственно первой, второй и третьей ступеней защиты при симметричных повреждениях

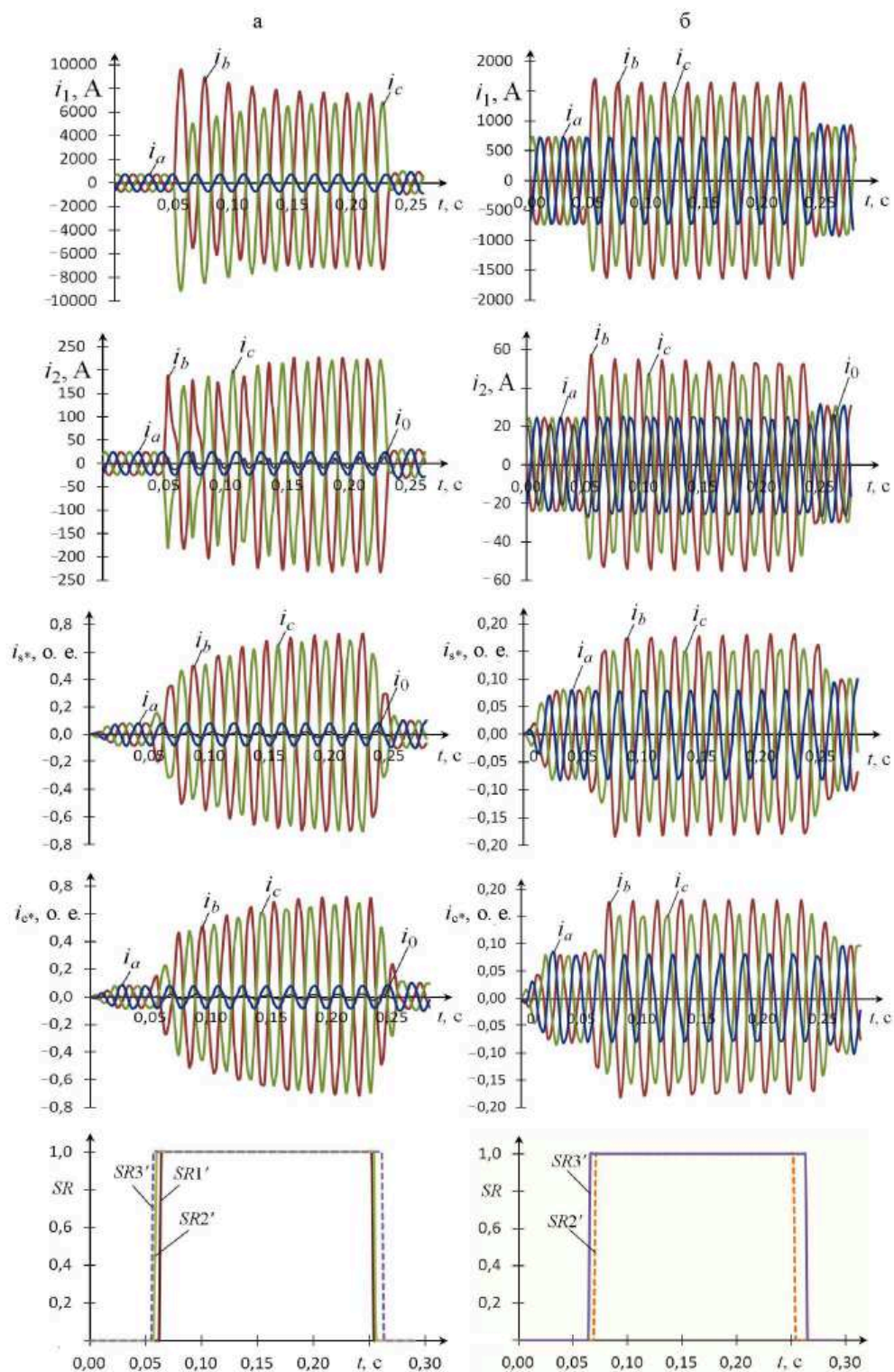


Рис. 4. Двухфазное КЗ: а – в начале линии; б – в конце линии; i_1 – первичные токи в фазах линии; i_2 – вторичные токи; i_{s*} – относительные значения синусных составляющих токов линии; i_{c*} – то же косинусных составляющих токов линии; $SR1'$, $SR2'$, $SR3'$ – признаки срабатывания измерительных органов соответственно первой, второй и третьей ступеней защиты при несимметричных повреждениях

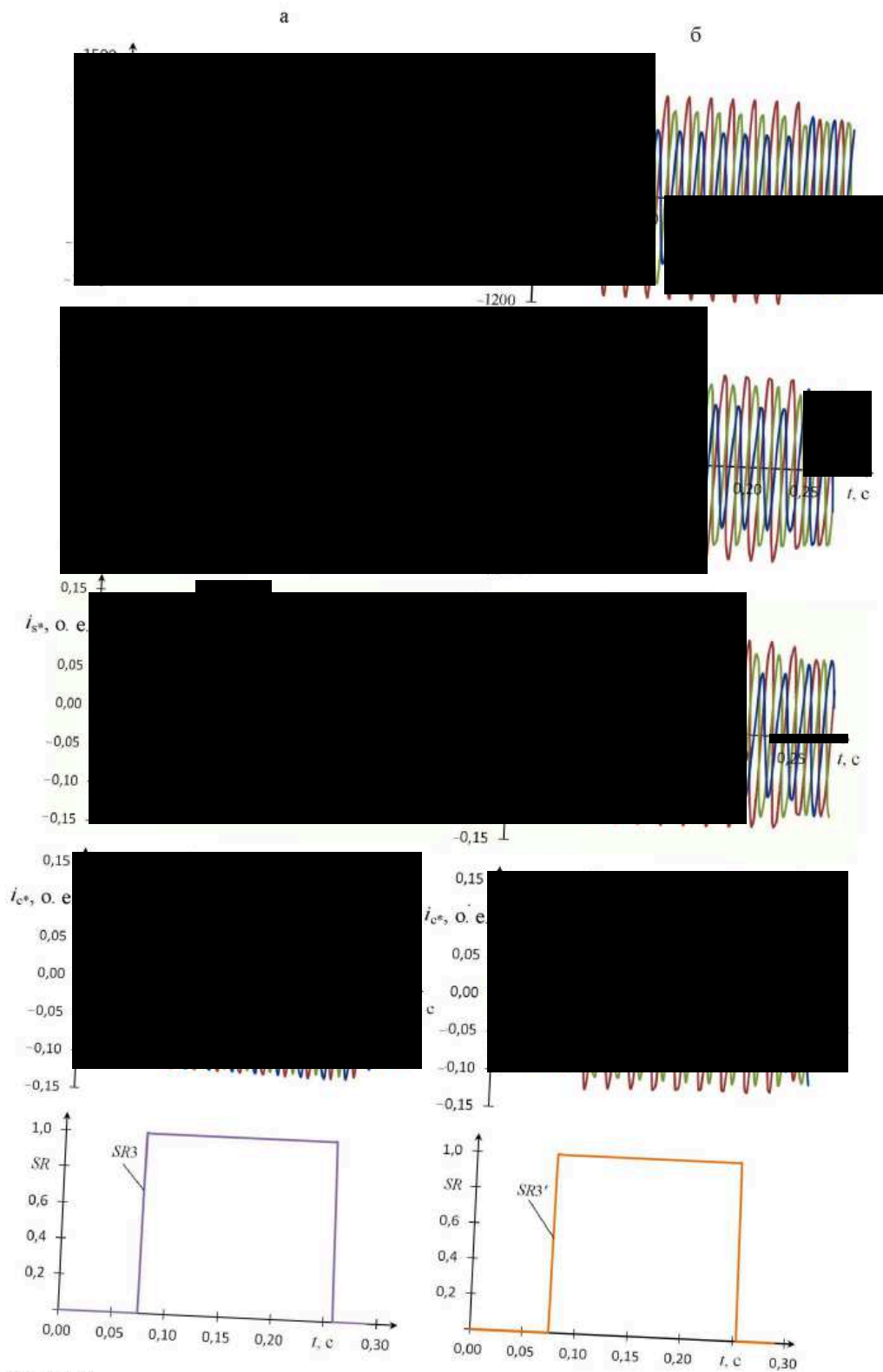


Рис. 5. КЗ в конце смежной линии при наличии переходного сопротивления; а – трехфазное; б – двухфазное; i_1 – первичные токи в фазах линии; i_2 – вторичные токи; i_{s*} – относительные значения синусных составляющих токов линии; i_{c*} – то же косинусных составляющих

токов

линии; $SR3$ – то же, что на рис. 3; $SR3'$ – то же, что на рис. 4

Двухфазное КЗ в начале линии вызывает срабатывание измерительных органов всех ступеней защиты (рис. 4а), а в конце линии – второй и третьей ступеней (рис. 4б). При этом вследствие правильного определения вида КЗ происходит перестройка уставок измерительных органов с целью повышения их чувствительности.

В ходе вычислительного эксперимента были проведены соответствующие исследования защиты при КЗ в различных точках через переходное сопротивление (рис. 5). Сравнительный анализ полученных результатов свидетельствует о том, что при малых значениях переходного сопротивления характер изменения контролируемых величин почти не отличается от характера их изменения при металлических КЗ.

Вид повреждения определяется достоверно при значениях переходного сопротивления, когда токи повреждения не менее чем в 1,5 раза превосходят токи нагрузочного режима.

Следует отметить, что трехфазные КЗ вблизи места установки защиты из-за влияния переходного сопротивления могут восприниматься как двухфазные. При этом осуществляется перестройка уставок измерительных органов ступеней защиты и повышается их чувствительность. Однако, как показали результаты вычислительного эксперимента, это не приводит к неселективным действиям защиты.

ВЫВОД

Проведенные методом вычислительного эксперимента исследования показали, что положенные в основу выполнения микропроцессорной токовой защиты линий решения обеспечивают достижение высоких показателей ее технического совершенства, селективное и правильное функционирование во всех режимах защищаемой линии. При этом обеспечивается расширение зоны мгновенного отключения первой ступени при несимметричных КЗ в 1,15–1,20 раза, повышение чувствительности второй ступени в 1,10–1,15 раза, а третьей – до 3 раз. Достижение указанных показателей гарантируется в микропроцессорных токовых защитах линий, для которых токи повреждения превышают токи нагрузочных режимов не менее чем в 1,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем: учеб. для вузов / А. М. Федосеев, М. А. Федосеев. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.
2. Ковалевский, А. В. Выбор численного значения критерия для определения вида короткого замыкания в адаптивной микропроцессорной токовой защите линий / А. В. Ковалевский // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2007. – № 5. – С. 37–41.
3. 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.

Представлена кафедрой