



Авторы:

к.т.н. Дони Н.А.,
Кошельков И.А.
ООО НПП «ЭКРА»,
Шалимов А.С.
ООО «НПП «Динамика»,
г. Чебоксары, Россия.

Ph.D. Doni N.,
Koshelkov I.,
EKRA Ltd.,
Shalimov A.,
SPE «Dynamics»,
Cheboksary, Russia.

ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЙ ВСТРОЕННОЙ БЛОКИРОВКИ ПРИ НЕИСПРАВНОСТЯХ В ЦЕПЯХ НАПРЯЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ IEC 61850-9-2LE

FEATURES OF TESTING EMBEDDED LOSS-OF-POTENTIAL FUNCTION OF STAND-ALONE MERGING UNIT IEC 61850-9-2LE

Аннотация: рассмотрены особенности проверки встроенной в преобразователь аналоговых сигналов IEC 61850-9-2LE функции блокировки при неисправностях в цепях напряжения – оценка быстродействия формирования флагов качества в цифровых отчётах исходящего SV-потока при помощи шестифазного испытательного устройства и системы анализа сетевого трафика.

Ключевые слова: IEC 61850, автономный преобразователь аналоговых сигналов, шина процесса, блокировка при неисправностях в цепях напряжения, тестирование.

Abstract: this paper considers the features of testing embedded loss-of-potential function of stand-alone merging unit IEC61850-9-2LE by evaluation of time events quality analog channels in publish SV using a six-phase testing device and a network traffic analysis system.

Keywords: IEC 61850, stand-alone merging unit, process bus, loss-of-potential, protection testing.

Исчезновение напряжения в измерительных органах релейной защиты и автоматики (РЗА) вследствие короткого замыкания (КЗ) или обрыва во вторичных цепях трансформатора напряжения (ТН), как правило, вызывает ложное срабатывание или неселективное (излишнее) действие устройств РЗА, использующих цепи напряжения. В соответствии с ПУЭ [1] в устройствах РЗА применяется специальная функция контроля неисправности измерительных цепей напряжения (БНН), действующая на сигнал и на блокирование действия соответствующих функций.

В микропроцессорных устройствах (МП) РЗА 110-220 кВ в основном применяются следующие алгоритмы функции БНН:

1. На основе измерения трёхфазной системы напряжений основной обмотки ТН (схема «звезда с нулём») с контролем тока. Данный алгоритм БНН имеет значительное количество расчётных параметров срабатывания, требующих взаимного согласования и согласования с уставкой пуска дистанционной защиты (ДЗ) по току. Окончательный выбор порога чувствительности ряда параметров срабатывания БНН на основе данного алгоритма должен определяться с учетом местного опыта эксплуатации.

2. На основе сравнения напряжений обмоток ТН, соединённых по схеме «звезда» с напряжениями обмоток по схеме «разомкнутый треугольник». БНН на данном принципе требует в устройстве РЗА большего числа датчиков напряжения и контрольных проводов от ТН, но не имеет расчётных уставок, отличается большей надёжностью в эксплуатации и является традиционным решением для отечественных устройств РЗА.

Указанные отличия в вариантах реализации функции БНН имеют некоторые особенности при проектировании, наладке и эксплуатации систем РЗА цифровых подстанций (ЦПС) с поддержкой протокола МЭК 61850-9-2.

При реализации проектов ЦПС с шиной процесса МЭК 61850-9-2 распространение получили решения на основе электромагнитных ТТ и ТН и преобразователей аналоговых сигналов (ПАС) на основе спецификации МЭК 61850-9-2LE [2], которая предусматривает передачу в одном потоке SV (Sampled Values) мгновенных значений 4-х токов и 4-х напряжений: фазные $I_A, I_B, I_C, U_A, U_B, U_C$ и нулевой последовательности $3I_0, 3U_0$. Соответственно, выполнить алгоритм БНН на основе принципа контроля на-



Дони Николай Анатольевич

Дата рождения: 26.10.1946 г. Окончил энергетический факультет Новочеркасского политехнического института в 1969 г. В 1981 г. во ВНИИЭ защитил кандидатскую диссертацию «Исследование и разработка высокочастотной защиты линий сверхвысокого напряжения». Имеет более 150 научных публикаций в области релейной защиты, микропроцессорной техники и цифровой обработки электроэнергетических сигналов. Директор по науке – заведующий отделом СРЗиА ООО НПП «ЭКРА».



Кошельков Иван Александрович

Год рождения: 1987. В 2010 году окончил кафедру электрических и электронных аппаратов факультета энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова. Магистр техники и технологии по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». Заведующий сектором ЦПС отдела разработки РЗА подстанционного оборудования ООО НПП «ЭКРА».

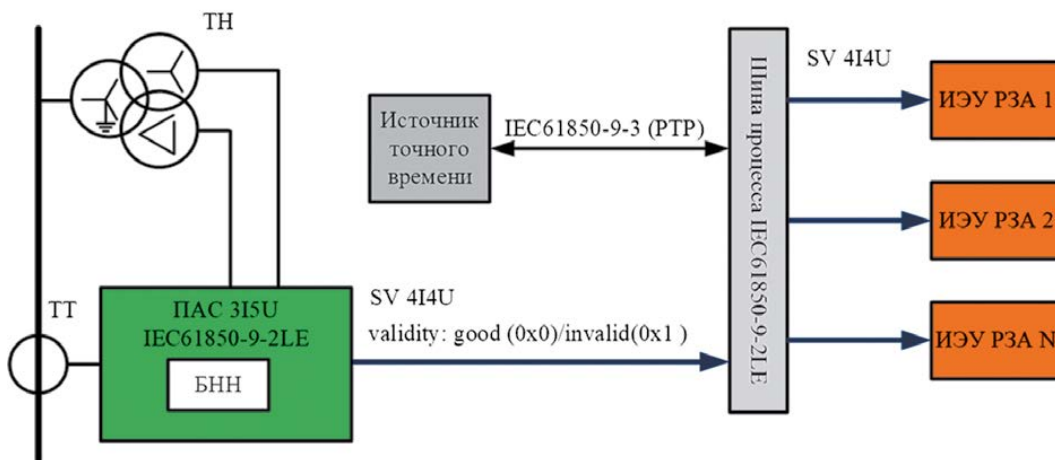


Рис. 1. Схема РЗА ЦПС на основе ПАС 315U IEC 61850-9-2LE

пряжений «звезды» и «разомкнутого треугольника» непосредственно в ИЭУ РЗА не представляется возможным, поскольку в SV-потоке нет информации о напряжениях «разомкнутого треугольника» ТН ($U_{НИ}$, $U_{ИК}$). Протокол МЭК 61850-9-2 предусматривает для каждого аналогового сигнала SV-потока флаг «качества» (quality) «достоверность» (validity), фиксация смены состояния которого с «good» (достоверное значение в цифровом отсчёте) на «invalid» (недостоверное значение в цифровом отсчёте) может расцениваться ИЭУ-подписчиком как возникновение неисправности во внешних измерительных цепях и далее использоваться в алгоритмах ИЭУ для сигнализации, блокировки или вывода направленности функций РЗА. Таким образом, функция БНН из устройств РЗА переносится в ПАС (рис. 1), который должен иметь соответствующее количество датчиков напряжения: 5 – для БНН 110-220 кВ, 6 – для пофазного БНН 330-750 кВ.

Функция БНН на основе измерения трёхфазной системы напряжений основной обмотки ТН и контроля тока не может быть реализована в групповом устройстве ПАС для ЦПС с шиной процесса, поскольку расчётные параметры БНН являются индивидуальными для конкретного присоединения. БНН на данном принципе должна выполняться непосредственно в ИЭУ, а её проверка принципиально не отличается от тестирования аналогичной функции в МП РЗА.

Таким образом, при проверке функций ИЭУ (дистанционные защиты, направленные токовые защиты, защиты с пуском по

напряжению и т.д.) с БНН, встроенной в ПАС, становится необходимым выполнять имитацию «достоверности» значений цифровых отсчётов цепей напряжения в тестовых SV-потоках. Данная возможность присутствует в функционале цифровых испытательных систем, например [3]. В объём проверок ПАС дополнительно к испытаниям, предусмотренным [4, 5], необходимо включать проверку встроенной функции БНН с имитацией всех вариантов неисправностей в цепях напряжения (обрывы в цепях и отключение автоматического выключателя ТН). Интерес при этом представляет оценка быстродействия функции БНН – время формирования соответствующих флагов качества в исходящих SV потоках ПАС при повреждении в цепях ТН.

В качестве примера рассмотрим тестирование встроенной в ПАС функции БНН на основе принципа контроля напряжений «звезды» и «разомкнутого треугольника», реализованной в устройстве ПАС 315U (I_A , I_B , I_C , U_A , U_B , U_C , $U_{НИ}$, $U_{ИК}$) для класса напряжений 110-220 кВ типа БЭ2704V750 [6]. БНН ПАС БЭ2704V750 реагирует на обрыв одной, двух и трёх фаз напряжений цепи «звезды» или цепи «разомкнутого треугольника». БНН срабатывает при снижении любого из фазных напряжений на величину $U_{уст.БНН} = 10$ В при всех остальных поданных номинальных величинах напряжений цепи «звезды» и цепи «разомкнутого треугольника». Алгоритм функционирования БНН БЭ2704V750 реализуется программно по выражению:



Шалимов

Александр Станиславович

Год рождения: 1982.

В 2005 г. окончил электротехнический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова, кафедра электрических и электронных аппаратов. Магистр техники и технологии.

Начальник отдела РЗА

ООО «НПП «Динамика».

$$|U_{\text{БНН}}| > U_{\text{уст.БНН}},$$

где

$$U_{\text{БНН}} = (U_{\text{ВН}} + U_{\text{СН}} - U_{\text{АН}}) + (U_{\text{НИ}} - U_{\text{ИК}}) / K_{\text{ТН}}$$

– при схеме ТН (особая фаза А);

$$U_{\text{БНН}} = (U_{\text{АН}} + U_{\text{СН}} - U_{\text{ВН}}) + (U_{\text{НИ}} - U_{\text{ИК}}) / K_{\text{ТН}}$$

– при схеме ТН (особая фаза В);

$$U_{\text{БНН}} = (U_{\text{АН}} + U_{\text{ВН}} - U_{\text{СН}}) + (U_{\text{НИ}} - U_{\text{ИК}}) / K_{\text{ТН}}$$

– при схеме ТН (особая фаза С);

$U_{\text{АН}}, U_{\text{ВН}}, U_{\text{СН}}$ – векторы фазных напряжений «звезды»;

$U_{\text{НИ}}, U_{\text{ИК}}$ – векторы напряжений «разомкнутого треугольника»;

$K_{\text{ТН}} = \sqrt{3}$ – коэффициент схемы основной и дополнительной вторичных обмоток измерительного ТН.

При исчезновении любого из напряжений «звезды» или «разомкнутого треугольника» возрастает напряжение небаланса $U_{\text{БНН}}$, происходит срабатывание БНН, и формируется признак недостоверности данных мгновенных значений во всех каналах напряжения SV-потока.

Таблица 1. Оценка быстродействия встроенной БНН ПАС

Опыт	Время срабатывания БНН при небалансе		
	$U_{\text{БНН}} > U_{\text{уст.БНН}}$		
	$U_{\text{БНН}} = 11 \text{ В}$	$U_{\text{БНН}} = 0,5 U_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{БНН}} = U_{\text{НОМ}}$
Обрыв фазы А	17,5 мс	8,23 мс	5,9 мс
Обрыв фазы В	18 мс	6,5 мс	3,7 мс
Обрыв фазы С	18,9 мс	10,7 мс	8 мс
Обрыв вывода Н, И, К	18 мс	7,5 мс	5,5 мс

Проверка функции БНН ПАС включает имитацию обрывов отдельных фаз напряжений «звезды», «разомкнутого треугольника» и нулевого провода «звезды», а также имитацию КЗ в сети на стороне высокого напряжения ТН (негативное тестирование БНН). Выполнять указанные проверки можно либо вручную, например, при помощи испытательной системы с 4-мя каналами напряжения типа РЕТОМ-51/61 и блока трехфазного преобразования напряжения РЕТ-ТН, либо автоматически при использовании прибора типа РЕТОМ-71 с 6-ю каналами напряжения [7]. На рис. 2 приведена схема ис-

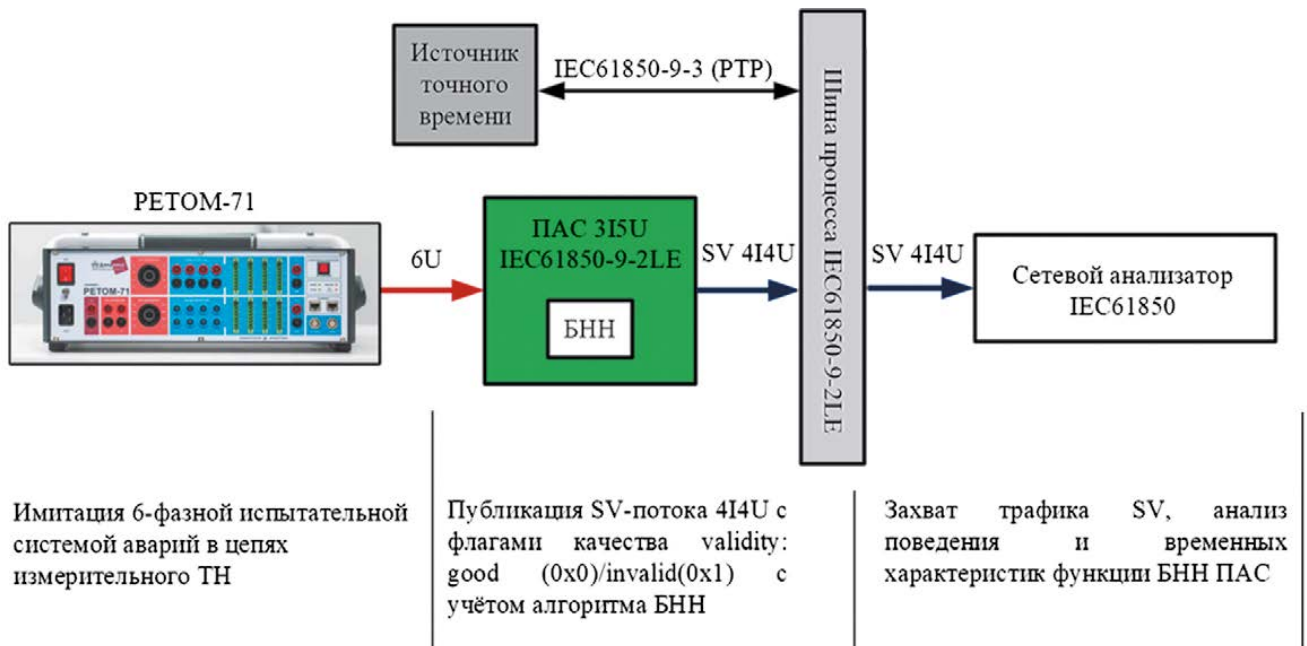


Рис. 2. Схема испытаний функции БНН ПАС 315U IEC 61850-9-2LE

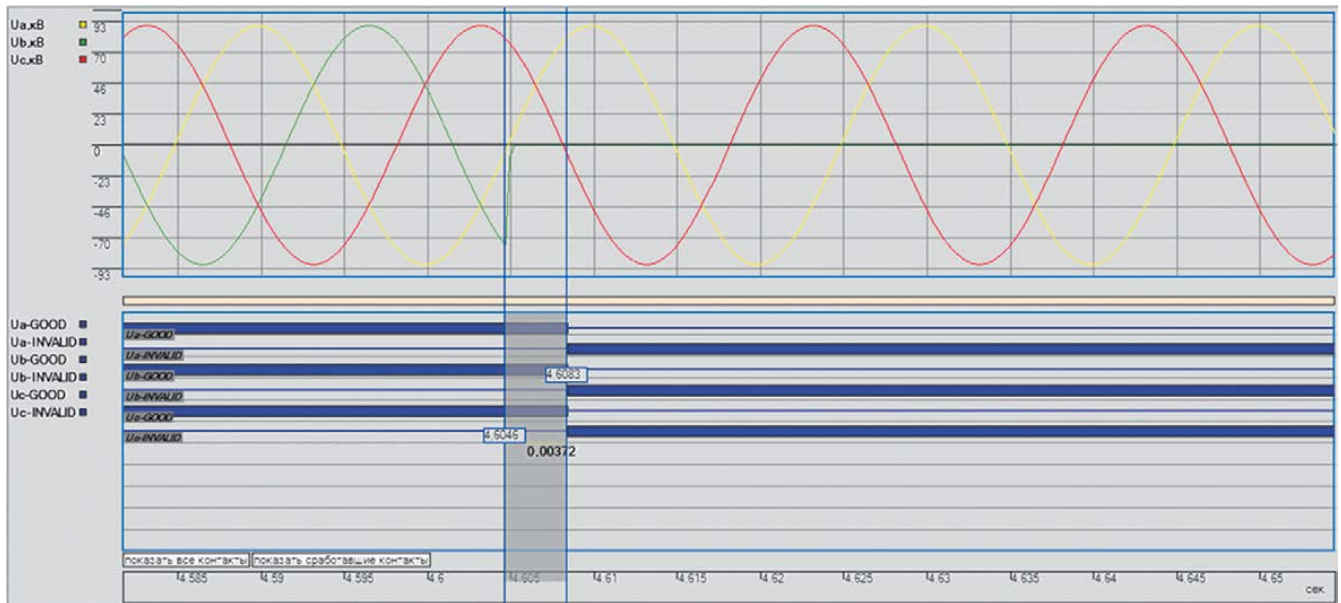


Рис. 3. Пример процесса: SV-поток ПАС с изменением флага достоверности значений в каналах напряжения после срабатывания встроенной БНН

пытаний БНН ПАС при помощи РЕТОМ-71. Для анализа SV-поточков применяется программно-аппаратный комплекс захвата трафика и программное обеспечение «Сетевой анализатор» (ООО «НПП «Динамика»).

Опыты оценки быстродействия функции БНН ПАС выполняются для трёх случаев изменения напряжения: снижение на величину, превышающую значение уставки БНН на 10% (11 В) – условный порог максимальной чувствительности БНН, что может соответствовать выявлению ухудшения контакта в цепях напряжения, снижение до $0,5 U_{НОМ}$ – имитация разрыва фаз цепей напряжения и до 0 В ($U_{БНН} = U_{НОМ}$), что представляет собой предельный случай для оценки максимального быстродействия БНН. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Время срабатывания БНН ПАС фиксируется как разница между временем публикации флага достоверности значений в цифровых отсчётах SV-потока и возникновением повреждения в измерительных цепях напряжения (рис. 3).

Выводы

1. Особенности отечественных систем РЗА ЦПС с ИЭУ на основе спецификации IEC 61850-9-2LE требуют проведения соответствующих испытаний для функции встроенной БНН ПАС и ИЭУ РЗА.

2. Испытательные комплексы для тестирования элементов системы РЗА ЦПС должны иметь программные и программно-аппаратные средства захвата и анализа сетевого трафика протоколов стандарта МЭК 61850,

учитывающие особенности поведения функций цифровой РЗА.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. Новосибирск: Норматика, 2018. – 462 с., ил.
2. IEC 61850-9-2 LE (Lite Edition). Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers using IEC 61850-9-2. UCA International Users Group, 2004.
3. Комплекс программно-технический измерительный цифровой РЕТОМ-61850. Руководство по эксплуатации БРГА.441461.014 РЭ. Редакция 130617.
4. СТО 56947007-29.240.10.272-2019. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС». Аналого-цифровые устройства сопряжения. Методы испытаний. Стандарт организации. Дата введения: 11.12.2019.
5. Qiaoyin Yang, David Keckalo, David Dolezilek, and Ed Cenzone, Testing IEC 61850 Merging Units // Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Presented at the 44th Annual Western Protective Relay Conference Spokane, Washington October 17–19, 2017.
6. Терминалы типа БЭ2704. Руководство по эксплуатации. ЭКРА.650321.062 РЭ. Редакция от 25.01.2019.
7. Зайцев Б.С., Шалимов А.С. Применение комплекса РЕТОМ-71 для проверки сложных устройств и систем РЗА // Релейная защита и автоматизация. - №4. - 2016. - С. 45-48.