

Авторы:

к.т.н. Галкин И.А.,
к.т.н. Ильин В.Ф.,
ООО НПП «ЭКРА»,
г. Чебоксары, Россия,
Федоров Ю.А.,
Ассоциация «ИнТЭК»,
г. Чебоксары, Россия.

Ph.D. Galkin I.A.,
Ph.D. Ilyin V.F.,
EKRA Research and
Production Enterprise
LTD,
Cheboksary, Russia,
Fedorov Yu.A.,
INTEK Association,
Cheboksary, Russia.

ИСПЫТАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ДАТЧИКОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ

TESTING OF DC TRANSFORMER SENSORS UNDER THE INFLUENCE OF CONDUCTIVE INTERFERENCE

Аннотация: в статье приводятся результаты испытаний трансформаторных дифференциальных датчиков постоянных токов, применяемых в устройствах контроля изоляции на энергообъектах РФ в условиях воздействия кондуктивных электромагнитных помех. Обоснована необходимость испытания датчиков на устойчивость к кондуктивным помехам. Предложена конфигурация и методика проведения испытания датчиков в условиях воздействия кондуктивными помехами на сигнальный измерительный порт. Показаны различные нарушения функции измерения датчиков в условиях помех. Даны рекомендации по внесению в отраслевой стандарт для устройств контроля изоляции расширения в части соответствия требованиям электромагнитной совместимости.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, устройство контроля сопротивления изоляции, сети оперативного электропитания постоянного тока, дифференциальные датчики тока, электромагнитная совместимость, степень жесткости испытаний, критерий качества функционирования.

Abstract: the article presents the results of tests of transformer differential DC sensors used in insulation monitoring devices at power facilities of the Russian Federation under the influence of conductive electromagnetic interference. The necessity of testing sensors for resistance to conductive interference is justified. The configuration and methodology of testing sensors under the influence of conductive interference on the signal measuring port are proposed. Various violations of the sensor measurement function under interference conditions are shown. Recommendations are

Введение

Для многих объектов электроэнергетики актуальной задачей является решение вопросов надежного и устойчивого функционирования систем и устройств контроля изоляции (УКИ) сети оперативного электропитания постоянного тока (СОПТ). Сегодня для УКИ требуется сертификация, включение в госреестр средств измерения РФ, аттестация для использования на энергообъектах АЭС на территории РФ и стран ТС [1].

Несмотря на широкое внедрение цифровых решений в этой области, на местах эксплуатации отмечаются некорректные действия, обусловленные излишней или ложной реакцией срабатывания средств измерения и контроля тока утечки и сопротивления в изоляции [2]. По этой причине в разветвленных сетях электропитания на отдельных присоединениях, где часто проявляются излишняя реакция и действия установленных на этих присоединениях датчиков тока, такие датчики выводятся из УКИ. При этом сохраняются нормальные условия функционирования УКИ в отношении всех остальных присоединений.

В составе УКИ СОПТ повсеместно применяются трансформаторные датчики токов утечки, использующие схему преобразования дифференциального тока в информационный сигнал на основе принципа выделения постоянной составляющей тока. Конструкция таких датчиков предусматривает разъемы для присоединения кабеля электропитания (порт питания) от внешнего источника низкого напряжения постоянного тока, например, ± 12 В и сигнального кабеля для вывода аналогового или цифрового сигнала (сигнальный выходной порт). Для ввода измерительного сигнала постоянного тока используются первичные обмотки (сигнальный входной порт), функцию которых выполняют пропущенные через окно датчика сдвоенные токопроводы электропитания постоянного тока.

С помощью трансформаторного датчика контролируется величина дифференциального тока, обусловленного неравенством тока, текущего по плюсовому и минусовому токопроводам СОПТ. Это позволяет измерять токи утечки и сопротивления изоляции первичной цепи.

Производители датчиков отмечают такие характеристики, как высокая точность измерения, помехоустойчивость к токам промышленной частоты и гармоническим составляющим. Очевидно, высокая точность в отношении измеряемого дифференциального сигнала тока коррелируется со следующими параметрами: номинальное значение постоянного тока на первичной стороне – 10 мА и основная погрешность измерения – $\pm 0,5\%$ ($\pm 0,05$ мА при измерении постоянного тока 10 мА).

Для измерительных дифференциальных датчиков, как правило, приводится характеристика влияния синфазной помехи на точность измерения, однако в сопроводительных документах на трансформаторные датчики тока не указаны эти характеристики. Хотя в ряде публикаций отмечается существенное влияние кондуктивных электромагнитных помех на выполнение измерительной функции [3, 4].

Особенности измерения сопротивления изоляции СОПТ

На рис. 1 приведен пример типичной системы УКИ СОПТ устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) подстанционного и станционного оборудования, где используются трансформаторные датчики тока (ТА1...ТАn), связанные интерфейсом RS-485 с головным устройством УИК [5]. В общем случае сеть оперативного питания постоянного тока включают в себя аккумуляторные батареи (АБ), зарядные устройства (ЗУ), инверторные установки (И), предназначенные

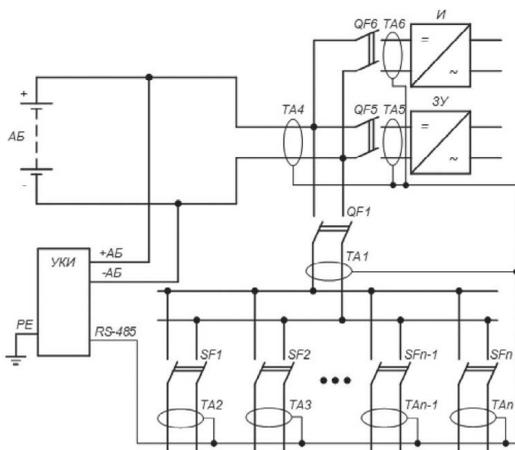


Рис. 1. Упрощенная схема СОПТ с использованием трансформаторных датчиков, связанных интерфейсом RS-485 с головным УКИ

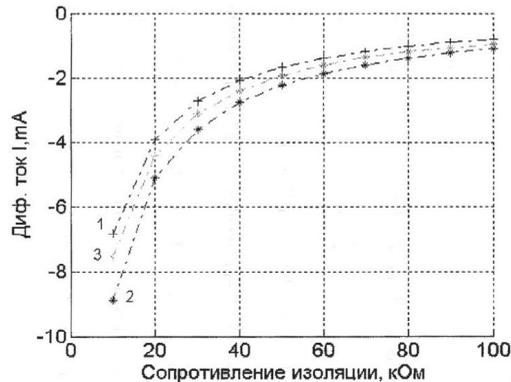


Рис. 2. Расчетные зависимости дифференциального тока от сопротивления изоляции плюсового (кривая 1) и отрицательного (кривая 2) токопровода при номинальном напряжении на полюсах оперативного питания 220 В

для бесперебойного питания собственных нужд и многочисленных потребителей.

Величина измеряемого тока утечки сети оперативного питания зависит от величин сопротивления изоляции плюсового и минусового токопроводов, сопротивления вспомогательной резистивной цепи, используемой для снижения перекосов напряжений между полюсами оперативного питания, и напряжения на полюсах.

Рис. 2 иллюстрирует зависимости дифференциального тока от сопротивления изоляции плюсового (кривая 1) и отрицательного (кривая 2) токопроводов присоединения, рассчитанные для случая номинального напряжения на полюсах оперативного питания 220 В и с учетом вспомогательной резистивной цепи сопротивлением 30 кОм, через которую поочередно замыкаются на землю полюса оперативного питания с целью определения тока утечки для каждого токопровода [6]. При снижении сопротивления изоляции от величины 100 кОм до 10 кОм величина дифференциального тока увеличивается от 1 мА до примерно 10 мА. Причем в том случае, когда сопротивление изоляции 100 кОм, разница между двумя значениями, соответствующими плюсовому и отрицательному токопроводам, составляет 0,2 мА, а когда сопротивление изоляции 10 кОм, эта разница возрастает до 2 мА. Следовательно, если погрешность измеряемого дифференциального тока примем равной 0,2 мА, то погрешность измерения тока составит 100% от измеряемой величины.

given for introduction to the industry standard for expansion insulation monitoring devices in terms of compliance with EMC requirements.

Keywords: relay protection and automation, insulation resistance monitoring device, DC operational power supply networks, differential current sensors, electromagnetic compatibility, degree of test rigidity, criterion of functioning quality.



Ильин Владимир Федорович

В 1970 г. окончил Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (ЛЭТИ), кафедра «Промышленная электроника». В 1983 г. в Ленинградском институте точной механики и оптики (ЛИТМО) защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование тиристорных преобразователей постоянного напряжения для вторичных источников питания с высокочастотным преобразованием параметров электроэнергии». Главный специалист ООО НПП «ЭКРА».



Галкин Игорь Александрович
 В 1974 г. окончил ЧГУ им. И.Н. Ульянова. В 1988 г. в Омском политехническом институте защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка индукторных систем для магнитно-импульсной обработки металлов». Главный специалист по системам контроля изоляции департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА».



Федоров Юрий Алексеевич
 В 1986 г. окончил электротехнический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова, в 1995 г. - там же аспирантуру. Заслуженный изобретатель Чувашской Республики, член РНК СИГРЭ. Руководитель испытательной лаборатории Ассоциации «ИнТЭК» (№ RA.RU.21HB23).

Электромагнитные помехи в СОПТ

На рис. 3-6 приведены примеры электромагнитных помех, зарегистрированные одним из авторов в процессе пусконаладочных работ на реальных энергообъектах.

Применяемые в составе сети оперативного питания ЗУ с низкими и высокими частотами управления силовые инверторы являются источниками различного вида кондуктивных помех. Рис. 3 иллюстрирует типичную осциллограмму напряжения на полюсе СОПТ относительно «земли», где имеют место переменные составляющие от 100 Гц до десятков кГц.

Нередко на полюсах СОПТ наблюдаются низкочастотные колебания от 0,02 до 0,2 Гц напряжения (рис. 4). В таких случаях возможны неадекватные измерения сопротивления изоляции.

Обычно при внедрении систем и УКИ на энергообъекте проводится предпроектное обследование СОПТ с анализом элементов сети (АБ, ЗУ, И, а также электроприемников на присоединениях) в части генерирования синфазных помех. Величина емкости (СОПТ) также влияет на характер изменения напряжения полюсов относительно земли. Процессы коммутации в сети оперативного тока тем более затянуты, чем больше емкость сети. В реальных СОПТ величина емкости составляет от нескольких мкФ до нескольких сотен мкФ.

Обычно включение и наладка систем и УКИ происходит при отключенных нагрузках, в условиях отсутствия помех. При коммутации нагрузки происходит инжекция переменной составляющей тока в присоединениях.

Величина дифференциального тока при этом определяется не только постоянной составляющей, обусловленной сопротивлением изоляции, но и переменной составляющей, которая может на несколько порядков превышать измеряемый ток утечки. С другой стороны ошибки при проектировании и переключениях в сети могут привести к росту дифференциального тока до десятков и сотен миллиампер. При этом сопротивление изоляции, определяемое датчиком утечки, много меньше сопротивления изоляции всей сети. Все это приводит к неадекватным изменениям.

На рис. 5 приведен пример осциллограммы дифференциального тока, снятой на одном из присоединений СОПТ, где присутствуют переменные составляющие с амплитудой до нескольких сотен мА и частотой от 16 Гц до 30 кГц. При таких помехах данные с датчика дифференциального тока напоминают данные от генератора случайных чисел (белый шум): показания сопротивления изоляции меняются при последовательных замерах от 0 до 1000 кОм. В таких случаях обслуживающий персонал вынужден выключать из опроса датчики вышеуказанных присоединений. На рис. 6 приведен еще один вид осциллограммы помехи на полюсах СОПТ.

Поэтому, по мнению авторов, исследование дифференциальных кондуктивных датчиков в условиях воздействия кондуктивных помех в испытательных лабораториях электромагнитной совместимости – актуальная задача.

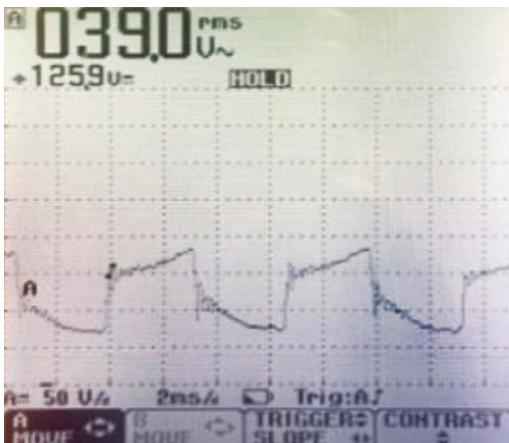


Рис. 3. Пример типичной осциллограммы напряжения на полюсах СОПТ

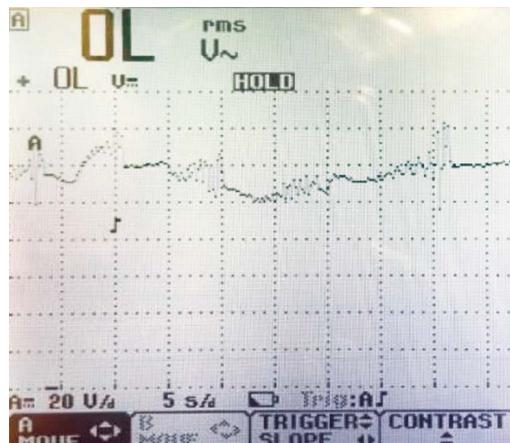
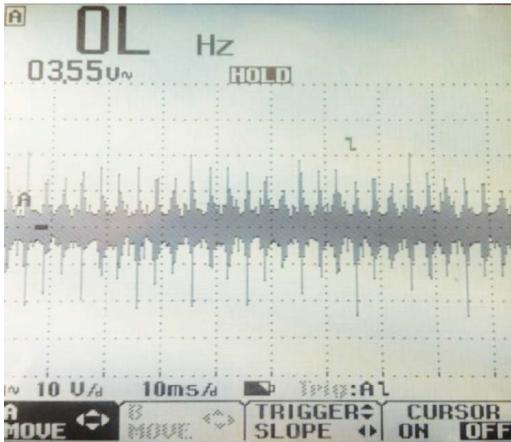
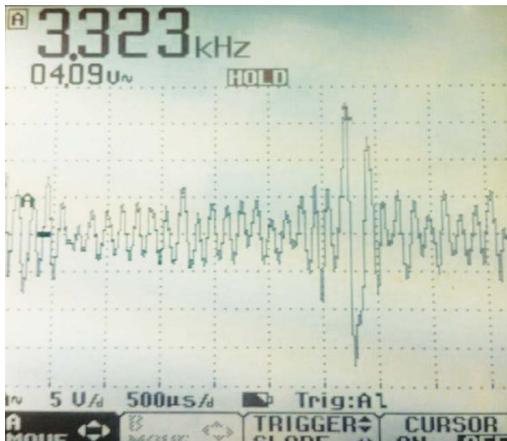


Рис. 4. Пример нетипичной осциллограммы напряжения на полюсах СОПТ



а)



б)

Рис. 5. Пример осциллограммы дифференциального тока на присоединении сети оперативного постоянного тока при развертке по времени: 10 мс/дел (а) и 0,5 мс/дел (б)

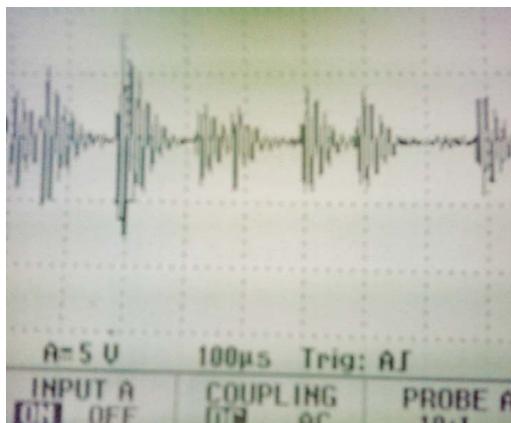


Рис. 6. Пример осциллограммы напряжения на одном из полюсов СОПТ с колебательными затухающими компонентами

Испытательная конфигурация и метод испытаний

ГОСТ Р 51317.4.16 предполагает испытания на устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц [7]. На рис. 7 приведена общая схема испытания на воздействия кондуктивных помех для различных типов портов испытуемого изделия. Вспомогательное оборудование предназначено для создания режимов, приближенных к эксплуатационным.

Авторами использован аттестованный для проведения испытаний по ГОСТ Р 51317.4.16 комплект испытательного оборудования (EM TEST): испытательный генератор CWS 500N4; программируемый источник питания ACS 500N2.3; устройство связи развязки (УСР) CDN 16-L2/L4.

На рис. 8 приведена схема испытания трансформаторного датчика тока в условиях воздействия на цепь измерения постоянного тока кондуктивных помех:

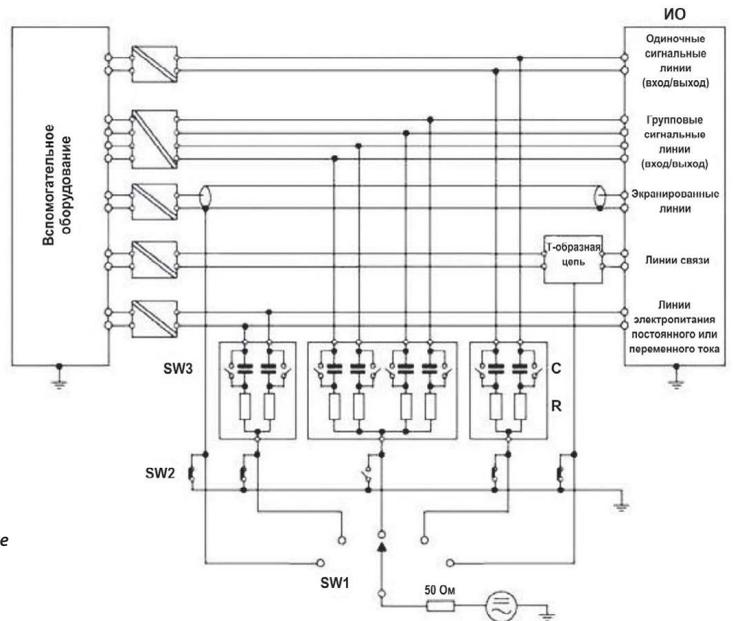


Рис. 7. Общая схема проведения испытаний по ГОСТ Р 51317.4.16

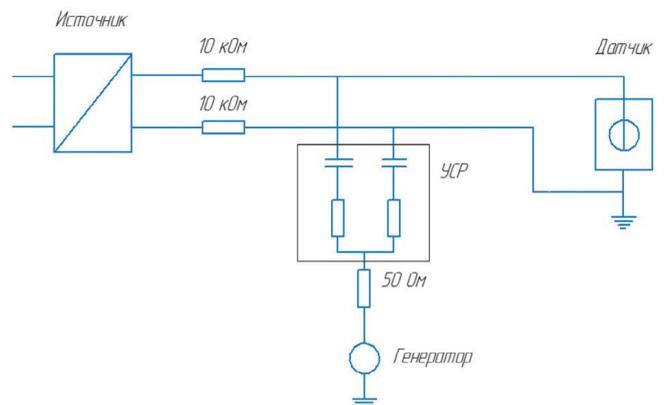


Рис. 8. Схема проведения испытаний трансформаторного датчика тока

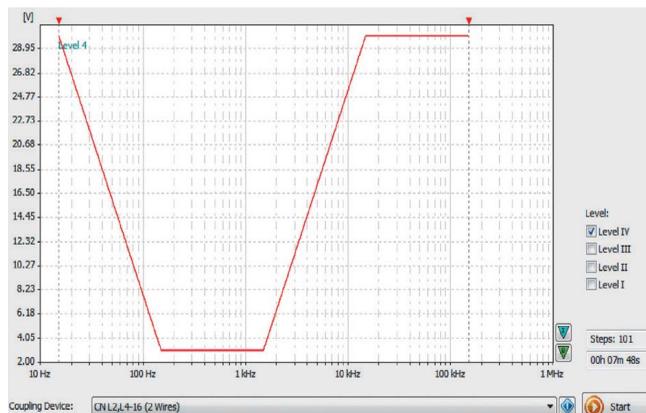


Рис. 9. Зависимость испытательного напряжения от частоты при длительной помехе в полосе частот от 15 Гц до 150 кГц по нормам 4 степени жесткости

• вспомогательное оборудование: источник постоянного напряжения и токоограничивающие резисторы 10 кОм предназначены для задания постоянного тока 0-1,0 мА;

• испытательный генератор и УСР служат для подачи помех на проходящие через окно трансформаторного датчика токопроводы (порт ввода измерительного тока).

Представительный режим функционирования испытуемого датчика имитируется подачей в цепь измерения постоянного тока 1 мА, что соответствует сопротивлению изоляции между токопроводом и «землей», равному 100 кОм. Перед воздействием кондуктивными помехами и по окончании их воздействия проводятся контрольные измерения при постоянном токе 1 мА, затем 0 мА, чтобы проверить работоспособность и оценить качество функционирования испытуемого датчика.

ГОСТ Р 51317.6.5-2006 [8] предполагает испытания по нормам 4 степени жесткости по ГОСТ Р 51317.4.16: на воздействие длительных и кратковременных помех промышленной частоты. Однако авторы ввиду фактического наличия кондуктивных помех широкого спектра расширили объем испытаний, как это сделано в ГОСТ 32137-2013 [9]. Были добавлены испытания длительными помехами в полосе частот от 15 Гц до 150 кГц (рис. 9) по нормам 4 степени жесткости и критерию качества функционирования А (внутреннее сопротивление генератора – 50 Ом, шаг перестройки частоты – 10%, перестройка частоты со скоростью не более 0,01 декад/с). Кондуктивная помеха должна быть подана на испытуемый объект (ИО) в течение времени, достаточного для оценки качества функционирования ИО: в данных испытаниях время составляло 4 с.

Для датчиков с цифровым выходом данные опрашиваются с периодичностью 1 с, для датчиков с аналоговым выходом выходные сигналы контролируются с помощью цифрового осциллографа LeCroy WaveSurfer 64MXs-B.

Результаты испытаний датчиков тока с цифровым выходом

Испытаниям подвергались 6 образцов трансформаторных датчиков постоянного тока (4 датчика с интерфейсом RS-485 и 2 датчика с аналоговым интерфейсом), которых объединяло следующее:

- функциональное назначение - измерение постоянного тока утечки и контроль сопротивления изоляции;
- габаритные размеры и диаметр трансформаторного окна – 20-25 мм;
- номинальный постоянный ток на первичной стороне – 10 мА;
- погрешность измерения постоянного тока – $\pm(0,1-0,5)\%$;
- практическое применение на энергообъектах РФ.

Авторами ставилась задача: экспериментально оценить, насколько ухудшается качество функционирования дифференциальных датчиков в условиях электромагнитных кондуктивных помех промышленной частоты и в полосе частот от 15 Гц до 150 кГц в сравнении с определенными/заявленными производителями. Всевозможные нарушения целостности выходного информационного сигнала, вызванные помехами на измерительном входе, выявляются посредством сопоставления контролируемого выходного сигнала, фиксирующего процесс нормального функционирования испытуемого образца в условиях отсутствия помех, с сигналом, фиксирующим процесс функционирования во время воздействия помех.

Испытания при воздействии помехой вида 30 В, 50 Гц

На рис. 10 приведена диаграмма выходного сигнала, иллюстрирующая процесс нормального функционирования испытуемых образцов при измерении тестового тока на измерительном входе, равном 1 мА, и вблизи нулевой отметки в условиях отсутствия помех. Диаграмма получена путем регистрации данных, поступающих от испытуемого образца по линии связи RS485 с периодичностью 1 с (на приведенных ниже диаграммах регистрируемые данные соединяются условной огибающей линией).

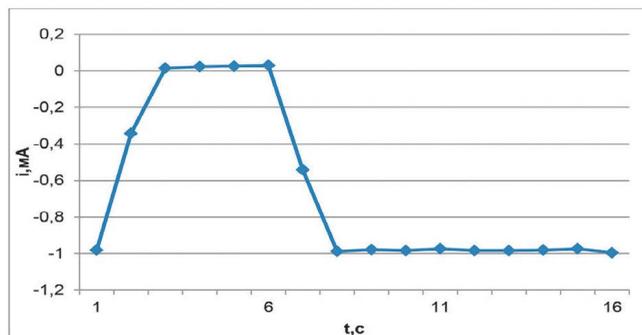


Рис. 10. Диаграмма выходного сигнала для образца №1, снятая в условиях отсутствия помехи

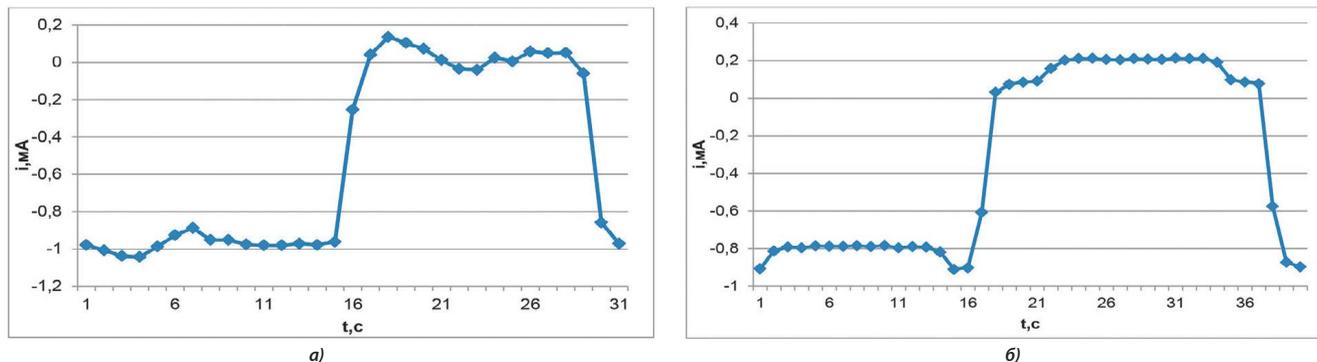


Рис. 11. Диаграммы выходного сигнала для образцов №1 (а) и №2 (б), снятые в условиях воздействия помехи вида: 30 В, 50 Гц

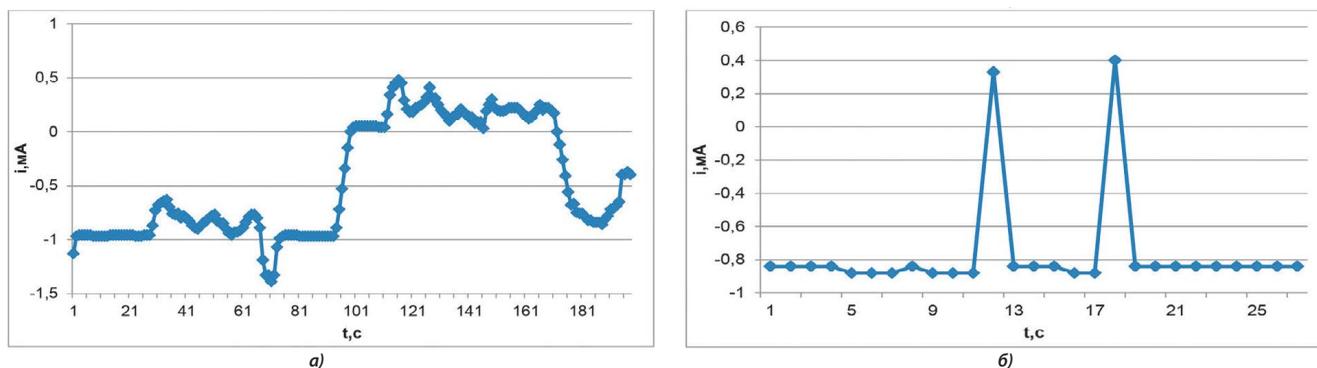


Рис. 12. Диаграммы выходного сигнала для образцов №3 (а) и №4 (б), снятые в условиях воздействия помехи вида: 30 В, 50 Гц

С помощью регулируемого источника постоянного тока (рис. 8) на первичной стороне устанавливался постоянный ток 1 мА, что соответствовало величине тока утечки, измеряемой при сопротивлении изоляции 100 кОм. Выбор тестовой процедуры со сбросом тока до нуля и последующим восстановлением до исходного значения 1 мА выбран для иллюстрации процесса измерения вблизи нулевой отметки. Анализ результатов измерений при отсутствии помех показал, что у всех образцов наблюдаются отклонения выходного сигнала от тестового тока в пределах 0,02 мА, что соответствует 0,2% по отношению к номинальному току 10 мА.

На рис. 11 приведены диаграммы выходного сигнала для образцов №1 и №2, полученные при испытании в условиях воздействия на первичной стороне помехи 30 В, 50 Гц. В первые же секунды с момента подачи помехи у образца №1 возникает реакция в виде колебательного изменения выходного сигнала с отклонением $\pm 0,1$ мА.

Через 10 с после момента подачи помехи значения выходного сигнала сравниваются с тестовым током, т.е. качество функционирования восстанавливается. Такое же отклонение выходного сигнала наблюдается у нулевой отметки.

У образца №2 наблюдается смещение выходного сигнала (рис. 11, б). С момента подачи помехи величина выходного сигнала плавно снижается с 0,9 мА до

0,8 мА и остается практически неизменной до момента снятия помехи, после чего выходной сигнал восстанавливается до исходного значения, равного 0,9 мА.

У образцов №3 и №4 характер отклонения выходного сигнала заметно отличается от рассмотренных выше (рис. 12).

В частности, у образца №3 наблюдаются произвольные отклонения выходного сигнала в течение всего времени воздействия помехи (рис. 12, а). При этом максимальное значение отклонения выходного сигнала от тестового тока составляют около 0,5 мА, что выше, чем у первых двух образцов. У образца №4 имеют место явные нарушения целостности выходного сигнала, которые фиксируются одиночными замерами (рис. 12, б). Анализ результатов испытания показывает, что наблюдаемые отклонения возникают только в первые секунды с момента подачи или снятия помехи и скорее всего они обусловлены кратковременной реакцией образца на скачкообразные изменения помехи на измерительном входе. В установившемся состоянии отклонения выходного сигнала незначительны – в пределах 0,2-0,3 мА.

Испытания при воздействии помехи вида: 30–3-30 В, 0,015–150 кГц (рис. 9)

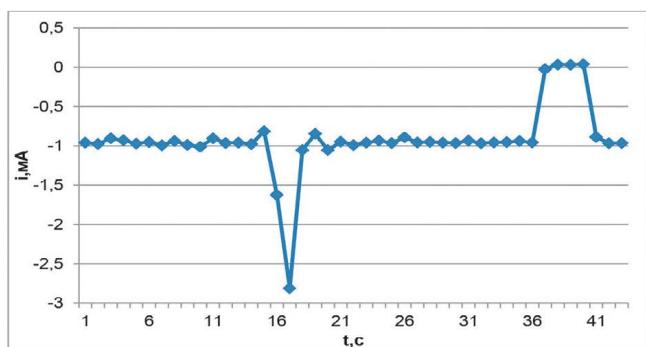
Для детализации показанных ниже нарушений целостности сигналов авторы разбили стандартную процедуру испытаний на 4 поддиапазона.

Результаты испытаний при воздействии помехи 30 - 3 В, 15 - 150 Гц.

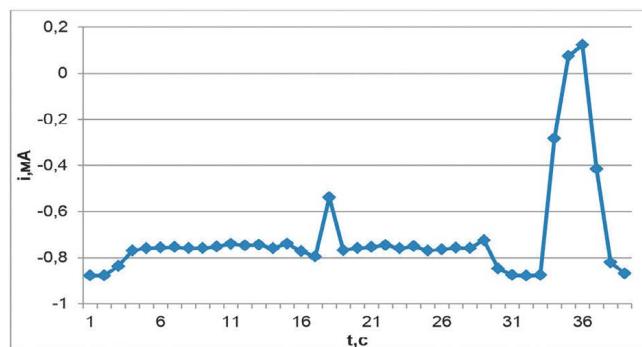
На рис. 13 и 14 приведены диаграммы, полученные при воздействии длительной помехи с шаговой перестройкой напряжения от 30 до 3 В и частоты от 15 до 150 Гц. Во время воздействия такого вида помехи у образцов №1 и №2 наблюдается кратковременная реакция выходного сигнала, фиксируемая в частотном секторе 55–65 Гц. В частности, для образца №1 зафиксированы замеры с превышением тестового тока поч-

ти на 2 мА (рис. 13, а), а для образца №2 – на 0,3–0,4 мА (рис. 13, б). У образца №3 нарушения целостности выходного сигнала наблюдаются в течение всего времени воздействия помехи, а максимальные отклонения до 0,7 мА зафиксированы в секторе частот 15–25 Гц (рис. 14, а). Для образца №4 нарушения целостности выходного сигнала зафиксированы в частотных секторах 15-25 Гц и 55–65 Гц, максимальное отклонение выходного сигнала - 0,6 мА.

Результаты испытаний при воздействии помехи 3 В, 150-1500 Гц.

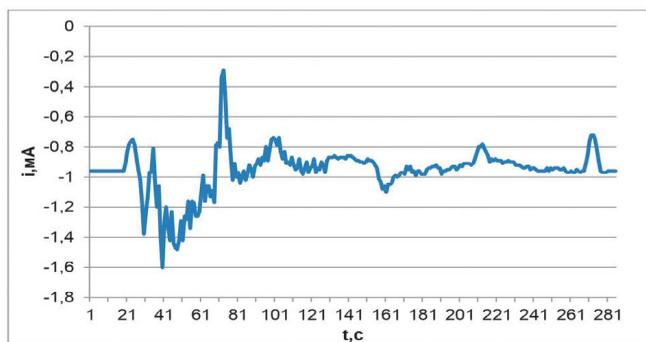


а)

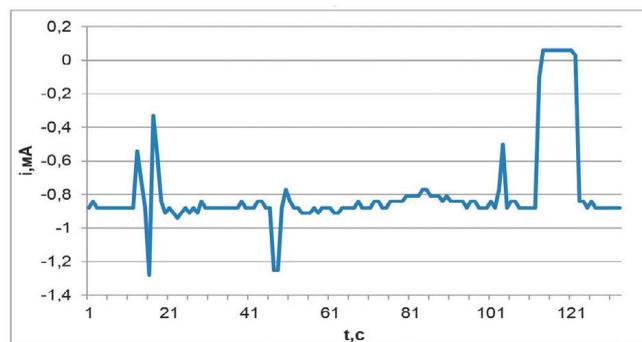


б)

Рис. 13. Диаграммы выходного сигнала для образцов №1 (а) и №2 (б), снятые в условиях воздействия помехи вида: 30-3 В, 15-150 Гц

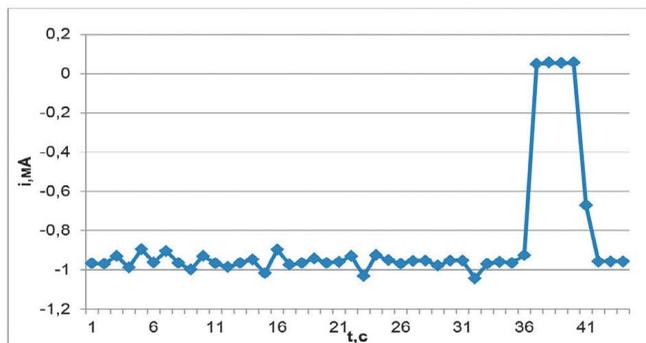


а)

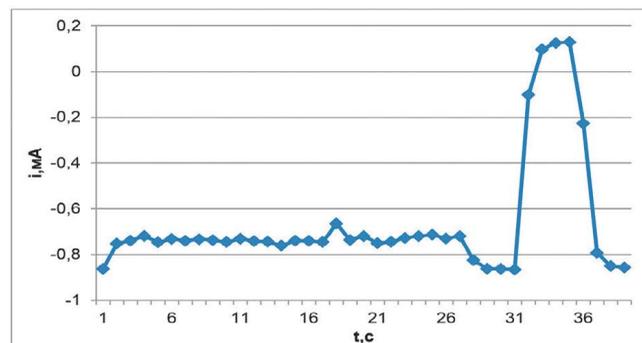


б)

Рис. 14. Диаграммы выходного сигнала для образцов №3 (а) и №4 (б), снятые в условиях воздействия помехи вида: 30-3 В, 15-150 Гц



а)



б)

Рис. 15. Диаграммы выходного сигнала для образцов №1 (а) и №2 (б), снятые в условиях воздействия помехи вида: 3 В, 150 Гц-1,5 кГц

Образец №1 практически не воспринимает помехи на частотах 150-1500 Гц (рис. 15, а). Для образца №2 во время воздействия помехи наблюдается тот же характер смещения выходного сигнала, что и в предыдущих случаях, но в дополнение к этому имеет место кратковременная реакция в частотном секторе 280-300 Гц, где фиксируется одиночный замер выходного сигнала с отклонением от тестового на 0,3 мА (рис. 15, б).

У образца №3 имеют место нарушения выходного сигнала на частотах кратных 300 Гц, в этих точках фик-

сируются наибольшие отклонения от тестового тока – в пределах 0,3–0,5 мА (рис. 16, а). Для образца №4 отклонения выходного сигнала в этих точках несколько ниже – 0,1–0,2 мА (рис. 16, б).

Результаты испытаний при воздействии помехи 3-30 В, 1,5-15 кГц.

Результаты испытаний на помехи вида 3-30 В, 1,5-15 кГц показывают, что на частотах свыше 2 кГц степень уязвимости испытуемых образцов резко возрастает (рис. 17, 18). В частности, у образца №1 процесс

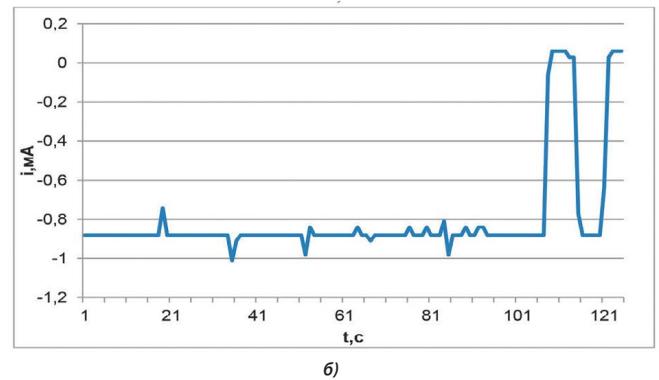
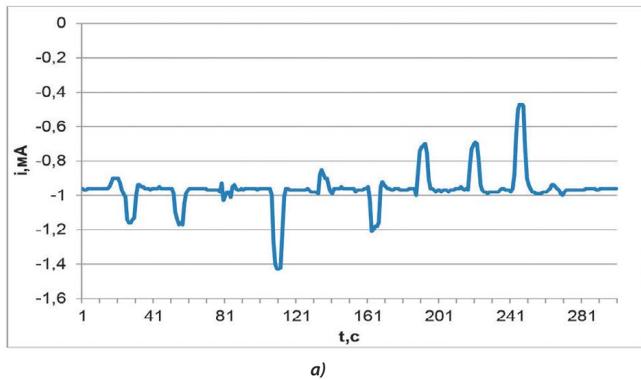


Рис. 16. Диаграммы выходного сигнала для образцов №3 (а) и №4 (б), снятые в условиях воздействия помехи вида: 3 В, 150 Гц-1,5 кГц

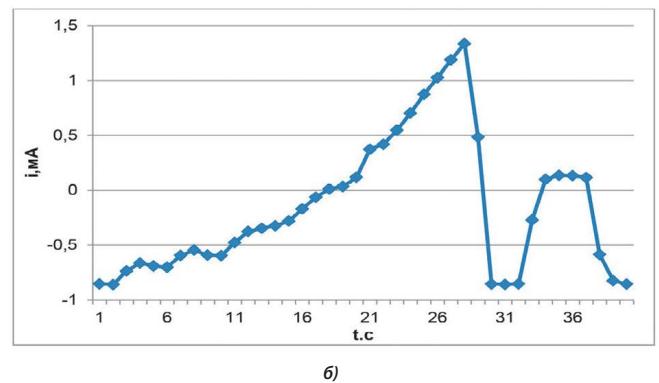
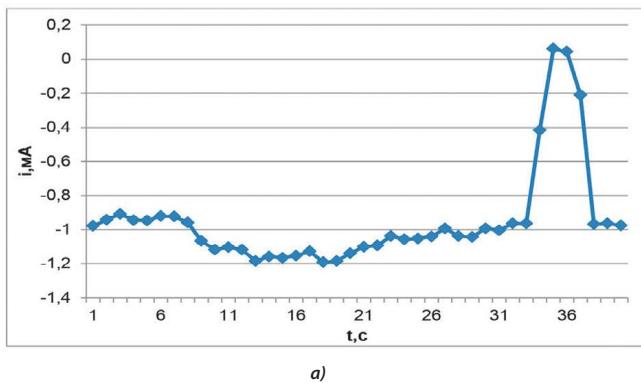


Рис. 17. Диаграммы выходного сигнала для образцов №1 (а) и №2 (б), снятые в условиях воздействия помехи вида: 3-30 В, 1,5-15 кГц

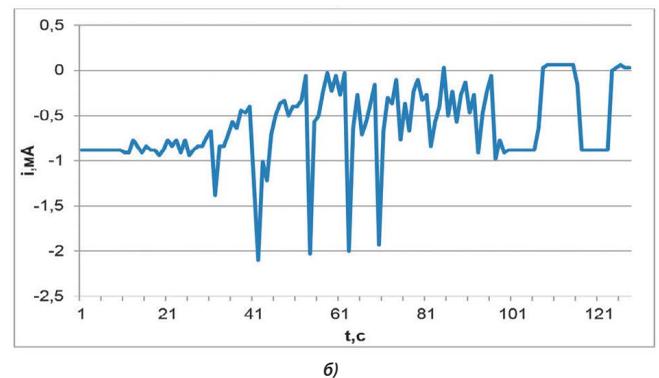
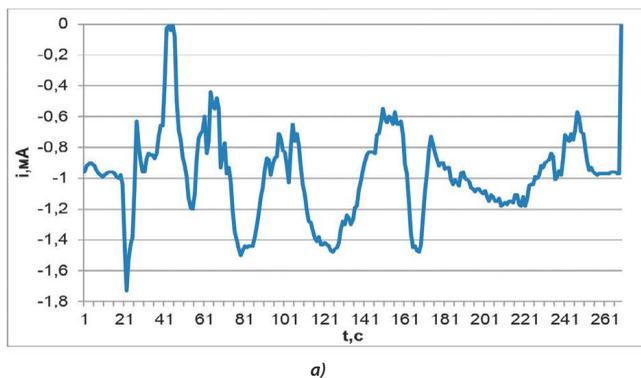
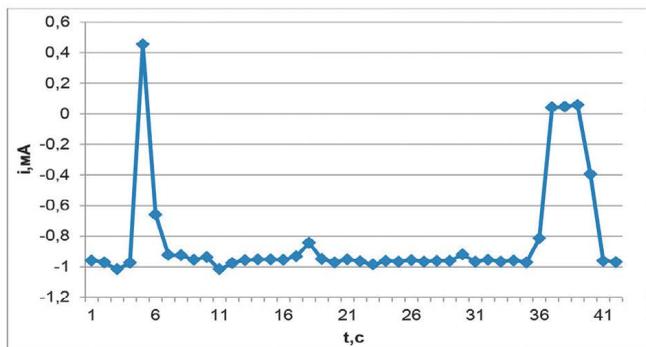
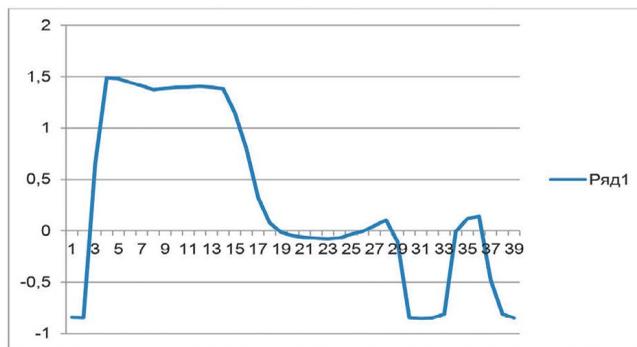


Рис. 18. Диаграммы выходного сигнала для образцов №3 (а) и №4 (б), снятые в условиях воздействия помехи вида: 3-30 В, 1,5-15 кГц

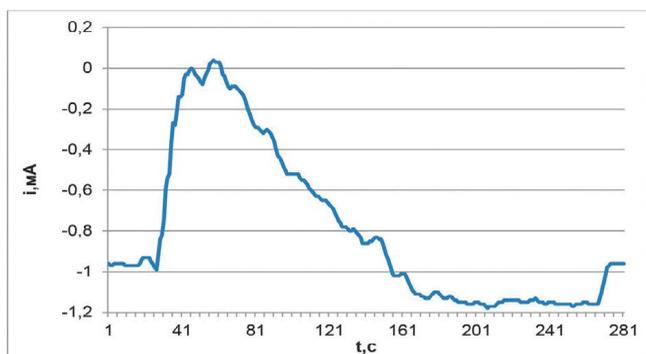


а)

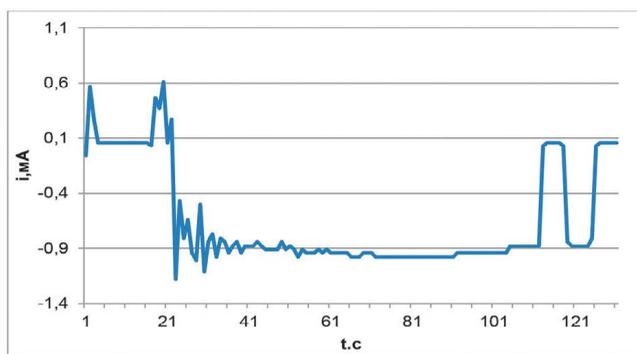


б)

Рис. 19. Диаграммы выходного сигнала для образцов №1 (а) и №2 (б), снятые в условиях воздействия помехи вида: 30 В, 15-150 кГц



а)



б)

Рис. 20. Диаграммы выходного сигнала для образцов №3 (а) и №4 (б), снятые в условиях воздействия помехи вида: 30 В, 15-150 кГц

нарушения целостности выходного сигнала приобретает системный характер (рис. 17, а), что указывает на фактическое ухудшение качества функционирования во время воздействия данного вида помехи.

При тех же условиях следующие 3 образца датчиков, несмотря на различный характер нарушения фор-

мы выходного сигнала, фактически не способны выполнять функцию измерения постоянного тока во время воздействия помехи (рис. 17, б и рис. 18), что соответствует критерию качества функционирования В.

Результаты испытаний при воздействии помехи 30 В, 15-150 кГц.

Диаграммы, приведенные на рис. 19 и 20, иллюстрируют характерные нарушения выходных сигналов образцов датчиков, наблюдаемые в условиях воздействия помехи вида 30 В, 15-150 кГц, по ним можно судить о временной потере функции измерения постоянного тока, которая после снятия помехи восстанавливается без вмешательства оператора (критерий В).

В табл. 1 приведены итоговые результаты отклонения.

Таблица 1. Итоговая таблица для измеряемого тока 1 мА

Вид помехи	Отклонение (мА)/ смещение нуля(мА)/ критерий качества функционирования			
	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4
При отсутствии помех	0,05/0	0,02/0	0,50/0,1	0,02/0,05
30 В, 50 Гц	0,10/0/А	0,02/0,2/А	0,20/0/А	0,10/0,1/А
При подаче и снятии помехи 30 В, 50 Гц	1,40/0/А	0,02/0,2/А	0,50/0/В	1,00/0,1/В
30-3 В, 15-150 Гц	0,20/0/А	0,20/0,1/А	0,60/0/А	0,40/0,1/А
3 В, 150 Гц-1,5 кГц	0,10/0/А	0,10/0,1/А	0,50/0/В	0,10/0,1/А
3-30 В, 1,5-15 кГц	0,20/0/А	0,20/0,1/В	1,00/-/В	1,00/-/В
30 В, 15-150 кГц	0,15/0/А	2,00/-/В	1,00/-/В	1,00/-/В

Результаты испытаний датчиков тока с аналоговым выходом

Испытаниям подвергались образцы №5 и №6, являющиеся аналоговыми модификациями образцов №3 и №4 соответственно. На рис. 21 приведены характерные для обоих образцов осциллограммы, фиксирующие нарушения целостности выходного сигнала при подключении и отключении на первичной стороне источника

помех промышленной частоты. При отсутствии помехи на первичной стороне протекает постоянный ток 1 мА, при этом на выходе устанавливается постоянное напряжение 0,5 В. С помощью вспомогательного генератора в первичной обмотке создается переменная составляющая тока с действующим значением 140 мА. В данном случае кратковременные выбросы напряжения выходного сигнала обусловлены переходными процессами, возникающими при подаче и снятии переменного тока. Характер переходного процесса обусловлен прежде всего схемой и параметрами аппаратной части образца. В установившемся состоянии влияние кондуктивной помехи промышленной частоты относительно

мало. В частности, для образца №5 при соотношении шум/сигнал, равном 140 (42 дБ), разброс выходного сигнала составляет $\pm 20\%$.

В во время воздействия длительной помехи вида 30-3-30 В, 15 Гц-150 кГц у датчиков с аналоговым выходом наблюдались нарушения целостности выходного сигнала постоянного тока, обусловленные внутриаппаратными нестационарными процессами, возникающими в условиях пошаговой перестройки частоты помехи (рис. 22, 23). Например, во время действия помехи в секторе частот вблизи 56 Гц (рис. 22, а) и 146 Гц (рис. 22, б) были зафиксированы нетипичные нарушения формы выходного информационного сигнала в течение 3-4 с.

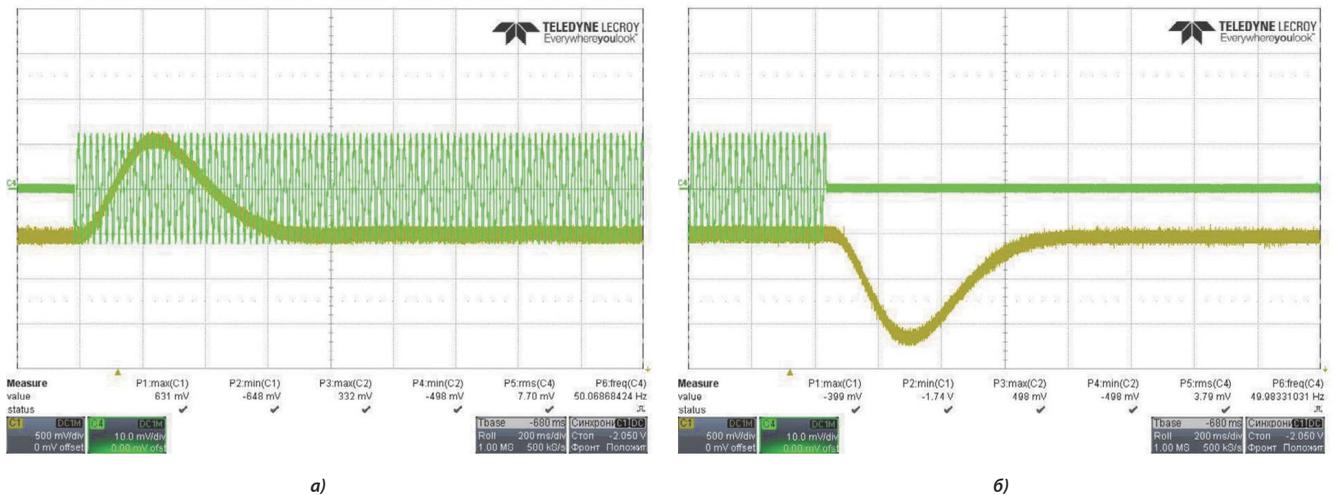


Рис. 21. Осциллограммы напряжения выходных сигналов образца №5 (нижняя кривая C1) и пробника тока на первичной стороне (верхняя кривая C4), иллюстрирующие нарушение целостности выходного сигнала при подаче (а) и снятии (б) на первичной стороне переменного тока 140 мА, 50 Гц

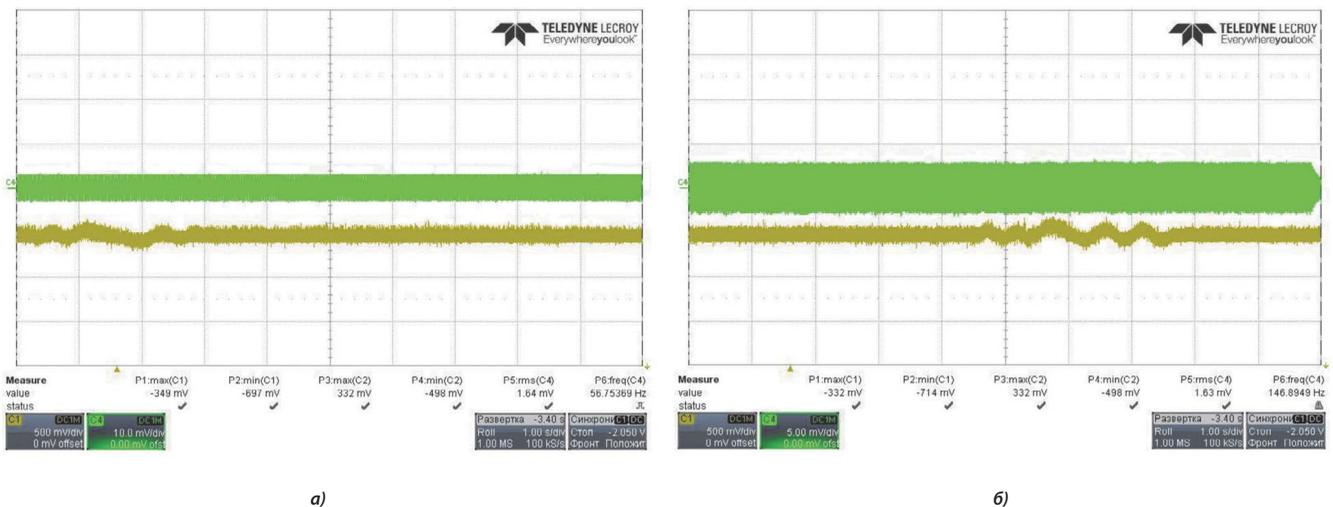


Рис. 22. Осциллограммы, иллюстрирующие нарушение целостности выходного сигнала в секторе частот 56 Гц (а) и 146 Гц (б), зафиксированные во время воздействия помехи вида 30-3-30 В, 15 Гц-150 кГц

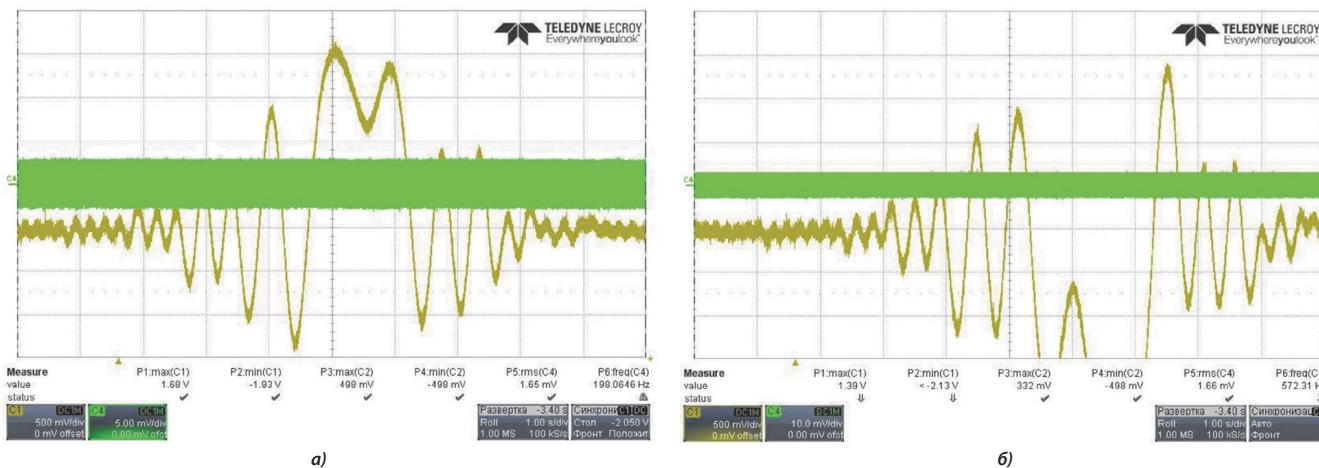


Рис. 23. Осциллограммы, иллюстрирующие нарушение целостности выходного сигнала в секторе частот 190 Гц (а) и 579 Гц (б), зафиксированные во время воздействия помехи вида 30-3-30 В, 15 Гц-150 кГц

По приведенным на рис. 23 осциллограммам, фиксирующим выходной сигнал во время действия помехи в секторе частот вблизи 190 Гц и 579 Гц, следует говорить скорее всего о временной потере функции измерения постоянного тока, вызванной самовозбуждающимися нестационарными процессами в аппаратной части.

По результатам проведенных испытаний можно отметить следующее:

- фактическая погрешность цифровых и аналоговых датчиков при измерении постоянного тока 1 мА в условиях отсутствия кондуктивных помех на первичной стороне может составлять 0,05 мА, что по отношению к 1 мА составляет 5%;
- при воздействии на первичной стороне длительной помехи вида 30 В, 50 Гц погрешность измерения у цифровых и аналоговых датчиков составляет 0,2 мА (20%); у аналоговых датчиков при подаче и снятии помехи наблюдаются кратковременные выбросы показаний до 1,5 мА (150%);
- в условиях воздействия на первичной стороне длительной помехи вида 30–3-30 В с пошаговой перестройкой частоты от 15 Гц до 150 кГц у образцов цифровых датчиков в секторе частот от 15 Гц до 1,5 кГц отклонения показаний составляют 0,2-0,6 мА (20-60%); В условиях воздействия помехи в секторе частот от 1,5 кГц до 150 кГц возникают сбои и временные отказы функционирования по назначению;
- у аналоговых датчиков временные потери функции измерения постоянного тока могут наблюдаться в секторах частот свыше 150 Гц.

Выводы

1. УКИ эксплуатируются, как правило, в условиях, когда электромагнитная помеха превышает полезный сигнал. Эксплуатация УКИ на энергообъектах в услови-

ях неопределенной электромагнитной обстановки может привести к непрогнозируемым и нежелательным результатам.

2. Погрешность измерения датчиками дифференциальных токов может существенно отличаться от заявленной производителями в условиях кондуктивных помех. Ложная работа устройств РЗА, вызванная существенными погрешностями УКИ в условиях воздействия кондуктивных помех 0,015..150 кГц на энергообъекте, возможна из-за ошибочных показаний датчиков дифференциальных токов.

3. Ценовая конкуренция между производителями УКИ часто отрицательно влияет на погрешность измерения сопротивления изоляции изделиями в условиях значительного превышения электромагнитного шума над помехой.

4. В технической документации на датчики дифференциального тока для УКИ СОПТ должны быть указаны параметры ослабления электромагнитных помех. Весьма вероятно, что для применения в УКИ СОПТ датчики дифференциального тока требуют доработки в части обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС).

5. Требования ЭМС должны быть установлены в отраслевых стандартах на датчики дифференциального тока. Так, в разрабатываемый отраслевой стандарт ПАО «Россети» на УКИ, полагаем, необходимо внести испытания на воздействия длительных кондуктивных помех в полосе частот 0,015..150кГц по ГОСТ Р 51317.4.16-2000 по сигнальному входному порту. Необходимо также включить испытания на воздействия кондуктивных электромагнитных помех диапазона 0,15-80 МГц по ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96) Испытания проводить в том числе по низковольтным портам питания и выходного сигнала, которые в свою очередь должны быть гальванически развязаны.

6. В протоколы испытаний УКИ СОПТ в области ЭМС, предоставляемых на аттестацию в ПАО «Россети» и иным субъектам ТЭК, в соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17025-2019, должны быть представлены схемы конфигурации испытательной установки, режимы испытаний, включающие испытания по сигнальному входному порту, что позволит воспроизвести испытания и исключить умышленные недоработки программ методик испытаний [10].

Литература:

1. СТО 1.1.1.02.002.1527-2018 «Сеть оперативного постоянного тока устройств релейной защиты и автоматики, коммутационных аппаратов, проектируемых и эксплуатируемых энергоблоков атомных станций». Стандарт ПАО «РОСАТОМ», 2018.
2. Галкин И.А., Виноградов А.Ю., Лопатин А.А. К вопросу о требованиях к оборудованию контроля сопротивления изоляции СОПТ, снижающих ложную работу устройства релейной защиты и автоматики // Релейная защита и автоматизация. - 2019. - № 01 (34). - С. 90-93.
3. Патент РФ №2575140. Устройство измерения дифференциального тока / М.Н. Верендеев, И.А. Галкин, А.Б. Иванов, А.А. Лопатин, А.Б. Малышев. - Заявка 2015103287/28 от 02.02.2015, опубл. 10.02.2016. Бюл. №4.
4. Алимов Ю.Н., Быков К.В., Галкин И.А., Малышев А.Б. Особенности контроля и измерения изоляции в сети оперативного постоянного тока напряжением 220 В // Релейная защита и автоматизация. - 2014. - № 02 (15). - С. 74-76.
5. СТО 56947007-29.120.40.312-2021. Корпоративные шкафы систем оперативного постоянного тока (СОПТ). Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС», - 2021.
6. Патент РФ №2381513 Способ определения сопротивлений изоляции присоединений в сети постоянного тока с изолированной нейтралью, устройство для его осуществления и дифференциальный датчик для этого устройства / Ю.Н. Алимов, И.А. Галкин, Н.И. Шаварин. - Заявка 2008129234/28 от 16.07.2008, опубл. 10.02.2010. Бюл. №4.
7. ГОСТ Р 51317.4.16-2000 (МЭК 61000-4-16-98). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. Требования и методы испытаний.
8. ГОСТ Р 51317.6.5-2006 (МЭК 61000-6-5:2001). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний.
9. ГОСТ 32137-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства для атомных станций. Требования и методы испытаний
10. Федоров Ю.А., Ильин В.Ф., Шевелев В.С., Поветкин О.В. О повторяемости результатов испытаний на помехоэмиссию и помехоустойчивость устройств РЗА в испытательных лабораториях // Релейная защита и автоматизация. - 2019. - №2 (35). - С. 53-56.

ПОДПИСКА

через редакцию на 2022 год



srzau-ric.ru



печатная версия

1000 ₺

(в т.ч. НДС 10% + пересылка)

электронная версия

500 ₺

(в т.ч. НДС 20%)



adv@srzau-ric.ru



+7 (905) 346 87 55