

ОБОРУДОВАНИЕ КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ В СЕТЯХ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

*И.А. Галкин, А.А. Лопатин, К.В. Быков, ООО НПП «ЭКРА»,
г. Чебоксары, Россия*

Надежность и безопасность работы систем электроснабжения во многом зависит от состояния изоляции электрической сети относительно земли. Повреждение изоляции в сетях как переменного, так и постоянного тока могут привести к неправильной работе и выходу из строя электрооборудования, пожарам и поражению людей электрическим током.

Поэтому выполнение самых жестких требований к методам и средствам непрерывного контроля изоляции является важнейшим условием высокого качества работы сетей как постоянного, так и переменного тока.

Одними из важнейших частей систем электроснабжения подстанций и электростанций, обеспечивающих бесперебойную работу устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), аварийных систем, АСУ ТП, связи являются сети оперативного постоянного тока (СОПТ). Они имеют большую протяженность и полностью изолированы от земли.

Несмотря на то, что при снижении сопротивления изоляции в этой сети всё оборудование продолжает нормально функционировать, но повреждение должно быть выявлено и устранено в кратчайший срок, чтобы предотвратить КЗ в системе оперативного питания и неправильную работу зависимого от этой сети оборудования.

В наиболее полной мере этим задачам соответствуют системы непрерывного контроля состояния изоляции с возможностью определения места повреждения.

В российских сетях оперативного постоянного тока применяются устройства контроля изоляции (УКИ). В последнее время наблюдается рост количества разработанных новых УКИ в сети оперативного постоянного тока. Среди различных методов выделяются методы на основе смещения нейтрали за счет поочередного подключения к полюсам резистивных элементов, а также определения сопротивления изоляции присоединений с помощью дифференциальных датчиков постоянных токов.

Наряду с уже известными УКИ фирм НПП «ЭКРА» (г. Чебоксары), «Bender GmbH & Co.» (г. Грюнберг, Германия), «Schneider Electric» (г. Рюэй-Мальмезон, Франция), «НПО Энергоавтоматика» и на рынки вышли УКИ других предприятий – «Электросбыт» (г. Чебоксары), «Технокомплект» (г. Дубна), «Радиус-Автоматика» (г. Зеленоград), «ЭлектроКонцепт» (г. Новосибирск), «С&Т Elmech» (г. Прущ-Гданьский, Польша), «Stae Grid Corporation of China» (г. Пекин, Китай) и др.

К сожалению, многие из предлагаемых на электротехническом рынке России устройств не соответствуют современным требованиям к таким устройствам, приводят к ложным срабатываниям подстанционного оборудования и создают другие проблемы при их эксплуатации.

Одним из важнейших вопросов, возникающих при эксплуатации таких устройств, является определение величин сопротивлений выравнивающих резисторов, включенных между полюсами сети и землей.

Согласно стандарту ФСК СТО 56947007-29.120.40.102-2011 «Методические указания по инженерным расчетам в системах оперативного постоянного тока для предотвращения неправильной работы дискретных входов микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики, при замыканиях на землю в цепях оперативного постоянного тока подстанций ЕНЭС», для емкости сети в диапазоне от 2 до 10 мкФ, величина перекоса напряжений не должна превышать 50–85 В. При емкости сети не более 10 мкФ и задержке срабатывания дискретного входа (ДВ) терминалов РЗА равной 20 мс, величина перекоса не должна превышать 77 В.

В табл. 1 приведены величины эквивалентных сопротивлений полюсов нескольких УКИ относительно «земли» и напряжения на полюсах при различных регламентированных уставках снижения сопротивления изоляции.

Таблица 1

Сопротивление одного полюса УКИ относительно земли	U _{АБ} , В	R _{из+} = 100, кОм		R _{из+} = 20, кОм		Перекос напряжений, В
		U+, В	U-, В	U+, В	U-, В	
R _{эк} = 8,9 кОм («ЭКРА-СКИ» производства НПП «ЭКРА»)	230	110	120	95	135	40
R _{эк} = 30 кОм («Сириус» – «Радиус- Автоматика» и «RIDUS» «Электроконцепт»)		100	130	65	165	100
R _{эк} = 200 кОм («Микро-СРЗ» – «Энергоавтоматика»)		76	154	33	197	164
R _{эк} = 360 кОм («IRDH575» – «Bender»)		41	189	11	219	208

Так у системы контроля изоляции с $R_{эк} = 30 \text{ кОм}$, при снижении изоляции на положительном полюсе до 25 кОм , «перекос» составит почти 100 В , а напряжение на отрицательном полюсе составит 165 В . Вследствие этого, возможна ложная работа дискретного входа при его замыкании на землю. Так как уставка по сигнализации «Земля на шинах» («сухой контакт») обычно составляет 20 кОм , то при снижении сопротивления изоляции до 25 кОм , УКИ не выдаст сигнал «Авария», что повышает вероятность ложной работы устройств РЗА.

В случаях необходимости применения переносных устройств контроля изоляции (ПКИ) некоторых производителей, требуется вообще отключить стационарную систему контроля изоляции (СКИ). При этом возрастает сопротивление полюсов сети относительно «земли», что, в свою очередь, также может привести к ложному срабатыванию дискретного входа терминала при замыкании положительного полюса дискретного входа на «землю».

На рис. 1 приведена осциллограмма напряжения на дискретном входе при емкости сети 2 мкФ , полученная на основе математического моделирования при металлическом замыкании ДВ на землю (время замыкания составляет $0,3 \text{ сек}$) при напряжении аккумуляторной батареи 230 В , сопротивлении положительного полюса относительно земли 25 кОм и сопротивлении отрицательного полюса 200 кОм для дискретного входа SIPROTEC ($U_{сраб} = 176 \text{ В}$; $R_{дв} = 100 \text{ кОм}$).

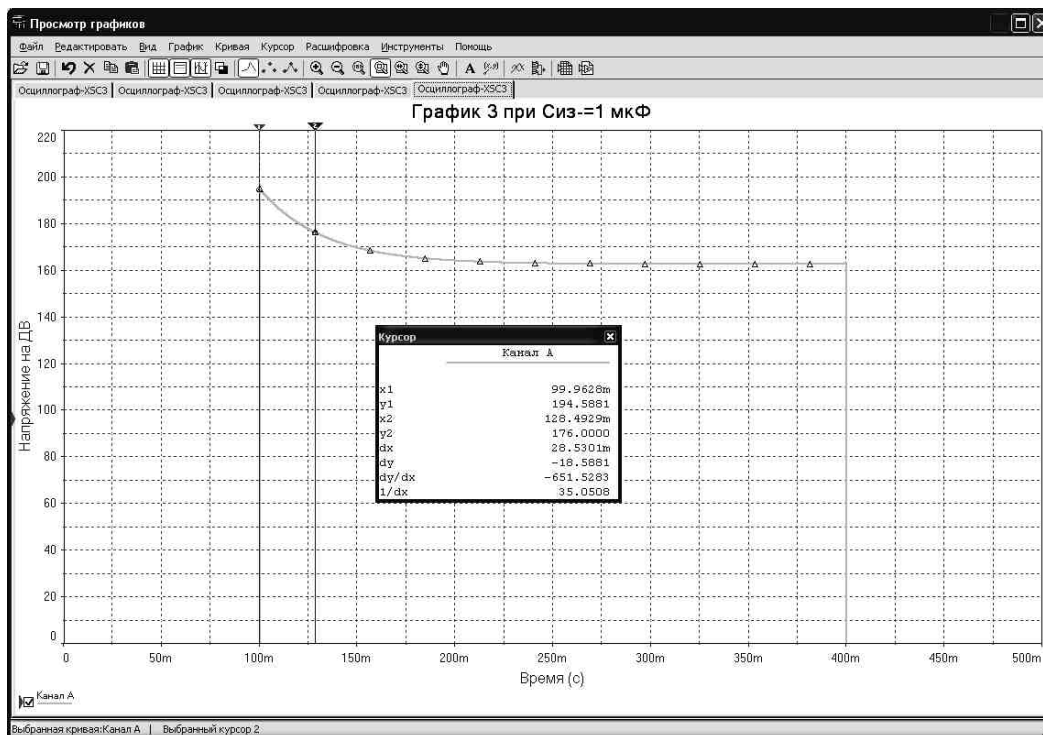


Рис. 1. Осциллограмма напряжения на дискретном входе при емкости сети 2 мкФ

Из осциллограммы видно, что максимальное напряжение на ДВ составляет $U_{\max} = 194$ В, время подержания напряжения до $U_{\text{сраб}} = 176$ В составляет $t_{\text{под}} = 28,53$ мсек. Очевидно, что ДВ успеет сработать за такой промежуток времени, так как обычно задержка срабатывания ДВ примерно 15 мсек.

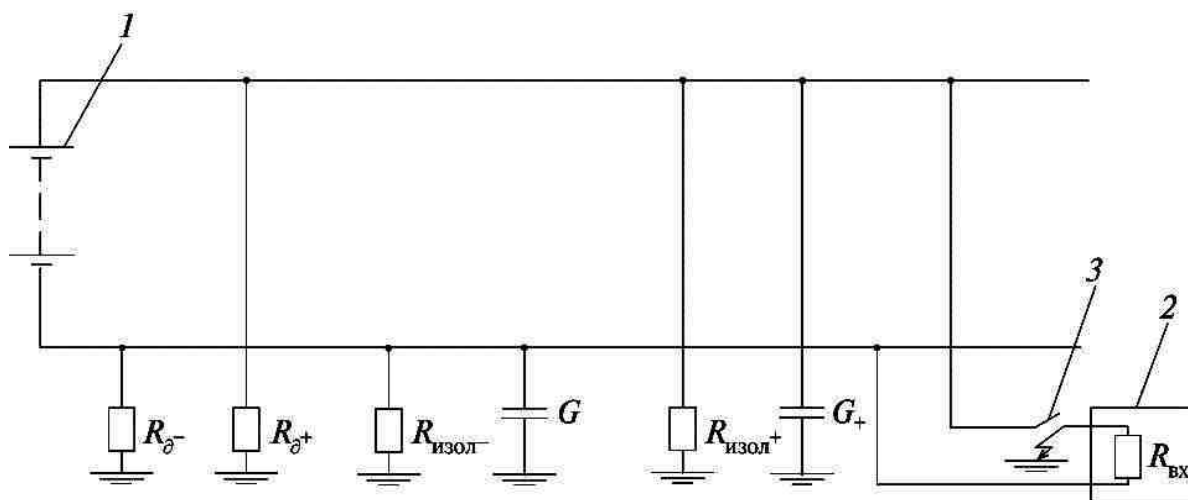


Рис. 2. Эквивалентная схема замещения сети оперативного постоянного тока

Другой вопрос, связанный с эксплуатацией УКИ, заключается в возможности применения этих УКИ в сетях, где уже применяются реле защиты и терминалы защиты, разработанные задолго до появления устройств автоматического поиска присоединений с поврежденной изоляцией. К таким устройствам относятся реле защиты «Орион-КИ» («Радиус-Автоматика»), терминалы БЭ2704 выпуска до 2005 года (НПП «ЭКРА») и другие устройства РЗА разных фирм.

Проведенные исследования на ПС 500 кВ «Киндери» (ОАО «Сетевая компания») показали, что для терминалов, напряжение срабатывания которых составляет примерно 135 В, при снижении сопротивления на положительном полюсе до 20 кОм и металлическом замыкании положительного входа ДВ на землю происходит ложное срабатывание ДВ. Поэтому, **при работе устройств контроля изоляции, необходимо контролировать не только сопротивления изоляции на присоединениях терминалов, но и напряжение на отрицательном полюсе сети.**

Лабораторные исследования показали, что при исключении схемы контроля изоляции на основе Т-образного моста сопротивлений, **возможно ложное срабатывание реле газовой защиты (ГЗ), при ухудшении сопротивления изоляции на положительном полюсе сети и одновременном замыкании ДВ на «землю», т.е. без ухудшения сопротивления изоляции подводящего кабеля.**

В третьих, в настоящее время в стандарте ФСК на СОПТ отсутствуют требования к устройствам СОПТ по величине и длительности, накладываемой при работе оборудования, переменной составляющей напряжения на полюсах сети относительно земли. Это приводит к тому, что применяемые в сети устройства, конфликтуют между собой. На рис. 3 приведена осциллограмма напряжения на полюсе сети при совместной работе УКИ типа ЭКРА-СКИ и устройства мигающего света ППБР-2М.

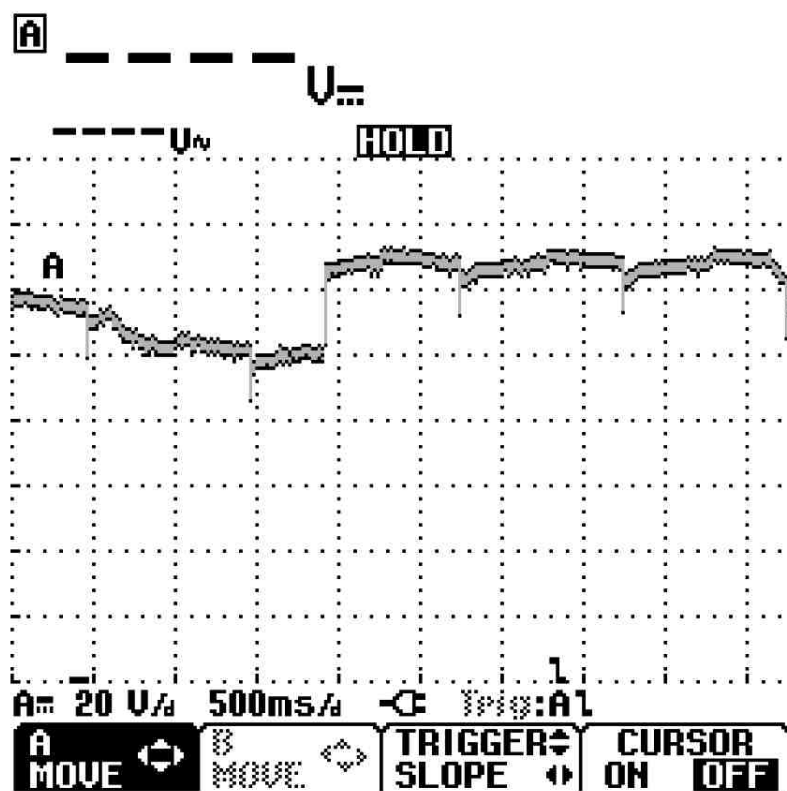


Рис. 3. Осциллограмма напряжения на положительном полюсе сети при одновременной работе ЭКРА-СКИ и ППБР-2М

Кроме того, опыт работы на электросетевых объектах доказывает целесообразность введения в СТО ФСК требования к сети оперативного тока по величине разбаланса емкостей полюсов сети относительно земли, а также к допустимой величине емкости между сетями переменного тока и постоянного тока. Опыт применения УКИ «ЭКРА-СКИ» показывает, что такие явления приводят к протеканию по присоединениям переменных составляющих токов промышленной частоты, что значительно затрудняют контроль сопротивления изоляции. Так при величине емкости примерно 1 мкФ в сети питания инверторов протекает дифференциальный ток промышленной частоты величиной примерно 100 мА, который во много раз превышает токи, связанные с утечкой при повреждении изоляции. Безусловно, мы работаем над тем, чтобы

свести к минимуму влияние этих факторов на результаты контроля сопротивления изоляции при помощи системы контроля изоляции «ЭКРА-СКИ» и её функциональные и технические возможности в значительной степени нивелируют эти явления в сетях. Тем не менее, на наш взгляд, необходимо внести изменения в методические указания по эксплуатации УКИ систем оперативного постоянного тока на объектах ОАО «Россети» (по аналогии с методическими указаниями, разработанным в ОАО «Сетевая компания»). Это позволит прийти к единому пониманию ответа на вопрос: Какие характеристики УКИ требуются российским сетям оперативного постоянного тока?

В сетях переменного тока с изолированной нейтралью до 1000 В. применение автоматического **непрерывного контроля изоляции является обязательным и требуется** Правилами устройства электроустановок (ПУЭ). Опасность поражения человека, прикоснувшегося к одному проводнику сети, зависит от сопротивления изоляции проводников относительно земли, причем, при работе в протяженных сетях ЛЭП (кабельных сетях) опасность поражения увеличивается. Сопротивление изоляции электрической сети на участках между двумя смежными аппаратами защиты (предохранителями, автоматическими воздушными выключателями и т.п.) или за конечными аппаратами защиты между проводом и землей, а также между любыми проводами было не менее 0,5 МОм.

Для непрерывного контроля состояния изоляции в таких сетях **НПП «ЭКРА» создало систему контроля сопротивлений изоляции в сети переменного тока с изолированной нейтралью типа ЭКРА-СКИ-АС**, которая предназначена для установки в низковольтных комплектных распределительных устройствах (НКУ) в шкафах или на панелях и позволяет:

- контролировать сопротивление изоляции фаз относительно «земли» сети переменного тока с изолированной нейтралью в целом;
- определять присоединения с поврежденной изоляцией без отключения потребителей от сети;
- определять отключенные от сети присоединения с поврежденной изоляцией.

В состав «ЭКРА-СКИ-АС» входят:

- блок управления ЭКРА-СКИ-АС с панелью оператора, выполняющий основные функции, управление работой датчиков, вывод информации на дисплей, ввод уставок и режимов работы;
- дифференциальные датчики тока типа ДДТ, выполняющие контроль изоляции присоединений и вводов;

– устройство контроля отключенного присоединения (УКОП), обеспечивающее автоматический контроль сопротивления изоляции отключенных от секций присоединений.

ЭКРА-СКИ-АС выполняет следующие функции:

- определение полного сопротивления изоляции фаз сети;
- контроль снижения сопротивлений изоляции фаз сети в целом ниже уровня уставок «Предупреждение» и «Авария»;
- контроля снижения напряжения на фазах сети ниже уставок;
- определения полного сопротивления изоляции отходящих присоединений, на которых установлен датчик дифференциально тока (ДДТ);
- контроль снижения полного сопротивления изоляции каждого из отходящих присоединений, на котором установлен датчик ДДТ ниже уровня уставки «Авария»;
- ввод величин уставок «Предупреждение» и «Авария» для сопротивлений изоляции полюсов сети в целом;
- ввод величины уставки «Авария» для сопротивлений изоляции отдельных присоединений;
- ввод величин уставок минимального значения напряжения на выходе трехфазного выпрямителя и напряжений каждой фазы сети;
- ввод величин уставок минимальных значений напряжений на входе блока управления ЭКРА-СКИ-АС каждой фазы сети;
- архив событий снижения сопротивления изоляции на присоединениях ниже уставки «Авария»;
- контроль исправности ЭКРА-СКИ-АС, датчиков ДДТ, устройств контроля отключенного присоединения (УКОП), интерфейсной сети связи блока управления, датчиков и УКОП;
- местная сигнализация о состоянии изоляции сети и о работе системы;
- управление, настройка и контроль функций системы «ЭКРА-СКИ-АС» с панели оператора;
- для просмотра текущей информации и архива регистрируемых событий используется Web-браузер;
- для взаимодействия с АСУ ТП используется протокол связи ГОСТ Р МЭК 60870-104, по требованию заказчика может быть обеспечен протокол МЭК 61850-8-1;
- дистанционная связь с ПЭВМ с помощью разъема Ethernet по локальной сети;
- в блоке управления ЭКРА-СКИ-АС предусмотрена возможность синхронизации времени по SNTP протоколу;
- внутренняя самодиагностика (тестирование).

ЭКРА-СКИ-АС правильно функционирует при изменении напряжения сети от 0,8 до 1,1 номинального значения и не повреждается:

– при подаче и снятии напряжения сети переменного тока с изолированной нейтралью;

– при подаче напряжения сети переменного тока с различным чередованием фаз;

– при перерывах питания любой длительности с последующим восстановлением;

– при замыкании цепей сети переменного тока с изолированной нейтралью на «землю».

Время готовности устройства к работе после подачи напряжения питания – до 30 с.

ЭКРА-СКИ-АС не вызывает ложных срабатываний устройств релейной защиты и автоматики.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наименование параметра	Стандартные значения параметров (по заказу возможны и другие)
Номинальное напряжение контролируемой сети переменного тока с изолированной нейтралью, В	220
Номинальная частота контролируемой сети, Гц	50
Максимальная емкость контролируемой сети, мкФ	500
Относительная погрешность при определении сопротивления изоляции фаз сети, %, не более	20
Диапазон измерения сопротивления изоляции фаз сети, кОм	1–1000
Контроль сопротивления изоляции фаз сети переменного тока, кОм	5–1000
Количество уставок снижения сопротивления изоляции фазы	2
Диапазон уставки снижения сопротивления изоляции фазы, кОм	5–150
Основная относительная погрешность измерения сопротивления изоляции фазы в диапазоне:	
(1–10) кОм, кОм, %, не более	1
(10–100) кОм, %, не более	5
(100–1000) кОм, %, не более	10

Наименование параметра	Стандартные значения параметров (по заказу возможны и другие)
Контроль сопротивления изоляции присоединений, кОм	5–100
Число автоматически контролируемых присоединений, шт., не более	255
Максимальное сопротивление изоляции присоединения, при котором возможно определить присоединение (со сниженным сопротивлением изоляции), кОм	100
Количество уставок снижения сопротивления изоляции присоединения	1
Диапазон уставки снижения сопротивления изоляции присоединения, кОм	5–100
Относительная погрешность измерения сопротивления изоляции присоединения в диапазоне (10–100) кОм, %, не более	20
Время цикла измерения сопротивления фаз сети, с, не более	8
Время цикла измерения сопротивления всех присоединений, с, не более	20
Напряжение питания постоянного тока, Уп, В	24
Максимальная потребляемая мощность ЭКРА-СКИ-АС, Вт: <ul style="list-style-type: none"> – блока управления – панели оператора – датчика дифференциального тока ДДТ – блока управления полярностью БУП 	20 5 1 1

Наибольшая длина кабеля связи между блоком управления и датчиками ДДТ и УКОП составляет примерно 1000 м.

В ЭКРА-СКИ-АС предусмотрено циклическое тестирование, длительность которого не превышает 60 с., которое включает в себя:

- тестирование контроллера блока управления;
- контроль снижения напряжения между полюсами выпрямителя сети переменного тока ниже уставки;
- контроль исправности ДДТ и УКОП, а так же их интерфейсной сети.

Применение ЭКРА-СКИ-АС в сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В обеспечивает полный контроль изоляции в соответствии с требованиями ПУЭ и потребностями энергообъектов любой сложности.