



Авторы:  
к.т.н. Галкин И.А.,  
Быков К.В.,  
Лопатин А.А.,  
ООО НПП «ЭКРА»,  
г. Чебоксары, Россия.

## ВЫБОР СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ РОССИИ

Аннотация: в статье проведен сравнительный анализ средств контроля изоляции систем оперативного постоянного тока, используемых на энергообъектах России. Результаты анализа, исходя из требований к ним, могут быть использованы при выборе устройств контроля изоляции.

Ключевые слова: сеть оперативного постоянного тока, контроль сопротивления изоляции, щит постоянного тока, параметры сети и параметры устройства контроля изоляции.



Галкин  
Игорь Александрович

Дата рождения: 23.06.1952 г.  
В 1974 г. окончил Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова.  
В 1988 г. в Омском политехническом институте защитил диссертацию на соискание звания кандидата технических наук по теме «Разработка индукторных систем для магнитно-импульсной обработки металлов».  
Руководитель группы отдела НКУ ООО НПП «ЭКРА».

Для контроля сопротивления изоляции в сети оперативного постоянного тока широкое применение нашла традиционная схема [1], основанная на мостовом соединении резисторов и обмотки реле РН51/32. Достоинством традиционной схемы контроля изоляции является то, что при широком диапазоне изменения сопротивления изоляции полюсов сети оперативного тока, она снижает перекося напряжений между полюсами сети и, следовательно, вероятность ложной работы устройств РЗА и ПА [16], а напряжение на полюсах относительно «земли» составляет примерно половину напряжения аккумуляторной батареи, т.е. 110...125 В. Для контроля эквивалентного сопротивления изоляции сети оперативного тока с учетом сопротивлений изоляции обоих полюсов сети оперативный персонал подстанций или электростанций в начале и конце смены с помощью переключателя и потенциометра производит настройку моста в ручном режиме, а затем производит вычисление эквивалентного сопротивления изоляции всей сети. Это не только трудоемко, но и не позволяет контролировать сопротивление изоляции в автоматическом режиме. Опыт показывает, что реальные случаи и симметричного ухудшения изоляции, приводящие к авариям. Другим недостатком традиционной схемы контроля изоляции является то, что она не предназначена для определения отдельных присоединений с поврежденной изоляцией без отключения этих присоединений от сети.

В настоящее время в сети оперативного постоянного тока подстанций и станций России применяются устройства контроля сопротивлений изоляции с функцией поиска поврежденного присоединения (УКИ): Vigilohm (Schneider Electric) [2], A-ISOMETER (Bender) [3], DCtest2 (ENERGOTEST) [4], Скиф (ООО «Техэлектро СТ») [5], Микро-СРЗ (НПЦ «Энергоавтоматика» [6], УКИ-МП (НПИ), РК-11 (ПКФ «Электросбыт» [7], Скипетр (ООО «Элекосервис») [8],

Сенсор (ООО «Магнит») [9], ЭКРА-СКИ (ООО НПП «ЭКРА») [10] и др. Кроме того, ряд организаций производят УКИ, которые устанавливаются в собственных щитах (НИПОМ, Технокомплект и др.). Изготовители УКИ предоставляют неполную информацию, что затрудняет сравнение средств между собой. Кроме этого в стандартах ПАО «Россети» [11], ПАО «Концерн Росэнергоатом» [12], ПАО «РусГидро» [13] требования к средствам контроля изоляции также отличаются между собой.

В работе [14] выполнен сравнительный анализ устройств контроля сопротивления изоляции электроэнергетических систем постоянного тока. При анализе основное внимание было уделено сравнению УКИ по величине инжектируемого тока в оперативную сеть в режиме селективного контроля. Однако не проведен сравнительный анализ по величине перекося напряжений полюсов в режиме контроля сопротивлений полюсов сети, а также в режиме поиска поврежденных присоединений. В стандарте [11] указано, что для емкости сети 2...10 мкФ величина перекося напряжений не должна превышать 50...85 В.

Проведенные исследования показывают, что в сети оперативного постоянного тока возможна ложная работа устройств РЗА и ПА без участия УКИ в поиске поврежденного присоединения, например при замыкании положительного полюса сети на «землю» или замыкании на «землю» на участке управляющий контакт – дискретный вход [15, 16]. Это происходит в случаях, когда в сети оперативного постоянного тока существует значительный перекося напряжений между полюсами. Выравнивание напряжений на полюсах сети может быть выполнено, например, с помощью традиционной схемы контроля изоляции.

Важной характеристикой УКИ является возможность совместной работы УКИ с традиционной схемой контроля изоляции или ее аналогом,



что позволяет уменьшить вероятность ложной работы устройств РЗ и ПАА.

Также важной характеристикой УКИ является возможность определения присоединений с симметричным снижением сопротивлений изоляции на обоих полюсах. Опыт показал, что вероятность таких случаев высока.

Датчики дифференциальных постоянных токов, используемые в некоторых УКИ, как свидетельствует опыт, чувствительны к помехам, создаваемым некоторыми типами тиристорных зарядно-подзарядных устройств (ЗПУ) [17, 19]. Поэтому важной характеристикой УКИ является помехоустойчивость к помехам, создаваемым, например, ЗПУ.

Для оперативного поиска поврежденных присоединений в сети оперативного постоянного тока, на которых не установлены стационарные датчики контроля изоляции, важной характеристикой УКИ является наличие переносного устройства контроля изоляции поврежденного присоединения.

Для сети оперативного тока, состоящей из двух и более щитов постоянного тока (аккумуляторных батарей), важной характеристикой УКИ является контроль изоляции всех присоединений при выводе одной из аккумуляторных батарей в ремонт.

Для сети оперативного постоянного тока, имеющей два щита, каждый из которых имеет две секции, важной характеристикой УКИ является возможность контроля изоляции всех присоединений при различных положениях секционных выключателей. Так, например, возможны случаи, когда потребители двух секций одного щита могут быть запитаны от различных аккумуляторных батарей, при этом дифференциальные датчики контроля изоляции принадлежат к одному УКИ.

Для сети оперативного постоянного тока, имеющей удаленные от щитов постоянного тока шкафы распределения, необходимо, чтобы в шкафах распределения были установлены панели оператора для контроля сопротивлений изоляции присоединений.

В таблице 1 приводятся сравнение некоторых УКИ по важным, на взгляд

авторов, основным техническим характеристикам, как то:  $\Delta U_1$  – перекос напряжений полюсов сети в режиме измерения сопротивления сети,  $\Delta U_2$  – перекос напряжений полюсов в режиме поиска поврежденного присоединения, I – инжектируемый в сеть ток, C – максимально допустимая емкость сети,  $R_{вн}$  – эквивалентное внутреннее сопротивление устройства контроля изоляции относительно «земли»,  $\Delta R_c$  – диапазон измерения сопротивления изоляции полюсов сети,  $\Delta R_{пр}$  – диапазон измерения сопротивления изоляции присоединений, t – длительность измерения сопротивления изоляции сети, а также по таким характеристикам, как возмож-

ность совместной работы с традиционной схемой контроля изоляции, наличие переносного устройства поиска присоединений с поврежденной изоляцией, возможность определения присоединений при симметричном снижении сопротивлений изоляции полюсов, возможность контроля изоляции присоединений в сети оперативного тока с несколькими щитами постоянного тока (аккумуляторными батареями) при выводе одной из аккумуляторных батарей в ремонт, возможность контроля изоляции в сети с щитами постоянного тока, имеющими две секции, помехоустойчивость УКИ к помехам, создаваемым ЗПУ, возможность контроля изоляции в шкафах

Табл. 1.

Параметры	Isometer IRDH57 5	DCtest2	Микро-СРЗ 193	PK -11	Скипетр	Сенсор	Скиф	ЭКРА-СКИ
$\Delta U_1$ , В	40	110					60	30
$\Delta U_2$ , В	40...220	110					60	30
I, мА	1...50		0,5...2,5		1,5/15			<1
C, мкФ	*		50	50	300...10000		30	200
$R_{вн}$ , кОм	180	20	100	50/500	3,2			5
$\Delta R_c$ , кОм	1-10000	0...250	2-10000	1...2500	0...9999	0...300		0...1000
$\Delta R_{пр}$ , кОм	**	0...30	30	5...100	0...999	0...300	0...50	0...100
t, сек.	4,***	10...2500	60	4...20	40	3		20
Совместная работа с традиционной схемой контроля изоляции	нет	нет	нет	нет	да	да	нет	да
Переносное устройство контроля изоляции	да	да	нет	нет	да	нет	да	да
Определение присоединений при симметрично м снижении сопротивлений изоляции	да	да		да		нет		да
Контроль изоляции в сети с двумя ЩПТ (АБ)	да***	да	нет					да
Контроль изоляции в ЩПТ с двумя секциями	да	да	нет					да
Контроль изоляции в шкафах распределения	да	да	нет					да
Помехоустойчивость УКИ к помехам от ЗПУ	да	да	нет	нет	да	нет	да	да
Протоколы связи с АСУ ТП	BMS	Modbus TCP, RTU	МЭК 60870-5-104-2004	Modbus	МЭК 870-5-101, Modbus			МЭК 60870-5-104-2004, МЭК 61850-8-1

Примечания: \* - величина максимально допустимой емкости сети зависит от рабочего напряжения сети, \*\* - диапазон измерения сопротивления изоляции присоединений зависит от емкости сети, \*\*\* - длительность поиска присоединения с поврежденной изоляцией зависит от емкости сети.



**Быков**  
**Константин Владимирович**  
 Дата рождения: 20.07.1976 г.  
 В 1999 г. окончил Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова. Заместитель заведующего отделом НКУ ООО НПП «ЭКРА».



**Лопатин**  
**Андрей Анатольевич**  
 Дата рождения: 16.08.1980 г.  
 Окончил в 2003 г. Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, кафедра «Электрические аппараты». Заведующий отделом НКУ ООО НПП «ЭКРА».

распределения с помощью панелей оператора, протоколы связи УКИ с АСУ ТП.

Сравнительный анализ УКИ показывает, что такие характеристики, как перекося напряжений полюсов в режиме контроля изоляции полюсов сети, а также в режиме поиска поврежденных присоединений, у многих производителей отсутствуют. УКИ фирм BENDER, ENERGOTEST, а также Schneider Electric не имеют русскоязычного меню. Некоторые УКИ обладают многими достоинствами по отношению к остальным, но при эксплуатации возникают случаи ложной работы устройств РЗ и ПАА.

Наличие положительного решения аттестационной комиссии ПАО «Россети» с рекомендацией о применении системы контроля сопротивления изоляции в сети оперативного постоянного тока на объектах ПАО «Россети» говорит о соответствии системы контроля изоляции требованиям ПАО «Россети» [20].

**Выводы**

1. Сравнительный анализ технических характеристик УКИ показывает, что у многих УКИ отсутствует значение перекося напряжений на полюсах сети в режиме контроля изоляции полюсов, а также в режиме поиска поврежденного присоединения.

2. Важными характеристиками устройств контроля изоляции являются возможность совместной работы с традиционной схемой контроля изоляции или ее аналогом, возможность определения присоединений с симметричным снижением сопротивлений изоляции полюсов присоединений, наличие переносного устройства контроля изоляции, помехоустойчивость датчиков от помех, создаваемых ЗПУ.

3. Для сети оперативного постоянного тока, состоящей из двух и более щитов постоянного тока (аккумуляторных батарей), важной характеристикой УКИ является возможность контроля сопротивлений всех присоединений при выводе в ремонт одной из аккумуляторных батарей.

4. Для сети оперативного постоянного тока, имеющей щиты постоянного тока с двумя секциями, важной характеристикой УКИ является возможность контроля сопротивления изоляции присоединений при различных положениях секционных выключателей.

5. Для сети оперативного постоянного тока, имеющей удаленные от щитов постоянного тока шкафы распределения, важной характеристикой является наличие в шкафах распределения панелей оператора для контроля сопротивлений изоляции присоединений.

**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. Schneider Electric. Управление электрическими сетями. Vigilohm, Каталог. – 2011 г.
3. Bender Group. Безопасное электроснабжение. Каталог продукции. Издание. – 2014 г.
4. ООО «Техэлектро СТ». Система контроля изоляции фидеров «СКИФ». Краткие технические характеристики. – 2014 г.
5. ООО «НПЦ «Энергоавтоматика». Микропроцессорный терминал МикроСРЗ-193 для мониторинга сети постоянного тока. Руководство по эксплуатации (техническое описание и инструкция по эксплуатации) ЭА004.00.00.000-РЭ.2006 г.
6. ENERGOTEST. Система контроля изоляции сети постоянного тока DCTest2. Инструкция эксплуатации. <http://www.energotest.com.pl>.
7. ООО «МАГНИТ». Система пофидерного контроля изоляции сети постоянного тока «СЕНСОР». ТО.МА.0705.270.700 (техническое описание и инструкция по эксплуатации), редакция 2.1, г. Новосибирск. – 2014 г.
8. ООО «ЭЛЕКОМСЕРВИС». Система контроля и поиска повреждений изоляции в сетях оперативного постоянного тока СКИ «СКИПЕТР». Руководство по эксплуатации, ЭКС.003.000 РЭ, редакция 1.3. – 2014 г.
9. ПКФ «ЭЛЕКТРОСБЫТ». Реле контроля параметров цепи постоянного тока РК-11, Руководство по эксплуатации, ШОПТ.426200.011 РЭ, г. Чебоксары.
10. Система контроля сопротивлений изоляции в сети оперативного постоянного тока ЭКРА-СКИ, Руководство по эксплуатации, ЭКРА.656122.015 РЭ.
11. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.40.041-2010 Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования.
12. ОАО «Концерн Росэнергоатом». Сеть оперативного постоянного тока устройств релейной защиты и автоматики, коммутационных аппаратов эксплуатируемых энергоблоков АЭС. Технические требования.
13. ОАО «Федеральная гидрогенерирующая компания - Русгидро», Гидроэлектростанции. Системы оперативного постоянного тока. Технические требования, типовые технические решения. Москва. – 2012 г.
14. Синегубов А.П. Анализ средств контроля сопротивления изоляции электроэнергетических систем постоянно тока // Известия вузов. Электромеханика, 1(537) 2015. – С. 61-65.
15. 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. – №03. – С. 38-45.
16. Гусев Ю.П., Монаков Ю.В. Предотвращение срабатываний дискретных входов микропроцессорных релейных защит при замыканиях на землю в системах оперативного постоянного тока // Известия вузов. Электромеханика. – № 1. – № 2013. – С. 81-83.
17. Алимов Ю.Н., Быков К.В., Галкин И.А., Иванов А.Б. Некоторые вопросы применения традиционной схемы контроля изоляции и опыт внедрения системы контроля изоляции «ЭКРА-СКИ» в СОПТ энергообъектов России // Энергоэксперт. – №3. – 2014 г.
18. Устройство измерения дифференциального тока, заявка на изобретение РФ №2015103287, приоритет от 02.02.2015.
19. <http://www.rzia.ru> // Советы бывалого релейщика // Аварии, дефекты оборудования.
20. Заключение аттестационной комиссии 23-3/15 от 15.01.2015 о соответствии техническим требованиям ОАО «Россети» системы контроля сопротивления изоляции в сети оперативного постоянного тока напряжением 220 В «ЭКРА-СКИ».