

# НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАДИЦИОННОЙ СХЕМЫ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ И ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ «ЭКРА-СКИ» В СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА ЭНЕРГООБЪЕКТОВ РОССИИ

АЛИМОВ Ю.Н., БЫКОВ К.В., ГАЛКИН И.А., ИВАНОВ А.Б., ООО НПП «ЭКРА»

Для контроля сопротивления изоляции в сети оперативного постоянного тока напряжением 220 В широкое применение нашла схема [1], основанная на мостовом соединении резисторов R1 и R2 и обмотки реле РН51/32. Резисторы соединены последовательно и подсоединены к полюсам сети, а обмотка реле РН51/32 включена между общей точкой резисторов и «землей» (рис.1). Имеется несколько вариантов этой схемы с различными значениями величин резисторов и способов соединения обмоток реле. Так, в одном варианте резисторы имеют величины 1 кОм, а обмотки реле РН51/32 соединены параллельно. Во втором варианте резисторы имеют величины 2,2 кОм, при этом обмотки реле соединены последовательно. В первом случае эквивалентное сопротивление обмоток составляет примерно 3,9 кОм, а во втором – 15,6 кОм. Отметим, что приведенная схема контролирует сопротивление изоляции всей сети оперативного постоянного тока лишь в случае несимметричного ухудшения сопротивления изоляции на одном из полюсов сети до величины примерно 20 кОм. При этом в широком диапазоне изменения сопротивления изоляции полюсов сети оперативного тока, напряжение на полюсах относительно «земли» составляет примерно половину напряжения аккумуляторной батареи 110...125 В, а допустимый диапазон напряжения срабатывания дискретных входов терминала – 130...160 В [2].

Для измерения эквивалентного сопротивления сети оперативного тока оперативный персонал подстанций или электростанций в начале и конце смены с помощью переключателя SN и потенциометра R3 производит настройку моста в ручном режиме, а затем вычисление эквивалентного сопротивления изоляции всей сети, что достаточно утомительно. Отметим, что в положениях 1 и 2 переключателя SN обмотка реле РН51/32 отсоединена от «земли». При этом вольтметр,

сопротивление которого составляет примерно 50 кОм, подсоединен между полюсом сети и «землей». При таком способе измерения изоляции сети напряжение на полюсе сети, к которому подсоединен вольтметр снижается до величины 20...60 В, в зависимости от величины сопротивлений изоляции полюсов сети оперативного постоянного тока, при этом напряжение на другом полюсе сети соответственно увеличивается до значений 160...200 В. Такое увеличение напряжения на полюсах

сети может привести к ложной работе устройств РЗА [3].

Одной из причин ложной работы устройств РЗА является металлическое замыкание на «землю» входа платы дискретных сигналов РЗА или реле повторителя, например газовой защиты. При этом сопротивление изоляции сети оперативного постоянного тока снижается до величины примерно 50 кОм [4]. Такое снижение сопротивления изоляции сети оперативного постоянного тока не может быть проконтролировано в автомати-

ческом режиме традиционной схемой контроля изоляции.

Таким образом, для снижения вероятности ложной устройств РЗА в сетях оперативного постоянного тока подстанций и электростанций необходимо:

- повысить величину контролируемого сопротивления изоляции сети до величины примерно 50 кОм;
- уменьшить величину перекоса на напряжений на полюсах сети в случае измерения сопротивления изоляции сети;
- упростить процедуру измерения сопротивления изоляции сети переводом ее в автоматический режим;
- повесить надежность устройств контроля и измерения сопротивления изоляции сети оперативного постоянного тока.

Для решения поставленных задач в НПП «ЭКРА» разработана схема контроля изоляции основанная на применении реле РКИЭ, РН51/6,4 и эквивалента традиционной схемы контроля изоляции (рис. 2). Данная схема позволяет не только контролировать сопротивление изоляции сети оперативного постоянного тока в автоматическом режиме, но и повысить надежность устройств контроля и измерения сопротивления изоляции сети применением резервного устройства.

Данная схема работает следующим образом:

1. В случае положения переключателя SN2 в положение 1 к сети оперативного тока подсоединены резисторы R1, R2 и R3, а также реле РКИЭ. Резисторы имеют такие же значения, как и в традиционной схеме контроля изоляции. Между клеммами KE и PE сопротивление равно нулю, поэтому напряжение на полюсах сети делится примерно поровну. Реле РКИЭ контролирует сопротивление изоляции в автоматическом режиме. Диапазон контролирования эквивалентного сопротивления изоляции сети реле РКИЭ составляет 0...200 кОм, что удовлетворяет требованиям. При работе реле РКИЭ происходит смещение напряжения нейтрали на величину примерно 15 В, при этом напряжение на полюсах сети относительно «земли» возрастает до значений 125...135 В. Такое увеличение напряжения в случае металлического замыкания на «землю» входа платы дискретных сигналов РЗА или реле повторителя, например газовой защиты не вызывает ложную работу устройств РЗА.

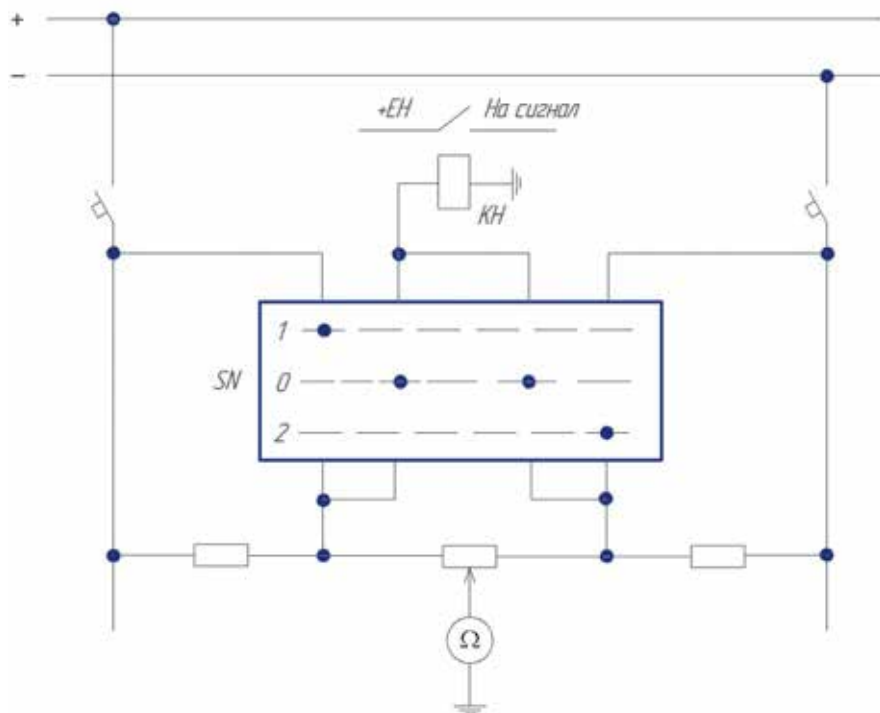


Рис. 1. Традиционная схема контроля и измерения сопротивления изоляции в сети оперативного постоянного тока

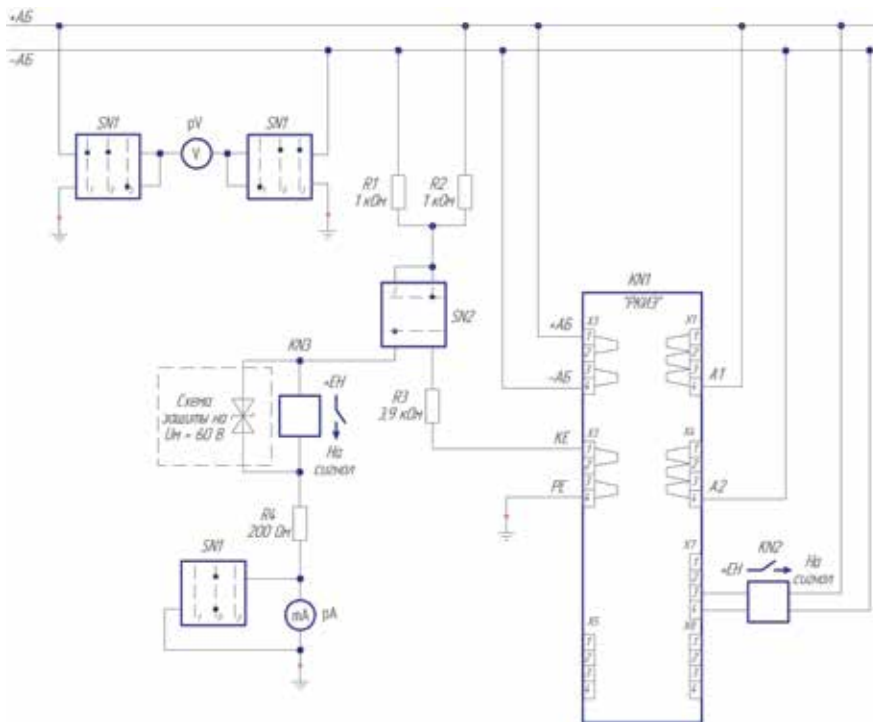


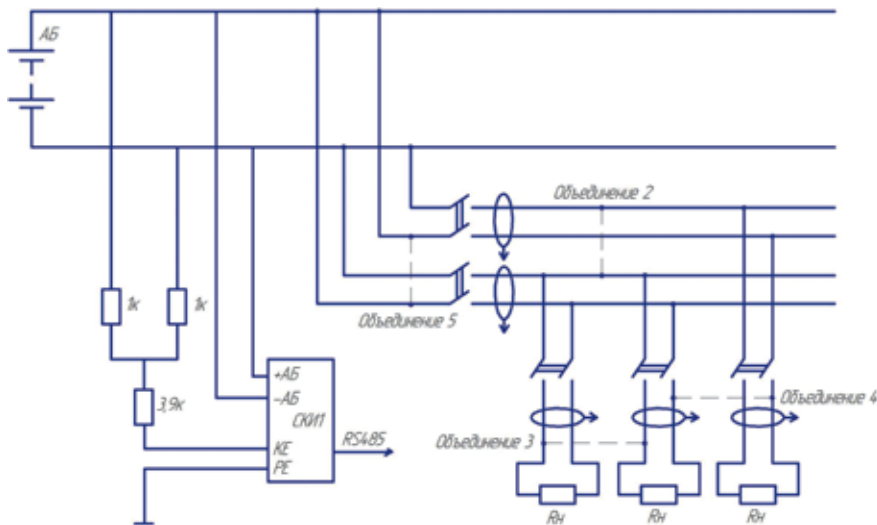
Рис. 2. Предлагаемая схема контроля и измерения сопротивления изоляции сети оперативного постоянного тока

2. В случае положения переключателя SN2 в положении 2 к сети оперативного постоянного тока подсоединены резисторы R1, R2 и обмотка реле РН51/6,4. Резистор R4 и схема 1 служат для ограничения напряжения на обмотке реле РН51/6,4 в случае короткого замыкания полюса сети оперативного постоянного тока на «землю».

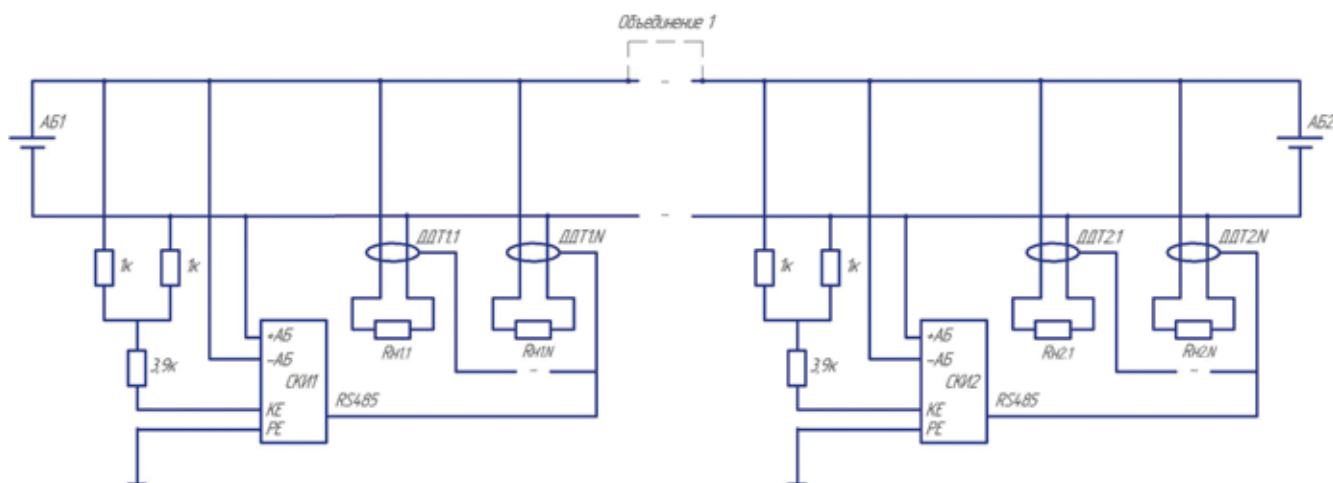
Для контроля сопротивления изоляции полюсов сети в случае несимметричного снижения сопротивления изоляции полюсов до величины примерно 40кОм служит реле РН51/6,4.



**Рис. 3.** Внешний вид терминала «ЭКРА-СКИ» и датчиков дифференциальных токов с диаметром окна 25, 40 и 70 мм



**Рис. 4.** Упрощенная схема сети оперативного постоянного тока с объединением полюсов между секциями щита постоянного тока и между нагрузками



**Рис. 5.** Упрощенная схема сети оперативного постоянного тока с двумя аккумуляторными батареями и объединении их положительных полюсов

Для измерения эквивалентного сопротивления изоляции сети в этой схеме служит вольтметр рV и миллиамперметр рА. Вольтметр рV магнитоэлектрической системы имеет сопротивление обмотки примерно 50 кОм. Для выполнения измерения необходимо последовательно установить переключатель SN2 в положение сначала 1, измерить напряжение на положительном полюсе сети  $U_+$  и ток через миллиамперметр  $I_+$ . Затем установить переключатель SN2 в положение 2 – измерить напряжение на отрицательном полюсе сети  $U_-$  и ток через миллиамперметр  $I_-$ .

Эквивалентное сопротивление изоляции всей сети оперативного постоянного тока вычисляется по формуле [5]:

$$R_{\text{экв}} = \frac{U_{\text{АБ}} - U_+ - U_-}{I_+ - I_-},$$

где  $U_{\text{АБ}}$  – напряжение между полюсами аккумуляторной батареи, определяется вольтметром рV в положении 0 переключателя SN2.

При таком способе измерения сопротивления изоляции сети оперативного постоянного тока резистор R4 и обмотка реле РН51/6,4 не отсоединяются от «земли», что не приводит к

нарушению симметрии напряжений на полюсах сети оперативного тока.

На этапе, когда на многих существующих электростанциях и подстанциях не проведена реконструкция сети оперативного тока с установкой системы контроля изоляции с автоматическим поиском фидеров с поврежденной изоляцией, предложенная схема контроля и измерения сопротивления изоляции может повысить надежность сети оперативного постоянного тока, упростить процедуру измерения сопротивления изоляции, снизить вероятность ложной устройств РЗА.

В ООО НПП «ЭКРА» с 2006 года ведутся работы по разработке и внедрению в сети оперативного постоянного тока энергообъектов России (ГЭС, АЭС, ПС и ТЭЦ) системы контроля изоляции, которая позволила автоматизировать процесс контроля изоляции и поиска поврежденных присоединений, при этом не вызывая ложную работ устройств РЗА и ПА. Первый опытный образец системы контроля изоляции «ЭКРА-СКИ» был поставлен в опытную эксплуатацию в 2008 году на ПС «Бугульма-110». В 2009 году произведена первая поставка двух систем «ЭКРА-СКИ» в составе щитов постоянного тока на Калининградскую ТЭЦ-2. В настоящее время установлено около 100 терминалов «ЭКРА-СКИ» и 3000 датчиков дифференциальных токов в сети оперативного постоянного тока трех АЭС, трех ГЭС, четырех ТЭЦ и более 40 ПС ОАО «МРСК», предприятий нефтеперерабатывающего комплекса и др. С помощью систем контроля изоляции «ЭКРА-СКИ» был не только автоматизирован контроль изоляции и поиск поврежденных присоединений, но и найдены при внедрении присоединения с поврежденной изоляцией. Внешний вид терминала и датчиков дифференциальных токов «ЭКРА-СКИ» представлен на рисунке 3.

Имеются положительные отзывы с Калининградской ТЭЦ-2, Нижнекамской ГЭС, Северо-Западной ТЭЦ.

Наличие в системе «ЭКРА-СКИ» чувствительных датчиков дифференциальных токов позволило найти ошибки в присоединениях, которые не были найдены ранее при ручном поиске замыканий на землю, а именно – гальваническое объединение по одному или двум полюсам аккумуляторных батарей, секций щита постоянного тока или нескольких нагрузок. Различные варианты объединений между полюсами показаны на рисунках 4 и 5.

При объединении аккумуляторных батарей системы контроля изоляций СКИ1 и СКИ2 начинают влиять друг на друга, при этом показания меняются при каждом измерении, возможен перекос напряжений на полюсах одной аккумуляторной батареи при

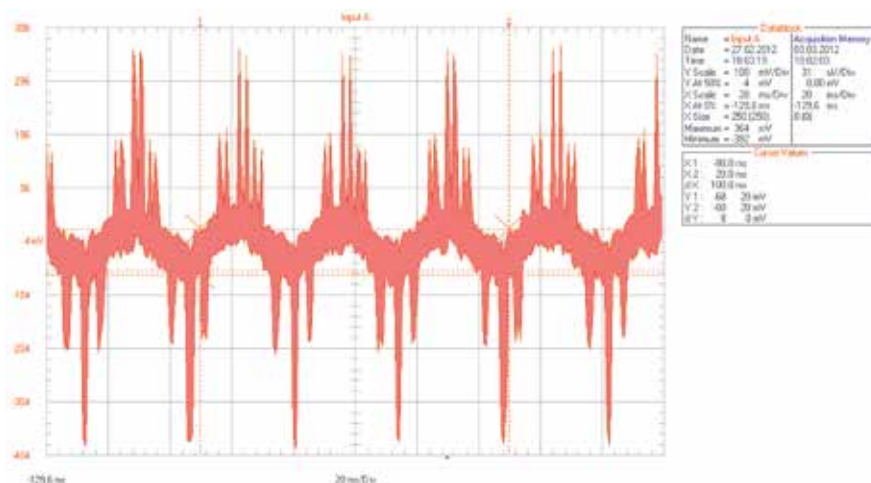


Рис. 6. Осциллограмма дифференциального тока в присоединении при объединении полюсов нагрузок

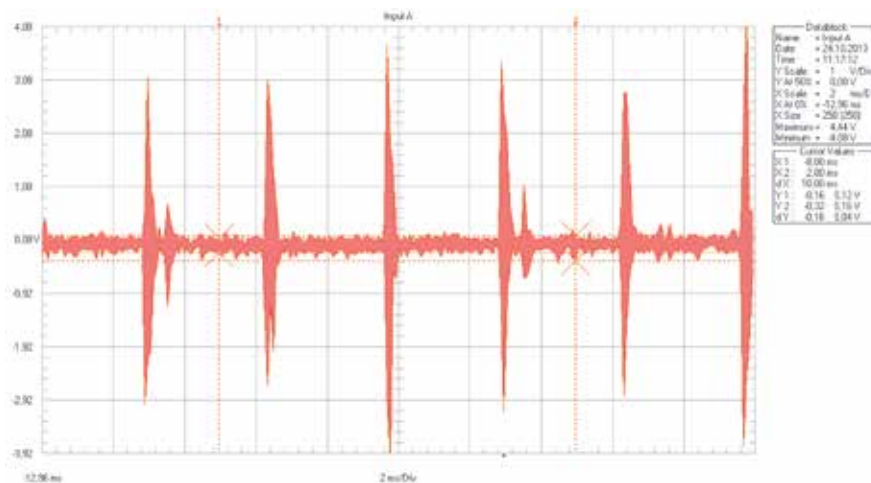


Рис. 7. Осциллограмма дифференциального тока, связанного с пульсациями тиристорных зарядно-подзарядных устройств

работе системы контроля изоляции другой аккумуляторной батареи, а также некорректной работы реле контроля симметрии аккумуляторных батарей.

При объединении полюсов между секциями или нагрузками в присоединениях возникают «кольцевые» токи, не связанных с повреждением изоляции. Это приводит к некорректным показаниям сопротивления изоляции по присоединениям, когда сопротивление изоляции по отдельным присоединениям оказываются меньше, чем сопротивление изоляции всей сети оперативного постоянного тока.

Типичная осциллограмма дифференциального тока в присоединениях при объединении полюсов нагрузок представлена на рис. 6.

Нахождение мест гальванического объединения – непростая задача, требующая решения в соответствии, например, с СТО ОАО «ФСК ЕЭС» «Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования», что позволяет снизить вероятность аварий в сети оперативного постоянного тока.

В процессе наладки систем контроля изоляции «ЭКРА-СКИ» на некоторых объектах выявилось наличие в сети оперативного постоянного тока переменных дифференциальных токов в присоединениях. Эти токи связаны с применением некоторых типов тиристорных зарядно-подзарядных устройств с повышенным уровнем пульсации, а также с ошибками при прокладке кабелей в сети оперативного тока, когда поло-

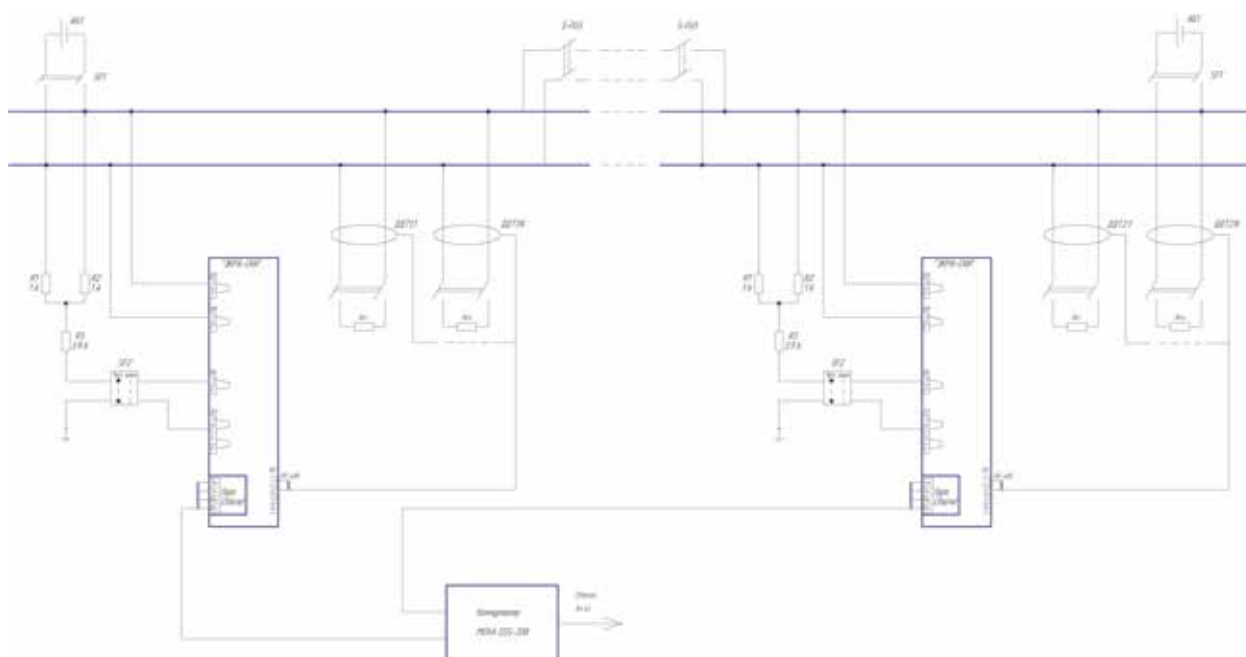


Рис. 8. Упрощенная схема сети оперативного постоянного тока с двумя аккумуляторными батареями и двумя системами контроля изоляции с терминалом СКИ1 и терминалом СКИ2

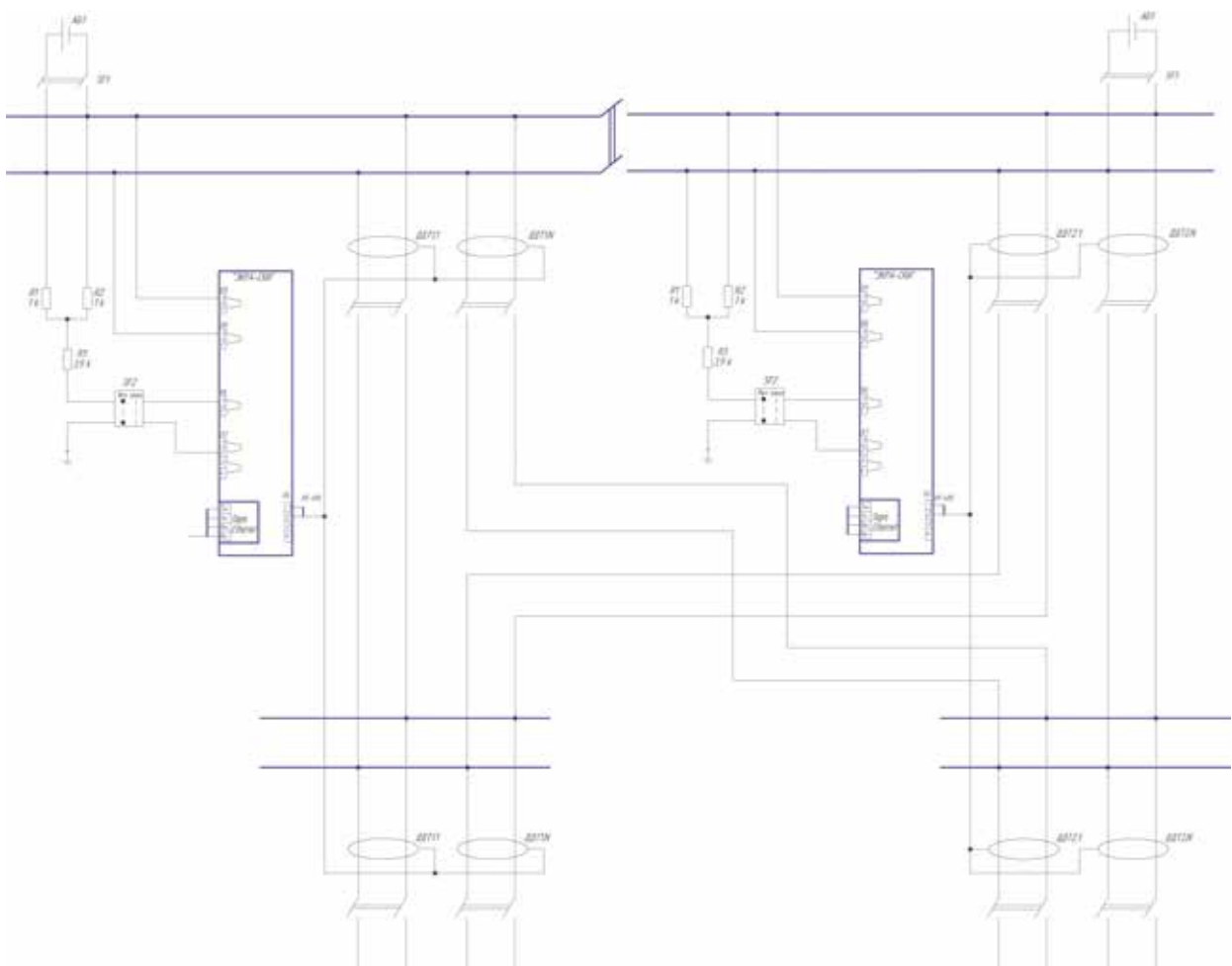


Рис. 9. Упрощенная схема сети оперативного постоянного тока с двумя аккумуляторными батареями, двумя щитами постоянного тока ЩПТ1 и ЩПТ2, двумя секциями и двумя системами контроля изоляции СКИ, работающими совместно





Рис. 10. Переносное устройство поиска присоединений с поврежденной изоляцией «ЭКРА-ПКИ»

жительный токопровод одной нагрузки лежит рядом с отрицательным токопроводом другой нагрузки. При этом форма дифференциального тока в присоединениях имеет переменную составляющую 300 Гц, величина которого достигает в импульсе несколько сотен миллиампер. Такой дифференциальный ток не связан с сопротивлением изоляции и может быть определен как помеха. Форма кривой этой помехи и ее величина отличаются от тех, которые регламентированы, например стандартом ОАО «ФСК ЕЭС». Аналогичные выводы даны в работе [6]. Типичная осциллограмма дифференциального тока, связанного с пульсациями зарядно-подзарядных устройств, представлена на рисунке 7.

Предприятием ООО НПП «ЭКРА» разработаны датчики дифференциальных токов, которые обладают повышенной помехозащищенностью. Однако надо отметить, что это не отменяет необходимость применять в сети оперативного постоянного тока зарядно-подзарядные устройства с низкой пульсацией, а также грамотно прокладывать кабели в каналах.

В 2013 году в ООО НПП «ЭКРА» завершена разработка переносного устройства контроля изоляции работающего совместно с «ЭКРА-СКИ», позволяющего упростить поиск присоединений с поврежденной

изоляцией на тех присоединениях, где отсутствуют стационарные дифференциальные датчики. Опытные образцы переносного устройства поиска фидеров с поврежденной изоляцией «ЭКРА-ПКИ» (рис. 10) переданы в опытную эксплуатацию на Курскую АЭС и Калининградскую ТЭЦ-2.

В ходе внедрения «ЭКРА-СКИ» выявилось, что необходимо иметь систему контроля изоляции, позволяющую контроль изоляции для трех основных видов сетей оперативного постоянного тока.

Для сети оперативного тока, имеющую одну аккумуляторную батарею необходимо иметь систему контроля изоляции, работающую в автономном режиме.

Для сети оперативного постоянного тока подстанций и электростанций, имеющих несколько щитов постоянных токов (несколько аккумуляторных батарей) при выводе в ремонт одной из аккумуляторных батарей для контроля сопротивлений изоляции всех присоединений необходимо, что бы терминал «ЭКРА-СКИ» одного щита работал, т. е. в активном режиме («ведущий»), а другой в пассивном режиме («ведомый»), при этом контролировал изоляцию присоединений с помощью своих датчиков дифференциальных токов (рис. 8).

Для сети оперативного постоянного тока сложных СОПТ, имеющих несколько щитов постоянного тока (несколько аккумуляторных батарей), а также несколько секций, для контроля сопротивлений изоляции присоединений необходимо такую систему контроля изоляции, которая правильно определяла сопротивления присоединений при различных положениях секционных выключателей, вне зависимости к какой аккумуляторной батарее подключены присоединения (рис. 9).

В настоящее время такая задача решена при совместной работе «ЭКРА-СКИ» и АСУ ТП, однако такое решение усложняет щиты постоянного тока и снижает надежность самих щитов. В НПП «ЭКРА» завершается работа по созданию такой системы контроля изоляции «ЭКРА-СКИ» сложных СОПТ, которая работает самостоятельно от АСУ ТП.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Опыт эксплуатации системы контроля изоляции «ЭКРА-СКИ» показал, что она работает надежно и позволяет найти ошибки в присоединениях, которые не были найдены при ручном поиске поврежденной изоляции сети оперативного постоянного тока.

2. Для уменьшения помех в сети оперативного постоянного тока необходимо применять зарядно-подзарядные устройства с низкой пульсацией, а также грамотно прокладывать кабели в каналах сети.

3. Анализ типов сети оперативного постоянного тока показал, что требуется разработка систем контроля изоляции с учетом особенностей конкретной сети оперативного постоянного тока.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехнический справочник. В 4 т. Т 3. Производство, передача и распределение электрической энергии, 8-е изд., исп. и доп. – М.: Изд. МЭИ, 2002. – 964 с.
2. Алимов Ю.Н. и др. Контроль изоляции в цепях оперативного постоянного тока / Алимов Ю.Н., Галкин И.А., Шаварин Н.И. // Цифровая электротехника: проблемы и достижения: сб. науч. тр. – Чебоксары, 2012. – Вып.1. – с. 70–87
3. Алимов Ю.Н., Быков К.В., Галкин И.А., Шаварин Н.И. Контроль изоляции в цепях оперативного постоянного тока электрических станций и подстанций. // Релейная защита и автоматизация. – 2013. – № 003. – С. 38–45.
4. СТО 56947007-29.240.041-2010 Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования.
5. Галкин И.А., Шаварин Н.И., Иванов А.Б. Реле контроля уровня сопротивлений изоляции полюсов сетей оперативного постоянного тока ООО НПП «ЭКРА» типа РКИЭ. // Релейная защита и автоматизация. – 2010. – № 01. – С. 26–28.
6. Силаев Ю.М. Специфические проблемы электромагнитной совместимости в системе оперативного постоянного тока // Релейная защита и автоматизация. 2010, № 1 (1). С. 29–31.