

Применение имитационного моделирования при разработке устройства контроля состояния опоры контактной сети при ее разземлении

А.Г. Емельянов, А.В. Роголёв✉, Е.А. Морозов

Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского университета путей сообщения, г. Чита, Российская Федерация

✉a_rogalev@inbox.ru

Резюме

В статье выполнен анализ статистики отказов технических средств за период 2018–2023 гг. в рамках системы регистрации отказов технических средств устройств тягового электроснабжения Забайкальской железной дороги. Особое внимание уделяется наиболее массовым отказам, связанным с разземлением опоры контактной сети системы тягового электроснабжения из-за поврежденных высоковольтных изоляторов контактной сети, что отрицательно влияет на эффективность и избирательность работы систем релейной защиты и противоаварийной автоматики системы тягового электроснабжения, систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, напольных устройств централизации, сигнализации и автоблокировки. Выполнена разработка конструкции устройства контроля состояния опоры контактной сети при ее разземлении, предложен вариант реализации прибора для повышения надежности и эффективности работы релейной защиты и напольных конструкций железнодорожной автоматики и телемеханики. Достигается снижение материальных издержек, связанных с определением места расположения разземленной опоры, ввиду минимальных материальных затрат на создание данного девайса. Для исследования его работы использовано лицензионное программное обеспечение системы имитационного моделирования «Мультисим» версии 10.0. Полученный результат показал полную работоспособность модели устройства контроля состояния защитного заземления опоры контактной сети при ее разземлении. Широкое его применение позволит осуществить интеграцию в систему диагностики состояния опор контактной сети переменного тока в качестве первичного элемента, контролирующего, в том числе, вопросы электробезопасности оперативно-технического персонала и сторонних лиц. Предложенный оптический вариант выходного сигнала поможет решить проблему гальванической высоковольтной развязки и отсутствия влияния удаленности опоры от контрольного пункта в виде дистанции электроснабжения или тяговой подстанции.

Ключевые слова

статистика, отказы технических средств, устройства автоматики и телемеханики, релейная защита, контактная сеть, высоковольтная изоляция, опора контактной сети, регистрация и индикация аварийных режимов, датчик тока, оптический элемент, токоограничивающий резистор

Для цитирования

Емельянов А.Г. Применение имитационного моделирования при разработке устройства контроля состояния опоры контактной сети при ее разземлении / А.Г. Емельянов, А.В. Роголёв, Е.А. Морозов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 3 (83). С. 119–131. DOI 10.26731/1813-9108.2024.3(83).119-131.

Информация о статье

поступила в редакцию: 10.04.2024 г.; поступила после рецензирования: 28.08.2024 г.; принята к публикации: 29.08.2024 г.

The use of simulation modeling in the development of a device for monitoring the state of contact network support when it is ungrounded

A.G. Emel'yanov, A.V. Rogalev✉, E.A. Morozov

Trans-Baikal Institute of Railway Transport – a branch of the Irkutsk State Transport University, Chita, the Russian Federation

✉a_rogalev@inbox.ru

Abstract

An analysis of failure statistics of technical equipment for the period 2018–2023 was carried out, within the framework of the registration system for technical equipment failures of traction power supply devices of the Trans-Baikal Railway. Particular attention is paid to the most widespread failures of technical equipment associated with the ungrounding of the contact network support of the traction power supply system, due to the damage of high-voltage insulators of the contact network, which negatively affects the efficiency and selectivity of the operation of relay protection systems and emergency automatics of the traction power supply system, railway systems and automation and telemechanics devices, floor-mounted centralization devices, alarms and automatic blocking. The design of a device for monitoring the state of a contact network support when it is ungrounded has been developed, and an implementation option for this device has been proposed to improve the reliability and efficiency of relay protection and floor-mounted devices of railway automation and telemechanics. A reduction in material costs associated with determining the location of the un-

grounded support is achieved due to the minimal material costs for creating this device. To study the operation of the above-mentioned device, licensed software of the Multisim simulation system, version 10.0, was used. The obtained test result shows the full functionality of the model of the device for monitoring the state of the protective grounding of the contact network support when it is ungrounded. The widespread use of the device under development will allow integration into the system of diagnostics and control of the state of the supports of the AC contact network, as a primary element controlling, among other things, the improvement of the state of electrical safety issues of operational and technical personnel and the third parties. The proposed optical variant of the output signal will help to eliminate the issue of galvanic high-voltage isolation, the absence of the influence of the support to the control point distance, in the form of the power supply distance or traction substation.

Keywords

statistics, failures of technical equipment, automation and telemechanics devices, relay protection, contact network, high-voltage insulation, contact network support, registration and indication of emergency modes, current sensor, optical element, current-limiting resistor

For citation

Emel'yanov A.G., Rogalev A.V., Morozov E.A. Primenenie imitatsionnogo modelirovaniya pri razrabotke ustroystva kontrolya sostoyaniya opory kontaktnoi seti pri ee razzemlenii [The use of simulation modeling in the development of a device for monitoring the state of contact network support when it is ungrounded]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 3(83), pp. 119–131. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.3(83).119-131.

Article info

Received: April 10, 2024; Revised: August 28, 2024; Accepted: August 29, 2024.

Введение

При длительной эксплуатации системы тягового электроснабжения (СТЭ) все ее элементы и составляющие части изнашиваются и приходят в негодность. Высоковольтная изоляция опор контактной сети (КС), выполненная в виде гирлянды подвесных изоляторов и фиксаторного изолятора различного типа, теряет свои изоляционные свойства, что приводит к увеличению токов утечки высоковольтной изоляции и, следовательно, к возникновению коротких замыканий при перекрытии изоляторов, существенному снижению уровня электробезопасности для оперативно-технического персонала и третьих лиц, а также крайне негативно влияет на функционирование напольных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), в том числе рельсовых цепей [1].

Следствием такого процесса является нестабильное срабатывание защитных устройств релейной защиты СТЭ, приводящее к возникновению отказов технических средств (ОТС), регистрируемое в системе КАСАНТ [2], срыв рабочего режима работы напольных устройств ЖАТ, к нарушениям регулярности и последовательности перевозочного процесса. Кроме того, попадание высоковольтного потенциала в грунт приводит к повышению вероятности получения электрических травм оперативно-технологическим персоналом ОАО «РЖД» и третьих лиц, нарушаются условия электромагнитной совместимости устройств СТЭ и ЖАТ, рельсовых цепей и смежных линий связи [3].

Поэтому в рамках соглашения между Забайкальским институтом железнодорожного транспорта и Забайкальской дирекцией по энергообеспечению – структурным подразделением «ТрансЭнерго – филиала ОАО «РЖД» (ЗабНТЭ СП «ТрансЭнерго» – филиала ОАО «РЖД») о взаимодействии выполнен анализ статистики ОТС СТЭ Забайкальской железной дороги за период 2018–2023 гг., собранной в базе данных системы КАСАНТ за указанный период и показано распределение ОТС по годам (рис. 1) [4].

Результаты сбора и сортировки статистики по ОТС в СТЭ ЗабНТЭ за период 2018–2023 гг. в рамках функционирования системы КАСАНТ в количественном виде сведены в таблицу, в которой отражены собранные данные по основным видам ОТС и их распределение по годам.

Обращает на себя внимание тот факт, что наихудшими результатами обладают три вида ОТС:

- повреждения контактного провода, несущего и рессорного тросов, а также иных устройств, напрямую связанных с ним;
- повреждения, напрямую связанные с повреждением высоковольтных изоляторов КС;
- повреждения, связанные с неисправностями устройств защитного заземления опор КС, что указывает на процесс разземления опор КС [5].

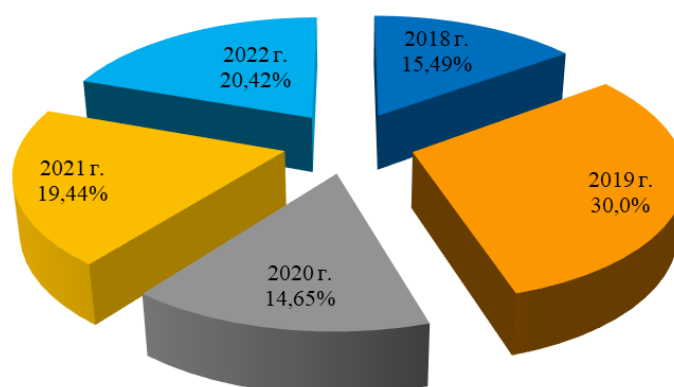


Рис. 1. Статистика распределения отказов технических средств по годам
Fig. 1. Statistics on the distribution of failures of technical means by year

Виды отказа технического средства
Types of technical failure

Наименование вида отказа технического средства Name of the type of failure of the technical means	2018	2019	2020	2021	2022	Всего, по ви- ду отказа Total, by type of failure
Контактный провод и элементы, связанные с ним (струны и рессорные тросы) The contact wire and the elements connected to it (strings and spring cables)	15	42	10	25	14	106
Усиливающий провод, несущий трос, фикси- рующие тросы, анкерочные тросы и тяги компенсаторов натяжения Amplifying wire, carrying rope, fixing ropes, anchor ropes and tension compensator rods	5	7	8	11	6	37
Элементы воздушных стрелок (модернизированных и нет) Elements of air arrows (upgraded or not)	10	15	8	9	10	52
Искровые промежутки ИПМ/ ИП-3 (в том числе глухие короткие замыкания) Spark gaps IPM/ IP-3 (including deaf short circuits)	15/0	31/7 (1 групп.)	11/2	21/2	17/3	95
Фиксаторы контактной сети Contact network retainers	8	12	11	10	9	50
Изоляторы тяговой сети Traction network insulators	7	17	7	11	13	55
Кабель сигнализации, централизации и бло- кировки и элементы, связанные с ним The alarm, centralization and blocking cable and the elements associated with it	2	5	3	3	5	18
Трансформаторы напряжения и тока Voltage and current transformers	6	11	6	3	12	44
Провода питающие, системы продольного элек- троснабжения и сигнализации, централиза- ции, блокировки Supply wires, longitudinal power supply systems and alarm, centralization, blocking	7	9	8	9	8	41

Устройства защиты тяговой сети и сигнализации, централизации, блокировки, в том числе предохранители Traction network and alarm protection devices, centralization, interlocking, including fuses	6	12	6	9	12	45
Опоры контактной сети и воздушных линий, сигнализации, централизации, блокировки и автоматической блокировки Supports of the contact network and overhead lines, alarm, centralization, blocking and automatic blocking	7	15	3	6	7	38
Выключатели силовых ячеек концевого сигнального фонаря Switches of power cells of the end signal lamp	5	9	6	7	9	36
Прочие устройства тяговых подстанций, включая телемеханику Other devices of traction substations, including telemechanics	11	12	10	7	11	46
Выключатели силовые тяговых подстанций и элементы, с ними связанные Power switches of traction substations and elements related to them	6	16	7	7	12	48
Всего отказов технических средств по годам Total failures of technical means by years	110	213	104	138	145	710

- емкостной ток утечки [6];
- сквозной ток утечки через объемную массу вещества изолятора [7];
- поверхностный ток утечки через загрязнения поверхностей изоляторов [8];
- ток утечки от частичных разрядов [9].

Отметим также, что в жестких условиях санкционного давления подавляющая масса грузоперевозок переориентируется с Запада на Восток, что в соответствии с федеральной программой модернизации Восточного полигона железных дорог на период 2013–2021 гг. (первый этап) и 2018–2022 гг. (второй этап) определяет весь вектор дальнейшего развития на десятилетия, где в качестве основных транспортных железнодорожных систем являются Байкало-Амурская магистраль (БАМ) и Транссибирская железная дорога (Транссиб) [10]. Потому логично, что основная доля грузооборота «ляжет на плечи» Транссиба. И как показывает статистика в процентном отношении, процесс увеличения грузооборота промышленных товаров и грузов во второй половине 2023 г. отчетливо прослеживается с устойчиво растущей тенденцией увеличения грузооборота (рис. 2).

Эти железные дороги проходят по территории Забайкальского края и Амурской обла-

сти. Но если БАМ на территории Забайкальского края еще остается однопутной неэлектрифицированной магистралью на тепловозной тяге, то Транссиб на всем протяжении полностью двухпутный, при этом он работает на электрической тяге.

Именно поэтому на стальной Забайкальской магистрали, входящей в состав Транссиба, с 2022 г. начата активная программа коренной реконструкции СТЭ, включающая в себя дистанции тяговых подстанций (ЭЧЭ) и дистанции контактной сети (ЭЧК). Она заключается в установке третьего тягового трансформатора, дополнительных вводных систем сборных шин открытых распределительных устройств (ОРУ) напряжением 110 или 220 кВ, а также в усилении тяговой сети на всем протяжении дороги. Заменяется контактный провод с ПБСМ–70, 95 на М120–150. При необходимости добавляются усиливающие провода М95, экранирующие провода А-185, усиливаются питающие и отсасывающие фидеры. В условиях крупных капитальных материальных вложений исправность любого вида оборудования, входящего в состав СТЭ, представляется серьезной инженерной задачей, на выполнение которой направлена данная работа, так как повышение надежности



Рис. 2. Диаграмма состояния и распределения объемов грузоперевозок в 2018–2023 гг.
Fig. 2. Diagram of the status and distribution of freight volumes during the period 2018–2023

функционирования контактной сети СТЭ связана напрямую со стабилизацией параметров перевозочного процесса в целом и минимизацией финансовых и материальных потерь ЭЧЭ и ЭЧК, а также дистанций сигнализации и связи (ШЧ), и в том числе на устранение ОТС по причине разземления опор КС.

Актуальность проблемы и постановка задачи

Повышение объемов грузоперевозок приводит к резкому ухудшению электромагнитной обстановки в СТЭ. Особенно это негативно отражается на состоянии высоковольтной изоляции опор КС. Защитными элементами конструкций являются проводник защитного заземления и искровой промежутки (ИП), от состояния которых напрямую зависит состояние опоры КС в целом.

Целью данной статьи является разработка имитационной модели, позволяющей учитывать целый ряд реальных физических свойств высоковольтной изоляции и опорных конструкций КС. Модель высоковольтной изоляции опоры КС представляется в виде линейных электротехнических элементов – неполярных конденсаторов, а модели конструктивных элементов опоры КС, через которые идет формирование токов утечки высоковольтной изоляции, в виде омических резисторов. Применение схемы имитационного моделирования позволяет исследовать процесс аварийной работы опоры КС, например в условиях ее разземления и (или) пробоя высоковольтной изоляции.

Основные понятия и процессы при разземлении опор контактной сети

Под разземлением опор КС подразумевается полная, практически до нуля, потеря ее сопротивления в результате двух возможных событий:

– выхода из строя высоковольтной изоляции (гирлянды изоляторов или фиксаторного изолятора), что вызовет перекрытие ее в виде электродугового разряда;

– сквозного пробоя защитного ИП, встроенного в заземляющий спуск, по причине перенапряжений или перекрытия гирлянды высоковольтных изоляторов, поддерживающих несущий трос, либо фиксаторного изолятора.

В процессе формирования разземления опор КС участвуют два компонента – высоковольтная изоляция (изоляторы) и устройство защитного заземления. Между металлической консолью (изолированной или неизолированной) и телом железобетонной опоры устанавливаются изолирующие прокладки в виде резинотехнических или пластиковых шайб и прокладок, обеспечивающих переходное сопротивление не менее 10 кОм, предотвращающее прохождение тока утечки высоковольтных изоляторов. В случае применения металлических опор эти изолирующие прокладки и шайбы устанавливаются между торцом основания опоры и ее фундаментом. Также между бетонным фундаментом и анкерной растяжкой опоры анкерного типа устанавливаются изолирующие деревянные прокладки.

В состав устройства защитного заземления входят:

- металлический проводник заземляющего спуска, в верхней части опоры соединенный с консолью, в нижней части – с тяговым рельсом через ИП (диаметр прутка – 10 мм для переменного тока, материал прутка – оцинкованная сталь Ст45 с удельным погонным сопротивлением $0,0137 \text{ Ом} \cdot \text{м}$);

- ИП типов ИП-3, ИПМ, ИП-62 и др.

Учитывать необходимо то обстоятельство, что заземляющий спуск на последнем участке уложен на деревянные полшпалы. Кроме того, если на опоре КС смонтированы дополнительные линии трехфазной системы продольного электроснабжения напряжением 10 кВ, системы «два провода – рельс» напряжением 35 кВ, сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) напряжением 10 кВ, линии волоконно-оптического кабеля (ВОК), то они также имеют свою высоковольтную изоляцию, а значит и свои токи утечки.

Но, так как токи утечки идут одними и теми же путями, они складывается с током утечки КС и потому напряжение 800/1 200 или 1 400/1 600 В достигается гораздо быстрее и вызывает срабатывание устройства защитного заземления быстрее.

Так как в данной работе рассматривается вариант промежуточной опоры без дополнительных высоковольтных линий, разность потенциалов, приложенных к ИП, формируется за счет токов утечки консольной изоляции (для любого типа консоли) [11]. К таким токам утечки по элементам высоковольтной изоляции относятся:

- ток утечки гирлянды подвесных высоковольтных изоляторов в количестве четырех штук, посредством которых несущий трос крепится непосредственно к консоли;

- ток утечки высоковольтного фиксаторного изолятора, который обеспечивает непосредственную механическую фиксацию контактного провода относительно несущего троса и оси пути;

- пластмассовые изолирующие вставки между консолью и телом опоры, обеспечивающие формирование основной изоляции консоли от тела опоры, размещенные под верхней тягой и под пятой консоли;

- полшпалы, подложенные под проводник заземляющего спуска на участке «опора –

рельс» (рис. 3).

Применение имитационного моделирования для разработки устройства контроля состояния опоры контактной сети при ее разземлении

В качестве программного продукта для имитационного моделирования использовано лицензионное программное обеспечение «Мультисим» версии 10.0, выпущенное канадской фирмой National Instruments, предустановленное в компьютерном классе кафедры электроснабжения Забайкальского института железнодорожного транспорта [12]. Схема самого устройства контроля состояния опоры КС при ее разземлении приведена на рис. 4. Устройство контроля состояния опоры КС состоит из:

- датчика тока, например в виде трансформатора тока 1/15 [13];

- токоограничивающего резистора (номинал резистора подбирается при настройке);

- светодиода – индикатора разземления опоры КС (передающая половина оптопары ВОК).

Электрическая схема устройства, содержащего минимум конструктивных элементов, имеет следующие части и преимущества:

1. Не имеет металлического корпуса, куда помещается сама схема и частично датчик тока.

2. Корпус устройства, выполненный из пластикового материала, обладает минимальными массогабаритными показателями, так как на печатной плате размещается фактически всего два электронных компонента – светодиод и резистор. При этом необходимо помнить, что светодиод не непосредственный индикатор состояния опоры, а всего лишь символическое обозначение передающей части аппаратуры передачи через ВОК информационного сигнала, в реальности на его месте будет лазерная излучающая головка передачи оптического сигнала посредством ВОК.

3. Датчик тока представляет собой трансформатор в виде разрезанного на две половинки кольцевого магнитопровода, выполненный в виде ферритового кольца марки К45×10×6 мм с высокой магнитной проницаемостью в диапазоне 1 000–10 000 ед. из магнитного сплава типа ЮНДК6 или 10 [14].

На одной из половинок ферритового кольца намотана обмотка из 10 ± 5 витков обмоточного эмалированного провода (подбирается при настройке) марки ПЭВ-2 диаметром

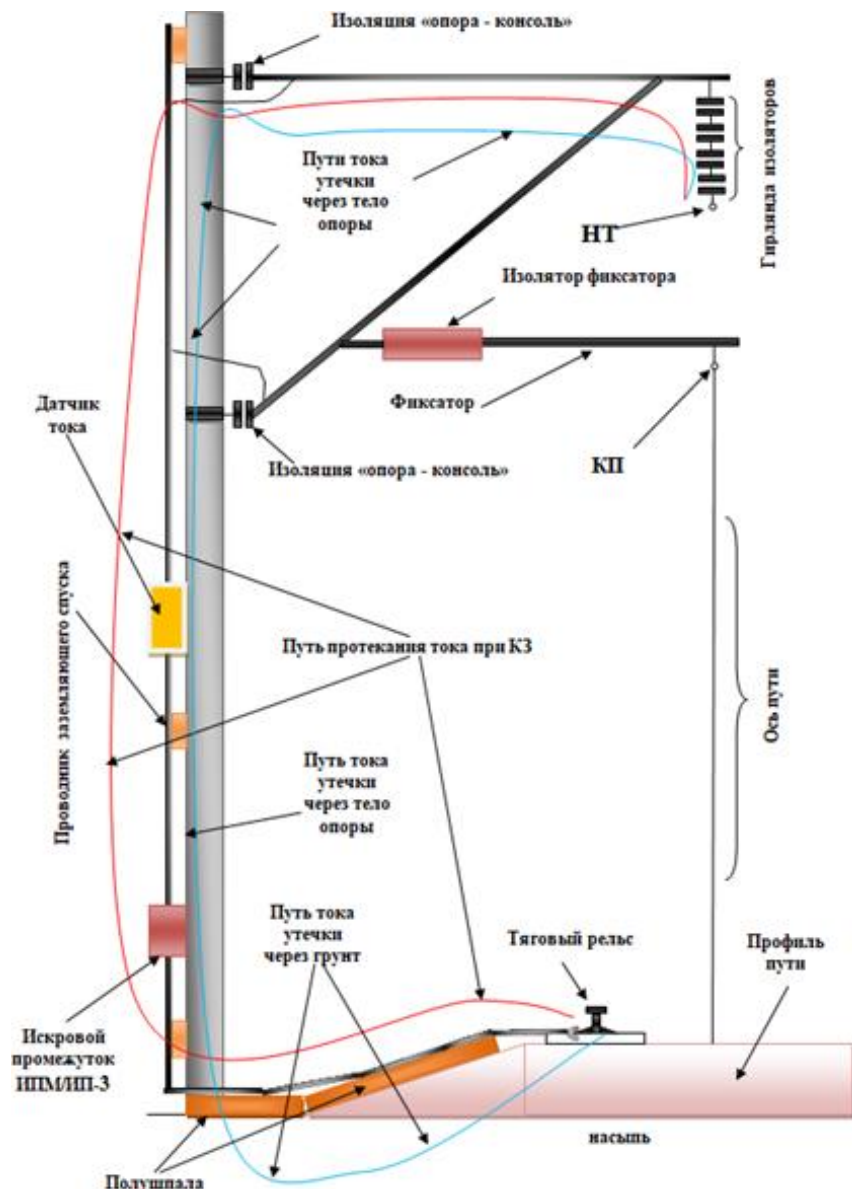


Рис. 3. Пути токов утечки высоковольтной изоляции: до (линия синего цвета) и после (линия красного цвета) срабатывания устройства защитного заземления
Fig. 3. Leakage current paths of high-voltage insulation: before (blue line) and after (red line) triggering of protective grounding devices

0,15 мм с поливинилхлоридовой изоляцией, при этом выводы обмотки выведены и распаяны непосредственно на плату, содержащую светодиод и резистор [15].

У данного трансформатора тока в качестве первичной обмотки выступает существующий металлический проводник заземляющего спуска, выполненный из стали Ст45, а вторичная обмотка – намотанная на вышеупомянутый ферритовый сердечник обмотка [16].

Вторая половинка ферритового кольца не имеет обмотки и при монтаже непосредственно

на опору охватывает с одной стороны проводник заземляющего спуска, с другой – половину магнитопровода, имеющего обмотку. Вместе они соединяются при помощи двух элементов: нанесенного на торцы половинок обмотки специализированного технического клея, а весь корпус устройства скрепляется при помощи пластиковых самозатягивающихся зубчатых стопорных хомутов [17].

Учитывая тот факт, что в сборе все устройство имеет незначительный вес, то оно крепится непосредственно за счет самого

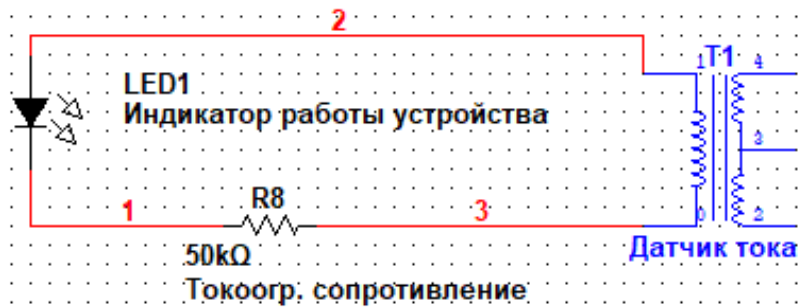


Рис. 4. Схема устройства контроля состояния опоры контактной сети
 Fig. 4. Diagram of the device for monitoring the state of the contact network support

проводника заземляющегося спуска на высоте примерно 4,5 м от условного обреза фундамента.

На рис. 5–9, показывающих принцип работы схемы устройства, в качестве модели ИП

выступает реле, управляемое напряжением, с порогом срабатывания в 1 200 В, соответствующее реальному ИП.

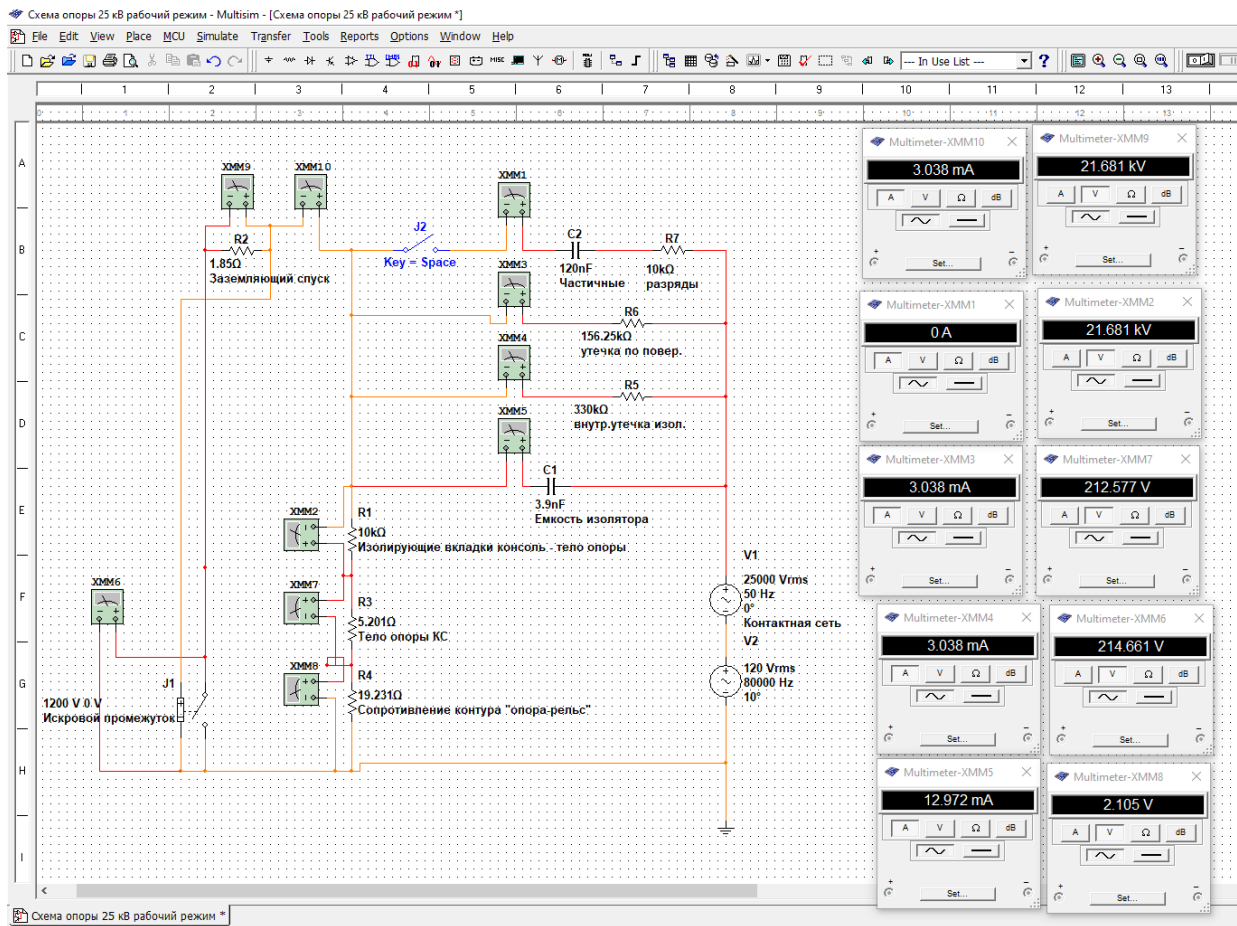


Рис. 5. Режим рабочий (без частичных разрядов, выключен ключ J2).

Искровой промежуток не пробит, не сработало реле J1

Fig. 5. Operating mode (without partial discharges, the J2 key is turned off).

The spark gap has not been broken, relay J1 has not worked

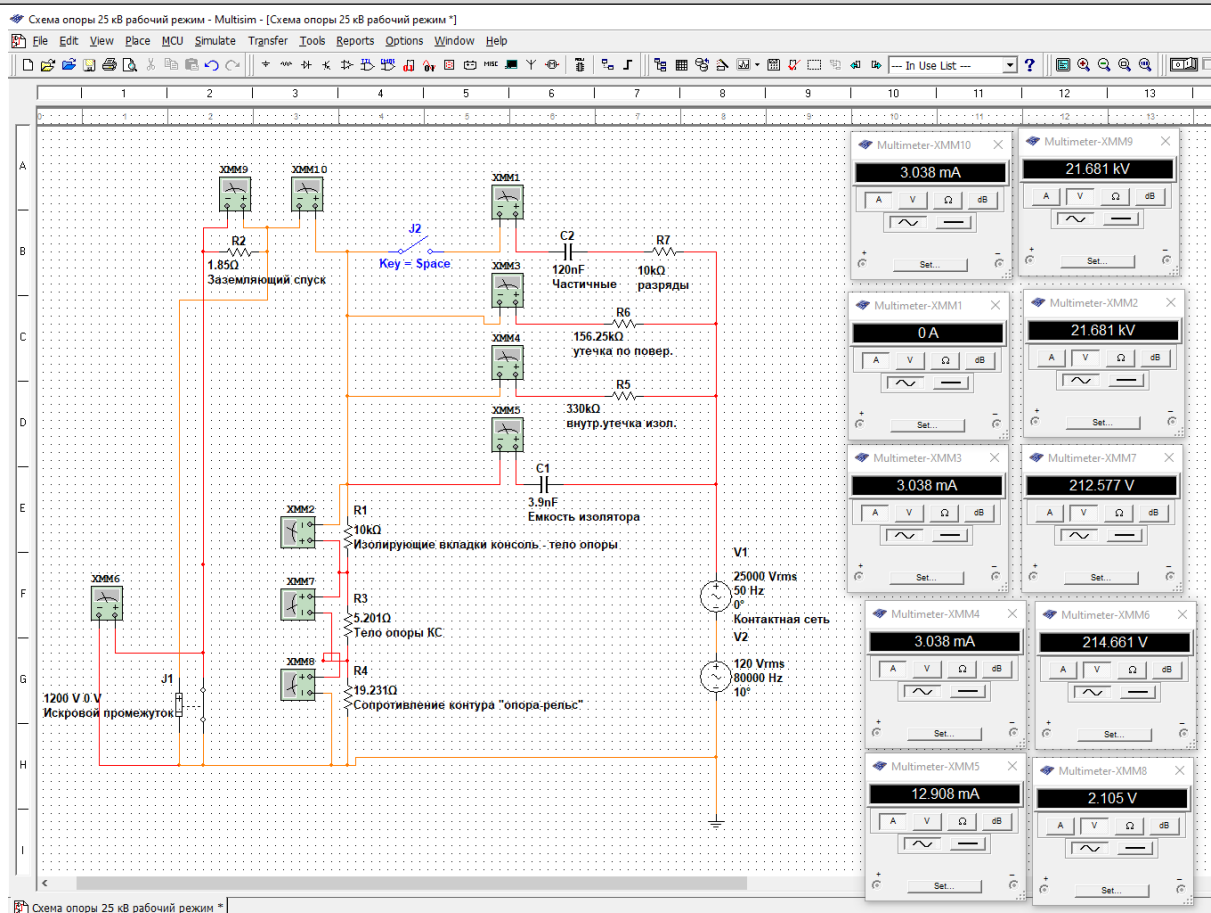


Рис. 6. Аварийный режим (без частичных разрядов, выключен ключ J2).

Искровой промежуток пробит, сработало реле J1.

Fig. 6. Emergency mode (without partial discharges, the J2 key is turned off).

The spark gap has been broken, relay J1 has been triggered

Заключение

Проведен анализ статистики отказов технических средств СТЭ за период 2018–2023 гг. Определены параметры отказов, непосредственно связанные с отказом высоковольтной изоляции и защитного заземления. Определены условия для проведения имитационного эксперимента, выбрано соответствующее программное обеспечение – лицензионное ПО «Мульти-сим» версии 10.0.

Проведено имитационное моделирование, в ходе которого поставленная задача по разработке устройства для контроля состояния опоры КС решена – получен результат, при котором получено устойчивое срабатывание модели индикатора в виде реакции на пробой ИП, выполненного в виде модели на основе реле напряжения с установкой срабатывания в 1 200 В [18].

Достоинства предложенной конструкции устройства контроля состояния опоры КС при

ее разземлении заключаются в следующем:

1. Принципиально отсутствует заземление элементов схемы в любом виде, т.е. нет проблем, связанных с размещением устройства в зоне сильного электромагнитного влияния тяговой сети переменного тока напряжением 1×25 кВ [19].

2. Корпус не имеет никаких металлических частей, так как выполнен из пластика, что убирает вопрос электромагнитной совместимости.

3. Крепление корпуса устройства не представляет каких-либо механических проблем, применение же пластиковых (немагнитных) зубчатых жгутов для его крепления позволяет при необходимости демонтажа просто перекусить монтажными кусачками хомуты и снять устройство с заземляющего спуска. Кроме того, при необходимости можно просто сломать датчик тока и снять устройство в целом ввиду принципиально минимальной стоимости устройства, т.е.

оно обладает максимальной простотой технического монтажа и демонтажа;

4. Выходной сигнал устройства может быть оптическим, как описано в данной работе, или в виде радиочастотного комплекта, например, телефона-модема, работающего в GSM-R-частотном радиодиапазоне, соединенного с выходом устройства, и при этом принципиально отсутствуют какие-либо физические линии связи для передачи данных. Тем самым обеспечивается максимальная мобильность устройства контроля состояния опоры КС при ее разземлении и защита любой информации, передаваемой по этому радиоканалу. Питание радиочастотного устройства будет от подобного трансформатора тока, т.е. работать оно будет только тогда, когда по заземляющему спуску будет проходить ток короткого замыкания [20].

5. Устройство обладает в достаточной мере технологичностью и практически не нужда-

ется в частом обслуживании после его настройки в лабораторных условиях и имитационном моделировании его работы при разземлении опоры КС, а также после его монтажа на месте установки на опору КС.

6. Выходной сигнал устройства контроля состояния опор КС позволяет ему легко интегрироваться с любой распределенной автоматизированной системой управления или автоматизированным рабочим местом, применяемом в ЗаБНТЭ или в других службах.

7. Принципиально малая себестоимость устройства позволит оснастить им максимальное количество опор КС, что дает неоспоримое преимущество – полный контроль опорного хозяйства, входящего в состав инфраструктуры ЗаБНТЭ и службы «Ш» в пределах его территориальной границы, что существенно снизит затраты, связанные с поиском и идентификацией конкретной аварийной опоры КС.

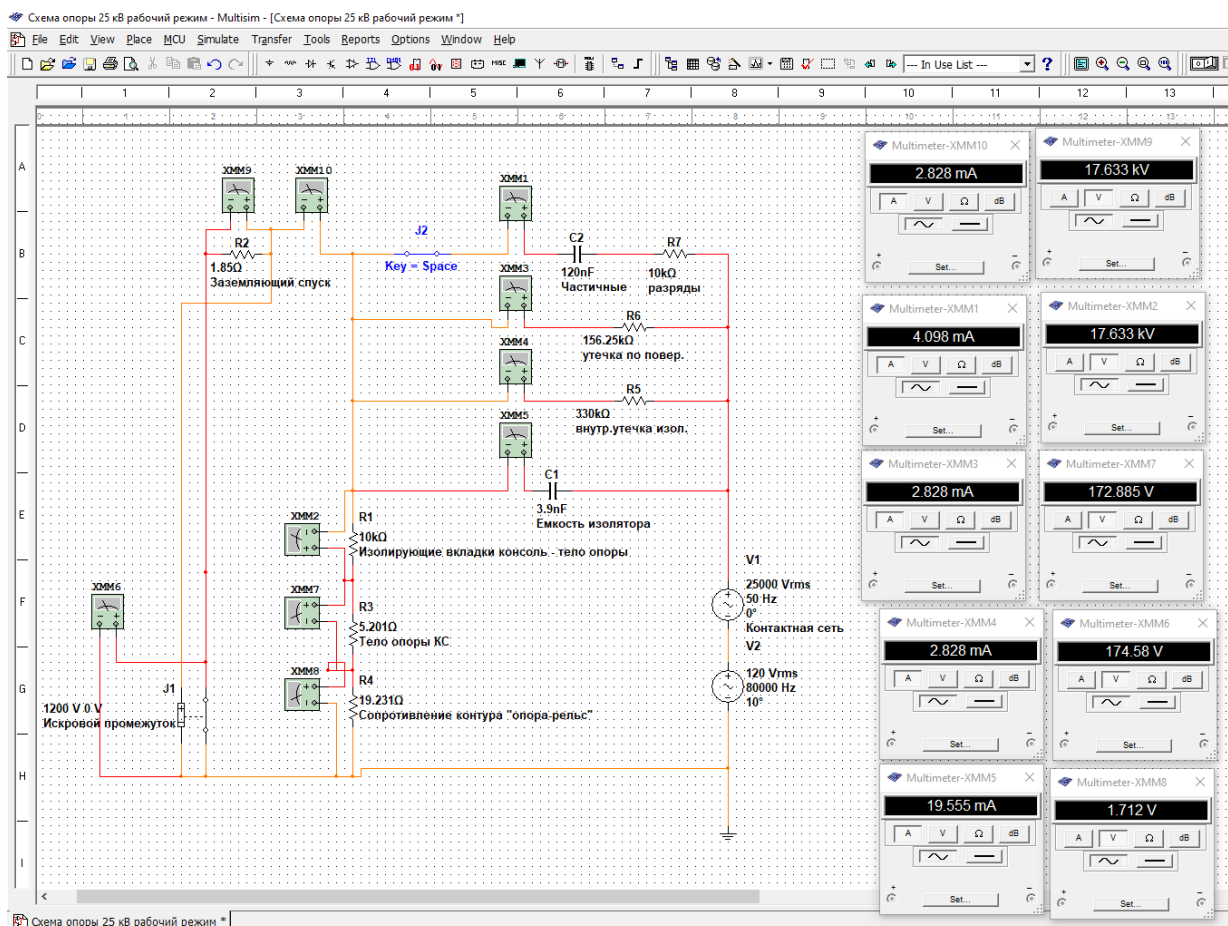


Рис. 7. Аварийный режим (с частичными разрядами, включен ключ J2).

Искровой промежутки пробит, реле J1 сработало

Fig. 7. Emergency mode (with partial discharges, the J2 key is enabled).

The spark gap is broken, relay J1 has been triggered

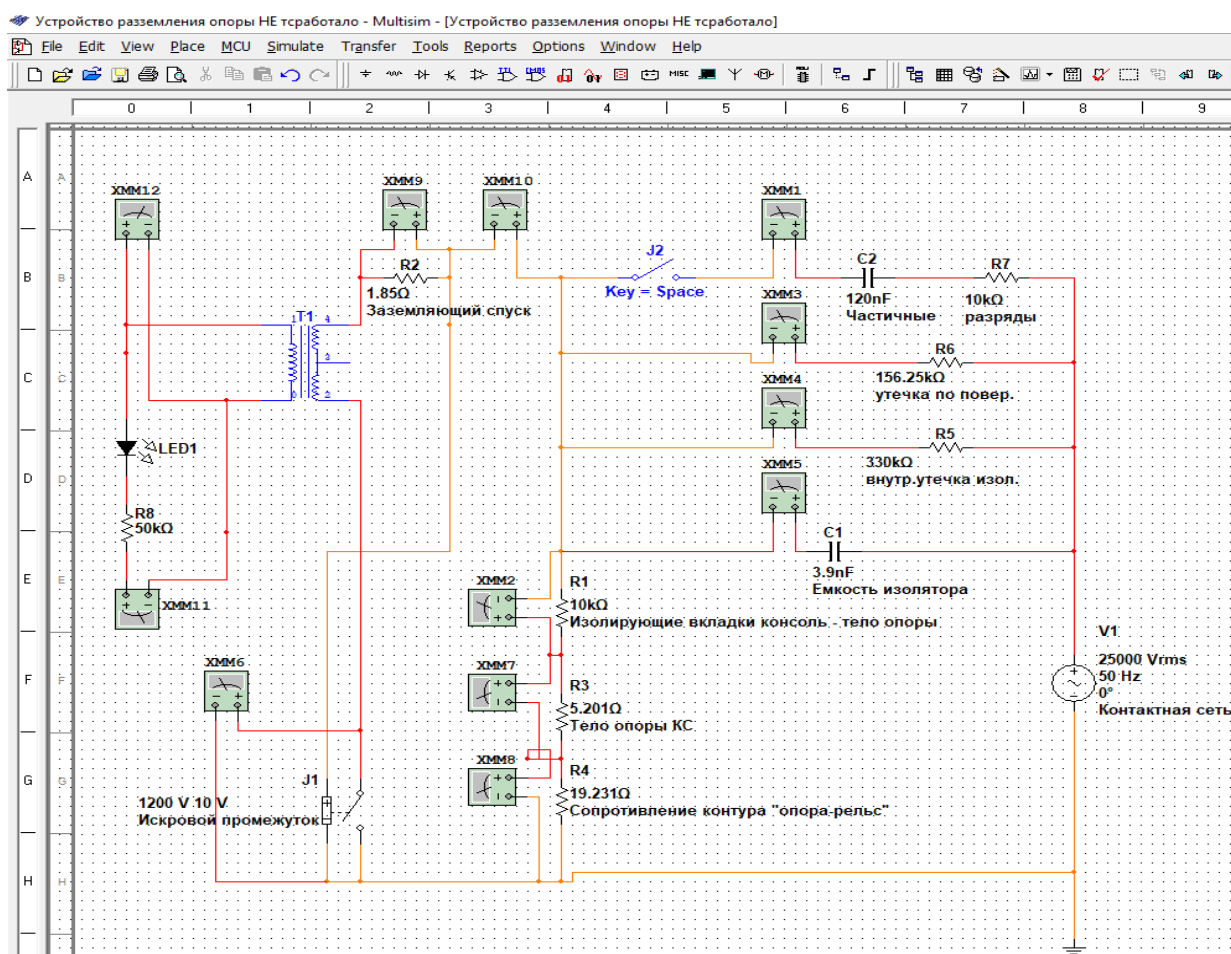


Рис. 8. Работа устройства контроля состояния опоры контактной сети (при нормальном режиме работы опоры контактной сети), реле J1 не сработало, индикатор LED1 не сработал

Fig. 8. Operation of the contact network support condition monitoring device (in the normal mode of operation of the contact network support), relay J1 has not been triggered, LED1 indicator has not been triggered

Список литературы

1. Шаманов В.И. Проблемы электромагнитной совместимости рельсовых цепей с тяговой сетью // Автоматика на транспорте. 2019. Т. 5. № 2. С. 160–185.
2. Об утверждении документов ОАО «РЖД» по вопросам учета отказов в работе технических средств и технологических нарушений на инфраструктуре ОАО «РЖД»: распоряжение ОАО «РЖД» № 1915/р от 06.09.2021 г. (ред. 07.11.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
3. Mohmmad A. Uplink Radio Resource Management for QoS Provisioning in Long Term Evolution (with Emphasis on Admission Control and Handover): ph.D.'s thesis. Aalborg, 2009. 169 p.
4. Сюй Ц. Принципы моделирования оперативной работы энергодиспетчера // Междунар. журн. гуманитарных и естественных наук. 2024. № 5-4 (92). С. 91–99.
5. Дынькин Б.Е. Защита тяговых сетей переменного тока при разземлении опор контактной сети. Хабаровск: ДВГУПС, 1999. 165 с.
6. Титков В.В., Халилов Ф.Х. Перенапряжения и молниезащита. СПб.: Лань, 2016. 224 с.
7. Андреев О.В., Вакулин А.А., Киселева К.В. Материаловедение. Тюмень: ТГУ, 2013. 630 с.
8. Халилов Ф.Х., Егоров В.В., Смирнов А.А. Техника высоких напряжений и электротехнические материалы: в устройствах железнодорожного транспорта. СПб.: Талекс, 2007. 539 с.
9. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. М.: Энергоиздат, 1982. 320 с.
10. У Восточного полигона сдвигаются точки // Коммерсантъ: сайт. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5571923> (Дата обращения 03.04.2024).
11. О совершенствовании системы содержания объектов энергетического комплекса: распоряжение ОАО «РЖД» № 1812/р от 18.08.2021 г. (ред. 28.02.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.

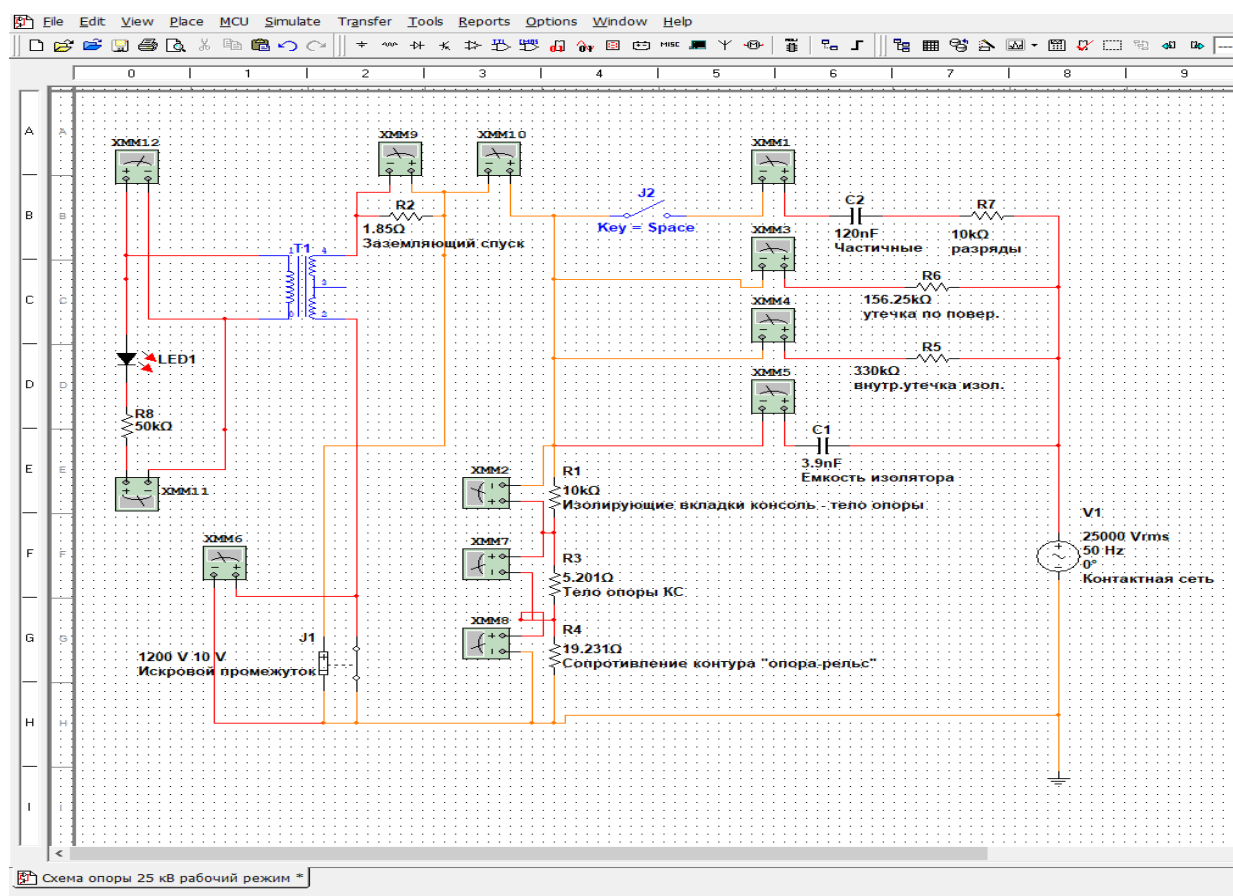


Рис. 9. Работа устройства контроля в режиме разземления опоры контактной сети (сработало реле J1 и индикатор LED1 включен)

Fig. 9. Operation of the monitoring device in the grounding mode of the contact network support (relay J1 has been triggered and the LED1 indicator is on)

12. Кузовкин В.А., Филатов В.В. Схемотехническое моделирование электрических устройств в Multisim. Старый Оскол : ТНТ, 2022. 336 с.
13. Aharoni A. Introduction to the Theory of Ferromagnetism. Oxford : Clarendon Press, 1996. 326 p
14. Brown W.F. Jr. Magnetostatic Principles in Ferromagnetism. Amsterdam : North-Holland Publishing Company, 1962. 202 p..
15. Гуляев В.Г. Электротехника и электроника. Нижний Новгород : ННГАСУ, 2019. 124 с.
16. Марочник сталей и сплавов / под общей ред. А.С. Зубченко. М. : Машиностроение, 2003. 784 с.
17. Нейлоновые кабельные стяжки NORMA // NORMARus : сайт. URL : <https://normarus.ru/kabelnye-stjazhki/> (Дата обращения 05.04.2024).
18. Московский энергомеханический завод : сайт / МЭЗ подразделение ДКРЭ ОАО «РЖД». URL : <https://mez.ru/about/> (Дата обращения 05.04.2024).
19. Paul C.R. Introduction to electromagnetic compatibility. New York : Wiley-Interscience, 1992. 765 p.
20. Wireless Body Area Networks: A Survey / S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman et al. // IEEE Communications Surveys and Tutorials. 2014. Vol. 16. Iss. 3. P. 1658–1686. DOI 10.1109/SURV.2013.121313.00064.

References

1. Shamanov V.I. Problemy elektromagnitnoi sovmestimosti rel'sovykh tsepei s tyagovoi set'yu [Problems of electromagnetic compatibility of rail circuits with traction network]. *Avtomatika na transporte* [Automation in transport], 2019, Vol. 5, no 2, pp. 160–185.
2. Rasporyazhenie ОАО «RZhD» № 1915/r от 06.09.2021 г. «Ob utverzhdenii dokumentov ОАО «RZhD» po voprosam ucheta otkazov v rabote tekhnicheskikh sredstv i tekhnologicheskikh narushenii na infrastrukture ОАО «RZhD» (red. 07.11.2023) [Order of JSC «Russian Railways» No 1915/r dated September 6, 2021 «On approval of documents of JSC «Russian Railways» on accounting for failures in the operation of technical means and technological violations on the infrastructure of JSC «Russian Railways» (ed. November 7, 2023)].
3. Mohmmad A. Uplink Radio Resource Management for QoS Provisioning in Long Term Evolution (with Emphasis on

Admission Control and Handover). Ph.D.'s thesis. Aalborg, 2009. 169 p.

4. Syui Ts. Printsipy modelirovaniya operativnoi raboty energodispatchera [Principles of modeling the operational work of an energy dispatcher]. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [International Journal of Humanities and Natural Sciences], 2024, no 5-4 (92), pp. 91–99.

5. Dyn'kin B.E. Zashchita tyagovykh setei peremennogo toka pri razzemlenii opor kontaktnoi seti [Protection of AC traction networks when grounding contact network supports]. Khabarovsk: DVGUPS Publ., 1999. 165 p.

6. Titkov V.V., Khalilov F.Kh. Perenapryazheniya i molniezashchita [Overvoltage and lightning protection]. Saint Petersburg: Lan' Publ., 2016. 224 p.

7. Andreev O.V., Vakulin A.A., Kiseleva K.V. Materialovedenie [Materials Science]. Tyumen': TGU Publ., 2013. 630 p.

8. Khalilov F.Kh., Egorov V.V., Smirnov A.A. Tekhnika vysokikh napryazhenii i elektrotekhnicheskie materialy: v ustroistvakh zheleznodorozhnogo transporta [High voltage engineering and electrical materials: in railway transport devices]. Saint-Petersburg: Taleks Publ., 2007. 539 p.

9. Tareev B.M. Fizika dielektricheskikh materialov [Physics of dielectric materials]. Moscow: Energoizdat Publ., 1982. 320 p.

10. U Vostochnogo poligona sdvigayutsya tochki (elektronnyi resurs) [Points are shifting near the Eastern polygon (electronic resource)]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/5571923> (Accessed April 3, 2024).

11. Rasporyazhenie OAO «RZhD» № 1812/r ot 18.08.2021 g. «O sovershenstvovanii sistemy soderzhaniya ob'ektov energeticheskogo kompleksa» (red. 28.02.2023) [Order of JSC «Russian Railways» No 1812/r dated August 18, 2021 «On improving the maintenance system of energy complex facilities» (ed. February 28, 2023)].

12. Kuzovkin V.A., Filatov V.V. Skhemotekhnicheskoe modelirovanie elektricheskikh ustroystv v Multisim [Circuit engineering modeling of electrical devices in Multisim]. Staryi Oskol: TNT Publ., 2022. 336 p.

13. Aharoni A. Introduction to the Theory of Ferromagnetism. Oxford : Clarendon Press, 1996. 326 p.

14. Brown W.F. Jr. Magnetostatic Principles in Ferromagnetism. Amsterdam : North-Holland Publishing Company, 1962. 202 p.

15. Gulyaev V.G. Elektrotehnika i elektronika [Electrical engineering and electronics]. Nizhnii Novgorod: NNGASU Publ., 2019. 124 p.

16. Marochnik stali i splavov [Brand of steels and alloys] / Ed. by Zubchenko A.S. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2003. 784 p.

17. Neilonovye kabel'nye styazhki NORMA (elektronnyi resurs) [Nylon cable ties NORMA (electronic resource)]. Available at: <https://normarus.ru/kabelnye-stjazhki/> (Accessed April 5, 2024).

18. Moskovskii energomekhanicheskii zavod (elektronnyi resurs) [Moscow Power Engineering Plant (electronic resource)]. Available at: <https://mez.ru/about/> (Accessed April 5, 2024).

19. Paul C.R. Introduction to electromagnetic compatibility. New York : Wiley-Interscience, 1992. 765 p.

20. Movassaghi S., Abolhasan, M., Lipman, J., Smith D., Jamalipour A. Wireless Body Area Networks: A Survey // IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2014, Vol. 16, iss. 3, pp. 1658–1686. DOI 10.1109/SURV.2013.121313.00064.

Информация об авторах

Емельянов Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита; e-mail: aleksandr-emelja@mail.ru.

Рогалёв Андрей Владимирович, кандидат педагогических наук, доцент кафедры электроснабжения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита; e-mail: a_rogalev@inbox.ru.

Морозов Егор Андреевич, кафедра электроснабжения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита; e-mail: 2002morozov@bk.ru.

Information about the authors

Alexander G. Emel'yanov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Power Supply, Trans-Baikal Institute of Railway Transport – a branch of the Irkutsk State Transport University, Chita; e-mail: aleksandr-emelja@mail.ru.

Andrei V. Rogalev, Ph.D. in Pedagogical Science, Associate Professor of the Department of Power Supply, Trans-Baikal Institute of Railway Transport – a branch of the Irkutsk State Transport University, Chita; e-mail: a_rogalev@inbox.ru.

Egor A. Morozov, the Department of Power Supply, Trans-Baikal Institute of Railway Transport – a branch of the Irkutsk State Transport University, Chita; e-mail: 2002morozov@bk.ru.