

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Саяно-Шушенский филиал

Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических систем и
электрических сетей

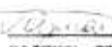
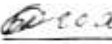

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.И. Татарников
подпись инициалы, фамилия
" 22 " 06 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Устройства контроля изоляции сети оперативного постоянного тока

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Научный руководитель	 22.06.2017 подпись, дата должность, ученая степень	<u>М. С. Размахнин</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 22.06.17 подпись, дата	<u>П. М. Белоконев</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 22.06.17 подпись, дата	<u>А.А. Чабанова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки, 2017

АННОТАЦИЯ

Работа направлена на решение актуальных проблем контроля и измерения сопротивления изоляции сети оперативного постоянного тока. За последние годы появилось множество современных устройств контроля изоляции, но не все устройства отвечают необходимым требованиям. В процессе исследования были выявлены следующие проблемы контроля изоляции:

- определение поврежденного фидера;
- ложное срабатывание дискретных входов микропроцессорных реле;
- несовместимость с классической схемой контроля изоляции;
- Чувствительность симметричного снижения сопротивления изоляции СОПТ.

Решение поставленных задач базируется на следующих методах исследования: метод сравнения; метод анализа; метод восхождения от абстрактного к конкретному.

Выводы и результаты проделанной работы:

1. Проведен анализ современных устройств контроля изоляции;
2. Проанализированы особенности схем УКИ;
3. Проанализирован опыт эксплуатации УКИ;
4. Выявлены проблемы контроля изоляции;
5. Предложены варианты решения проблем контроля изоляции.

Реализация представленных решений позволяет повысить надежность обеспечения бесперебойного питания электроприемников постоянного тока и вторичных цепей.

Ключевые слова. Сети оперативного постоянного тока, устройства контроля изоляции, релейная защита, надежность, ложная работа аппаратов РЗ.

АВТОРЕФЕРАТ

Оперативные сети постоянного тока на подстанциях и электростанциях являются одними из важнейших элементов систем электроснабжения. Эти сети отвечают за надежную работу релейной защиты, автоматики, систем управления и др. СОПТ проектируются изолированными от “земли”, более того они имеют большую протяженность. К сожалению, изоляция подвержена старению, а так же механическим воздействиям, что может повлечь за собой появление “земли” на полюсах сети. При появлении “земли” на одном полюсе, СОПТ продолжает нормально функционировать, но повреждение изоляции должно быть найдено и устранено. Поэтому, в соответствии с п. 3.4.18 ПУЭ, в оперативных цепях должны быть предусмотрены устройства контроля изоляции, обеспечивающие контроль и измерение значения сопротивления изоляции полюсов и подачу сигнала при снижении изоляции ниже уставки. Для нахождения места повреждения изоляции так же используются устройства контроля изоляции.

Целью работы является решение выявленных проблем при эксплуатации современных устройств контроля изоляции сети оперативного постоянного тока на основе анализа опыта эксплуатации.

Для достижения данной цели сформулированы следующие задачи:

1. Проанализировать характеристики современных устройств контроля изоляции (А-ISOMETER, КМСОТ-М, СЕНСОР, ЭКРА-СКИ).
2. Рассмотреть особенности схем выбранных устройств контроля изоляции;
3. Провести анализ опыта эксплуатации устройств контроля изоляции;
4. Выявить проблемы контроля изоляции;
5. Предложить варианты решения проблем при эксплуатации устройств контроля изоляции в сети оперативного постоянного тока.

Результаты, определяющие научную новизну и практическую значимость работы:

1. Проанализированы характеристики УКИ;
2. Определены положительные и отрицательные стороны современных устройств контроля изоляции;
3. На основании опыта эксплуатации выявлены проблемы УКИ;
4. Предложены варианты решения проблем УКИ.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация.....	2
Автореферат.....	3
Введение.....	6
1 Сети оперативного постоянного тока.....	8
1.1 Назначение.....	8
1.2 Потребители СОПТ.....	9
1.3 Необходимость выявления мест снижения изоляции элементов СОПТ.....	10
2 Устройства контроля изоляции.....	12
2.1 Характеристики современных устройств контроля изоляции.....	12
2.2 Особенности схем.....	14
2.2.1 Схема контроля изоляции Т-образный мост.....	16
2.2.2 Особенности схемы А-ISOMETER.....	25
2.2.3 Особенности схемы КМСОТ-М.....	31
2.2.4 Особенности схемы СЕНСОР.....	35
2.2.5 Особенности схемы ЭКРА-СКИ.....	38
2.3 Опыт эксплуатации УКИ.....	40
2.4 Анализ проблем контроля изоляции.....	42
3 Варианты решения проблем, выявленных при эксплуатации устройств контроля изоляции СОПТ.....	44
3.1 Шунтирование МУРЗ.....	44
3.2 Модернизация традиционной схемы контроля изоляции.....	49
4 Уставки УКИ.....	54
5 Выводы, рекомендации.....	55
Заключение.....	56
Список сокращений.....	57
Список использованных источников.....	59
Приложения А – Б.....	62-68

ВВЕДЕНИЕ

Надежность работы основного оборудования электрических станций и подстанций зависит от источников питания и сети оперативного постоянного тока. Однако, за последние годы задачи управления и эксплуатации систем оперативного постоянного тока не получили значительного развития.

Сети оперативного постоянного тока (СОПТ) обладают значительной разветвленностью и протяженностью кабельных линий, что объясняет постоянную их повреждаемость. Наиболее часто возникающая неисправность во вторичных цепях, это снижение сопротивления изоляции полюсов относительно "земли". Причиной чего является старение изоляции, увлажнение изоляции или механические повреждения. "Земля" в СОПТ – одна из аварийных ситуаций. Наличие "земли" в СОПТ свидетельствует о том, что один из полюсов замыкается на землю. Замыкание на землю – это непреднамеренное электрическое соединение токоведущих частей электроустановки с землей или нетокведущими частями конструкции этой электроустановки, а также, предметами, не имеющими электрической изоляции от земли. Замыкание на землю может привести к ложной работе устройств релейной защиты и автоматики, а так же увеличению вероятности возникновения короткого замыкания. Кроме того при замыкании на "землю", возникает шанс поражение человека электрическим током, что не допустимо.

Традиционные устройства контроля сопротивления изоляции сетей постоянного тока, сделанные на основе мостового метода, не всегда отвечают необходимой надежностью и в конкретных случаях не реагируют как на однополюсные, так и на двухполюсные повреждения и снижения сопротивления изоляции. Низкая эффективность работы устройств контроля изоляции обусловлена, их низкой чувствительностью к симметричному снижению сопротивления изоляции на обоих полюсах и зависимость уставки срабатывания устройств релейной защиты от переходного сопротивления в месте повреждения и от уровня снижения сопротивления изоляции всей сети.

Кроме того, устройства контроля сопротивления изоляции, созданные на основе типовых решений, осуществляют контроль только общего сопротивления изоляции сети. В этих условиях поиск поврежденного фидера СОПТ становится очень трудозатратой процедурой. Поиск повреждения присоединения осуществляется оперативным персоналом по средствам последовательного переключения отдельных фидеров до исключения поврежденного присоединения и дальнейшего пропадания предупредительного сигнала о появлении "земли" в цепях оперативного тока. Нахождение места повреждения с пониженным сопротивлением изоляции осуществляется отключением участков поврежденного фидера и дальнейшей проверкой их изоляции мегомметром. В это время потребители оперативного тока, подключенные к отключаемому присоединению, теряют источник питания. Данные действия могут вызвать отказ или ложную работу устройств РЗ и А. Из-за высокой разветвленности сетей оперативного постоянного тока поиск поврежденного присоединения занимает многие часы и даже сутки, а так же требует выполнения многочисленных переключений в цепях оперативного тока. Как следствие это влияет на увеличение ошибочных действий персонала и возникновения аварийных ситуаций.

Устройства контроля изоляции и поиска места повреждения внедряются для упрощения и ускорения процесс определения места повреждения. Из анализа существующих УКИ видно, что все предложенные в настоящее время решения имеют свои недостатки, препятствующих их широкому применению.

Причины низкой эффективности работы существующих устройств, обусловлены недостатками опыта эксплуатации современных устройств контроля изоляции. А так же отсутствие базы данных эксплуатации современных УКИ. Немало важно отсутствие полигона для испытания и тестирования УКИ.

Все вышеизложенное свидетельствует об актуальности работы по устройствам контроля сопротивления изоляции сети оперативного постоянного тока.

1 Сети оперативного постоянного тока

1.1 Назначение

Система оперативного постоянного тока - электроустановка, обеспечивающая питание электроприемников постоянного тока. [9]

Система оперативного постоянного тока предназначена для ввода, преобразования, аккумулярования и распределения постоянного тока по цепям собственных нужд для обеспечения бесперебойного питания устройств постоянного тока и вторичных цепей, в том числе: телемеханики, автоматики, релейной защиты, сигнализации, аппаратуры дистанционного управления и др. [9]

Необходимость контроля сопротивления изоляции СОПТ можно объяснить на примере упрощенных схем представленных на рисунке 1.

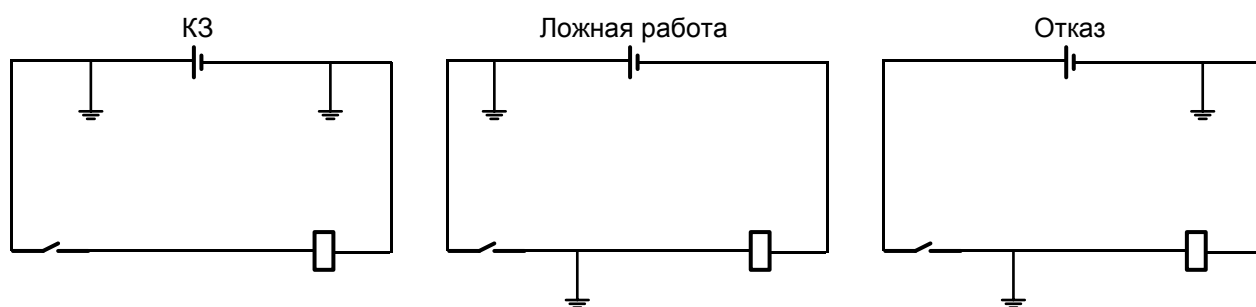


Рисунок 1 – Назначение СОПТ

КЗ в сети оперативного постоянного тока возникнет в случае замыкания на “землю” входных и выходных присоединений АБ.

Ложная работа устройств релейной защиты возникает в случае замыкания на “землю” входного присоединения АБ и соединением электромагнитного промежуточного реле или логического входа МУРЗ с нормально разомкнутым контактом.

Отказ МУРЗ возникает в случае замыкания на “землю” выходного присоединения АБ и соединением электромагнитного промежуточного реле или логического входа МУРЗ с нормально разомкнутым контактом.

1.2 Потребители СОПТ

Всех потребителей, получающих питание от аккумуляторной батареи СОПТ, можно разделить на три группы:

1) Постоянно включенная нагрузка – устройства блокировки, устройства управления, устройства сигнализации и релейной защиты, аварийное освещение [8].

2) Временная нагрузка – необходима при аварийных режимах – токи нагрузки для аварийного освещения и электродвигателей постоянного тока. Нагрузка осуществляется до устранения аварии [8].

3) Кратковременная нагрузка необходима для включения и отключения приводов выключателей и автоматов. Осуществление пусковыми токами электродвигателей, а так же токами нагрузки аппаратов управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты [8].

Сеть оперативного постоянного тока обеспечивают резервное и рабочее питание следующих электроприемников:

- устройств релейной защиты и автоматики;
- устройств управления;
- приводов высоковольтных выключателей;
- устройств сигнализации;
- аппаратов противоаварийной автоматики;
- аппаратов коммерческого учета электроэнергии;
- аппаратов связи;
- приводов автоматических вводных и секционных выключателей;
- щитов собственных нужд.

Сеть оперативного постоянного тока должна обеспечивает резервное питание:

- АСУ ТП;
- аварийного освещения, ОПУ, релейного щита, ЗРУ, камер задвижек

пожаротушения.

1.3 Необходимость выявления мест снижения изоляции элементов СОПТ

Оперативные сети постоянного тока на ПС и электрических станциях являются важными частями систем электрического снабжения, без которых невозможна надежная работа релейной защиты, автоматики и систем управления [2]. Эти сети проектируются полностью изолированными от “земли” [1]. “Земля” в СОПТ – одна из аварийных ситуаций. Наличие “земли” в СОПТ свидетельствует о том, что один из полюсов замыкается на землю. Замыкание на землю – это непреднамеренное электрическое соединение токоведущих частей электроустановки с землей или нетокведущими частями конструкции этой электроустановки, а также, предметами, не имеющими электрической изоляции от земли. Данные сети имеют длинную протяженной. При повреждении изоляции одного из полюсов и возникновении на нем “земли”, СОПТ продолжает работать в нормальном режиме, но данное повреждение должно быть найдено и устранено в кратчайшие сроки, в другом случае при повреждении изоляции дополнительно и второго присоединения случится КЗ в системе оперативного питания [2].

Поэтому, в соответствии с п. 3.4.18 ПУЭ, в разветвленных цепях оперативного постоянного тока должны быть установлены УКИ, для обеспечения измерения значения сопротивления изоляции, как присоединения, так и сети в целом, а так же подачу сигнализации при снижении изоляции ниже установленного значения [17]. После выявления факта снижения

сопротивления изоляции необходимо отыскать место повреждения, что невозможно выполнить без специальных приборов.

2 Устройства контроля изоляции.

2.1 Характеристики современных устройств контроля изоляции (А-ISOMETER, КМСОТ-М, СЕНСОР, ЭКРА-СКИ)

Для выявления замыканий на землю СОПТ и автоматического определения поврежденного присоединения, современные УКИ используют разные принципы работы: наложение на СОПТ переменной составляющей, измерение дифференциального тока утечки на землю с помощью датчиков или трансформаторов тока при воздействии на полюса СОПТ известного сопротивления, инжекция в СОПТ заданных токов и другие [13].

Современные УКИ используют автоматизированный способ трех отсчетов вольтметра для определения уровня снижения сопротивления изоляции СОПТ, а так же используют другие способы для решения этой задачи (описание метода трех измерений вольтметра приведен в Приложении А).

Спроектированные, на основе известных способов, УКИ и поиска неисправного присоединения, отличаются следующими параметрами:

- пределом снижения сопротивления изоляции;
- предельная суммарная емкость контролируемой сети и присоединений;
- количество автоматически контролируемых присоединений;
- величина тока инжектируемого в оперативную цепь;
- внутреннее сопротивление изоляции присоединения устройства относительно “земли”.

Рассмотрим характеристики наиболее распространенных современных УКИ.

Сведем в таблицу 1 основные характеристики рассматриваемых УКИ.

Таблица 1 - Характеристики систем контроля изоляции.

Наименование системы контроля изоляции	Диапазон измеряемых сопротивлений изоляции сети, кОм	Максимальное определяемое сопротивление изоляции поврежденного присоединения, кОм	Максимальное число автоматически контролируемых присоединений	Ток контрольного источника тока, мА	Максимальная емкость контролируемой сети, мкФ	Внутреннее сопротивление полюса устройства относительно земли, кОм	Время поиска поврежденного присоединения, сек	Возможность работы со стандартной схемой контроля изоляции
А-ISOMETER	1...10000	50	12...360	1...50	500	360	25	нет
КМСОТ-М	1...10000	300	8	1...3	500	1000± 0,25 %	60	да
СЕНСОР	1...300	300	128	1...10	-	-	5	да
ЭКРА-СКИ	1...1000	100	-	1...6	200	100	30	да

Система А-ISOMETER, имея большое внутреннее сопротивление, обладает высокой чувствительностью к выявлению замыканий на землю в СОПТ, в том числе симметричных замыканий на землю, а также может работать в разветвленных сетях, эквивалентная емкость которых может превышать сотни мкФ, но в тоже время система А-ISOMETER может работать ложно при применении на станции таких устройств как «шинка мигания», может вызвать ложное срабатывание УРЗА в случае неправильной настройки инжектируемых в СОПТ токов или работать неселективно.

КМСОТ-М является новым УКИ способным работать совместно с Т-образным мостом (низкое внутреннее сопротивление), имеет большое время поиска поврежденного присоединения и не имеет опыта эксплуатации в разветвленных сетях, емкость которых превышает 20 мкФ.

УКИ СЕНСОР, осуществляя пофидерный контроль изоляции, не использует каких-либо воздействий на СОПТ, что является большим плюсом, так как исключает ложную работу УРЗА из-за использования УКИ. В тоже время УКИ СЕНСОР не распознает симметричные снижения сопротивления изоляции СОПТ в пределах одного присоединения.

Система ЭКРА-СКИ работает с классическим Т-образным мостом, обладает достаточно хорошей чувствительность, а так же средним временем поиска поврежденного элемента.

2.2 Особенности схем

Исторически, для решения задач контроля изоляции СОПТ в нашей стране широко использовались УКИ на основе Т-образного моста (Рисунок 2), два плеча которого образованы резисторами 1 кОм, потенциометром П2ДС, а третье плечо – электромеханическим реле РН 51/32. Отметим, что приведенная схема контролирует сопротивление изоляции всей СОПТ лишь в случае несимметричного ухудшения сопротивления изоляции на одном полюсе. Эти УКИ хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации с применением устройств РЗА, выполненных на электромеханической базе.

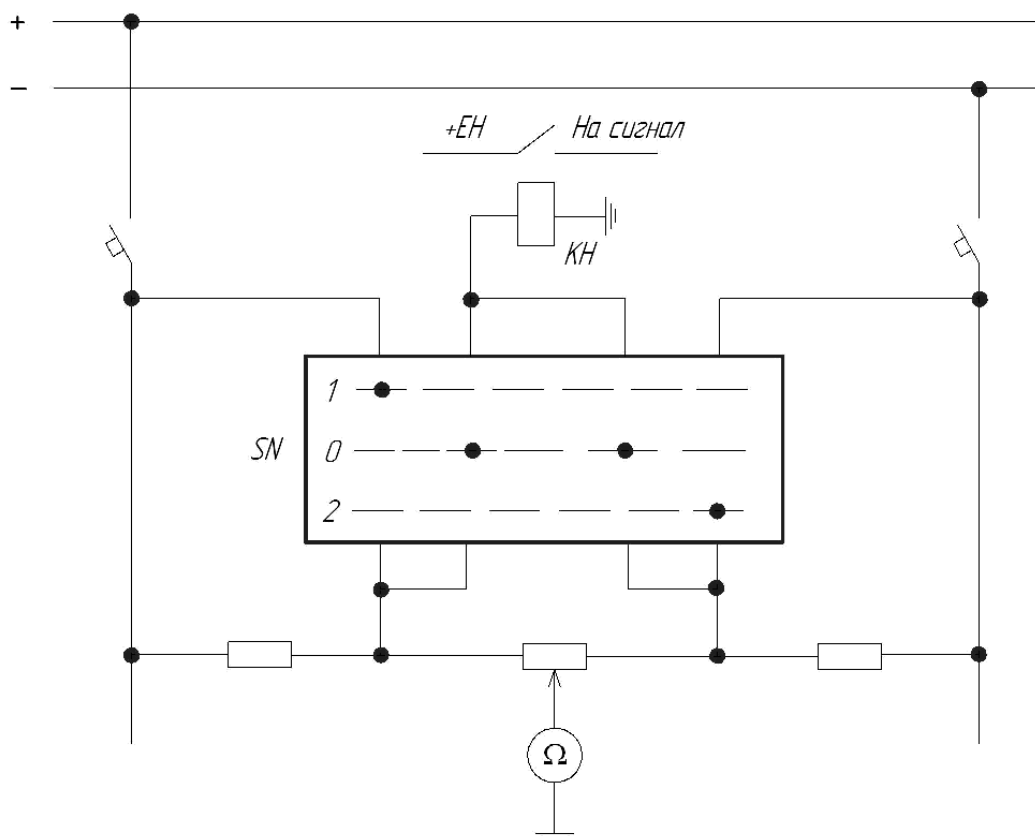


Рисунок 2 – Традиционная схема контроля изоляции

При появлении устройств РЗА на электронной и микропроцессорной базе изменились условия эксплуатации СОПТ и повысились требования, предъявляемые к УКИ.

Увеличение внутреннего сопротивления обмоток выходных реле и дискретных входов (ДВ) микропроцессорных защит (МПЗ) повышают вероятность отказа классических УКИ на основе Т-образного моста при замыканиях на землю цепи управляющий контакт-дискретный вход, управляющий контакт-обмотка выходного реле. И, как следствие, увеличивается вероятность ложной работы УРЗА при возникновении второго замыкания на землю в СОПТ. Устройства РЗА, выполненные на электронной или микропроцессорной базе могут сработать ложно при снятии и восстановлении питания в процессе поиска присоединения со сниженным сопротивлением изоляции [1].

Поэтому, к современным устройствам контроля изоляции предъявляются следующие требования:

1. Обеспечение пофидерного контроля изоляции СОПТ;
2. Обеспечение чувствительности к замыканиям на землю в СОПТ;
3. Отсутствие возможности ложных срабатываний устройств РЗА в результате алгоритма работы УКИ.

Применение в эксплуатации ряда УКИ может быть опасно с точки зрения ложной работы устройств РЗА, так как изготовители УКИ, выполняя условия 1 и 2, недостаточно внимания уделяют условию 3. Усугубляет положение недостаточная проработка нормативной базы – требований к современным УКИ и отсутствие описаний опыта эксплуатации новых УКИ в условиях обновления современной техники.

2.2.1 Схема контроля изоляции Т-образный мост

На рисунке 3 показана схема контроля изоляции на основе Т-образного моста.

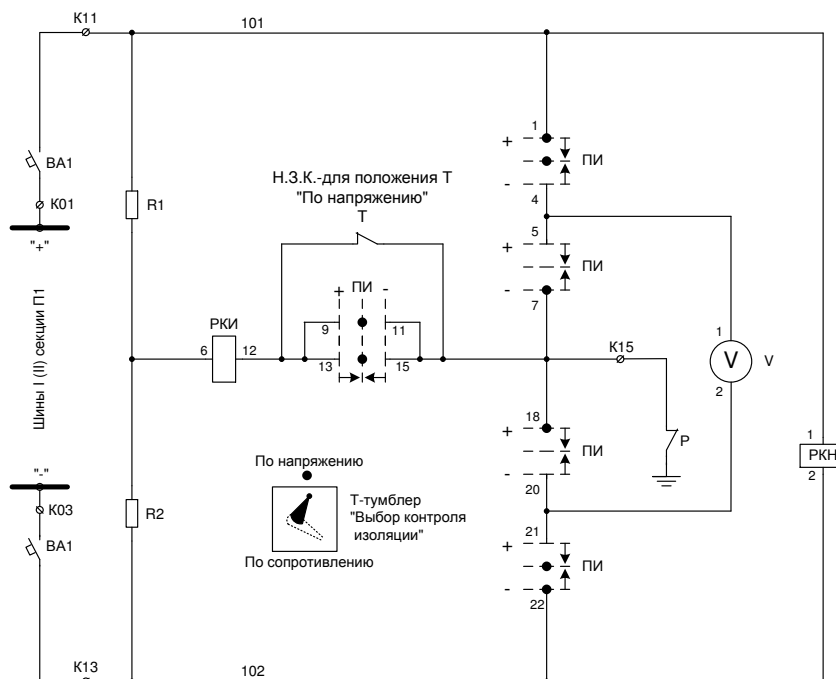


Рисунок 3 – Схема контроля изоляции Т-образный мост

Схема основана на мостовом соединении. Резисторы соединены последовательно и подключены к полюсам СОПТ, а обмотка реле РКИ включена между общей точкой резисторов и землей. Упрощенная схема представлена на рисунке 4.

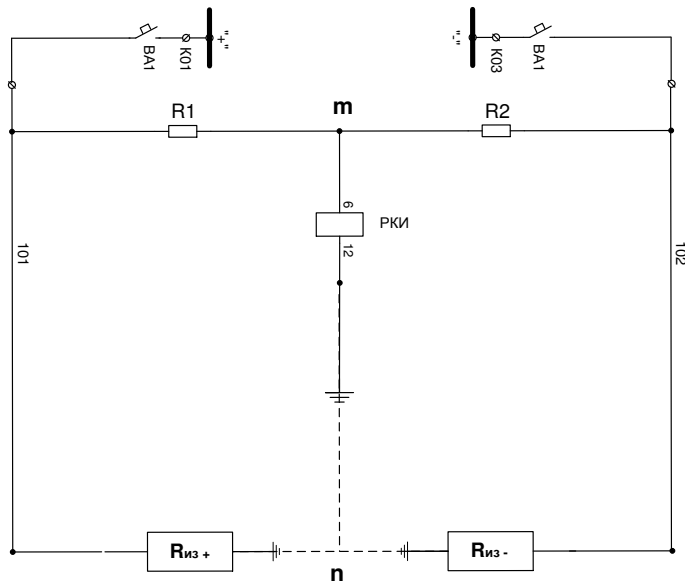


Рисунок 4 – Упрощенная схема контроля изоляции на основе Т-образного моста

Принцип работы схемы. Если $R_{РКИ} = \infty$ (изолированная от земли схема) напряжение между точками m и n Т-моста при изменении сопротивлений в ветвях m и n:

$$I_1 = \frac{U_{BAT}}{R_1 + R_2}, \quad (1)$$

где I_1 - ток первого плеча;

U_{BAT} – напряжение в цепи;

R_1 - сопротивление резистора первого плеча;

R_2 - сопротивление резистора второго плеча.

$$I_2 = \frac{U_{BAT}}{R_{ИЗ+} + R_{ИЗ-}}, \quad (2)$$

где I_1 - ток первого плеча;

$R_{ИЗ+}$ - сопротивление изоляции на плюсе;

$R_{ИЗ-}$ - сопротивление изоляции на минусе.

Формулы определения изменений напряжения:

$$\Delta U_{R1} = I_1 * R_1, \quad (3)$$

$$\Delta U_{R2} = I_1 * R_2, \quad (4)$$

$$\Delta U_{R_{ИЗ+}} = I_2 * R_{ИЗ+}, \quad (5)$$

$$\Delta U_{R_{ИЗ-}} = I_2 * R_{ИЗ-}, \quad (6)$$

$$U_{mn} = 0, \text{ если } \frac{R1}{R2} = \frac{R_{ИЗ+}}{R_{ИЗ-}} \text{ или } \Delta U_{R1} = \Delta U_{R_{ИЗ+}}; \Delta U_{R2} = \Delta U_{R_{ИЗ-}}$$

В нормальном режиме работы СОПТ, сопротивления изоляции полюсов одинаковы $R_{ИЗ.+}=R_{ИЗ.-}$, потенциалы $V_m=V_n$, плечи Т-моста уравновешены и ток через общую точку Т-моста равен нулю. Напряжение на обмотке реле РКИ равно нулю. Напряжения полюсов СОПТ относительно земли распределяются пропорционально сопротивлениям изоляции полюсов СОПТ и равны по модулю половине напряжения АБ $|U_+|=|U_-|=115 \text{ В}$.

При снижении сопротивления изоляции одного из полюсов СОПТ через заземленную точку Т-моста протекает ток пропорциональный снижению сопротивления изоляции полюса СОПТ. Напряжения полюсов СОПТ изменятся пропорционально эквивалентным сопротивлениям полюсов СОПТ:

$$R_{\text{ЭКВ}+} = \frac{R_{\text{ИЗ}+}}{R_{\text{ТМОСТ}+}}, \quad (7)$$

где $R_{\text{ТМОСТ}+}$ - сопротивление Т-образного моста на плюсе.

$$R_{\text{ЭКВ}-} = R_{\text{ИЗ}-} / R_{\text{ТМОСТ}-}, \quad (8)$$

где $R_{\text{ТМОСТ}+}$ - сопротивление Т-образного моста на плюсе.

Напряжение на плюсе и минусе вычисляются по следующим формулам:

$$U_{+} = \frac{U_{\text{БАТ}} * R_{\text{ЭКВ}+}}{R_{\text{ЭКВ}+} + R_{\text{ЭКВ}-}}, \quad (9)$$

$$U_{-} = \frac{U_{\text{БАТ}} * R_{\text{ЭКВ}-}}{R_{\text{ЭКВ}+} + R_{\text{ЭКВ}-}}, \quad (10)$$

При снижении сопротивления изоляции полюса СОПТ снижается напряжение этого полюса относительно земли и одновременно увеличивается напряжение противоположного полюса СОПТ. При возникновении металлического замыкания одного из полюсов СОПТ на землю, полное напряжение АБ прикладывается к противоположному полюсу СОПТ. Падение напряжения на РКИ, при снижении сопротивления изоляции полюса СОПТ определяется параметрами Т-моста и полюсов СОПТ.

Реле РН51(РКИ) имеет следующие характеристики. При последовательном соединении обмоток и дополнительном резисторе 10,2 кОм (общее внутреннее сопротивление реле составляет 15,2 кОм) уставка срабатывания реле РН51(РКИ) составляет 32В. При заданных параметрах схемы Т-моста, напряжение срабатывания реле РКИ соответствует снижению изоляции одного из полюсов СОПТ до ~ 40 кОм. Ниже приведена таблица 2 расчетных изменений напряжений в зависимости от сопротивления изоляции СОПТ:

Таблица 2 – Таблица зависимости напряжения от сопротивления изоляции

R_+ , (кОм)	R_- (МОм)	$U_{\text{БАТ}}$, (В)	U_+ , (В)	U_- , (В)	$U_{\text{РКИ}}$, (В)
100	10	230	99,6	130,4	14,9
40	10	230	92,8	147,2	31,2
20	10	230	64,6	165,4	48,8

При параллельном соединении обмоток реле РН51(РКИ) и дополнительном резисторе 2,55 кОм (общее внутреннее сопротивление реле составляет 3,8 кОм) уставка срабатывания реле РН составляет 16 В. При заданных параметрах схемы Т-моста, напряжение срабатывания реле соответствует снижению изоляции одного из полюсов СОПТ до ~20 кОм. Расчетные напряжения в схеме Т-моста в зависимости от сопротивления изоляции СОПТ приведены в таблице 3:

Таблица 3 – Расчетные напряжения для схемы на основе Т-образного моста

R_+ , (кОм)	R_- (МОм)	$U_{\text{БАТ}}$, (В)	U_+ , (В)	U_- , (В)	$U_{\text{РКИ}}$, (В)
100	10	230	110,3	119,7	4,1
40	10	230	103,9	126,1	9,8
20	10	230	94,7	135,3	17,9

С помощью реле РН51(РКИ) осуществляется автоматический контроль сопротивления изоляции СОПТ.

Схема Т-моста не реагирует на симметричное снижение сопротивления изоляции СОПТ.

Для определения текущего значения сопротивления изоляции СОПТ в любой момент времени используется метод трех измерений вольтметра. Для этого схема контроля изоляции дополнена вольтметром и переключателем (описание метода трех измерений вольтметра приведен в Приложении А).

Достоинства классической схемы УКИ.

1. Выравнивание потенциалов полюсов СОПТ. На рисунке 5 изображена схема замещения СОПТ. Анализ схемы проведен специалистами НПП «Экра»:

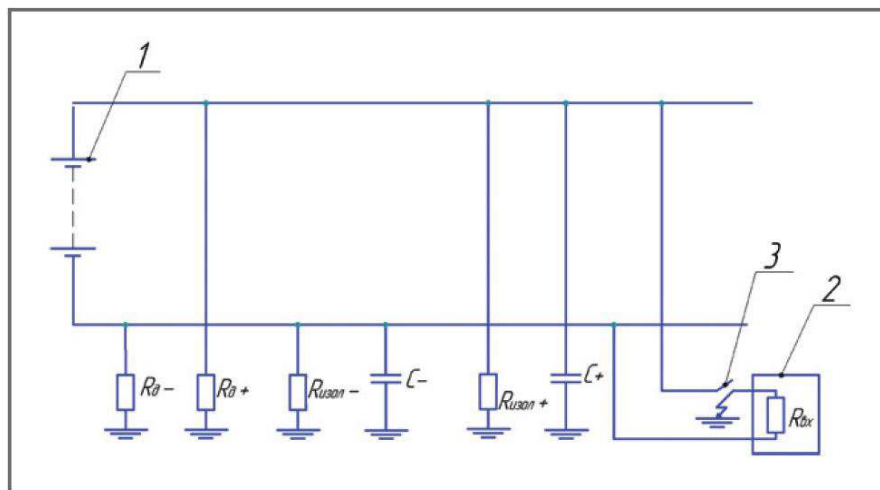


Рисунок 5 – Схема выравнивания потенциалов полюсов СОПТ:

$R_{д+}$ и $R_{д-}$ – сопротивления выравнивающих резисторов, $R_{изол+}$ и $R_{изол-}$ – сопротивления изоляции соответственно положительного и отрицательного полюса СОПТ относительно земли, $C+$ и $C-$ – емкости полюсов соответственно положительного и отрицательного полюса СОПТ, $R_{вх}$ – сопротивление обмотки реле или входа платы дискретных сигналов 2, 3 – сухие контакты

Напряжение на положительном полюсе сети относительно “земли”:

$$U_+ = U_{AB} * (R_{изол+} // R_{д+}) / (R_{изол+} // R_{д+} + R_{изол-} // R_{д-}), \quad (11)$$

Напряжение на отрицательном полюсе сети относительно “земли”:

$$U_- = U_{AB} * (R_{изол-} // R_{д-}) / (R_{изол+} // R_{д+} + R_{изол-} // R_{д-}). \quad (12)$$

Из формул, видно, что чем меньше величина выравнивающего сопротивления $R_{д}$, тем меньшее влияние оказывают изменения сопротивления изоляции полюса на величину изменения напряжений полюсов СОПТ при условии, что $R_{изол} \gg R_{д}$.

Например, при $R_{\text{изол}+}=100 \text{ кОм}$, $R_{\text{изол}-}\geq 10 \text{ МОм}$ и сопротивлении выравнивающих резисторов $R_{\text{д}+}=R_{\text{д}-}=200 \text{ кОм}$ напряжения $U_{+}=55 \text{ В}$, $U_{-}=165 \text{ В}$ при напряжении на аккумуляторной батарее $U_{\text{АБ}}=220\text{В}$. Если в этом режиме возникнет замыкание на “землю” платы дискретных входов (ДВ) напряжение на входе платы в момент замыкания скачком увеличивается до значения 165 В , а затем с постоянной времени

$$\tau=2*C*(R_{\text{изол}+//R_{\text{д}+//R_{\text{изол}-//R_{\text{д}-//R_{\text{вх}}}}}). \quad (13)$$

Уменьшится до величины:

$$U_{\text{вх}}=U_{\text{АБ}}*(R_{\text{изол}-//R_{\text{д}-//R_{\text{вх}}})/(R_{\text{изол}+//R_{\text{д}+}+R_{\text{изол}-//R_{\text{д}-//R_{\text{вх}}}}}). \quad (14)$$

Для получения осциллограммы необходимо подключить осциллограф по схеме представленной на рисунке 6.

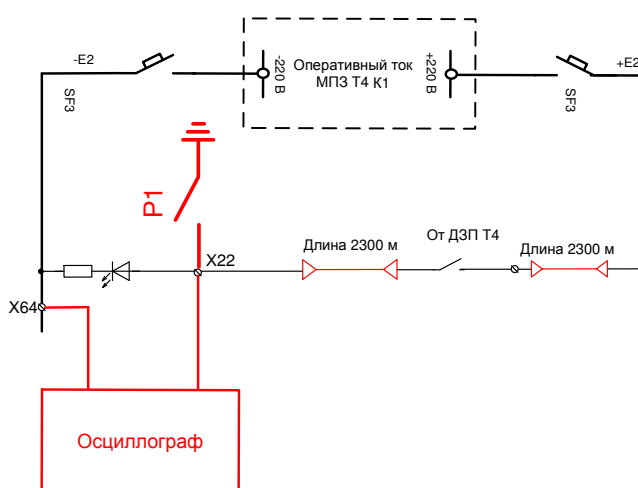


Рисунок 6 – подключения осциллографа к дискретному входу МПЗ Т4 при замыкании на землю в цепи управляющий контакт ДВ.

Полученная осциллограмма представлена на рисунке 7.

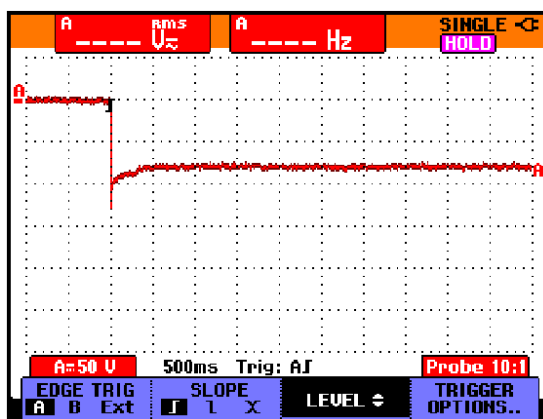


Рисунок 7 – Осциллограмма: изменение напряжения на дискретном входе

На осциллограмме показано изменение уровня напряжения на дискретном входе в момент металлического замыкания на «землю» цепи управляющий контакт - ДВ.

При сопротивлении выравнивающих резисторов $R_{д+}=R_{д-}=10$ кОм и тех же величин сопротивлений изоляции и напряжении СОПТ напряжение на входе платы в момент замыкания составит 115 В, что недостаточно для ложного срабатывания платы дискретных сигналов.

2. Отсутствие ложных срабатываний УРЗА при металлических замыканиях на землю одного из полюсов СОПТ.

При металлическом замыкании на землю высокоомной обмотки выходного реле или ДВ в цепи управляющий контакт – обмотка реле, управляющий контакт – ДВ, напряжение на обмотке реле или ДВ составит приблизительно половину напряжения АБ или 115В (см.п.4.3.).

«Инструкцией по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики электростанций и подстанций» СО 34.35.302.2006 регламентированы напряжения срабатывания обмоток выходных реле равные 60-65% от номинального значения напряжения. Эти требования связаны с надежной работой УРЗА в частности:

Нижний диапазон срабатывания выходных реле $0,6 U_{ном} = 132В$ позволяет отстроить УРЗА от ложной работы при возникновении замыкания на

землю полюса СОПТ. Верхний диапазон срабатывания выходных реле 0,65 Уном. =142В обеспечивает надежную работу УРЗА при снижении напряжения оперативного тока в режимах аварийного разряда.

Таким образом, при применении классической Т-образной схемы контроля изоляции СПОТ, выполнение требований инструкции СОЗ4.35.302.2006 исключает ложное срабатывание УРЗА при однополюсных замыканиях на землю в СОПТ. Снижение изоляции в двух и более точках СОПТ не исключают возможность ложной работы УРЗА.

Недостатки классической схемы УКИ:

1. Схема не соответствует требованиям Стандарта.
2. Схема не чувствует симметричные снижения сопротивления изоляции СОПТ и объединения цепей разных АБ.
3. Отсутствует пофидерный контроль сопротивления изоляции СОПТ. Поиск поврежденного присоединения осуществляется методом последовательных переключений питания в СОПТ или поочередным отключением/включением потребителей СОПТ.
4. Слабая чувствительность к снижению сопротивления изоляции СОПТ за большим сопротивлением (например, при замыкании в цепи управляющий контакт-ДВ, управляющий контакт - обмотка реле).
5. Отсутствует регистрация параметров СОПТ.
6. Отсутствует наглядная информация об истинном значении сопротивления изоляции СОПТ.

Из выше сказанных недостатков классического Т-образного моста, выражается необходимость создания современных УКИ, которые будут отвечать всем требованиям.

2.2.2 Особенности схемы A-ISOMETER

Устройство IRDH-575 подключается между шинами «+» «-» СОПТ и защитным проводником (РЕ). В процессе работы устройства в контролируемую электроустановку под управлением микроконтроллера циклически выдаются накладывающиеся на ее рабочее напряжение испытательные импульсы тока переменного напряжения. Пример осциллограммы напряжения на шинах ЩПТ СШГЭС без потребителей ($C_{\text{СОПТ}} \leq 0,1 \text{ мкФ}$) показан на рисунке 8.

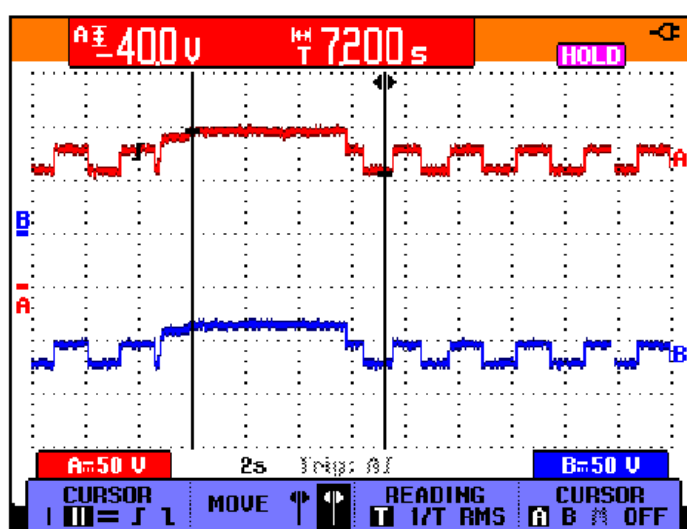


Рисунок 8 – Осциллограмма:

изменение напряжений СОПТ в нормальном режиме (без замыканий на землю полюсов СОПТ). Канал А (красный) – напряжение положительного полюса СОПТ относительно земли. Канал В (синий) – напряжение отрицательного полюса СОПТ относительно земли

Испытательный импульс включает в себя положительную и отрицательную составляющие одинаковой амплитуды. Длительность периода импульса соответственно длительность цикла измерений, зависит от фактической собственной емкости контролируемой незаземленной сети, а также от сопротивления ее изоляции. Наличие повреждения изоляции между

контролируемой сетью и землей приводит к замыканию измерительной цепи. При этом схемой обработки сигналов определяется сопротивление изоляции, которое непосредственно после завершения каждого цикла измерений отображается на встроенном дисплее. Сопротивление изоляции СОПТ определяется по методу измерений с использованием накладываемых адаптивных импульсов испытательного тока, разработанному и запатентованному компанией Bender (описания данного метода нет, но похоже, что этот метод является аналогом методу трех измерений вольтметра см. Приложение А и Методу определения сопротивления изоляции СОПТ воздействием на сеть измерительным напряжением чередующейся полярности см. Приложение Б).

Длительность цикла измерений зависит от собственной емкости контролируемой незаземленной сети, от сопротивления ее изоляции, а также от наличия помех в этой сети.

При снижении сопротивления изоляции ниже порогов ALARM1/ALARM2 (135/20 кОм), срабатывают соответствующие сигнальные реле и на ЖК дисплей IRDH575 выводится измеренное значение сопротивления изоляции и указывается полюс, на котором произошло повреждение. Устройство IRDH575 начинает выдавать испытательный ток. Максимальная сила этого испытательного тока задается параметром «maxPuls» (2,5,10,25,50 мА). При этом обеспечивается согласованная работа комплекса устройств IRDH575 – EDS460 – трансформаторы тока в СОПТ. При фиксации повреждения на ЖК дисплей выводятся данные о тех присоединениях, дифференциальный ток которых превысил порог чувствительности соответствующего канала EDS 460.

Устройства для локализации повреждений изоляции модели EDS460 при помощи измерительных трансформаторов тока регистрируют импульсы или сигналы испытательного тока, генерируемого устройством IRDH575, и путем анализа этих сигналов определяют фидер с поврежденной изоляцией. К одному устройству EDS 460 могут подключаться до 12 измерительных

трансформаторов тока. В общей сложности одна Система локализации повреждений изоляции может включать в себя до 90 устройств EDS460 и в такой максимальной конфигурации контролировать до 1080 фидеров.

Принцип локализации повреждений.

В случае регистрации устройством IRDH575 наличия повреждения изоляции СОПТ запускается процедура локализации такого повреждения.

Ток повреждения, или утечки, протекающий в незаземлённой системе при возникновении первого повреждения изоляции, в основном определяется емкостью сети. Основная идея, положенная в основу процедуры локализации повреждения изоляции, заключается в краткосрочном замыкании контура тока утечки через известное сопротивление. В соответствии с этой идеей без снятия с проводников СОПТ нормального сетевого напряжения по этим проводникам пропускается испытательный ток, представляющий собой доступный для анализа и регистрации сигнал. Этот испытательный ток периодически выдается устройством контроля сопротивления изоляции модели IRDH575. Этот ток, соответственно сигнал ограничен по амплитуде и длительности. При этом проводники СОПТ попеременно соединяются с землей через известное сопротивление. Сила протекающего по получившемуся замкнутому контуру тока зависит от серьезности повреждения изоляции и напряжения СОПТ. Сила этого тока также может ограничиваться путем настройки уставки «maxPuls» в устройстве IRDH575. Испытательный ток протекает кратчайшим путем по находящимся под напряжением проводникам к месту повреждения изоляции. Затем через место повреждения изоляции и защитное заземление (PE) протекает обратно в устройство IRDH575. Этот импульс испытательного тока распознается расположенными на пути тока утечки измерительными трансформаторами тока и отображается подключенным устройством для локализации повреждений EDS460.

Принципиальная электросхема системы локализации повреждений изоляции на базе устройств модельного ряда «EDS...» представлена на рисунке 9.

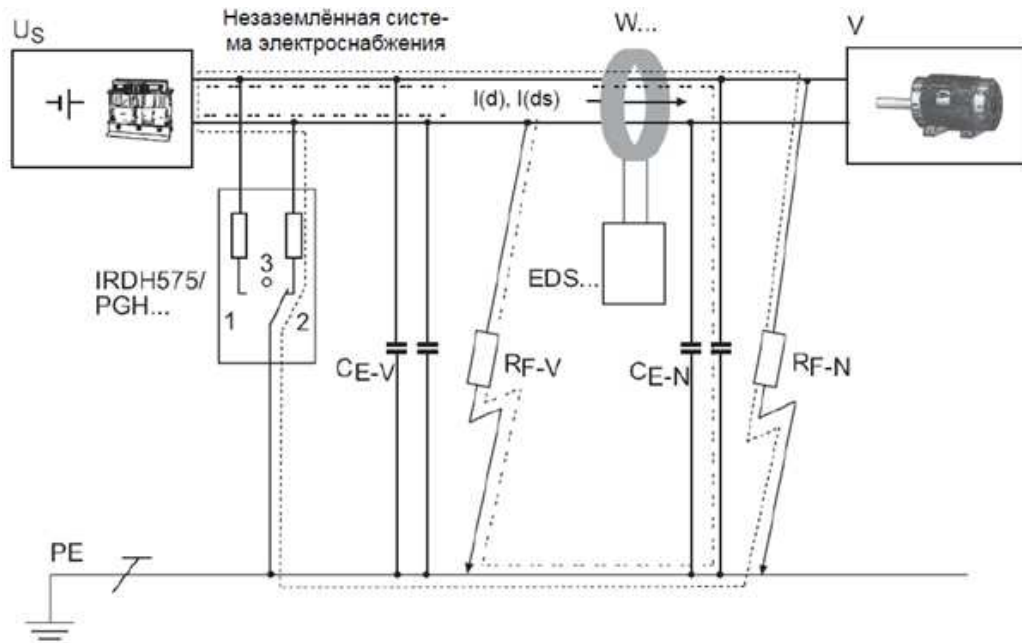


Рисунок 9 - Принципиальная электрическая схема системы локализации повреждений изоляции на базе устройств модельного ряда «EDS...»

Описание изображенных элементов на принципиальной электрической схеме занесем в таблицу 4.

Таблица 4 - Расшифровка элементов принципиальной электрической схемы

EDS	Устройство локализации повреждений изоляции
PGH	Генератор испытательного тока для контроля сопротивления изоляции
IRDH575	Устройство контроля сопротивления изоляции со встроенным генератором испытательного тока
Us	Источник напряжения в незаземлённой системе электроснабжения
W	Измерительный трансформатор тока
V	Потребитель электроэнергии
RF	Повреждение изоляции
PE	Защитный провод, соответственно проводник системы выравнивания потенциалов
BMS	Шина "BMS"

Длительность импульса испытательного сигнала, в виде которого по сети пропускается испытательный ток, не зависит от емкости СОПТ и составляет 6 секунд. Устройством IRDH575 попеременно выдаются положительные и отрицательные импульсы испытательного тока. На рисунке 10 показан алгоритм выдачи импульсов испытательного тока.

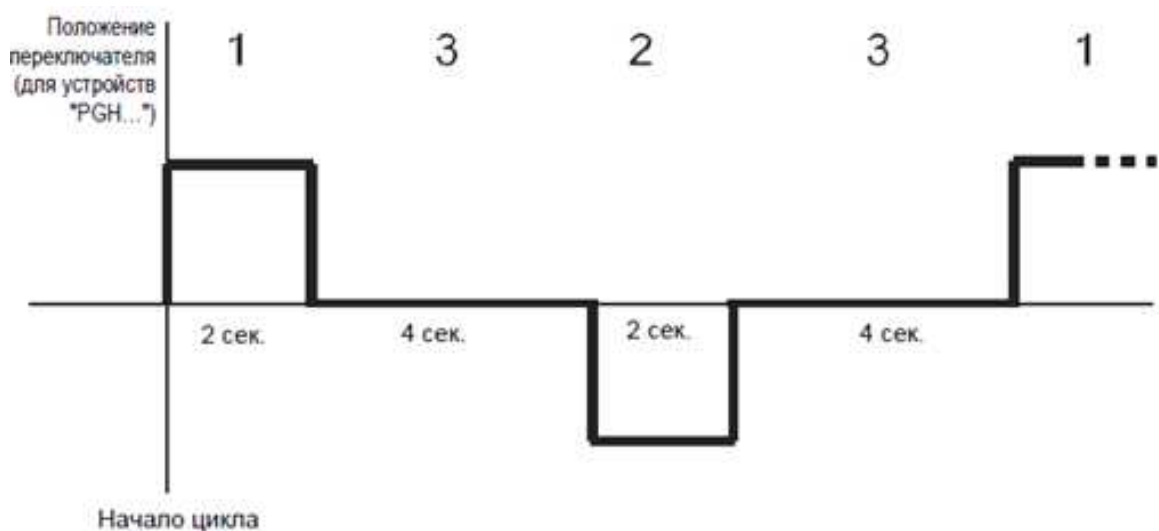


Рисунок 10 - Алгоритм выдачи импульсов испытательного тока

На рисунке 11 показана осциллограмма изменения напряжения при замыкании на землю положительного полюса.

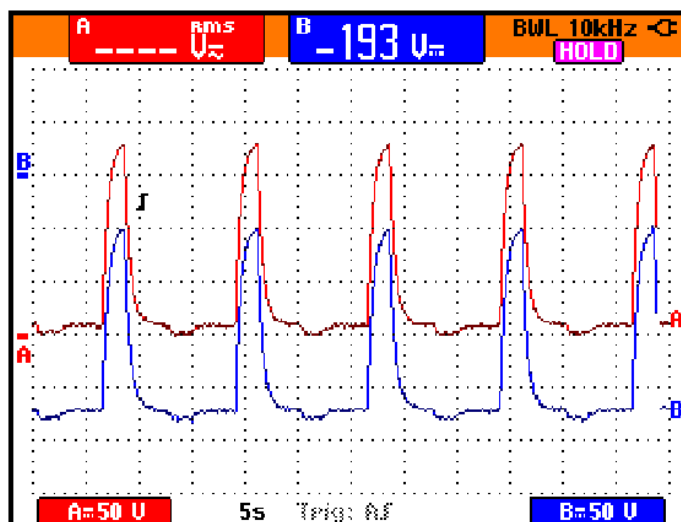


Рисунок 11 – Осциллограмма:

изменение напряжений СОПТ 1 секции П1 ЗЗ положительного полюса через резистор 20 кОм. EDS –avto. Канал А (красный) – напряжение положительного полюса СОПТ относительно “земли”. Канал В (синий) – напряжение отрицательного полюса СОПТ относительно “земли”.

Протекающий между электроустановкой и землей испытательный ток способен в некоторых случаях приводить к ложным срабатываниям устройств РЗА.

На время определения в СОПТ присоединений с низким сопротивлением изоляции или замыканием на землю функция контроля общего сопротивления изоляции на шинах СОПТ отключается.

В случае, когда сила испытательного тока от всех датчиков дифференциального тока оказывается ниже порога чувствительности устройства EDS 460, устройство IRDH575 автоматически прекращает процесс локализации поврежденного присоединения.

Через трансформаторы тока системы протекают следующие разностные токи:

- Испытательный ток $I(ds)$, обусловленный повреждением изоляции R_{F-N} ;

- Дифференциальные токи $I(d)$, протекающие через емкости C_{E-V} , и C_{E-N} сети, соответственно обусловленные повреждениями R_{F-V} , и R_{F-N} изоляции;
- Неустановившиеся токи утечки, обусловленные затрагивающими сеть процессами коммутации и регулирования;
- Низкочастотные токи утечки, обусловленные применением полупроводниковых (вентильных) преобразователей частоты.

2.2.3 Особенности схемы КМСОТ-М

Комплекс мониторинга систем оперативного тока КМСОТ-М «Дубна» предназначен для контроля состояния системы постоянного тока в изолированной от земли сети оперативного постоянного тока электрических станций и подстанций.

Комплекс работает в двух режимах:

- активный;
- пассивный.

В активном режиме комплекс выполняет функции измерения и контроля сопротивления изоляции, напряжений полюсов относительно земли и напряжения главных шин.

Комплекс измеряет сопротивление изоляции шин СОПТ и сопротивление изоляции отходящих присоединений. Блок тестового воздействия (БТВ) поочередно подключает к положительному и отрицательному полюсу СОПТ резистор, номинал которого вычисляется по параметрам СОПТ. При подключении резистора комплекс измеряет отклик потенциалов полюсов СОПТ и вычисляет общее сопротивление изоляции СОПТ, а также составляющие сопротивления изоляции по положительному и отрицательному полюсу. Для определения поврежденного присоединения и измерения сопротивления изоляции присоединений используются датчики дифференциального тока, которые измеряют отклик на воздействие поочередно

подключаемого к положительному и отрицательному полюсу СОПТ резистора. БТВ измеряет потенциалы полюсов СОПТ и создает измерительное воздействие. БКИ измеряет сигналы с датчиков дифференциального тока. УСИ осуществляет взаимодействие между БТВ, БКИ и БИ, управляет реле аварийной и предупредительной сигнализации. Связь между УСИ, БТВ, БКИ осуществляется по CAN интерфейсу, между УСИ и БИ связь осуществляется по интерфейсу RS-232.

В пассивном режиме комплекс измеряет и отображает напряжение сети и напряжение полюсов относительно земли, не осуществляя тестового воздействия на сеть. Данный режим предназначен для определения оперативным персоналом неисправного присоединения методом «двух вольтметров» в тех случаях, когда присоединения имеют разветвленную структуру и информации о присоединениях с измеренным сопротивлением изоляции недостаточно для определения присоединений со сниженным сопротивлением изоляции. В пассивном режиме измерение сопротивления изоляции не производится, в главном окне появляется надпись: «Режим оперативного поиска места повреждения изоляции».

На рисунке 12 показан пример подключения комплекса в СОПТ.

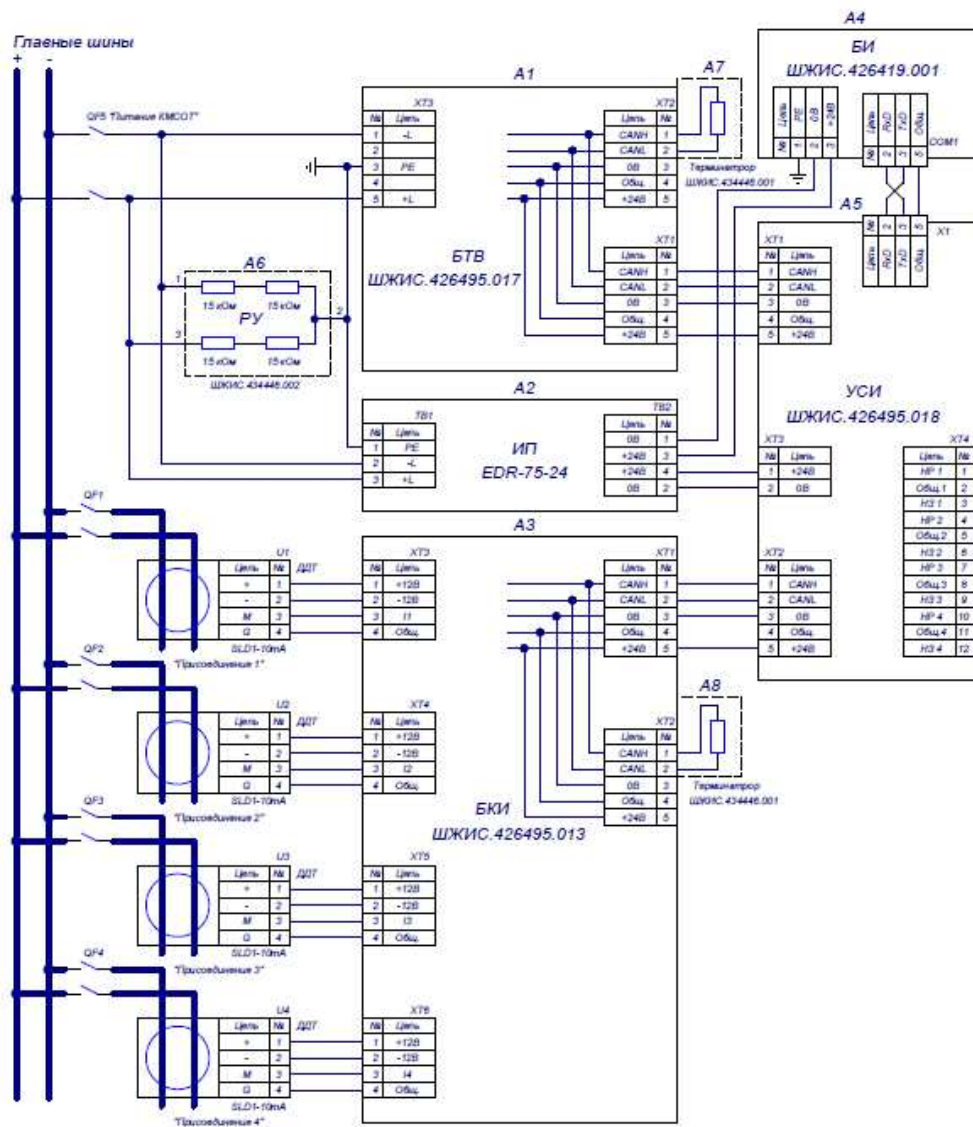


Рисунок 12 - Пример подключения комплекса к сети оперативного постоянного тока

Блок контроля измерения выполняет следующие функции:

- измерение и контроль сопротивления изоляции присоединений (совместно с БТВ и БИ);
- контроль исправности датчиков дифференциального тока.

Функциональная схема БКИ представлена на рисунке.

К разъёмам XT3 – XT10 подключаются до восьми датчиков дифференциального тока SLD1-10 мА (или аналогов) для измерения сопротивления изоляции присоединений. Сигналы датчиков

дифференциального тока поступают во внутренний АЦП микроконтроллера. Работа БКИ и БТВ синхронизована. Данные БКИ используются при расчёте сопротивления изоляции присоединений. Микроконтроллер обрабатывает информацию и передаёт её через драйвер в УСИ по шине CAN. Посредством разъёмов ХТ1 и ХТ2 осуществляется подключение к шине CAN и шине питания 24 В.

Разъём Х1 используется для обновления программного обеспечения.

Функциональная сема БКИ представлена на рисунке 13.

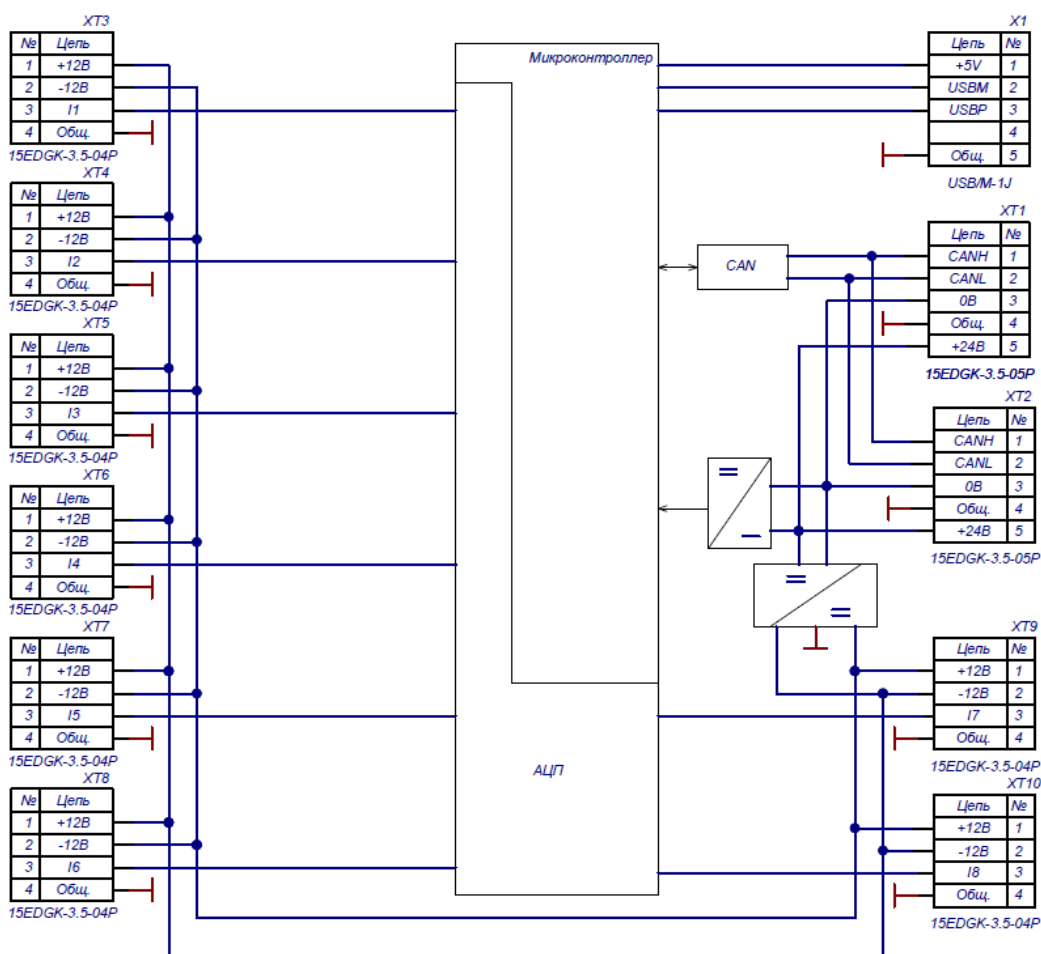


Рисунок 13 - Функциональная схема БКИ

2.2.4 Особенности схемы СЕНСОР

Способ измерения сопротивления изоляции сети постоянного тока, основан на измерении напряжений между полюсами сети и заземленной нейтральной точкой - «землей», и токов утечки протекающих по присоединениям (фидерам) сети. Для получения нейтральной точки сети постоянного тока, используется классический Т-образный мост, которой обладает сопротивлением каждого полюса относительно земли – 20кОм. Величина 20кОм выбрана с учетом того, чтобы максимальный ток утечки в режиме металлического замыкания полюса на «землю» не превышал значение 10мА (согласно ГОСТ IEC 61557-8). Структурная схема изображена на рисунке.

Напряжение сети постоянного тока и напряжение полюсов сети относительно «земли» контролируется модулями UPC4 Basic. Контроллер UPC4 Master считывает измеренные значения напряжений с модулей UPC4 Basic по шине CAN, и передает эти значения на HMI-панель. (RS485, протокол Modbus).

Структурная схема комплекса «СЕНСОР» представлена на рисунке 14.

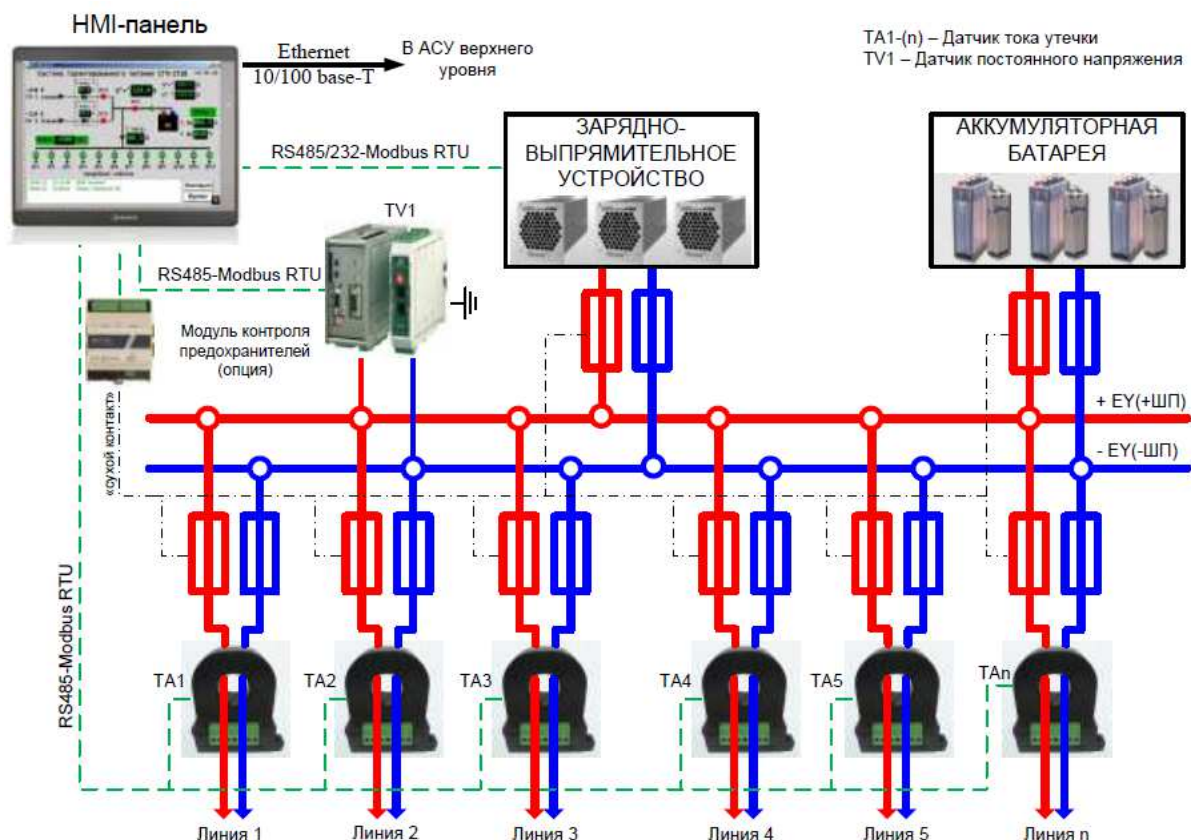


Рисунок 14 – Структурная схема системы «СЕНСОР»

На каждой отходящей линии, для определения линии с пониженной изоляцией, установлены датчики тока утечки. Датчики оснащены микропроцессорами, которые выполняют обработку входных аналоговых сигналов и передают результаты в цифровом виде по сети передачи данных (RS485 -Modbus) HMI-панели.

HMI-панель обрабатывает цифровые сигналы: напряжения на шинах, напряжение полюсов сети относительно «земли», и токи утечки от датчиков присоединений. По результатам измерений и дальнейших расчетов выставляются уставки.

По умолчанию выполнены две уставки по сопротивлению изоляции сети постоянного тока.

1-ая уставка - предупредительная сигнализация 135 кОм.

2-ая уставка - аварийная сигнализация 20 кОм.

Уставки могут быть изменены в окне «УСТАВКИ».

Для сигнализации нарушения или снижения изоляции сети постоянного тока, и неисправности системы, используются релейные выходы («сухой» контакт) контроллера UPC4 Master и Basic.

Принцип работы рассмотренный выше, показан на рисунке 15.

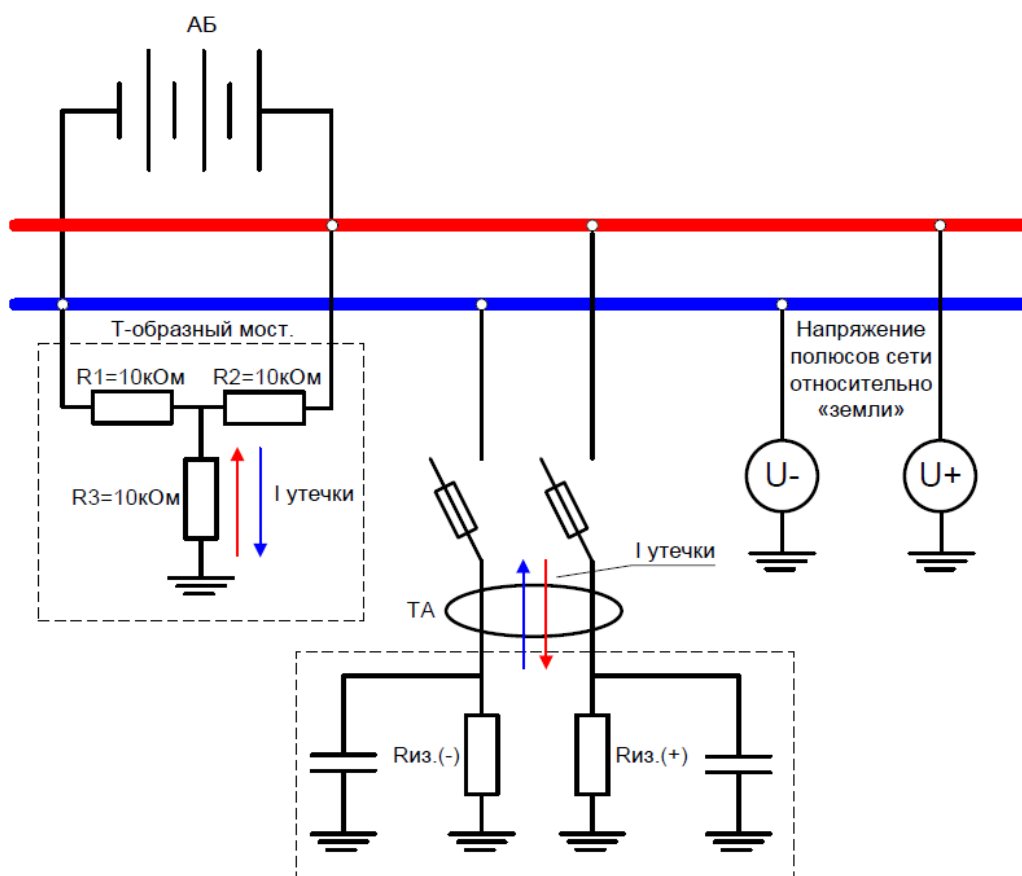


Рисунок 15 – Принцип работы системы

Существует режим, при котором возможны некорректные измерения.

В процессе эксплуатации системы оперативного постоянного тока, может возникнуть режим, когда система «СЕНСОР» не сможет корректно произвести вычисление сопротивления изоляции. Это режим – параллельной работы двух и более фидеров.

В этом режиме появляется первичный уравнивающий ток, который в свою очередь спровоцирует появление большого тока утечки на этих фидерах. При таком режиме измерения сопротивления изоляции становятся корректными.

2.2.5 Особенности схемы ЭКРА-СКИ

НПП “ЭКРА” получили патент на метод определения сопротивлений изоляции фидеров в СОПТ 220 В, на основе данного метода спроектировано устройство контроля изоляции, которое позволяет работать совместно со стандартной схемой контроля сопротивления изоляции СОПТ, при этом не вызывающее при контроле сопротивления изоляции и поиске поврежденных присоединений ложных срабатываний устройств релейной защиты.

Метод измерения сопротивлений изоляции сети постоянного тока базируется на измерении значений напряжений между “землей” и ее присоединениями, а также токов, протекающих по фидерам цепи после подключения сначала к одному, а затем к другому полюсу резистивного элемента.

Схема СОПТ с предложенным методом определения сопротивлений изоляций сети постоянного тока и поиска поврежденного присоединения, представлена на рисунке 16.

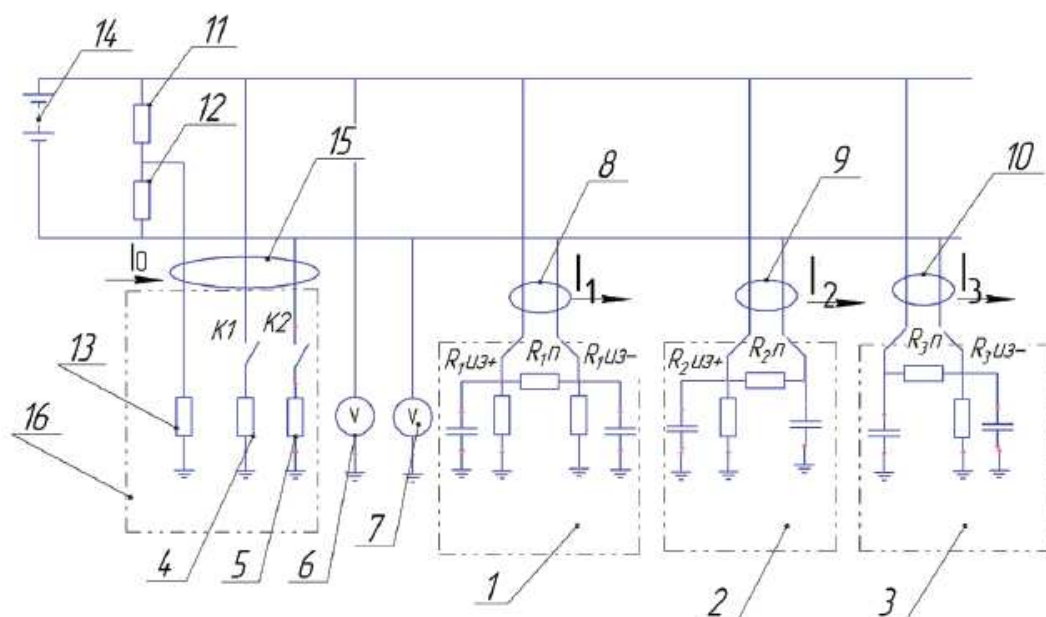


Рисунок 16 - Схема СОПТ с предлагаемым способом определения сопротивлений изоляций сети постоянного тока:

14 – АБ; 1, 2, 3 – нагрузочные присоединения с емкостными и активными сопротивлениями; 4, 5 - резистивные элементы, подключенные через ключи к положительному и отрицательному полюсам; 6, 7 – метрологические устройства для измерений напряжения; 8, 9 ,10 – ДДТ, протекающих по присоединения 1, 2, 3; 11, 12 – резистивные элементы соединенные последовательно и подключенные параллельно полюсам ИП; 13 – резистивный элемент подключенный между резисторами 11, 12 и землей с ДДМ; 15 – ДДТ, контролирующей изоляцию всей сети оперативного тока

На основе разработанного метода измерения сопротивлений изоляции сети постоянного тока, спроектирована система контроля сопротивлений изоляции в СОПТ с напряжением 220 В “ЭКРА-СКИ”, необходимая для нахождения фидеров с поврежденной изоляцией без отключения электроприемников от ИП, а также для контроля сопротивлений изоляции каждого полюса относительно “земли” и сети постоянного тока в целом.

2.3 Опыт эксплуатации устройств контроля изоляции

Основные достоинства и недостатки, выявленные в эксплуатации систем контроля изоляции, занесем в таблицу 5.

Таблица 5 - Основные достоинства и недостатки систем контроля изоляции

Наименование системы контроля изоляции	Достоинства системы контроля изоляции	Недостатки системы контроля изоляции
A-ISOMETER	Модульная структура, позволяющая адаптировать систему к конкретным условиям эксплуатации; система обладает достаточно высокой чувствительностью.	При некоторых условиях система не может определить симметричные повреждения изоляции; при поиске поврежденного присоединения и инъекции в СОПТ тока 10 мА и более, возможны ложные срабатывания ДВ и выходных реле; в системе может возникнуть не селективная работа устройств контроля изоляции при работе шинки мигания и при определенных параметрах СОПТ.
КМСОТ-М	Может работать как с применением Т-образной схемы контроля изоляции, так и без неё; как с высоким выходным сопротивлением, так и нет; обладает высокой точностью измерения; отсутствует вероятность ложного срабатывания устройств релейной защиты; применяется сенсорный дисплей.	Большое время определения места замыкания; в системе может возникнуть не селективная работа устройств контроля изоляции при работах шинки мигания и при определенных параметрах СОПТ.

Продолжение таблицы 5

Наименование системы контроля изоляции	Достоинства системы контроля изоляции	Недостатки системы контроля изоляции
СЕНСОР	Отсутствуют любые воздействия на СОПТ; быстродействующее устройство; наличие двух изменяемых уставок; осуществляется пофидерный контроль сопротивления изоляции; хорошо реализованы возможности микропроцессорного терминала	Система не способна определить симметричное снижение уровня изоляции на одном фидере; необходимость калибровки тока дифференциальных датчиков (тока утечки); низкая чувствительность общего контроля изоляции.
ЭКРА-СКИ	Работает совместно с классической схемой контроля изоляции (Т-образным мостом); отсутствует внешнего наложенного источника напряжения или тока, не вызывает ложной работы устройства РЗА и противоаварийной автоматики.	Система не способна определить симметричное снижение уровня изоляции на одном фидере; слабый интерфейс, обладающей плохой наглядностью; высокие ступени воздействия на СОПТ.

2.4. Анализ проблем контроля изоляции

Не смотря на разнообразие устройств контроля изоляции, присутствуют наиболее популярные проблемы контроля изоляции:

- определение поврежденного фидера;
- ложное срабатывание дискретных входов микропроцессорных реле;
- несовместимость с классической схемой контроля изоляции;
- инжекция токов в СОПТ;
- отсутствие базы данных опыта эксплуатации УКИ;
- отсутствие испытательного полигона для УКИ.

Проблема нахождения поврежденного присоединения и ложное срабатывание дискретных входов микропроцессорных устройств можно

наблюдать тогда, когда место неисправности находится на участке L , соединяющем электромагнитные промежуточные реле или логические входы МУРЗ с включающим контактом K (Рисунок 17) [1].

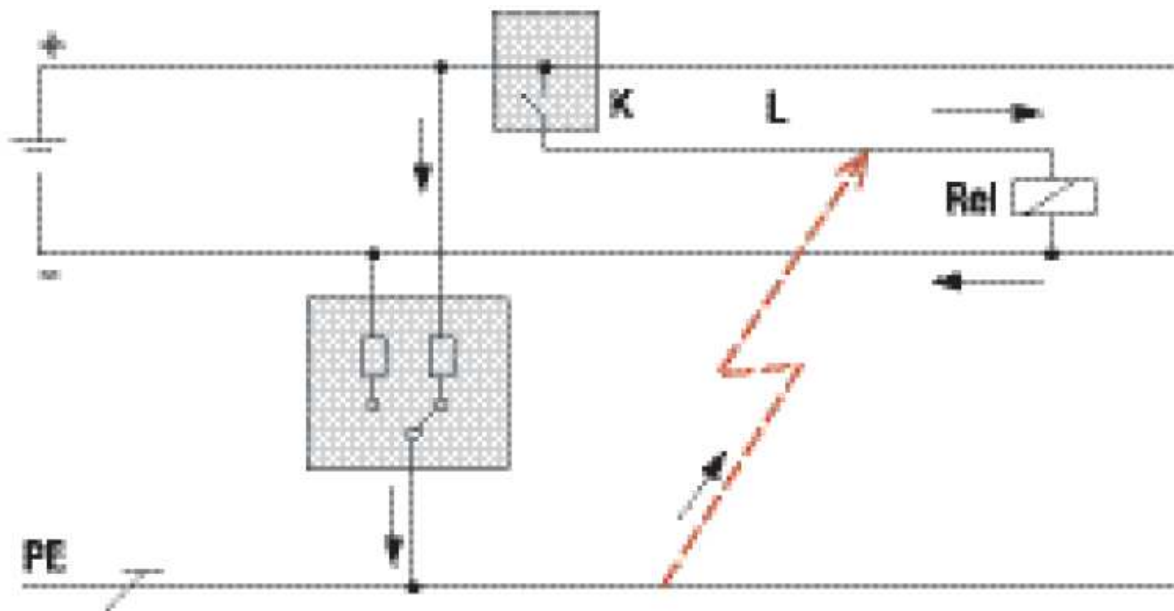


Рисунок 17 – Схема образования контура, обуславливающего ложное срабатывание промежуточного реле

В данном случае во время работы прибора поиска места повреждения изоляции через катушку электромагнитного промежуточного реле или через логический вход МУРЗ будет протекать рабочий ток прибора даже при разомкнутом контакте K по красному контуру на рисунке [1]. При условии, если данный рабочий ток прибора будет больше или равен току активации логического входа МУРЗ или току уставки промежуточного реле Rel , то избежать возникновения к.з. маловероятно [1]. Произведенные измерения показали, что ток срабатывания электромагнитных промежуточных реле составляет 2,4 мА, а ток активации логических входов МУРЗ – 3–4 мА [1]. Таким образом, при использовании приборов с номинальным рабочим током 5 мА и выше, присутствует большая вероятность ложного включения или отключения высоковольтных выключателей [1].

В ходе работы автор столкнулся с проблемой поиска информации и более подробных схем устройств контроля изоляции. Что повлияло на исходный результат проведенного исследования.

Так же к проблемам устройства контроля изоляции хотелось бы отнести отсутствие базы данных опыта эксплуатации УКИ. Такая база даст толчок развитию устройств контроля изоляции.

Одной из важных проблем отсутствие полигона для всесторонних испытаний и тестирований УКИ перед вводом в работу на действующем оборудовании. Полигон послужил бы эталонным испытательным центром с соответствующей сертификацией и квалификацией сотрудников.

3 Варианты решения проблем, выявленных при эксплуатации устройств контроля изоляции СОПТ

3.1 Шунтирование МУРЗ

Для практического решения проблемы были проведены испытания на действующем объекте.

В состав устройства контроля изоляции входят: устройство контроля сопротивления изоляции фирмы «Бендер», система поиска повреждений изоляции фирмы «Бендер», измерительный трансформатор тока фирмы «Бендер». Устройство релейной защиты микропроцессорный терминал фирмы «Сименс». Питание от АБ. Исходная схема подключения рисунок 18.

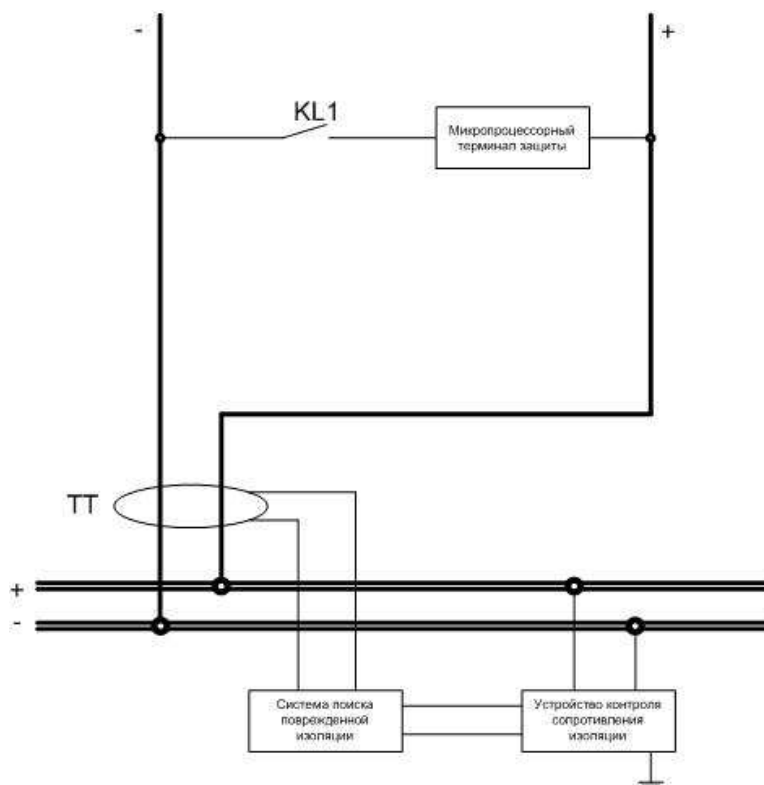


Рисунок 18 – Исходная схема устройства контроля изоляции

Подключим тестовое сопротивление $R = 10 \text{ кОм}$ к «-». Схема подключения изображена на рисунке 19. Устройство контроля изоляции измерило данное значение сопротивления изоляции, затем система поиска повреждений уверенно определила поврежденный фидер, при следующих значениях уставки: $I_{\max \text{ puls}} = 2,5\text{мА}$; 10мА и 50мА . Ложное срабатывание дискретных входов микропроцессорного терминала не выявлено.

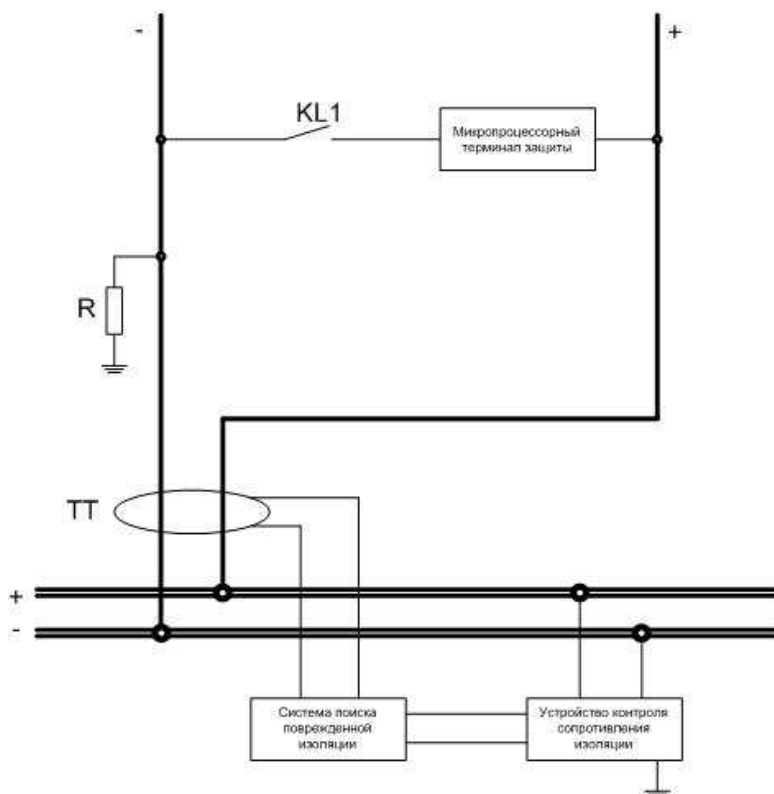


Рисунок 19 – Схема с тестовым сопротивлением в «-»

Подключим тестовое сопротивление $R = 6,2 \text{ кОм}$ между нормально открытым контактом и дискретным входом микропроцессорного терминала. Схема подключения изображена на рисунке 20. Устройства контроля изоляции определило снижение изоляции до значения 158 кОм , данное завышение значения обусловлено внутренним сопротивлением дискретных входов микропроцессорного терминала, которое приблизительно равно 150 кОм . Фидер с поврежденной изоляцией определен не был, так как не был преодолен

порог срабатывания устройства контроля изоляции. При принудительном запуске системы поиска повреждений изоляции срабатывание дискретных входов микропроцессорного терминала не выявлено.

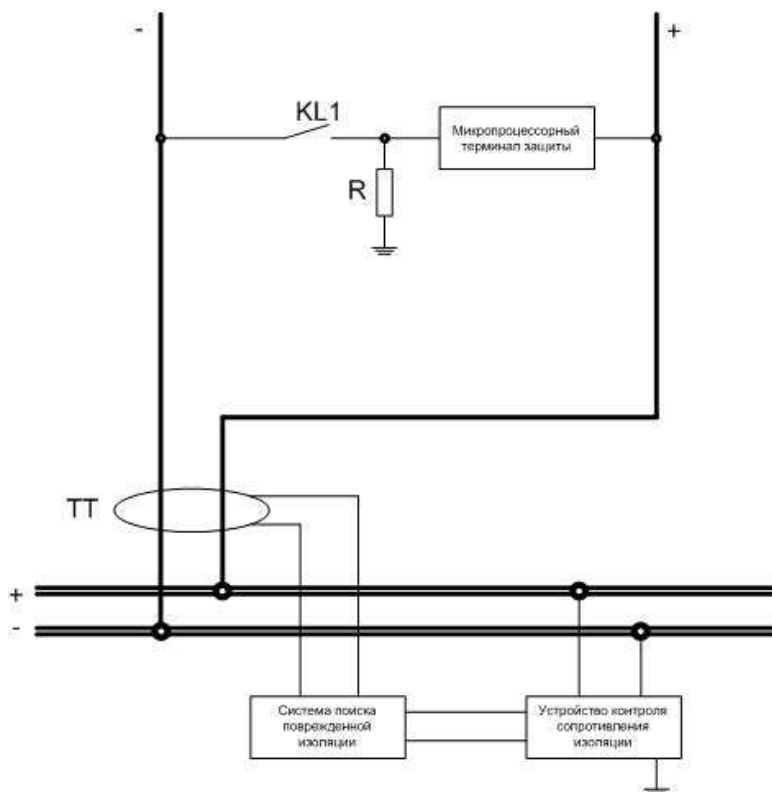


Рисунок 20 – Схема с тестовым сопротивлением между нормально открытым контактом и дискретным входом микропроцессорного терминала

Подключили тестовое сопротивление $R = 92 \text{ кОм}$ к «-» и заземление провода между нормально открытым контактом и дискретным входом микропроцессорного терминала. Схема подключения изображена на рисунке 21. Устройства контроля изоляции определило снижение изоляции до значения 35 кОм . Фидер с поврежденной изоляцией определен не был. При принудительном запуске системы поиска поврежденной изоляции и значении уставки $I_{\text{max puls}} = 2,5\text{mA}; 10\text{mA}$ и 50mA , было выявлено ложное срабатывание дискретных входов микропроцессорного терминала. Ложные срабатывания повторялись с периодичностью равной периодичности подключения тестовых

эталонных внутренних сопротивлений к шинам измеряемой сети. При принудительном отключении системы поиска повреждений изоляции, ложные срабатывания дискретных входов микропроцессорного терминала не прекратились.

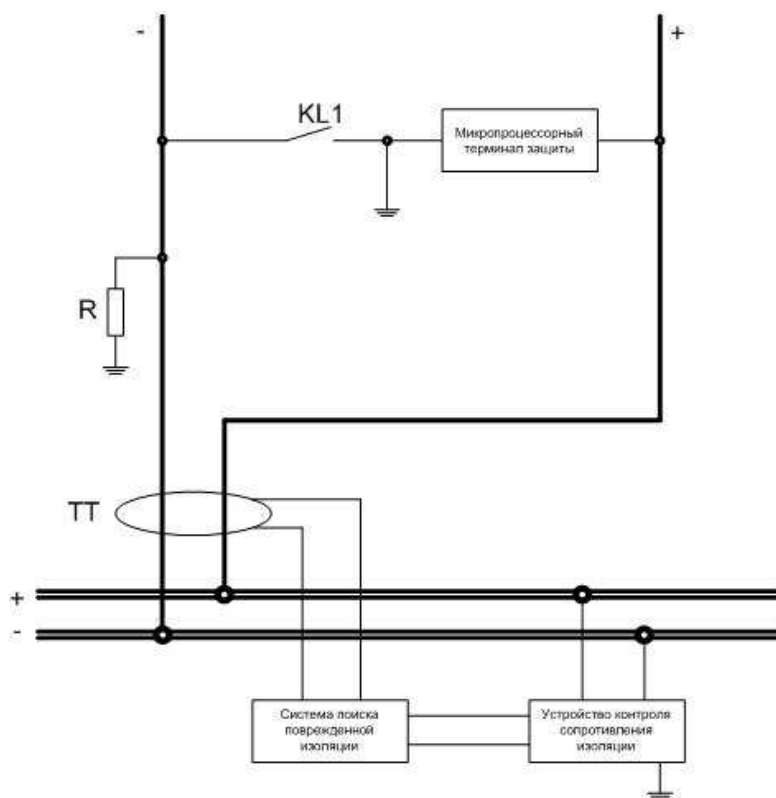


Рисунок 21 – Схема с тестовым сопротивлением $R = 92 \text{ кОм}$ к «-» и заземление провода между нормально открытым контактом и дискретным входом микропроцессорного терминала

Полное отключение оборудования «Бендер», подключение тестового сопротивления $R = 82 \text{ кОм}$ к «-» и заземление провода между нормально открытым контактом и дискретным входом микропроцессорного терминала привели к постоянным ложным срабатываниям дискретных входов микропроцессорного терминала. Схема подключения изображена на рисунке 22.

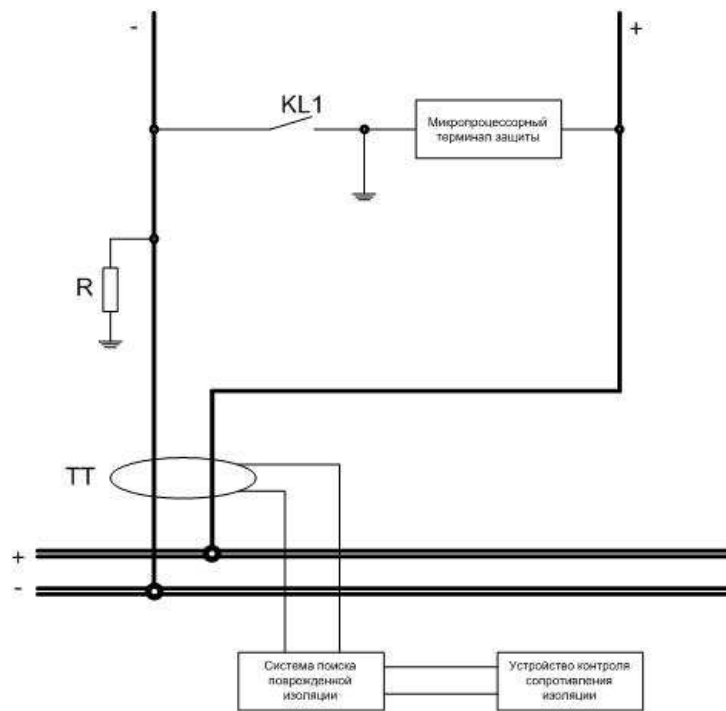


Рисунок 22 – Схема с тестовым сопротивлением R к «-» и заземлением провода между нормально открытым контактом и дискретным входом микропроцессорного терминала, при полном отключении оборудования

При проведённых испытаниях было выявлено ложное срабатывание дискретных входов микропроцессорного терминала «Сименс» не зависимо от наличия и работы оборудования «Бендер». Данные ложные срабатывания вызваны особенностью работы микропроцессорных терминалов при специфическом повреждении изоляции.

Одно из возможных вариантов решения данной проблемы является установка шунтирующего резистора 10 кОм параллельно дискретному входу микропроцессорного терминала, данная схема изображена на рисунке 23.

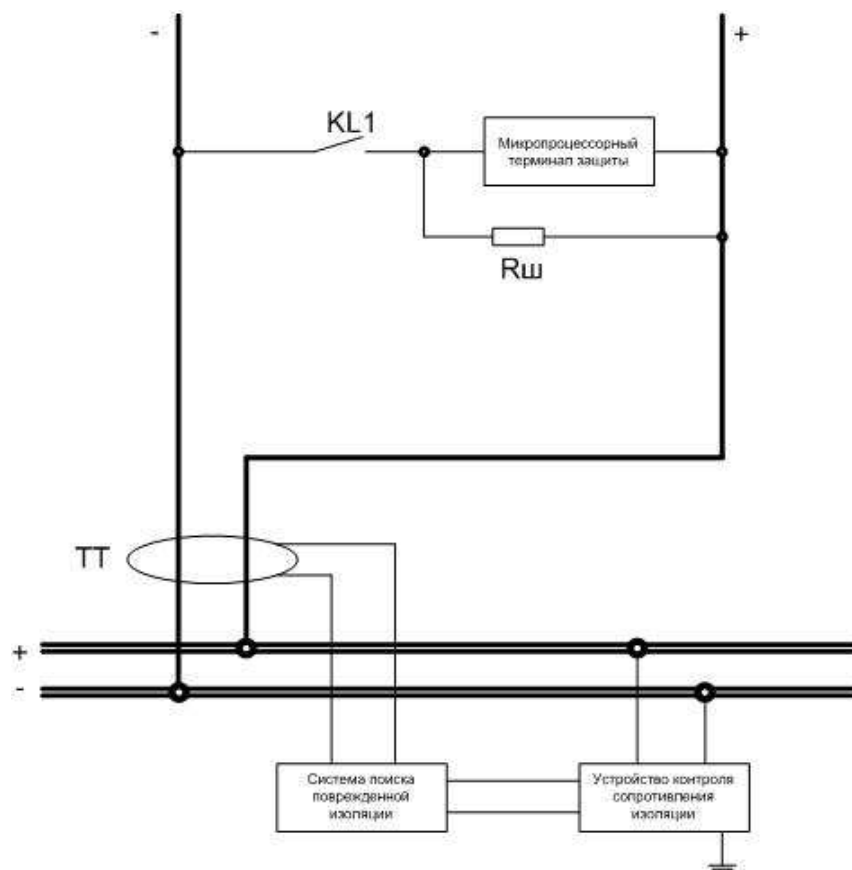


Рисунок 23 – Схема шунтирования микропроцессорного терминала

Установка шунтирующего резистора параллельно дискретным входам микропроцессорного терминала позволит:

- системам контроля сопротивления изоляции корректно определять сопротивления изоляции на участке между нормально открытым контактом и дискретными входами терминала;
- устранить влияние снижения сопротивления изоляции на вышеназванном участке на достоверность срабатывания дискретных входов терминала и, следовательно, устранить их ложное срабатывание.

3.2 Модернизация традиционной схемы контроля изоляции

Для измерения эквивалентного сопротивления сети оперативного тока традиционной схемы на основе Т-образного моста, 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 значения 160...200 В. Такое увеличение напряжения на полюсах сети может привести к ложной работе устройств РЗА.

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. Такое снижение сопротивления изоляции сети оперативного постоянного тока не может быть проконтролировано в автоматическом режиме традиционной схемой контроля изоляции.

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

1. Повысить величину контролируемого сопротивления изоляции сети;
2. Уменьшить величину перекоса напряжений на полюсах сети в случае измерения сопротивления изоляции сети;
3. Упростить процедуру измерения сопротивления изоляции сети переводом ее в автоматический режим;
4. Повысить 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. Схема показана на рисунке 24. 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.

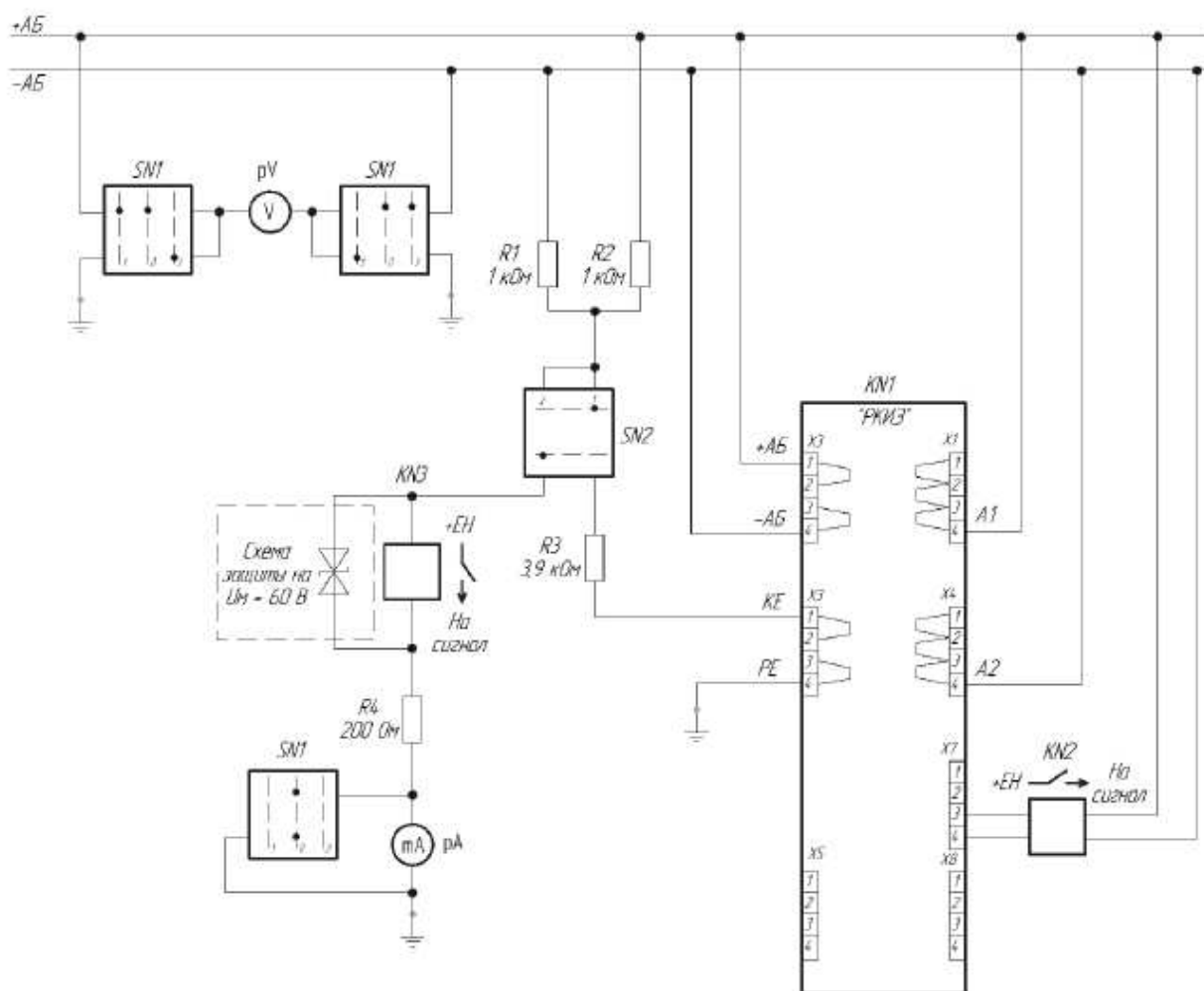


Рисунок 24 – Предлагаемая схема контроля и измерения сопротивления изоляции сети оперативного постоянного тока

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 делиться 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.

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 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:

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{U_{\text{АБ}} - U_+ - U_-}{I_+ - I_-}, \quad (15)$$

где $U_{\text{АБ}}$ - напряжение между полюсами аккумуляторной батареи, определяется вольтметром рV.

При таком способе измерения сопротивление изоляции сети оперативного постоянного тока резистор R4 и обмотка реле РН51/6,4 не отсоединяются от «земли», что не приводит к нарушению симметрии напряжения на полюсах сети оперативного тока.

На этапе, когда на многих станциях 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 работы устройств РЗА.

4 Уставки УКИ

УКИ относительно земли должны выдавать предупредительный сигнал при несимметрии напряжений полюсов более 50 В и при снижении сопротивления изоляции полюсов ниже 135 кОм. [10]

Уставка срабатывания УКИ по несимметрии напряжений должна регулироваться в диапазоне 50 - 85 В с шагом не более 5 В. [10]

5 Выводы, рекомендации

Применение современных УКИ без проведения всесторонних проверок потенциально опасно и может привести к негативным последствиям. Так как изготовители УКИ не достаточно внимания уделяют проблеме ложного срабатывания устройств РЗА из-за работы УКИ.

Усугубляет положение отсутствие описаний опыта эксплуатации новых УКИ в условиях обновления современной техники. Поэтому необходимо создать базу данных опыта эксплуатации УКИ.

Для более правильного решения проблем УКИ необходимо создать полигон для проведения разносторонних испытаний и тестирования устройств контроля изоляции. Где будет осуществляться сертификация устройств контроля изоляции экспертами в данной области.

Необходимо обязать разработчиков УКИ предоставлять более подробные схемы комплексов контроля изоляции, для более детального понимания принципов работы УКИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской работе рассмотрен вопрос контроля изоляции сети оперативного постоянного тока и предложены варианты решения проблем контроля изоляции с целью увеличения надежности сетей оперативного постоянного тока.

Подводя итог по проделанной работе можно сформулировать следующие выводы и результаты:

1. Проведен анализ современных устройств контроля изоляции;
2. Проанализированы особенности схем УКИ;
3. Проанализирован опыт эксплуатации УКИ;
4. Выявлены проблемы контроля изоляции;
5. Предложены варианты решения проблем контроля изоляции.

Реализация представленных решений позволяет повысить надежность обеспечения бесперебойного питания электроприемников постоянного тока и вторичных цепей. Создание базы данных опыта эксплуатации и испытательного полигона для УКИ позволит заблаговременно решать проблемы, возникающие с УКИ и исключить ряд важнейших неисправностей до введения в эксплуатацию.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

СОПТ – сеть оперативного постоянного тока.

К.З. – короткое замыкание.

ПУЭ – правила устройства электроустановок.

СКИ – система контроля изоляции.

УКИСПТ – устройство контроля сопротивления изоляции сетей постоянного тока.

РЗА – релейная защита и автоматика.

ЗРУ – закрытое распределительное устройство.

АК – аккумуляторная батарея.

ПС – подстанция.

ЗУ – зарядное устройство.

ЩПТ – щит постоянного тока.

АСУ ТП - автоматизированная система управления технологическим процессом.

ШРОТ – шкаф распределения оперативного тока.

АРМ – автоматизированное рабочее место.

ЕНЭС – единая национальная электрическая сеть.

ШОТ – шкаф оперативного тока.

ОПУ – общеподстанционный пункт управления.

ДВ – дискретный вход.

МПЗ – микропроцессорная защита.

БТВ – блок тестового воздействия.

БИ – блок индикации.

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь.

БТВ – блок тестового воздействия.

БП – блок питания.

БДР – блок добавочных резисторов.

ДДТ – датчик дифференциального тока.

ИП – источник питания.

УР – уравнивающий резистор.

УСИ – устройство сбора информации.

БКИ – блок контроля изоляции.

ИП – источник питания.

МУРЗ – микропроцессорное устройство релейной защиты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гуревич, В.И. Проблемы повышения надежности систем оперативного питания РЗА на постоянном токе / В. И. Гуревич // Электроэнергия. Передача и распределение. 2012. № 3.
2. Алимов, Ю. Н. Контроль изоляции в цепях оперативного постоянного тока / Ю. Н. Алимов, И. А. Галкин, Н. И. Шарин // Цифровая электротехника: проблемы и достижения: сб. научн. Тр. – Чебоксары, 2012. – Вып. 1. –с. 70-87
3. Алимов, Ю. Н. Контроль изоляции в цепях оперативного постоянного тока электрических станций и подстанций. / Ю. Н. Алимов, К. В. Быков, И. А. Галкин, Н. И. Шаварин // Релейная защита и автоматизация. – 2013. - №003. – С.38-45.
4. Галкин, И. А. Реле контроля уровня сопротивления изоляции полюсов сети оперативного постоянного тока ООО НПП «ЭКРА» типа РКИЭ. / И. А. Галкин, Н. И. Шаварин, А. Б. Иванов // Релейная защита и автоматизация. - 2010.-№01.-С.26-28
5. Силаев Ю. М. Специфические проблемы электромагнитной совместимости в системе оперативного постоянного тока / Ю. М. Силаев // Релейная защита и автоматизация. 2010, №1 (1). С. 29-31
6. Пат. 2381513 Рос. Федерация : МПК G01R 27/18. 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; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие "ЭКРА" (RU) . — № 2008129234/28 ; заявл. 16.07.2008 ; опубл. 10.02.2010 Бюл. № 4
7. Электрический справочник. В 4 т. Т 3. Производство, передача и распределение электрической энергии, 8-е изд., исп. И доп.-М.-Изд.МЭИ,2002 -964с.

8. СТО 56947007-29.120.40.041-2010 Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования. – Введ. 29.03.2010. – Москва: МЭИ, 2010. – 20с.

9. СТО РусГидро 02.02.105-2013 Гидроэлектростанции. Системы оперативного постоянного тока. Технические требования, типовые технические решения. – Введ. 06.02.2014 – Москва: ЗАО Уралэнерго-Сою, 2014. – 144с.

10. 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. – Введ. 11.10.2011 – Москва: ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», 2011. – 13с.

11. Кушнарев, Ф.А. Повышение надежности системы оперативного постоянного тока электростанций и подстанций средствами управления/ Ф. А. Кушнарев, А. С. Засыпкин, В. А. Белохвастов // Электрические станции. 1994. - №4, -С.45-47.

12. Борухман, В.А. Определение места повреждения • изоляции в сети оперативного постоянного тока / В. А. Борухман, А. Н. Кулдыкин // Электрические станции.- 1982. № 7. - С.58-60.

13. Титаренко, М.В., Устройство контроля изоляции цепей постоянного тока / М. В. Титаренко, В. В. Куш, Н. П. Левыкин, Н. И. Сиренко // Промышленная энергетика. 1979. - № 2. - С.24-25.

14. Винников, М.Р. Схема контроля цепей оперативного постоянного тока / М. Р. Винников // Промышленная энергетика. 1981. - № 12. - С.23-24

15. Потемкин, В.В. Разработка методов и средств отыскания места снижения сопротивления изоляции в сетях постоянного оперативного тока: Дис.канд. техн. наук: 05.14.02.- Томск, 1990.-177с.

16. Датчики тока для устройств селективного контроля состояния изоляции электрических сетей / Р.А.Вайнштейн, Ю.А. Калуга, В.В. Потемкин // Известия ВУЗов СССР. Энергетика.-1986.-№ 2.-С. 70-74.

17. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 октября 2010г. –Москва: КНОРУС, 2010. – 488 с.

18. СТО 4.2–07–2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности. – Введен взамен СТО 4.2–07–2012 ; дата введ. 9. 01. 2014. – Красноярск: БИК СФУ, 2014. – 60 с.

19. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин.- 3-е изд., перераб.-М.: КРОНУС, 2012,-648 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Метод трех отсчетов вольтметра

Этот метод заключается в последовательном измерении вольтметром с известным сопротивлением r трех напряжений: U – рабочего; U_1 – между положительным полюсом сети и землей; U_2 – между отрицательным полюсом и землей.

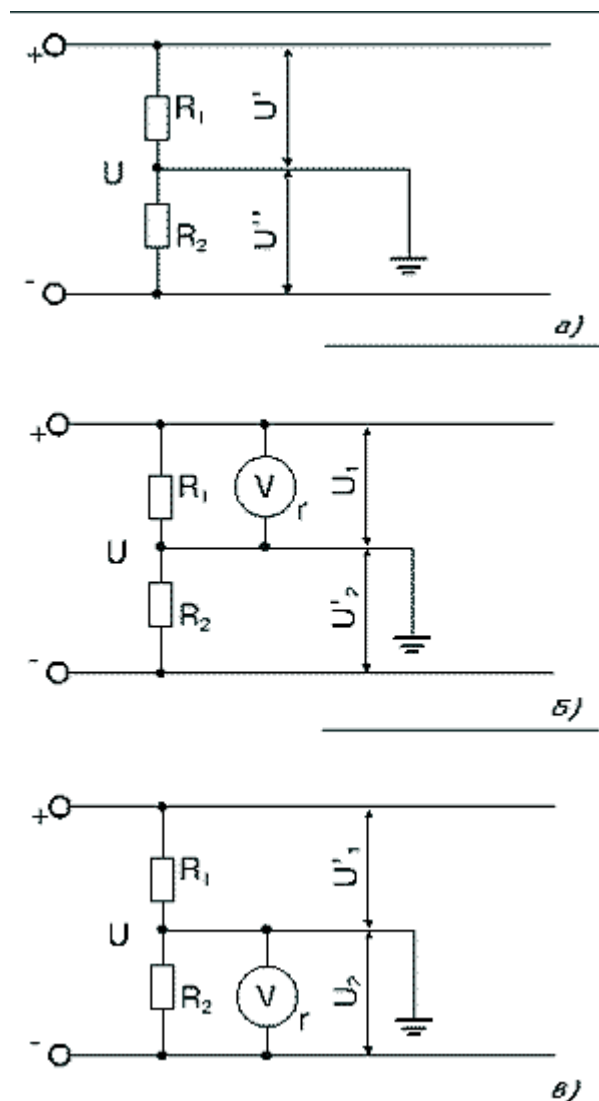


Рисунок А.1 – Эквивалентная схема сети постоянного тока.

На рис. а показана эквивалентная схема сети постоянного тока с сопротивлениями изоляции полюсов R_1 , R_2 и рабочим напряжением U . Напряжения между полюсами сети и корпусом U' и U'' , пропорциональны соответствующим сопротивлениям изоляции, то есть всегда выполняются следующие соотношения:

$$\frac{U'}{U''} = \frac{R_1}{R_2}; U' + U'' = U. \quad (A.1)$$

Если для измерения этих напряжений между полюсами сети и корпусом включить вольтметры V_1 и V_2 с равными внутренними сопротивлениями r , то получим:

$$\frac{U'}{U''} = \frac{R_1(R_2+r)}{R_2(R_1+r)} \quad (A.2)$$

При $r \gg R$ будет совпадать с предыдущим. Такой способ контроля ранее применялся для индикации однополюсных снижений сопротивления изоляции и однополюсных замыканий на землю. Вольтметр, соответствующий полюсу с меньшим сопротивлением изоляции, имеет меньшее показание.

Пользуясь результатами измерения напряжений U' и U'' , определить величины сопротивлений R_1 и R_2 , соответственно и значение эквивалентного сопротивления изоляции сети R , не представляется возможным, так как система уравнений неполная: эквивалентная схема состоит из трех контуров, в то время как сама система содержит только два уравнения. Чтобы ее все-таки можно было разрешить, в сеть вносят нормированные искажения.

При включении вольтметра V по схеме рис. б меняется эквивалентное сопротивление между положительным полюсом сети и землей (за счет шунтирования сопротивления изоляции R_1 внутренним сопротивлением вольтметра r). Оно становится равным:

$$R_1 = \frac{R_1 r}{R_1 + r}. \quad (\text{A.3})$$

Так как при этом сопротивление между отрицательным полюсом сети и корпусом не изменится, то уменьшается напряжение между положительным полюсом и землей: $U_1 < U'$ (соответственно $U_2 > U''$). При измерении по схеме рис. в аналогично получаем: $U_2 < U''$. С условием того, что $U' + U'' = U$, при измерении методом трех отсчетов всегда справедливо неравенство $U_1 + U_2 < U$.

Следует еще раз подчеркнуть, что оно образуется за счет намеренного поочередного уменьшения сопротивлений между полюсами сети и землей путем шунтирования сопротивлений изоляции R_1 и R_2 известным сопротивлением r . Сопротивление схемы Т-моста при таком замере отключается от земли.

Теперь система уравнений, составленных для напряжений U_1 и U_2 , оказывается разрешимой, так как она содержит известные величины U , U_1 , U_2 , r и две неизвестные величины: R_1 и R_2 .

$$\frac{U_1}{U_2'} = \frac{U_1}{U_{BAT} - U_1} = \frac{R_1 * r_V}{(R_1 + r_V) * R_2}. \quad (\text{A.4})$$

Откуда

$$R_2 = \frac{R_1 * r_V * (U_{BAT} - U_1)}{(R_1 + r_V) * U_1}. \quad (\text{A.5})$$

$$\frac{U_2}{U_1'} = \frac{U_2}{U_{BAT} - U_2} = \frac{R_2 * r_V}{(R_2 + r_V) * R_1}. \quad (\text{A.6})$$

Откуда

$$R_1 = \frac{R_2 * r_V * (U_{BAT} - U_2)}{(R_2 + r_V) * U_2}. \quad (A.7)$$

Решая систему относительно R1 и R2, получаем выражения для расчета эквивалентного сопротивления изоляции сети:

$$R_2 = \frac{r_V * (U_{BAT} - U_1 - U_2)}{U_1} = r_V * \left(\frac{U_{BAT} - U_2}{U_1} - 1 \right). \quad (A.8)$$

$$R_1 = \frac{r_V * (U_{BAT} - U_1 - U_2)}{U_2} = r_V * \left(\frac{U_{BAT} - U_1}{U_2} - 1 \right). \quad (A.9)$$

$$R_{\Sigma} = r_V * \left(\frac{U_{BAT}}{U_1 + U_2} - 1 \right). \quad (A.10)$$

Соотношение величин напряжений U и U1+U2, определяющее точность измерений при данном сопротивлении изоляции сети, зависит от величины сопротивления вольтметра r. Если $r \gg R$ (например, при измерении ламповым, цифровым или электростатическим вольтметром), то при подключении вольтметра в сеть вносятся несущественные искажения, так как сопротивления между полюсами сети и землей практически не изменяются. Как следствие этого получаем $U_1 + U_2 = U$. Соответственно нулевыми будут результаты при расчетах.

Обычно рекомендуется выбирать вольтметр с внутренним сопротивлением, приблизительно равным измеряемому сопротивлению изоляции.

Метод трех измерений вольтметра позволяет контролировать общее сопротивление изоляции СОПТ и сопротивления изоляции полюсов СОПТ при симметричных и несимметричных замыканиях на землю.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Метод определения сопротивления изоляции СОПТ воздействием на сеть измерительным напряжением чередующейся полярности

При приложении к сети измерительного напряжения относительно земли через сопротивление изоляции начнут протекать токи, которые имеют две составляющие: начальный ток $i_{нач}$ и ток $i_{изм}$, обусловленный наличием в сети источника измерительного напряжения E_1 .

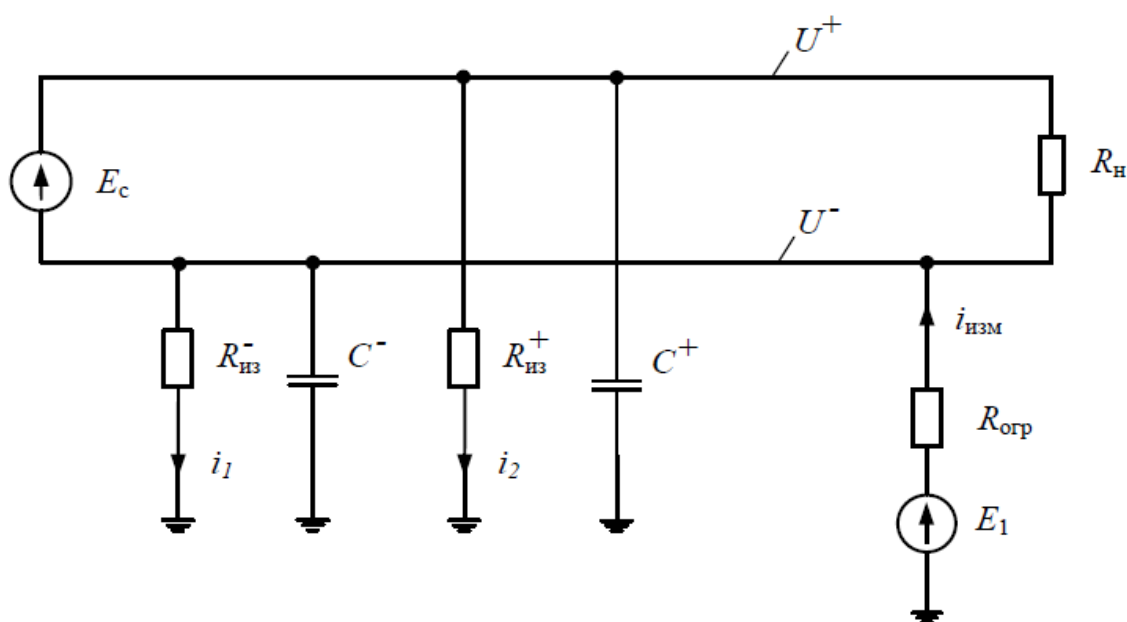


Рисунок Б.1 – Схема сети с источником измерительного напряжения

Ток $i_{изм}$ зависит от величины приложенного измерительного напряжения E_1 , сопротивления изоляции отрицательного $R_{из^-}$ и положительного $R_{из^+}$ полюсов, ограничительного сопротивления $R_{огр}$, а также от начального напряжения $U_{нач^-}$ в точке подключения и выражается следующей формулой:

$$i_{изм} = \frac{E_1}{R_{огр} + R_{из^+}} + \frac{U_{нач^-}}{R_{огр} + R_{из^+}}, \quad (Б.1)$$

где $U_{нач^-} = \frac{E_c R_{из^-}}{R_{из^-} + R_{из^+}}$ - начальное напряжение в точке подключения.

Для исключения влияния мешающей составляющей $U_{нач}$ необходимо провести два измерения с разными величинами измерительного напряжения $E_1 = +E_{изм}$ и $E_2 = -E_{изм}$. Тогда измерив величины $i_{изм1}$ и $i_{изм2}$ и, зная E_1 , E_2 и $R_{орг}$, можно вычислить сопротивление изоляции $R_{из}$:

$$R_{из} = \frac{E_1 - E_2}{i_{изм1} - i_{изм2}} + R_{орг}. \quad (Б.2)$$

Если производить измерение напряжения в точке подключения U_1 - и U_2 -то формула вычисления сопротивления изоляции $R_{из}$ преобразуется следующим образом:

$$R_{из} = \frac{U_1^- - U_2^-}{i_{изм1} - i_{изм2}}. \quad (Б.3)$$

Можно измерять напряжение положительного полюса или какой либо другой точки сети, важно то, что эта величина соответствует приращению потенциалов сети (относительно земли) при разных воздействующих напряжениях. Тогда:

$$\Delta U = U_1^- - U_2^- = U_1^+ - U_2^+. \quad (Б.4)$$

$$\Delta i = i_{изм1} - i_{изм2}. \quad (Б.5)$$

Следовательно:

$$R_{из} = \frac{\Delta U}{\Delta i}. \quad (Б.6)$$

Описанный способ относится к группе, в которых производится воздействие на сеть измерительным напряжением чередующейся полярности, и применяется в большинстве способов измерения сопротивления изоляции сетей постоянного тока.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

ОТЗЫВ

Руководителя о Магистерской диссертации

Студента 2-го курса очной формы обучения по направлению подготовки 140400.68
«Электроэнергетика и электротехника».

Белоконева Павла Михайловича

1. **Магистерская диссертация по теме** «Устройства контроля изоляции сети оперативного постоянного тока».

2. **В магистерской диссертации:** затронуты вопросы надежного электроснабжения потребителей сетей оперативного постоянного тока (СОПТ), связанные с применением современных устройств контроля изоляции (УКИ). Автором рассмотрены особенности применения ряда современных УКИ, определены их достоинства и недостатки. Отмечена потенциальная опасность применения современных устройств контроля изоляции без комплексной всесторонней проверки их влияния на оборудование СОПТ. Даны рекомендации по внедрению устройств контроля изоляции на действующих энергообъектах.

В процессе работы Белоконев Павел Михайлович показал хорошие теоретические знания, творческий подход к выполнению работы, самостоятельность в выборе технических решений. Все принятые решения соответствуют техническим требованиям, действующим в настоящее время.

3. **Замечания и предложения:** В магистерской работе недостаточно освещена тема переходных процессов протекающих в СОПТ в режимах замыканий на землю, а также в режимах коммутации оборудования, не учитывается емкость распределенной сети оперативного постоянного тока и влияние емкости СОПТ на подключенное оборудование. Как следствие мало освещен вопрос алгоритма работы УКИ с учетом емкости СОПТ.

3. Магистерская работа «Устройства контроля изоляции сети оперативного постоянного тока» заслуживает **оценки «хорошо»**, а его разработчик Белоконев П.М. присвоения степени «магистр».

Научный руководитель

Тазина
(подпись)

Рахманин М.С.
(ФИО)

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

РЕЦЕНЗИЯ

На выпускную квалификационную работу студента
Белоконева Павла Михайловича
(Ф. И. О.)

Рецензент Малых Дмитрий Геннадьевич, специалист РЗАиТ,
Филиала ООО «РУС-Инжиниринг» в г. Саяногорске
(Ф. И. О. ученая степень, должность, место работы)

Магистерская диссертация П. М. Белоконева «Устройства контроля изоляции сети оперативного постоянного тока» выполнена в полном объеме.

В работе обоснована практическая и теоретическая актуальность исследования. Автор применил для достижения поставленных целей методологию научного исследования, а также методологию поиска и анализа решений. Глубоко проработан теоретический материал, собрана и рассмотрена практическая информация по теме. Следует отметить собранную информацию из опыта эксплуатации устройств контроля изоляции.

Большой интерес представляют варианты решения проблем устройств контроля изоляции. Выводы, представленные в диссертации, основаны на критическом анализе полученных результатов и результатов других научных работ, опубликованных по данной теме. Отмечается осмысленность работы, предложены возможности дальнейшего развития представленного исследования и практического применения результатов.

Недостатком работы является малая освещенность переходных процессов протекающих в СОПТ.

Магистерская диссертация «Устройства контроля изоляции сети оперативного постоянного тока» написана грамотным академическим языком, корректно использованы специальные технические понятия и термины, структура работы понятна и отвечает целям и задачам диссертации. Работа заслуживает отличной оценки, а П.М. Белоконев присвоения степени магистра.

Дата: 20.06.17

Подпись: _____



СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ
магистранта Саяно – Шушенского филиала СФУ
группы ГЭ15 – 01М

Белоконева Павла Михайловича

(фамилия, имя, отчество магистранта)

Магистерская программа: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль подготовки: 13.04.02.06 «Гидроэлектростанции»

Тема выпускной квалификационной работы (ВКР):

Устройства контроля изоляции сети оперативного постоянного тока

Публикации по теме магистерской диссертации:

1. Сборник материалов III Всероссийской научно – практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В XXI ВЕКЕ», Саяногорск р.п. Черемушки, 26 – 27 мая 2016 года.

Название статьи: «Устройства контроля изоляции цепей системы оперативного постоянного тока».

2. Сборник материалов IV Всероссийской научно – практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В XXI ВЕКЕ», Саяногорск р.п. Черемушки, 13 – 14 апреля 2017 года.

Название статьи: «Проблемы контроля изоляции цепей системы оперативного постоянного тока».

Магистрант



(подпись)

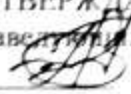
Белоконев Павел Михайлович

(фамилия, имя, отчество)

«20» июня 2017 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 В.И. Татарников
«31» марта 2017г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту Белоконеву Павлу Михайловичу

Группа ГЭ15-01М. Направление (специальность) 13.03.02.06

Гидроэлектростанции.

Тема выпускной квалификационной работы: Устройства контроля изоляции сети оперативного постоянного тока

Утверждена приказом по университету № 47 от 31.03.2017

Руководитель ВКР М.С. Размахнин, инженер участка РЗ и ПА СТСУ филиала ОАО «РусГидро» СШГЭС им. П. С. Непорожного

Исходные данные для ВКР: Стандарты СОПТ, отчёты анализа и тестирования системы контроля сопротивления изоляции, документации современных устройств контроля изоляции.

Перечень разделов ВКР 1.Сети оперативного постоянного тока; 2. Устройства контроля изоляции; 3. Решения проблем УКИ при эксплуатации.

Перечень графического материала: не предусмотрен

Руководитель ВКР


_____ подпись

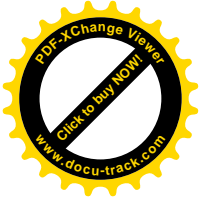
М. С. Размахнин
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению


_____ подпись

П. М. Белоконев
инициалы, фамилия

«31» марта 2017 г.



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Саяно-Шушенский филиал

Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических систем и
электрических сетей

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
[Подпись] В.И. Татарников
подпись инициалы, фамилия
22 06 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Устройства контроля изоляции сети оперативного постоянного тока

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Научный руководитель [Подпись] 06.06.2017 [Подпись] **М. С. Размахнин**
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник [Подпись] 06.06.17 **П. М. Белоконев**
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер [Подпись] 22.06.17 **А.А. Чабанова**
подпись, дата инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки, 2017