

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТОКОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Докт. техн. наук, проф. РОМАНЮК Ф. А., инж. ГУРЬЯНЧИК О. А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящей статье рассматривается микропроцессорная токовая направленная защита линий (МТНЗ) с элементами адаптивности, а также приведены результаты исследования ее технического совершенства.

Принцип выполнения микропроцессорной токовой направленной защиты указанного выше исполнения подробно рассмотрен в [1].

На рис. 1 представлена функциональная схема цифровой микропроцессорной защиты.

Исходной информацией являются сигналы, поступающие от измерительных трансформаторов тока и напряжения. Первичная обработка данных аналоговых сигналов осуществляется входными преобразователями тока и напряже-

ния с последующей фильтрацией в аналоговых фильтрах нижних частот. Преобразование аналогового сигнала в соответствующий ему дискретный сигнал осуществляется в аналого-цифровом преобразователе (АЦП). Остановившись на рассмотрении этих элементов нет необходимости, поскольку на сегодняшний день доступно большое количество литературы, в которой представлены возможные решения их исполнения.

С выхода АЦП сигнал поступает на цифровой фильтр (ЦФ), где осуществляется цифровая фильтрация сигнала. Более подробно это было рассмотрено в [2, 3].

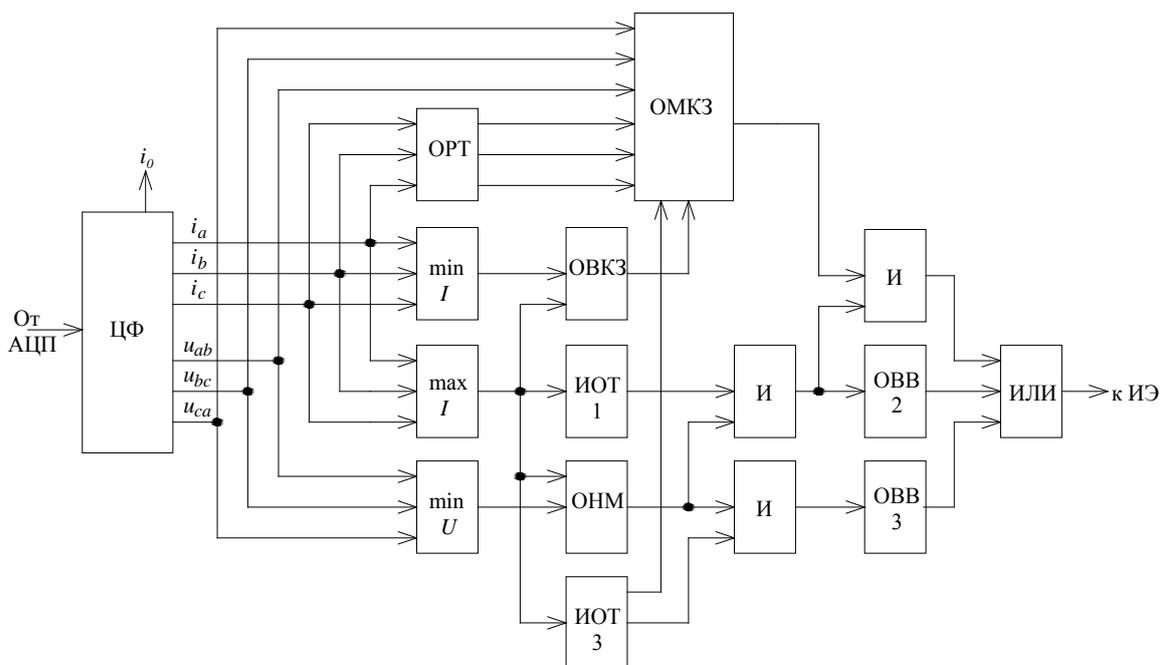


Рис. 1. Функциональная схема цифровой части микропроцессорной токовой направленной защиты

С выхода ЦФ сигналы подаются на максиселектор тока ( $\max I$ ), миниселекторы тока ( $\min I$ ) и напряжения ( $\min U$ ). В последующем с выходов этих блоков сигналы попадают на входы блока определения вида короткого замыкания (ОВК 3), органа разности токов (ОРТ), органа направления мощности (ОНМ) и измерительных органов тока (ИОТ 1 и ИОТ 3).

В блоке ОВК 3 происходит распознавание вида короткого замыкания. Вид короткого замыкания (КЗ) с достаточной степенью достоверности можно определить по относительной несимметрии токов  $\Delta I = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max}}$ , где  $I_{\max}$ ,

$I_{\min}$  – соответственно наибольший и наименьший из фазных токов.

Если  $\Delta I > 0,6$ , то КЗ является двухфазным, в противном случае – трехфазным. Это необходимо, поскольку в зависимости от вида КЗ в блоке определения места короткого замыкания (ОМКЗ) используются различные алгоритмы его определения [4]. Пуск ОМКЗ обеспечивается сработавшими чувствительными измерительными органами защиты.

На базе ИОТ 3 выполнена максимальная токовая защита (МТЗ), которая при разрешающем сигнале от ОНМ через орган выдержки времени (ОВВ 3) действует на исполнительный элемент (ИЭ). На базе ИОТ 1 – токовая отсечка без выдержки времени (ТО), которая при разрешающем сигнале от ОНМ и блока ОМК 3 без выдержки времени воздействует на ИЭ, и токовая отсечка с выдержкой времени (ТОВ), которая при разрешающем сигнале от ОНМ через орган выдержки времени (ОВВ 2) действует на ИЭ.

Таким образом, получается трехступенчатая токовая направленная защита, содержащая два измерительных органа (вместо трех) и отключающая КЗ в пределах защищаемой линии без выдержки времени (т. е. существенное расширение зоны действия ТО).

Исследование технического совершенства предложенной защиты проводилось с использованием компьютерной программы, в основе которой лежит математическая модель распределительной сети 10–35 кВ с двумя источниками питания. Программа позволяет воспроизводить двух- и трехфазные КЗ на защищаемой

линии и на смежных участках (как металлические, так и через переходное сопротивление). Есть возможность задания режима подпитки места КЗ. Получаемые на выходе модели сети вторичные токи и напряжения используются в качестве исходной информации для исследуемой защиты. Указанная информация предварительно обрабатывается аналоговыми и цифровыми элементами измерительного тракта, математическая модель которого включает модели входных преобразователей тока и напряжения, модели аналоговых фильтров нижних частот, модель аналого-цифрового преобразователя и цифровые фильтры, формирующие ортогональные составляющие.

В результате вычислительного эксперимента были получены зависимости, представленные на рис. 2–6.

На рис. 2 показаны зоны мгновенного отключения микропроцессорной токовой направленной защиты в случае ее выполнения обычной и с элементами адаптивности для режимов двух- и трехфазного КЗ. Следует обратить внимание на то, что в рассматриваемой защите зона мгновенного отключения ТО не зависит от режима работы сети и вида КЗ и составляет около 85 % длины защищаемой линии. Это является ее главным преимуществом по сравнению с аналогичными защитами других исполнений. При этом защитой обеспечивается расширение зоны мгновенного отключения при трехфазных КЗ в 1,10 раза, а при двухфазных КЗ в 1,30 раза. Зона действия ТОВ на участке дальнего резервирования увеличивается в 1,10 раза, а ее чувствительность возрастает в 1,15 раза и составляет  $K_{\text{ч}} = 1,50$ .

На рис. 3–6 представлены временные диаграммы вторичных токов ( $i_a, i_b, i_c$ ) и напряжений ( $u_{ab}, u_{bc}, u_{ca}$ ), а также относительные значения их синусных ( $i_s, u_s$ ) и косинусных ( $i_c, u_c$ ) ортогональных составляющих (ОС) при трех- и двухфазных КЗ в начале и в конце защищаемого участка, в начале смежного участка и за «спиной защиты».

Причиной искажения формы вторичных токов в первой стадии переходного процесса является насыщение измерительных трансформаторов тока. Вторичные напряжения не искажаются, но происходит их уменьшение.

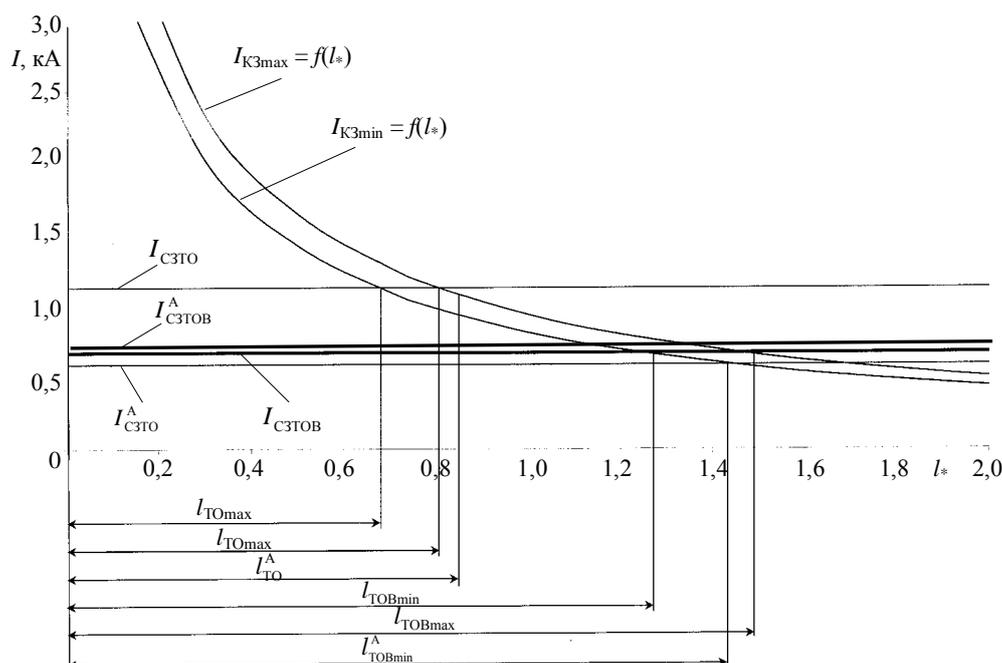


Рис. 2. К определению зоны мгновенного отключения МТНЗ

В ходе аналоговой и цифровой фильтраций форма токов синусной и косинусной ОС приближается к синусоидальной, а их значения изменяются медленнее, чем вторичные токи. Такая же закономерность характерна и для синусной и косинусной ОС напряжений. Объясняется это инерционностью аналоговой и цифровой фильтраций. По этой причине даже после отключения КЗ ОС токов плавно уменьшаются, а напряжений – плавно возрастают до полного восстановления.

На рис. 3ж–6ж показаны характер изменения токов на выходе максиселектора  $I_{\max}$ , моменты срабатывания и возврата ИОТ ТО, ТОВ, МТЗ, а на рис. 3з–6з – состояние ОНМ, моменты срабатывания и возврата ТО, ТОВ, МТЗ. Анализ данных зависимости позволяет говорить о четкой работе ОНМ «по памяти» при близких трехфазных КЗ к месту установки защиты, о надежном возврате ТО, ТОВ, МТЗ в исходное состояние после отключения указанных КЗ, о правильном поведении защиты (селективное отключение КЗ всеми ступенями защиты). К примеру, при КЗ за «спиной защиты» (рис. 6) сработали измерительные органы тока защиты (рис. 6ж), однако не сработал ОНМ, а следовательно, не был подан сигнал на ИЭ и защита не работала (рис. 6з). При КЗ

в пределах защищаемой зоны (рис. 3 и 4) все виды междуфазных повреждений отключаются ТО или ТОВ в зависимости от местоположения точки КЗ. При этом благодаря блоку ОМКЗ удалось существенно расширить зону действия ТО (рис. 2). Анализ зависимостей, представленных на рис. 5, позволяет с уверенностью говорить о селективной работе защиты и выполнении функций дальнего резервирования при КЗ за защищаемым участком.

Также в ходе вычислительного эксперимента были проведены соответствующие исследования при КЗ в рассмотренных выше точках (начало и конец защищаемого участка, начало смежного участка, участок за «спиной защиты») и через переходное сопротивление  $R$ . Сравнительный анализ полученных результатов позволяет говорить о том, что при малых значениях переходного сопротивления характер изменения контролируемых величин почти ничем не отличается от характера изменения контролируемых величин при металлических КЗ. Однако при больших значениях переходного сопротивления в месте КЗ (это касается тех случаев, когда точка КЗ находится в конце защищаемой линии) защита может отключать повреждение с выдержкой времени.

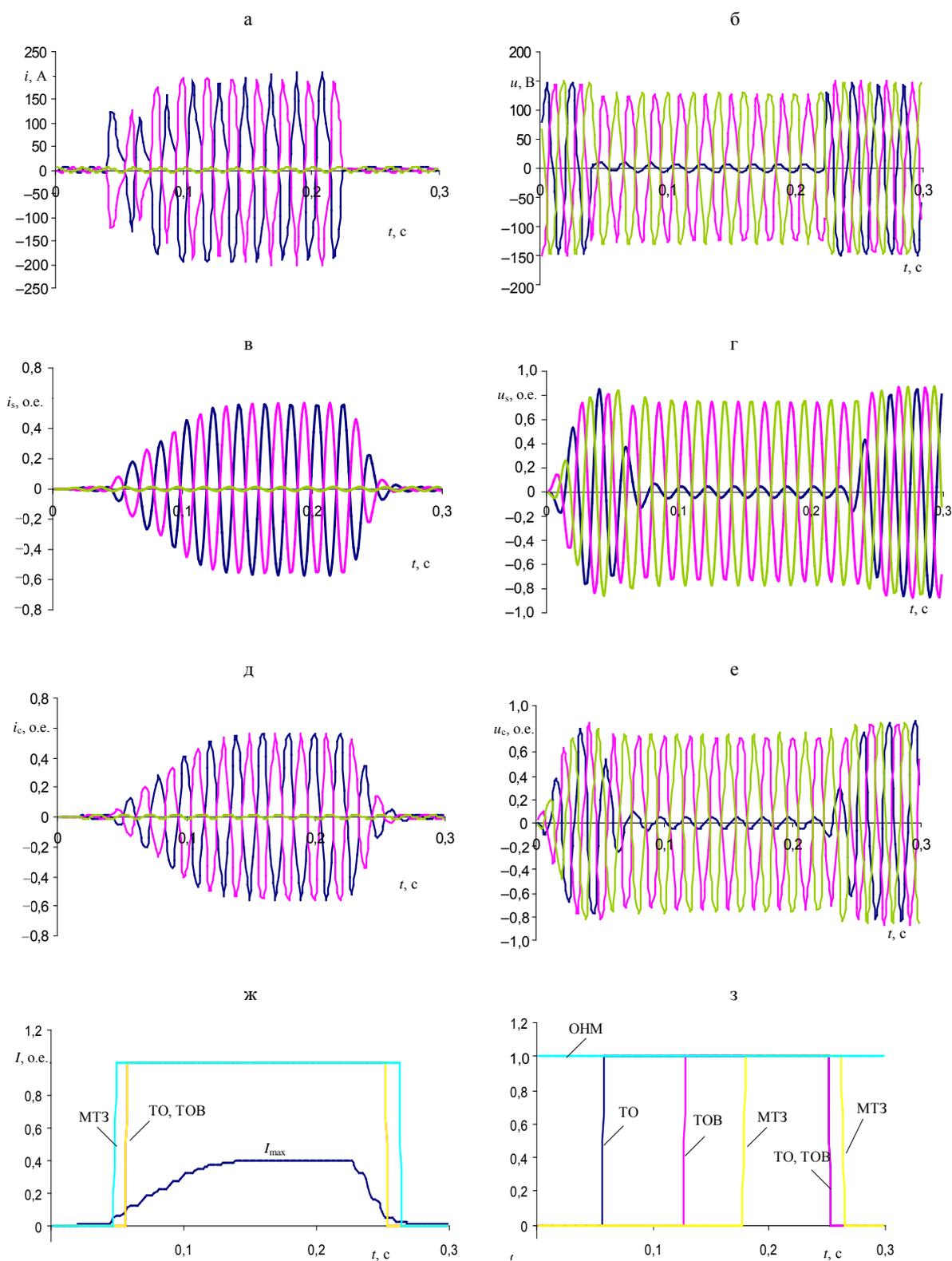


Рис. 3. Временные диаграммы при двухфазном КЗ в начале защищаемой линии и после его отключения: а – вторичных токов; б – вторичных напряжений; в – относительных значений синусных составляющих токов; г – относительных значений синусных составляющих напряжений; д – относительных значений косинусных составляющих токов; е – относительных значений косинусных составляющих напряжений; ж – изменение относительного значения тока на выходе максиселектора, моменты срабатывания и возврата измерительных органов тока TO, TOB, MTZ; з – поведение ОНМ, TO, TOB, MTZ

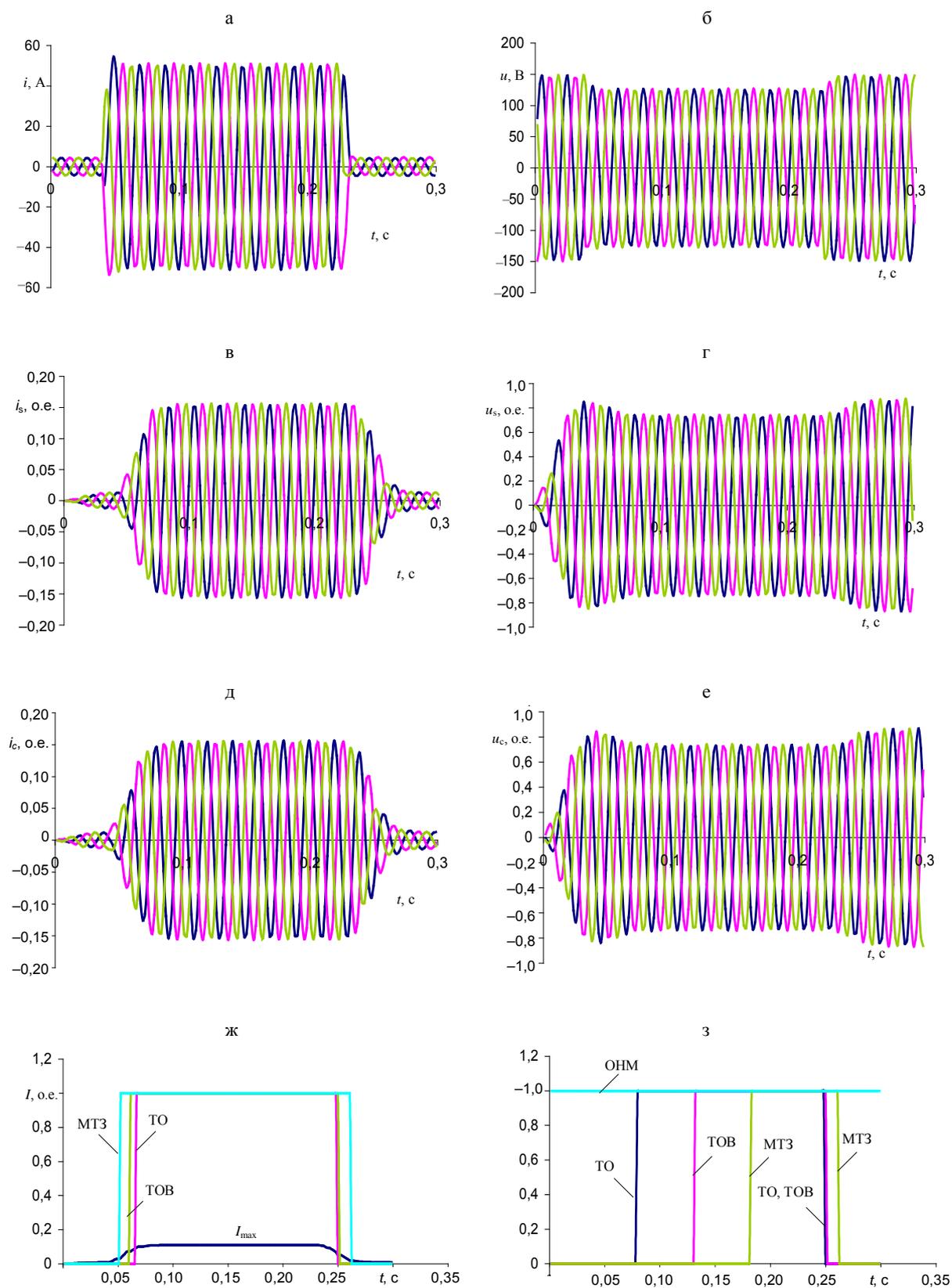


Рис. 4. Временные диаграммы при трехфазном КЗ в конце защищаемой линии и после его отключения (а, б, в, г, д, е, ж, з – то же, что на рис. 3)

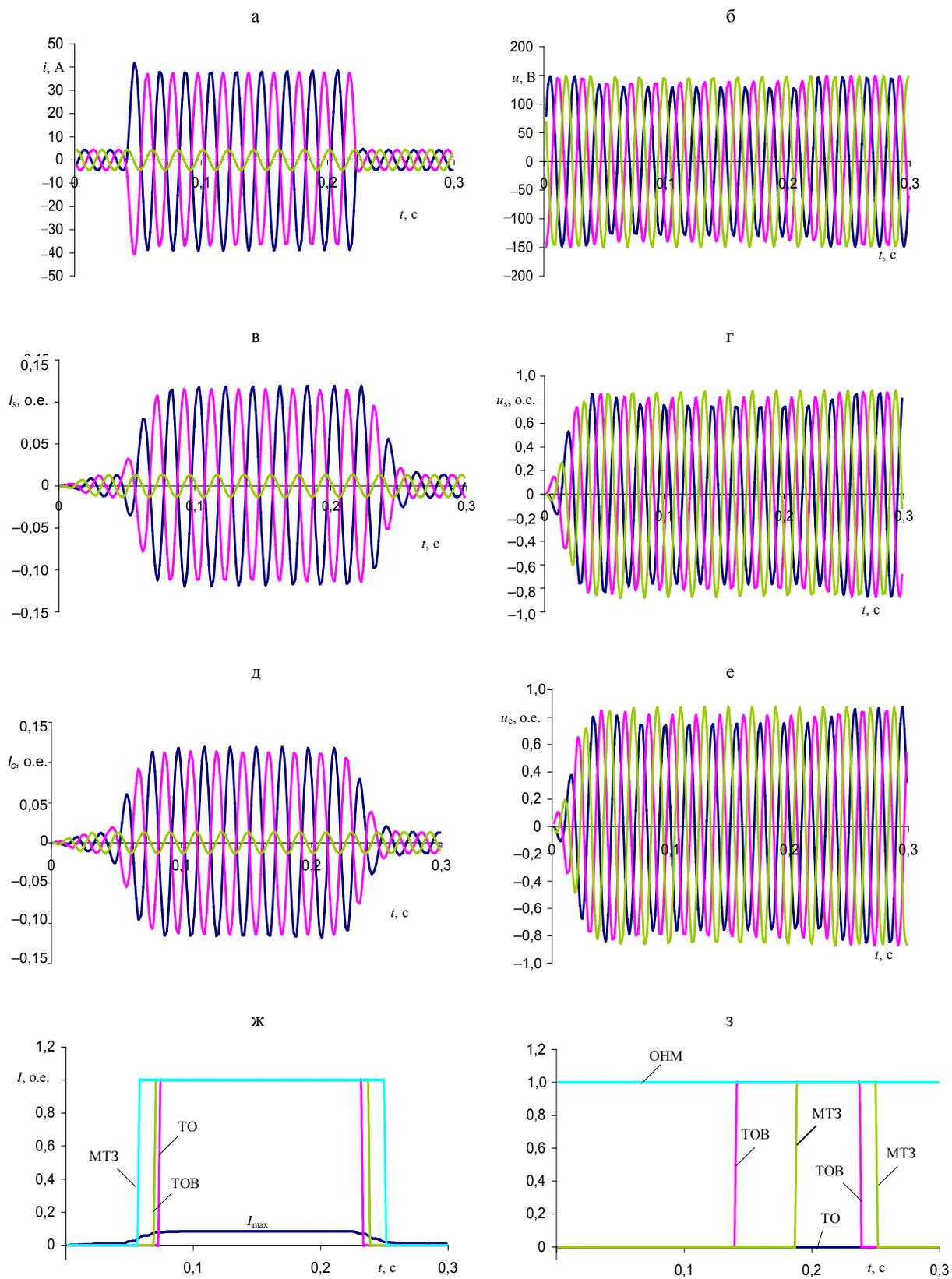


Рис. 5. Временные диаграммы при двухфазном КЗ в начале смежной линии и после его отключения (а, б, в, г, д, е, ж, з – то же, что на рис. 3)

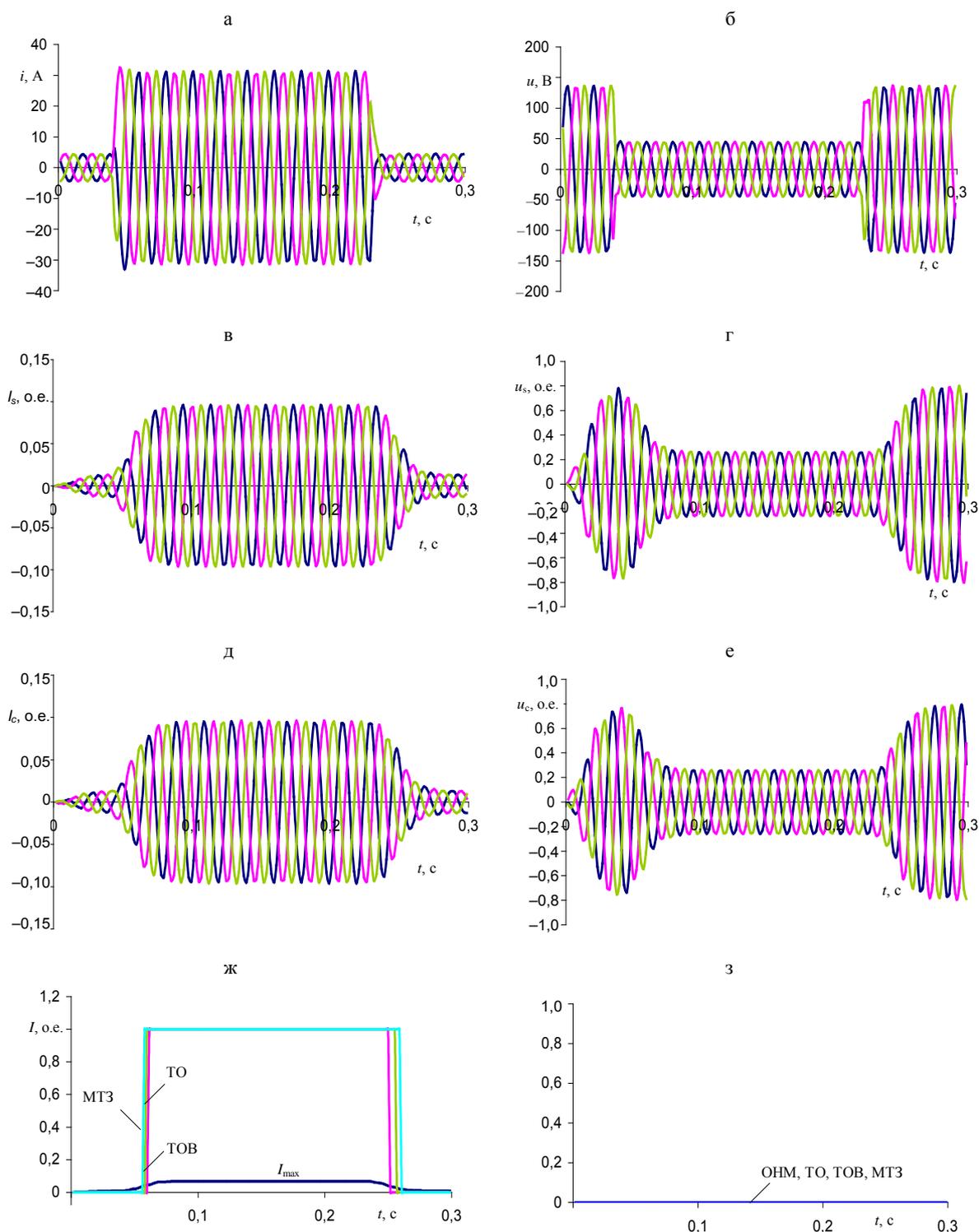


Рис. 6. Временные диаграммы при трехфазном КЗ за «спиной защиты»  
(а, б, в, г, д, е, ж, з – то же, что на рис. 3)

### ВЫВОД

Проведенные методом вычислительного эксперимента исследования показали, что предложенные в основу выполнения микропроцес-

сорной токовой направленной защиты решения обеспечивают достижение более высоких показателей ее технического совершенства по сравнению с существующими защитами аналогичного исполнения, а также селективное действие

и правильное функционирование во всех режимах работы защищаемой линии. При этом зона мгновенного отключения ТО не зависит от режима работы сети, вида КЗ и составляет примерно 85 % длины защищаемой линии. Защита обеспечивает расширение зоны мгновенного отключения при трехфазных КЗ в 1,10 раза, а при двухфазных КЗ в 1,30 раза. Зона действия ТОВ на участке дальнего резервирования увеличивается в 1,10 раза, а ее чувствительность возрастает в 1,15 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Романюк, Ф. А. Принцип выполнения адаптивной микропроцессорной токовой направленной защиты линии / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, О. А. Гурьянчик //

Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2007. – № 4. – С. 5–13.

2. Романюк, Ф. А. Цифровые фильтры для микропроцессорных защит электроустановок / Ф. А. Романюк, О. А. Гурьянчик, А. В. Ковалевский // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2005. – № 5. – С. 17–21.

3. Романюк, Ф. А. Формирование ортогональных составляющих входных величин в микропроцессорных токовых защитах линий распределительных сетей / Ф. А. Романюк, О. А. Гурьянчик // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2009. – № 6. – С. 5–11.

4. Романюк, Ф. А. Определение места короткого замыкания на линиях распределительных сетей в объеме функций микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А. А. Тишечкин, О. А. Гурьянчик // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2010. – № 6. – С. 5–14.

Поступила 07.07.2011

УДК 338.45:620.9

## СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ

*Докт. техн. наук, проф. КОВАЛЕВ Я. Н., докт. экон. наук, проф. ПАДАЛКО Л. П., инж. КАРЕНСКАЯ О. В.*

*Белорусский национальный технический университет*

Строительство объектов придорожного сервиса позволяет увеличить количественный и качественный уровень услуг, оказываемых пользователям автомобильных дорог, поступления в государственный бюджет и повышает транзитные возможности автомобильных дорог Республики Беларусь. Как известно, одними из крупных потребителей электроэнергии являются объекты придорожного сервиса. Беларусь не располагает значительными собственными топливно-энергетическими ресурсами. В связи с этим для нашего государства чрезвычайно важно включать в топливно-энергетический баланс вторичные энергоресурсы и возобновляемые источники энергии, одним из которых является ветер. Следует учитывать, что ветроэнергетическая отрасль за счет каждой ветроэнергети-

ческой установки (ВЭУ) начинает вырабатывать энергию немедленно после монтажа, осуществляя прямое преобразование кинетической энергии ветра в электрическую, и при этом не требует больших единовременных капитальных вложений. Величина мощности ВЭУ, устанавливаемой у сервисной станции автомобильной дороги, будет зависеть от электрической нагрузки потребителя электроэнергии, среднегодовой скорости ветра, высоты мачты. Экономическая эффективность сооружения ВЭУ определяется на основе сопоставления инвестиционных затрат в нее с достигаемым экономическим эффектом. Методика определения эффекта зависит от выбранного способа резервирования. Так как ветер непостоянен, а потребитель в течение 24 ч нуждается в энергии,