

УДК 621.316.925.1

Владимир Юрьевич Вуколов

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики, электроснабжения и силовой электроники, Россия, Нижний Новгород, телефон (831) 436-23-04, e-mail: Vvucolov@mail.ru

Антон Александрович Петров

АО «Научно-исследовательское предприятие общего машиностроения», руководитель отдела разработки РЗА, Россия, Нижний Новгород, e-mail: petrov85@inbox.ru

Сергей Николаевич Юртаев

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики, электроснабжения и силовой электроники, Россия, Нижний Новгород, телефон (831) 436-23-04, e-mail: iurtaev@nntu.ru

Рустам Шамилевич Бедретдинов

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики, электроснабжения и силовой электроники, Россия, Нижний Новгород, телефон (831) 432-91-85, e-mail: rsb88@yandex.ru

Разработка универсального алгоритма выявления неисправностей цепей напряжения микропроцессорных устройств защиты и автоматики

Авторское резюме

Состояние вопроса. Надежность, наряду с быстродействием, чувствительностью и селективностью, является основным требованием к устройствам релейной защиты. Под надежностью современных цифровых терминалов релейной защиты понимается срабатывание защиты при всех расчетных видах повреждений и несрабатывание во всех остальных режимах, при которых действие данной защиты не предусмотрено. Анализ схем организации вторичного напряжения и алгоритмов выявления неисправностей в данных цепях выявили ряд недостатков реализации блокировки при неисправностях в цепях напряжения. Все существующие алгоритмы и схемы блокировок при неисправностях в цепях напряжения имеют ряд недостатков. В связи с этим актуальным является разработка универсального терминала релейной защиты, который возможно использовать с любыми типами трансформаторов напряжения.

Материалы и методы. Для моделирования основных повреждений вторичных цепей для схем подключения нагрузки трансформаторов напряжения на фазные и линейные напряжения используется имитационное моделирование в пакете MatLAB Simulink.

Результаты. Предложен алгоритм, позволяющий создать типовой универсальный терминал релейной защиты, который возможно использовать с любыми типами трансформаторов напряжения. Для выявления обрыва нулевого провода цепей «звезды» предлагается создать искусственную несимметрию на входных цепях напряжения терминала РЗА с разработкой группы пусковых органов, анализирующих положение смещенной нейтрали на комплексной плоскости напряжений. С использованием имитационной модели различных видов повреждений вторичных цепей трансформаторов напряжения и логической схемы блока, реализующего предложенный алгоритм, графически показано, что выявление обрыва нулевого провода возможно за счет контроля скачка напряжения нулевой последовательности (срабатывание импульсного пускового органа dU_0) со смещением нейтрали в область комплексной плоскости, задаваемую уставками.

Выводы. Использование полученных результатов позволит реализовать универсальную схему блокировки при неисправностях в цепях напряжения, не зависящую от способа подключения вторичной нагрузки трансформаторов напряжения и исключающую недостатки существующих решений. Предложенный алгоритм позволяет создать типовой универсальный терминал РЗА, схема подключения и функционально-логическое исполнение которого позволяют без перепрограммирования использовать данный терминал с любыми типами трансформаторов напряжения. Данный алгоритм полностью соответствует требованиям действующих нормативно-правовых документов.

Ключевые слова: микропроцессорная релейная защита, неисправность цепей напряжения, блокировка срабатывания защит

Vladimir Yurievich Vukolov

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Candidate of Engineering Sciences, (PhD), Associate Professor of Electrical Power Engineering, Power Supply and Power Electronics Department, Russia, Nizhny Novgorod, telephone (831) 436-23-04, e-mail: Vvucolov@mail.ru

Anton Aleksandrovich Petrov

JSC NIPOM, Head of Relay Protection and Automation, Development Department, Russia, Nizhny Novgorod, e-mail: petrov85@inbox.ru

Sergej Nikolaevich Yurtaev

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Candidate of Engineering Sciences, (PhD), Associate Professor of Electrical Power Engineering, Power Supply and Power Electronics Department, Russia, Nizhny Novgorod, telephone (831) 436-23-04, e-mail: iurtaev@ntu.ru

Rustam Shamilevich Bedretdinov

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Candidate of Engineering Sciences, (PhD), Associate Professor of Electrical Power Engineering, Power Supply and Power Electronics Department, Russia, Nizhny Novgorod, telephone (831) 432-91-85, e-mail: rsb88@yandex.ru

Development of universal algorithm of voltage circuits detecting faults of microprocessor protection and automation devices

Abstract

Background. Reliability, along with response speed, sensitivity, and selectivity, is the key requirement for relay protection (RP) devices. The reliability of modern RP digital terminals is understood as protection operation for all estimated failure modes and failure of protection equipment to operate in all other modes, in which this protection is not provided. Analysis of the secondary voltage schemes and algorithms of detecting faults in these circuits reveals several disadvantages of the implementation of blocking in case of faults in voltage circuits. All existing algorithms and blocking schemes in case of faults in voltage circuits suffer from several disadvantages. In this regard, it is relevant to develop a universal relay protection terminal, which can be used with any types of voltage transformers.

Materials and methods. The MatLAB Simulink is used to simulate the primary failure of secondary circuits for the connection schemes of the voltage transformer load on phase and electric line voltages.

Results. The authors propose the algorithm that allows us to create a typical universal RP terminal, which can be used with any type of voltage transformers. To detect the neutral conductor interruption of the «star» circuits, it is proposed to create an artificial asymmetry at the input voltage circuits of the relay protection and automation (RPA) terminal and develop a group of fault detectors that analyze the position of the offset neutral on the voltage complex plane. Using a simulation model of various types of failure of voltage transformer secondary circuits and the logic diagram of the unit that implements the proposed algorithm, the authors graphically show that the detection of a break in the neutral wire is possible due to monitoring the zero-sequence voltage spike (triggering of the pulsed dU_0 fault detector) with neutral displacement to the complex plane area, which is set by the setpoints.

Conclusions. The results obtained allow us to implement a universal scheme of blocking faults in voltage circuits. This scheme does not depend on the voltage transformer secondary load connection method and exclude the disadvantages of existing solutions discussed in the article. This algorithm allows us to develop a typical universal RPA terminal. Due to its connection scheme and functional and logical implementation, this terminal can be used with any types of voltage transformer without reprogramming. Also, the proposed algorithm fully complies with the requirements of the current regulatory and legal documents.

Key words: microprocessor relay protection, voltage circuit failure, protection operation blocking

DOI: 10.17588/2072-2672.2021.3.033-041

Анализ основных видов повреждения цепей напряжения микропроцессорных терминалов РЗА. Наиболее распространенными видами повреждений вторичных цепей трансформатора напряжения (ТН) являются короткие замыкания (КЗ) и обрывы. КЗ сопровождаются резким увеличением тока, поэтому для защиты ТН устанавливаются предохранители или автома-

тические выключатели, разрывающие цепь при возникновении повышенных токов. Нарушение вторичных цепей при перегорании предохранителя или срабатывании автоматического выключателя по своим характеристикам аналогично обрыву соответствующих фаз вторичной обмотки ТН. Такой режим приводит к искажению значения и фазы вторичного напряжения и, как след-

ствии, неправильной работе РЗ. На повреждения во вторичных цепях напряжения должно реагировать устройство БНН, подавая сигнал о неисправности и блокируя срабатывание защит, использующих информацию от измерительных органов напряжения.

Для создания работоспособных и быстродействующих алгоритмов БНН необходимо исследовать зависимость величины вторичных напряжений (поступающих на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) терминала РЗА) от схемы подключения вторичной нагрузки к ТН и вида повреждения в его вторичных цепях. Рассматриваются два основных варианта – подключение вторичной нагрузки на три фазных (U_A , U_B , U_C) или два линейных (U_{AB} и U_{BC}) напряжения [1, 2]. В последнем случае напряжение U_{AC} определяется расчетным путем, поэтому для корректной работы терминала РЗА необходимо обязательное использование измеренного значения напряжения нулевой последовательности $3U_0$. В схеме БНН с подключением нагрузки на фазные напряжения может использоваться расчетное значение $3U_0$.

Имитационное моделирование основных повреждений вторичных цепей для схем подключения нагрузки ТН на фазные и линейные напряжения производится в пакете *MatLAB* (рис. 1). Для проведения опыта используются элементы *Breaker*, установленные последовательно в каждой из фаз *A*, *B* и *C*. Интервал времени обрыва фазы установлен от 0,1 до 0,3 секунд, время работы цепи 0,4 секунды. Для обоих вариантов подключения вторичной нагрузки к ТН рассматриваются обрывы одной, двух и трех фаз.

При трехфазном повреждении, независимо от способа подключения нагрузки, напряжения всех фаз становятся близкими к нулю, составляя не более 5 % от начального значения напряжения вторичной обмотки ТН. Обрыв двух фаз в обоих рассмотренных случаях также приводит к глубокой просадке всех трех напряжений, максимальное из которых по величине не превосходит 15 % от номинального (им будет напряжение неповрежденной фазы).

Ключевые отличия двух вариантов подключения нагрузки проявляются при анализе однофазных повреждений. Повреждение каждой из фаз при подключении вторичной нагрузки в звезду вызывает глубокую просадку напряжения фазы, в которой произошел обрыв (не более 10 % от

номинального). Одновременно напряжения двух неповрежденных фаз незначительно снижаются, составляя не менее 90 % от своего начального значения.

В схеме подключения нагрузки на линейные напряжения характеристические признаки однофазных повреждений зависят от того, какая фаза была повреждена. При обрыве любой из крайних фаз (*A* или *C*), одно из измеряемых линейных напряжений снижается практически до нуля (U_{AB} или U_{BC}), а второе практически не изменяется по отношению к номинальному значению. Совершенно иная картина наблюдается при обрыве средней фазы *B*. Линейное напряжение U_{AC} остается практически неизменным, в то время как напряжения U_{AB} и U_{BC} снижаются в два раза от своего начального значения.

Характерной особенностью режима включения нагрузки на линейные напряжения для всех рассмотренных видов повреждений при равенстве сопротивлений вторичной цепи петель фаз *AB* и фаз *BC* ($Z_{AB} = Z_{BC}$) является равенство линейного напряжения U_{AC} векторной сумме напряжений U_{AB} и U_{BC} .

Полученные результаты моделирования полностью соответствуют результатам ранее проводимого экспериментального исследования [1], что говорит об адекватности модели и возможности ее дальнейшего использования для тестирования разрабатываемых схем БНН.

Исследование существующих алгоритмов выявления повреждений вторичных цепей ТН. Одним из простейших способов защиты вторичных цепей ТН является применение отдельных устройств блокировки при нарушениях в цепях напряжения типа КРБ. Их преимуществами являются простота и возможность совместного использования как с микропроцессорными, так и с электромеханическими защитами любых производителей. Однако КРБ принципиально несовершенны, поскольку для их действия требуется питание от поврежденных цепей ТН даже после отключения защищающих их аппаратов [1, 3], и не способны обеспечить высокое быстродействие.

Для исправления указанных недостатков схемы блокировок приходится значительно усложнять, что приводит к увеличению вариантов реализации БНН со стороны различных производителей РЗА.

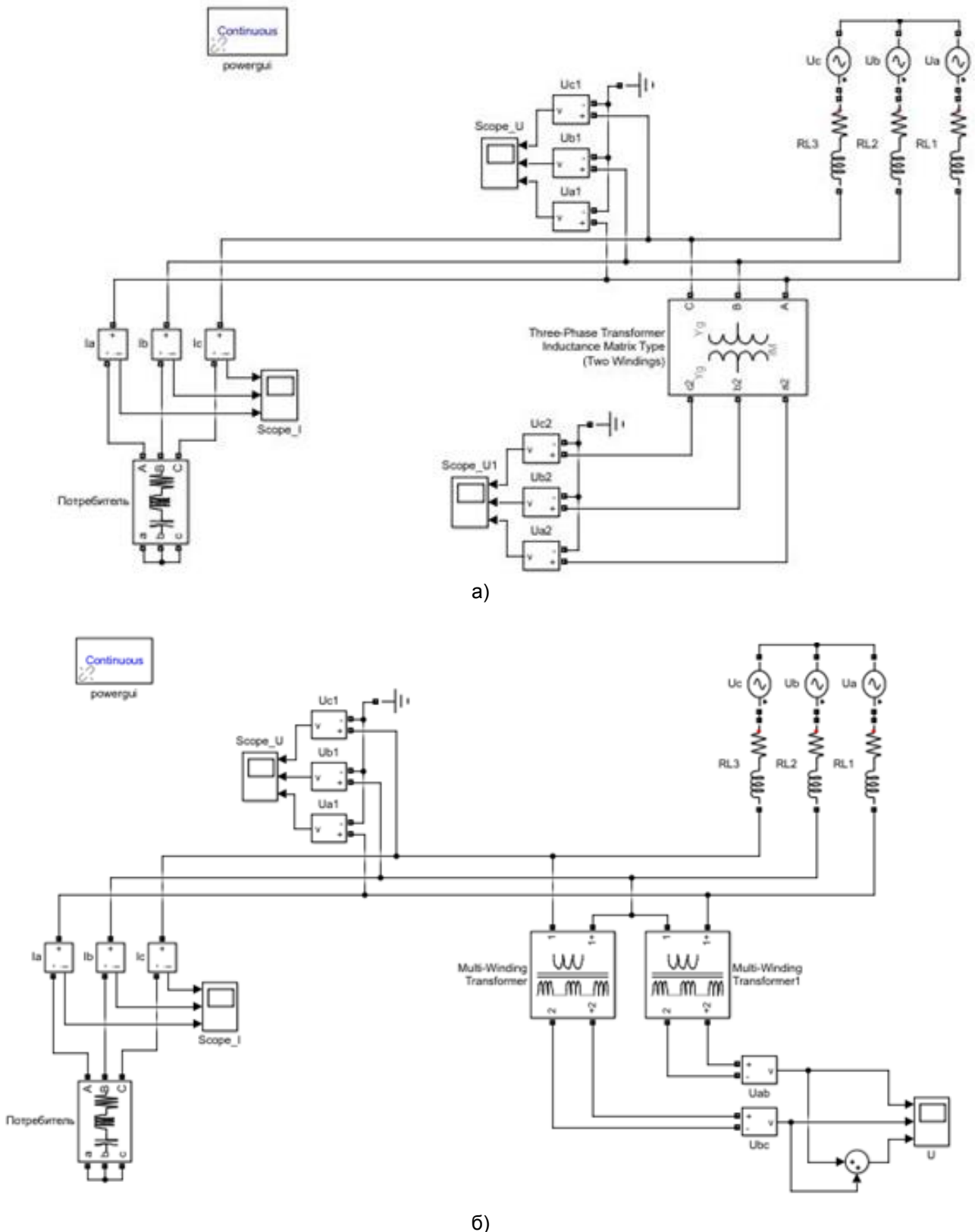


Рис. 1. Схема сети 10 кВ для моделирования различных видов повреждений вторичных цепей ТН при подключении нагрузки на фазные (а) и линейные (б) напряжения

Можно выделить следующие принципиально различные алгоритмы БНН:

– анализ характеристических признаков различных видов повреждений в цепях БНН;

– сравнение векторных сумм напряжений на обмотках ТН, соединенных в звезду и разомкнутый треугольник.

Основным недостатком первого варианта БНН является зависимость характе-

ристических признаков повреждений вторичных цепей ТН от способа подключения терминала РЗА. Данная проблема наглядно иллюстрируется на примере терминала БМРЗ-152-КСЗ-01 (производитель НТЦ «Механотроника»), предназначенного для подключения на линейные напряжения U_{AB} и U_{BC} . В логической схеме БНН характеристическим признаком обрыва одной фазы является примерное равенство напряжений прямой и обратной последовательностей одновременно с выполнением одного из следующих соотношений:

– напряжение U_{AB} отсутствует, а напряжение U_{BC} находится в диапазоне от 90 до 110 В;

– напряжение U_{BC} отсутствует, а напряжение U_{AB} находится в диапазоне от 90 до 110 В;

– напряжения U_{AB} и U_{BC} находятся в диапазоне от 45 до 55 В.

Выполнение этих соотношений справедливо для случая подключения вторичной нагрузки ТН на линейные напряжения, в то время как при подключении на фазные напряжения алгоритм работать не будет. Это обстоятельство значительно снижает универсальность применения терминалов РЗА с аналогичными алгоритмами БНН и ставит корректность их работы в зависимость от схемы подключения и настройки каналов АЦП. Несрабатывание БНН в таком случае приведет к ложному пуску защит при повреждении вторичных цепей ТН и отключению выключателей отходящих присоединений, тем самым значительно снижая надежность электроснабжения потребителей. Такая ситуация усугубляется длительным временем распознавания причин отключения ввиду невозможности их определения по сигналам срабатывания защит на терминале. Пусковые органы напряжения любой РЗ воспринимают режим повреждения одной фазы вторичной цепи ТН как отсутствие напряжения на соответствующей фазе первичной обмотки. Поэтому для определения истинных причин отключения потребуются детальный анализ осциллограмм токов и напряжений предшествующего отключению и последующего режимов сети.

Второй вариант алгоритма БНН требует усложнения конструктивного исполнения терминала РЗА. Возрастает количество аналоговых входов за счет подключения двух дополнительных выводов от ТН, что приводит к увеличению массогабаритных

размеров терминала и повышению нагрузки на вычислительный процессор. Такие терминалы РЗА получаются более дорогими, поэтому алгоритм БНН, основанный на сравнении векторных сумм напряжений, используется в устройствах РЗ электрических сетей номинальным напряжением 110 кВ и выше, например в терминале БЭ2704V013 производителя ЭКРА.

Еще одним недостатком такой схемы БНН является возможная неселективность алгоритма. Она объясняется тем, что в нормальном режиме идет постоянное сравнение векторов напряжений одноименных фаз звезды и треугольника [4]. Для защиты вторичных цепей со стороны обмотки ТН, соединенной в звезду, используются либо предохранители, либо автоматические выключатели. При защите цепей напряжения предохранителями при какой-либо неисправности время сгорания предохранителя может быть больше времени срабатывания первой ступени дистанционной защиты, что приводит к ложному отключению потребителей.

Таким образом, возникает необходимость разработки для современных микропроцессорных устройств РЗА универсальной схемы БНН, не зависящей от способа подключения вторичной нагрузки ТН и исключающей вышеперечисленные недостатки существующих решений. Разработанный усовершенствованный алгоритм БНН должен соответствовать следующим техническим требованиям:

1) контроль понижения или исчезновения напряжений обмотки «звезда» и обмотки «разомкнутый треугольник»;

2) возврат БНН при восстановлении напряжения цепей ТН;

3) время срабатывания БНН меньше, чем собственное время срабатывания пусковых органов дистанционной защиты (время возврата, наоборот, больше);

4) исключение работы БНН в защитах сети 6–35 кВ при однофазных замыканиях на землю;

5) наличие органа контроля тока для разделения режима неисправности цепей напряжения и режима КЗ;

6) отсутствие возврата БНН при переходе несимметричных повреждений цепей ТН в симметричные, а также при отключении цепей ТН после неудачной попытки восстановления напряжения.

Совершенствование алгоритмов БНН для микропроцессорных терминалов РЗА 6–35 кВ. Опыт эксплуатации показывает, что смещение нейтрали и появление напряжения $3U_0$ в сетях 6–35 кВ вероятно даже при отсутствии в них повреждений. Такой режим не является нормальным для сети, в то же время по причине отсутствия повреждений в цепях напряжения устройство БНН реагировать на него не должно. Простейшим способом развития алгоритмов БНН является исключение критерия проверки $3U_0$ в цепях вторичного напряжения для подхода, основанного на контроле возмущений в цепях напряжения и тока.

В этом случае целесообразно реализовать в устройстве РЗА одновременную работу двух подходов к выявлению повреждений в цепях ТН.

1. Сравнение напряжений $3U_0$, одно из которых измеряется на зажимах «разомкнутого треугольника», другое вычисляется векторным сложением фазных напряжений «звезды». Данный подход повторяет принцип, реализованный в реле КРБ-12 [7], что позволяет выявлять значительное количество повреждений фаз вторичных цепей. Очевидно, что при реализации данного подхода терминал РЗА требует подключения ко всем вторичным цепям ТН (рис. 2,г). Его серьезным недостатком является принципиальная невозможность выявления повреждений в первичных цепях измерительного ТН.

2. Контроль возмущений в цепях напряжения при отсутствии таковых в цепях тока. Одним из условий срабатывания блокировки является появление в цепях напряжения несимметрии (напряжений обратной или нулевой последовательностей) при сохранении симметричного состояния токовых цепей [5, 6]. Вторым условием является пропадание напряжения на всех трех фазах при отсутствии кратковременной несимметрии в цепях тока, которая появляется даже в условиях симметричного трехфазного металлического короткого замыкания [7, 8].

Такой способ организации БНН позволит выявить все повреждения в цепях ТН при условии использования схемы подключения терминала в соответствии с рис. 2,г. Стоит отметить, что применение подхода БНН, сравнивающего измеренное и вычисленное значения $3U_0$, возможно

только при данной схеме организации вторичных цепей.

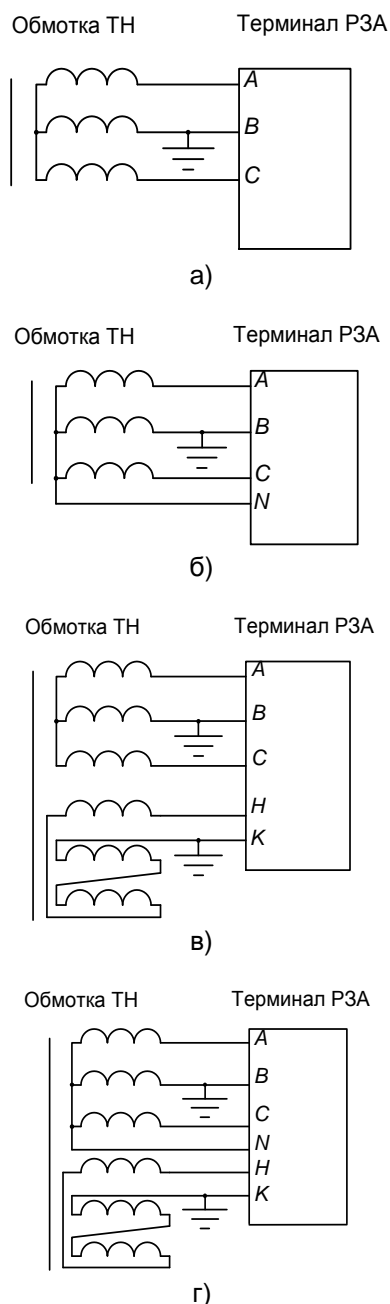


Рис. 2. Подключение терминала РЗА к вторичным цепям напряжения: а – фазы А, В, С; б – фазы А, В, С с нулевым проводником N; в – фазы А, В, С и цепи разомкнутого треугольника Н, К; г – фазы А, В, С с нулевым проводником N и цепями разомкнутого треугольника Н, К

Применение схемы цепей вторичного напряжения, соответствующей рис. 2,б, в которой выводы обмотки «разомкнутого треугольника» не используются, требует доработки. Подключение несимметричной системы резисторов, создающей смещение нейтрали при обрыве нулевого провода, приведет к появлению напряжения ну-

левой последовательности. Причем, в силу симметрии самих аналоговых входов, величина смещения нейтрали при обрыве нулевого провода будет определяться параметрами резисторов и осуществляться во вполне определенную точку на векторной диаграмме напряжений. Это обстоятельство можно использовать для выявления повреждений нулевого провода в цепях «звезды». Логическая схема блока, реализующего данное предложение, приведена на рис. 3. Выявление обрыва нулевого провода будет осуществляться при скачке напряжения $3U_0$ (срабатывание импульсного пускового органа dU_0) со смещением нейтрали в область комплексной плоскости, задаваемую уставками (срабатывание пускового органа U_n'), при этом изменения симметричных составляющих тока должны отсутствовать (отсутствие срабатывания импульсных пусковых органов dl_1, dl_2, dl_0). Возврат алгоритма осуществляется при покидании точкой смещенной нейтрали заданной области (возврат пускового органа U_n'). Работа алгоритма представлена на рис. 4, 5.

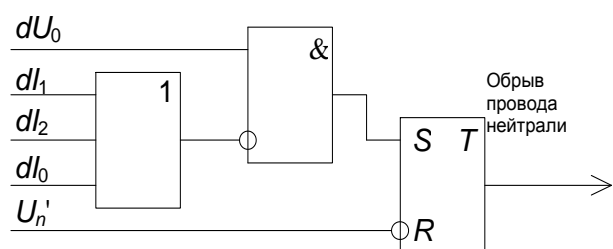


Рис. 3. Выявление обрыва нулевого провода в цепях «звезды» ТН: dU_0 – пусковой орган по изменению напряжения нулевой последовательности; dl_1, dl_2, dl_0 – пусковые органы по изменению тока соответствующих последовательностей; U_n' – пусковой орган вычисления смещения нейтрали в точку, определяемую комплектом несимметричных сопротивлений

Применение схемы цепей вторичного напряжения, соответствующей рис. 2,в, с использованием обмотки «разомкнутого треугольника» для получения значений $3U_0$ нецелесообразно в связи с необходимостью дополнительного контроля состояния его цепей.

Использование схемы, соответствующей рис. 2,а, не требует доработок, но имеет ограничение на применение, поскольку не позволяет получить напряжение нулевой последовательности.

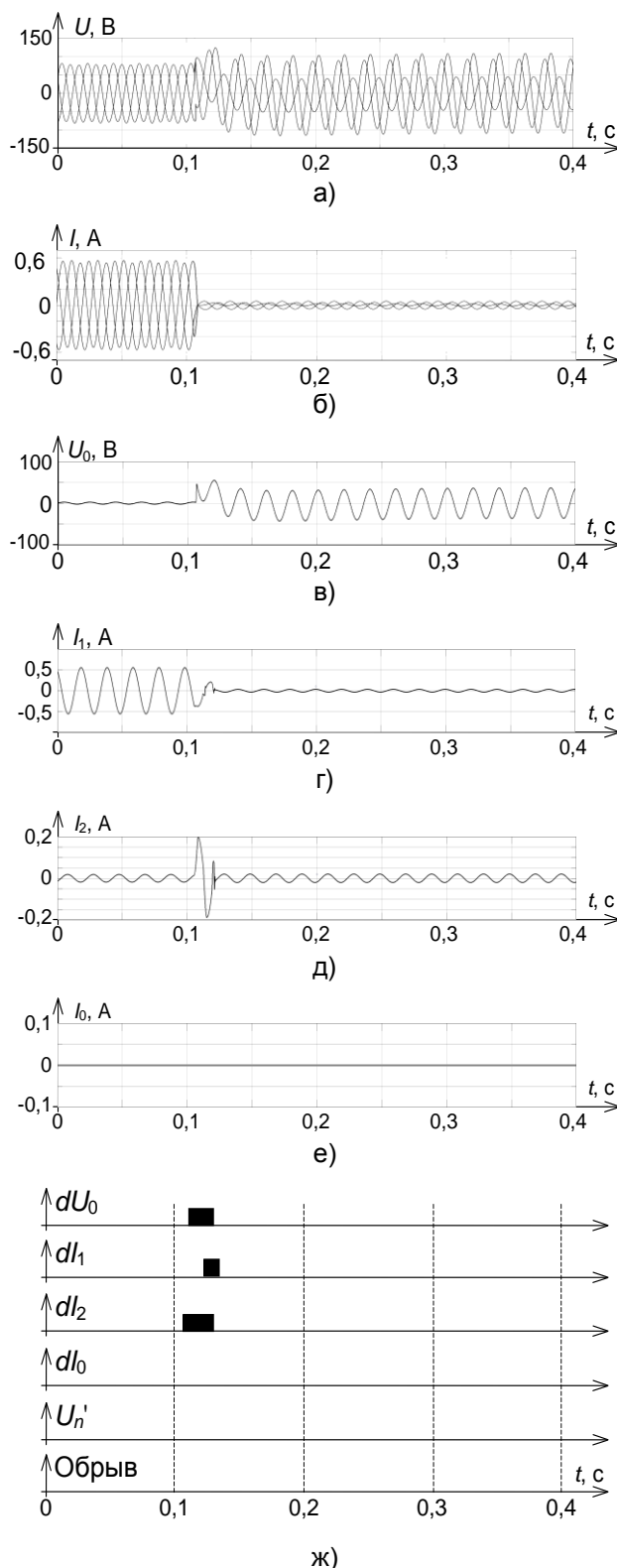


Рис. 4. Реакция алгоритма на смещение нейтрали высоковольтной сети в режиме холостого хода: а – вторичные напряжения; б – вторичные токи; в – напряжение нулевой последовательности; г – ток прямой последовательности; д – ток обратной последовательности; е – ток нулевой последовательности; ж – логика работы

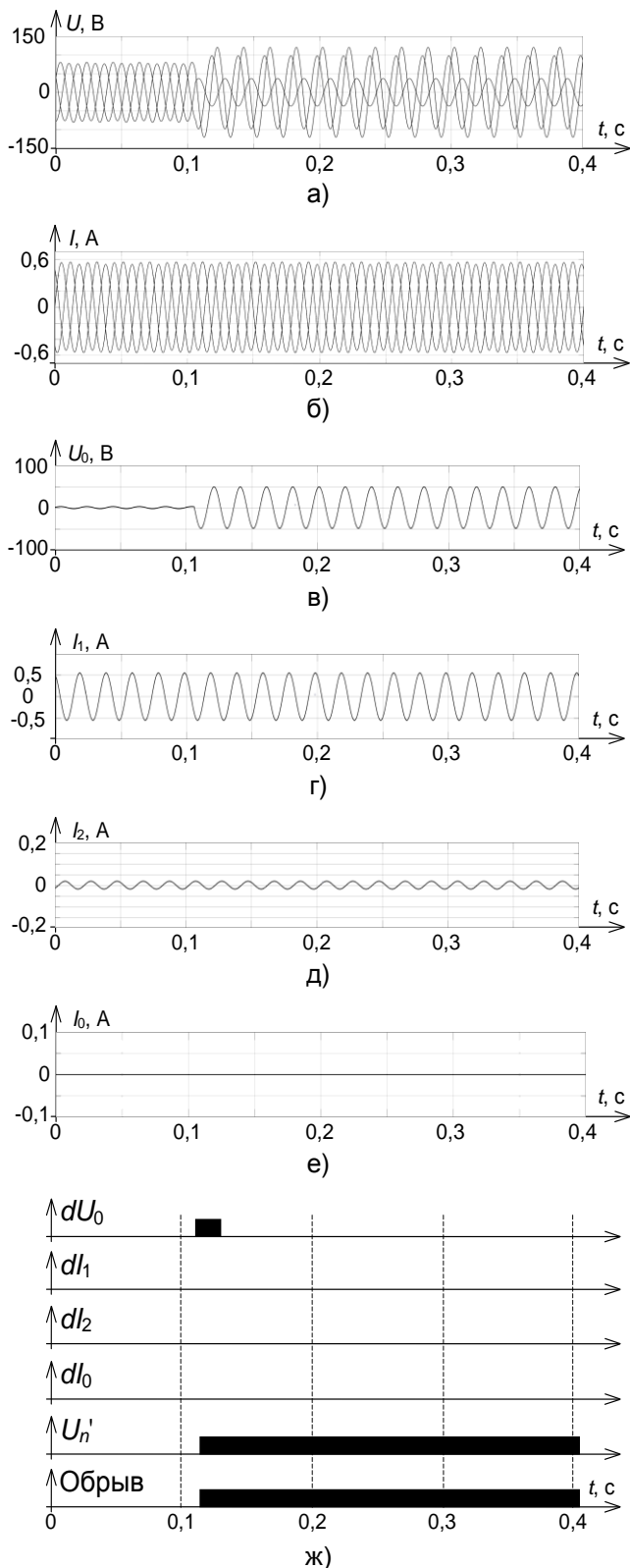


Рис. 5. Реакция алгоритма на обрыв нулевого провода во вторичных цепях «звезды»: а – вторичные напряжения; б – вторичные токи; в – напряжение нулевой последовательности; г – ток прямой последовательности; д – ток обратной последовательности; е – ток нулевой последовательности; ж – логика работы

Выводы. Все существующие алгоритмы и схемы блокировок при неисправ-

ностях в цепях напряжения имеют ряд недостатков. С использованием имитационной модели различных видов поврежденной вторичных цепей ТН и логической схемы блока, реализующего предложенный алгоритм, графически показано, что выявление обрыва нулевого провода возможно за счет контроля скачка напряжения нулевой последовательности (срабатывание импульсного пускового органа dU_0) со смещением нейтрали в область комплексной плоскости, задаваемую уставками. Данный алгоритм позволяет создать типовой универсальный терминал РЗА, схема подключения и функционально-логическое исполнение которого позволяют без перепрограммирования использовать данный терминал с любыми типами ТН. Предложенный алгоритм полностью соответствует требованиям действующих нормативно-правовых документов¹¹.

Список литературы

1. **Вавин В.Н.** Трансформаторы напряжения и их вторичные цепи. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1977. – 104 с.
2. **Чернобровов Н.В., Семенов В.А.** Релейная защита энергетических систем: учеб. пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
3. **Нагай В.И.** Релейная защита ответственных подстанций электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 312 с.
4. **Степанов Ю.А., Степанов Д.Ю.** Совершенствование релейной защиты на примерах построения векторных диаграмм. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 128 с.
5. **Нагай И.В.** О совершенствовании защит от неполнофазных режимов электрических сетей // Изв. вузов. Электромеханика. – 2011. – № 1. – С. 63–66.
6. **Удрис А.П.** Релейная защита воздушных линий 110–220 кВ типа ЭПЗ-1636. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 141 с.
7. **Кокоулин Д.Н., Шуин В.А.** Исследование алгоритма устройства блокировки релейной защиты при качаниях // Вестник ИГЭУ. – 2012. – Вып. 3. – С. 18–22.
8. **Наумов В.** Работа терминалов «REL-511» и «REL-670» при неисправности цепей переменного напряжения // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2015. – № 2(29). – С. 94–98.

¹¹ СТО 56947007-29.120.70.241-2017. Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА. Утвержден и введен в действие приказом ПАО «ФСК ЕЭС» от 28.02.2017 № 82.

References

1. Vavin, V.N. *Transformatory napryazheniya i ikh vtorichnye tsepi* [Voltage transformers and their secondary circuits]. Moscow: Energiya, 1977. 104 p.

2. Chernobrovov, N.V., Semenov, V.A. *Releynaya zashchita energeticheskikh system* [Relay protection of power systems]. Moscow: Energoatomizdat, 1998. 800 p.

3. Nagay, V.I. *Releynaya zashchita otvetitel'nykh podstantsiy elektricheskikh setey* [Relay protection of branch substations of electrical networks]. Moscow: Energoatomizdat, 2002. 312 p.

4. Stepanov, Yu.A., Stepanov, D.Yu. *Sovershenstvovanie releynoy zashchity na primerakh postroyeniya vektornykh diagramm* [Improving relay protection using vector diagrams as examples]. Moscow: Energoatomizdat, 1999. 128 p.

5. Nagay, I.V. O sovershenstvovanii zashchit ot nepolnofaznykh rezhimov elektricheskikh

setey [On improving protection against incomplete-phase modes of electrical networks]. *Izvestiya vuzov. Elektromekhanika*, 2011, no. 1, pp. 63–66.

6. Udris, A.P. *Releynaya zashchita vozdukhnykh liniy 110–220 kV tipa EPZ-1636* [Relay protection of overhead lines of 110–220 kV EPZ-1636 type]. Moscow: Energoatomizdat, 1988. 141 p.

7. Kokoulin, D.N., Shuin, V.A. Issledovanie algoritma ustroystva blokirovki releynoy zashchity pri kachaniyakh [Investigation of algorithm of blocking device for relay protection during swinging]. *Vestnik IGEU*, 2012, issue 3, pp. 18–22.

8. Naumov, V. Rabota terminalov «REL-511» i «REL-670» pri neispravnosti tsepey pe-remennogo napryazheniya [Operation of “REL-511” and “REL-670” terminals in case of malfunction of AC voltage circuits]. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie*, 2015, no. 2(29), pp. 94–98.