

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Политехнический институт
Факультет Энергетический
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

_____/_____/_____
«_____» _____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

зав. кафедрой, дтн

_____/ И.М.Кирпичникова/
«_____» _____ 2018 г.

Разработка устройства непрерывного анализа состояния электрического контакта

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ЮУрГУ – 13.03.02. 2018. 280 ВКР

Руководитель, доцент

_____/ В.С. Павлюков /
«_____» _____ 2018 г.

Автор

студент группы П – 471

_____/ Миронов А.В. /
«_____» _____ 2018 г.

Нормоконтролер, доцент

/ К.Е. Горшков /
«_____» _____ 2018 г.

Челябинск 2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(национальный исследовательский университет)

Институт Политехнический
Факультет Энергетический
Кафедра Электрические станции, сети и системы электроснабжения
Направление Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

_____/И.М. Кирпичникова/
_____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента
Миронова Александра Владимировича
(Ф. И.О. полностью)

Группа П-471

1. Тема выпускной квалификационной работы Разработка устройства
непрерывного анализа состояния электрического контакта
утверждена приказом по университету от 04.04.2018 г. № 580

2. Срок сдачи студентом законченной работы _____

3. Исходные данные к работе
Сведения об отказах эл. Оборудования, связанные с ощутимым ухудшением
состояния электрического контакта

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

Презентация

6. Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)
Обзорная часть	Павлюков В.С.		
Параметры эл.контакта	Павлюков В.С.		
Виды контроля состояния эл.контакта	Павлюков В.С.		
Разработка прототипа устройства	Павлюков В.С.		

7. Дата выдачи задания 07.02.2018

Руководитель Павлюков В.С.

Задание принял к исполнению Миронов А.В.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
1. Сбор данных о поломках, связанных с ухудшением состояния контактного соединения	04.02.2018г.- 12.02.2018г.	Выполнено
2. Изучение видов электрических контактов	22.02.2018г.- 15.03.2018г.	Выполнено
3. Изучение параметров электрических контактов	25.03.2018г.- 03.04.2018г.	Выполнено
4. Выполнение опыта с измерением переходного сопротивления и температурой контакта	07.04.2018г.- 11.04.2018г.	Выполнено
5. Оформление пояснительной записки	29.04.2018г.- 10.05.2018г.	Выполнено
6. Разработка прототипа разрабатываемого устройства	12.05.2018г.- 18.05.2018г.	Выполнено

Зав. кафедрой _____ /И.М. Кирпичникова/

Руководитель работы _____ /В.С.Павлюков/

Студент _____ /А.В.Миронов/

АННОТАЦИЯ

Миронов А.В. «Разработка устройства непрерывного анализа состояния электрического контакта» Челябинск: ЮУрГУ, П – 471, 48 с., 6 табл., 14 рис., библиогр. список – 15 наим.

Целью выпускной квалификационной работы является изучение отказов оборудования, связанных с ухудшением состояния электрического контакта, анализ полученных сведений, и разработка прототипа устройства непрерывного мониторинга состояния электрического контакта для исключения повреждения состояния электрического контакта и оповещения оперативного персонала об осязательном ухудшении состояния контакта.

Для выполнения намеченных целей были решены следующие задачи:

- изучены различные виды электрических контактов
- изучены типичные отказы оборудования, связанные с ухудшением состояния электрических контактов
- разработан прототип устройства для непрерывного мониторинга и анализа состояния электрического контакта

Область применения разрабатываемого устройства – электрооборудование любых классов напряжения, требующее контроля состояния электрического контакта

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Миронов А.В.				<i>Разработка устройства непрерывного анализа состояния электрического контакта</i>	Лит.	Лист	Листов
Провер.	Павлюков В.С.						2	48
Н. контр.	Горшков К.Е.					ЮУрГУ Кафедра ЭССиС		
Утверд.	Кирпичникова И.М.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ИЗУЧЕНИЕ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	5
2 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ.....	11
3 СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА.....	21
4 ОПЫТНОЕ НАХОЖДЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА.....	30
5 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА.....	35
5.1 Выбор оборудования для устройства.....	35
5.1.1 Выбор микроконтроллера.....	35
5.1.2. Выбор датчика.....	40
5.1.3. Разработка корпуса.....	41
5.2 Принцип работы устройства.....	44
5.3 Перспективы развития.....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ,.....	47
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	48

ВВЕДЕНИЕ

От поломок, связанных с ухудшением состояния электрического контакта может пострадать любое электрическое оборудование. Электрический контакт во время работы, несомненно, подвергается механическому износу, что приводит к увеличению переходного сопротивления, и как следствие – нагреву места соединения. Нагрев опасен для оборудования своим термическим воздействием: помимо очевидного механического повреждения электрического контакта возможно возгорание и излишний нагрев смежных частей любого устройства. В данной работе предлагается оценивать состояние электрического контакта методом температурного анализа, а не классическими методами.

Несмотря на то, что на сегодняшний день существует несколько аналогов предлагаемого устройства, они не лишены недостатков, таких как:

- высокая стоимость
- необходимость снятия напряжения
- сложность в настройке оборудования

Интересен и предлагаемый метод оценки состояния электрического контакта – существующие аналоги на рынке позволяют оценить состояние контакта следующими способами: визуальный осмотр, тепловизионные измерения, измерение падения напряжения и измерение переходного сопротивление. Предложенный метод контроля предлагает оценку состояния контакта путем точечного измерения температуры инфракрасным методом.

Необходимость разработки данного устройства состоит в опасности повреждения контактного соединения: нарушение работы контактного соединения в сложной системе может привести к непредсказуемо опасным последствиям как для оборудования, так и для жизни человека.

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

1 ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Электрический контакт — соединение проводников, позволяющее проводить электрический ток. Проводники тока, образующие контакт, называются контактными телами или контактами положительными и отрицательными в зависимости от того, с каким полюсом источника тока они соединены.

Слово «контакт» означает «соприкосновение», «касание». В электрической системе, объединяющей различные аппараты, машины, линии и т. д., для их соединения используется огромное число контактов. От качества контактных соединений в значительной степени зависит надежность работы оборудования и системы. Нарушение работы хотя бы одного контакта в цепи может привести к серьезным последствиям, поэтому необходимо следить за состоянием соединений.

По назначению контакты делятся на соединительные, служащие только для проведения тока, и коммутирующие, на которые дополнительно возлагаются задачи включения, отключения или переключения электрических цепей.

Классификация электрических контактов, однако, подразумевает деление не только по назначению, однако для анализа в первую очередь необходимо учитывать назначение того или иного электрического контактного соединения. Для соединительных контактов характерно разделение на взаимно неподвижные неразъемные (например, болтовые) и взаимно подвижные скользящие или катящиеся. Соединительные контакты обеспечивают жесткое соединение между собой отдельных неподвижных токоведущих деталей шин, кабелей и проводников. Надежность сцепления металла контактов достигается с помощью либо болтов (разборные соединения), либо горячей или холодной сварки. Надежность в длительной эксплуатации соединительных (не размыкаемых) контактов обеспечивается достаточно стабильным сопротивлением контакта электрическому току. Для

					130302.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

этого предназначенная для соединения контактная группа должна обладать способностью противостоять как воздействию окружающей среды, так и механическим усилиям от температурных деформаций, а также электродинамическим усилиям, возникающим при протекании больших импульсов пусковых токов и токов коротких замыканий. Эти требования выполняются при болтовом соединении медных шин тщательным очищением от оксидов и смазыванием техническим вазелином их мест стыкования при монтажной сборке. Стабильное переходное сопротивление соприкасающихся поверхностей контактов достигается путём покрытия их оловом (лужение) или серебром. Давление контактов должно быть достаточным, чтобы деформация была пластичной.

Для более детального изучения вопроса, рассмотрим более полную классификацию контактных соединений.

1. По возможному перемещению контактирующих деталей

а) Разборный контакт (контактное соединение) - это конструктивный узел, предназначенный только для проведения электрического тока, но не предназначенный для коммутации (болтовое соединение “шин”, присоединение проводника к зажиму).

На рисунке 1.1 изображен часто встречающийся вид контактного соединения: болтовое соединение.

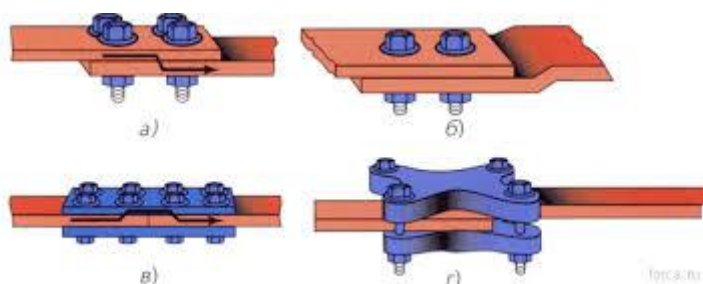


Рисунок 1.1- Болтовое соединение прямоугольных шин

б) Коммутирующие контакты - это конструктивный узел, предназначенный для коммутации электрической сети (выключатель, контактор рубильник).

										Лист
										6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.280.00 ПЗ ВКР					

Так же подразделяются на одноступенчатые и многоступенчатые.

Одноступенчатые: рычажные, врубные, мостиковые, торцевые, розеточные.

Многоступенчатые: перекатывающий проскальзывающий контакт, контакт группы Шнайдеров, геркон. Рассмотрим подробнее данную группу контактных соединений.

На рисунке 1.2 представлен перекатывающий проскальзывающий контакт.

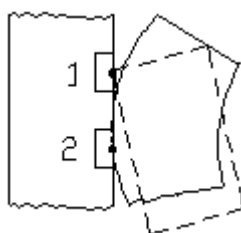


Рисунок 1.2 - Перекатывающий проскальзывающий контакт

На рисунке 1.3 изображен контакт группы Шнайдеров.

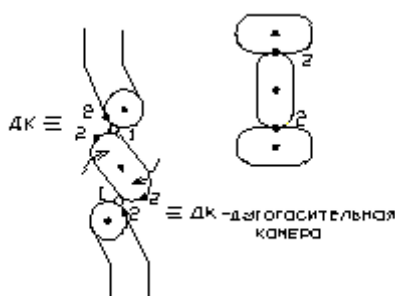


Рисунок 1.3 - Контакт группы Шнайдеров

На рисунке 1.4 изображен «геркон» - герметичный контакт

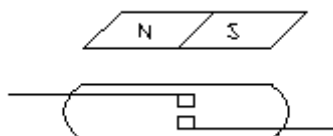


Рисунок 1.4 - «Геркон»

Данная конструкция интересна помещением контактного соединения в специальный баллон, в котором содержатся водород, аргон, инертный газ или вакуум с парами. Помещение электрического контакта в такую

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

конструкция делается для того, чтобы избежать воздействие агрессивных паров, что приводит к возникновению окислов на поверхности контактного соединения. Управление же контактными соединениями типа «Геркон» происходит при помощи магнитов.

в) Скользящие контакты - разновидность коммутирующего контакта, у которого одна деталь скользит относительно другой, но электрический контакт при этом не нарушается (контакты реостата, щеточный контакт, шарнирный контакт, проскальзывающий контакт).

2. По форме контактирования

а) Точечный контакт - электрический контакт, при котором соприкосновение рабочих поверхностей контакт-деталей происходит в точке. Следовательно, контактирование происходит только в одной точке – площадке. Например, соприкосновение таких поверхностей, как сфера - сфера, сфера - плоскость, вершина конуса - плоскость и т.п.(рисунок 5,а)

б)Линейный контакт - электрический контакт, при котором сопротивление рабочих поверхностей контакт-деталей происходит по линии. Например, цилиндр – цилиндр (по образующей), цилиндр – плоскость, виток – виток и т.д. Физическая картина контактирования здесь представляет собой ряд точек – площадок (минимум две), расположенных на одной линии(рисунок 5,б)

в)Поверхностный контакт - электрический контакт, при котором соприкосновение рабочих поверхностей контакт-деталей происходит по поверхности . Физическое контактирование происходит здесь в ряде точек площадок (минимум в трёх), расположенных на этой поверхности.(рисунок 1.5,в)

На рисунке 1.5 изображены различные виды контактов, классифицированные по форме контактирования

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

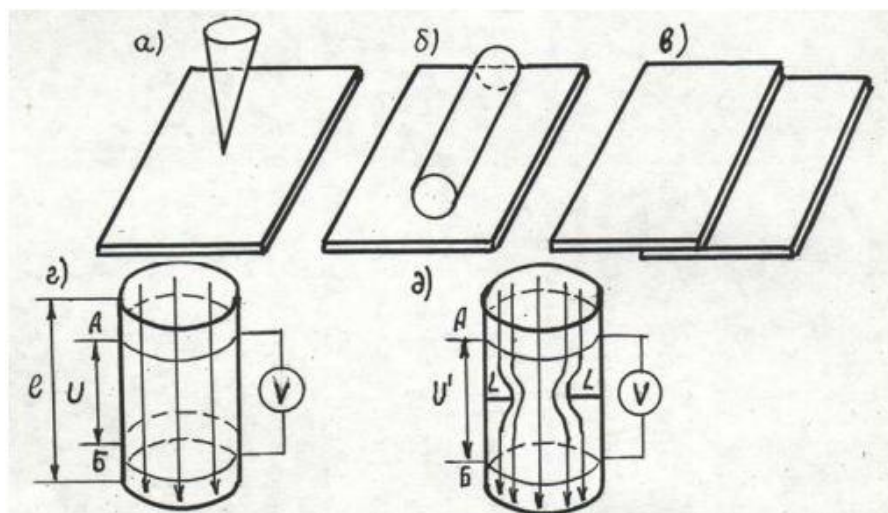


Рисунок 1.5- Различные виды контактов по форме контактирования

После изучения видов контактных соединений перейдем к рассмотрению основных проблемы, которым подвержены контактные соединения. Износ и дребезг электрического контакта приводят к ощутимому ухудшению контактной группы, поэтому необходимо уточнить влияние этих явлений на сопротивление контакта.

Износ - это разрушение рабочей поверхности коммутирующего контакта, приводящее к изменению формы, размера, массы и к уменьшению провала контактов. Возникновение износа обусловлено несколькими факторами:

1. Износ при размыкании. Сила, сжимающая контакты, уменьшается до нуля, резко возрастает контактное сопротивление, возрастает плотность тока в последней площадке контактирования. Вся энергия выделяется в этой площадке, она разогревается и расплавляется. Между расходящимися частями контакта образуется мостик жидкого металла (контактный перешеек), этот мостик рвется и в промежутке между контактами возникает электрический разряд двух видов:

- а) Для меди, при токе 0.5 А и напряжении > 15 В возникает дуговой разряд.
- б) При токах < 0.5 А - искровой разряд.

Под действием высокой температуры искры (дуги) часть металла разбрызгивается и выбрасывается из контактного промежутка. При искровом

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

разряде на поверхности контакта образуются лунки и наплывы - эрозия контактов.

2. Износ при замыкании вызван дребезгом контактов.

Дребезг - это отбрасывание подвижной контактной системы из-за упругой деформации неподвижной контактной системы (на расстояние 0.01 - 0.1 мм). Процесс этот идет с постепенным уменьшением амплитудного значения. При каждом отбросе возникает электрическая дуга (искра). Дребезг может быть опасным, когда величина амплитуды колебаний системы превосходит величину упругой деформации системы. При этом происходит разрыв цепи. В иной же ситуации возникает неопасный для контакта дребезг.

Теоретически дребезга избежать возможно, однако это крайне сложно с инженерной точки зрения и применяется крайне редко, поэтому при проектировании определенного электрического аппарата необходимо убедиться, что возникающий при коммутации дребезг не был опасным для аппарата.

После анализа основных видов контактных соединений можно сделать несколько выводов. Все контактные соединения классифицируются по их назначению, форме контакта, и перемещению контактирующих частей, и как следствие, имеют разный ряд параметров и характеристик, влияющих на механический износ и состояние контактного соединения. Есть необходимость добиваться отсутствия дребезга и износа контактов при эксплуатации существующих объектов или же при проектировании различных электрических аппаратов и устройств.

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

2 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА

В предыдущей главе установлены основные виды контактных соединений. Из-за различий в применении, форме и перемещении контактирующих поверхностей необходимо учитывать различные параметры того или иного контактного соединения. Электрический контакт обладает следующими параметрами:

Контактная поверхность – это граница между реально существующими телами и окружающей средой. Поверхность контактного соединения - как правило, шероховатая. Вследствие этого, площадь контактного соединения представляет собой не просто определенную площадь, а действительное соприкосновение контактирующих частей на отдельных участках.

Действительное соприкосновение показано на рисунке 2.1:



Рисунок 2.1 - Соприкосновение контактирующих частей

Из рисунка 2.1 становится очевидно, что действительная поверхность соприкосновения контактирующих частей, меньше действительной поверхности контактирующей пары трения. Так же видно наличие так называемой плёнки – практически не проводящие электрический ток поверхности, подверженные окислам. Из этого следует что в действительности, контактная поверхность представляет собой частичное(лишь частями) соприкосновение контактирующих частей, обладающих при этом разной электропроводностью.

									Лист
									10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР				

Основная особенность контактной поверхности – её шероховатость, выступы которой можно рассматривать как конусы со сферическими вершинами, располагающиеся на некоторой волнистой поверхности.

Волнистость – это совокупность периодических, регулярно повторяющихся и близких по размерам (высота 0,03...500 мкм) возвышенностей и впадин, расстояние между которыми (0,25...300 мкм) значительно больше, чем расстояние между микронеровностями. Фактические размеры мест соприкосновения точек (выступов) равны 2...3 мкм. Наиболее тщательно отделанные, шлифованные и полированные поверхности всё же имеют неровности высотой 0,005...0,1 мкм. Более грубые поверхности имеют выступы до 100...200 мкм.

Некоторые виды контактов работают под влиянием сил сжатия и обладают параметром силы, приложенной к контактам: F_k . Силы сжатия вызывают деформацию контактной поверхности: под действием этих сил шероховатости превращаются в небольшие проводящие поверхности – очаги. Чем больше эта сила сжатия F_k , тем больше таких очагов возникает на поверхности.

При упругих деформациях, возникающих при сравнительно небольших силах сжатия, выступающие участки поверхностей входят в механическое соприкосновение. Пластические деформации возникают при возрастании давления на контактирующие поверхности, достигающие предела упругости. В результате появляется остаточная деформация, и материал начинает течь. Величина деформации обратно пропорциональна твёрдости металла. Деформация контактов определяется напряжением смятия металла контактов. Зависимость между силой F_k , приложенной к контактам, и контактной поверхностью S_d , воспринимающей давление, имеет следующий вид:

$$F_k = S_d f(1),$$

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где f – среднее удельное давление, зависящее от кривизны поверхности контактных частей, их волнистости, приложенной силы и модуля упругости материала.

Ещё одним важным свойством контактного соединения является плёнка, указанная на рисунке 6. Плёнки образуются на поверхности контактного соединения из-за воздействия газов и различных химических реагентов. Несмотря на то, что плёнки не являются проводящими, необходимо учесть процессы, возникающие при образовании плёнок.

Для поверхности контактов наиболее характерны плёнки: окисные, образующиеся при реакции с кислородом; сульфидные (реакция с H_2S), кислородные (слой осаждённых из воздуха молекул кислорода), хлоридные и другие соединения. Плёнки имеют толщину 10...15 нм и удельное электрическое сопротивление $\rho=10-50\text{ Ом}\cdot\text{см}$. С течением времени толщина образующихся плёнок увеличивается. Плёнки химически реагируют с металлом, образуя плёнки окислов металла. У разных металлов эта плёнка имеет разное удельное сопротивление. Скорость нарастания плёнок на контактных поверхностях зависит от температуры и влажности воздуха, состояния и химического состава среды и др. Формирование окисной плёнки происходит по-разному. Для никеля, например, в нормальных условиях это очень медленный процесс, ускоряющийся с ростом температуры. Для алюминия характерен быстрый рост плёнки Al_2O (десятки секунд) до толщины 2...2,5 нм. Дальнейший рост плёнки происходит значительно медленнее: при комнатной температуре через 20-30 дней её толщина достигает 6...10 нм. Плёнки стойки к температуре, механически прочны и обладают изоляционными свойствами. Бронза существенно не окисляется. Не вступают в реакцию с кислородом такие металлы, как вольфрам, золото, платина. При температуре меньше 2000 С образуется слой Cu_2O , толщина которого зависит от температуры нагрева и приобретает значения 10...1000 нм. Электрическая проводимость образований Cu_2O и CuO очень мала и

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

сопротивление плёнок может достигать 106 Ом. благородные металлы также подвержены окислению, однако, процесс окисления протекает медленнее. Слой Ag_2O толщиной 2...3 нм прочен и легко разлагается при нагревании. Слой оксидов является практически непроводящим. Однако под давлением он может быть частично разрушен, так как металл способен деформироваться пластически, сохраняя сцепление; слой же оксидов не может следовать этой деформации вследствие хрупкости. Поэтому, при давлении на контакты происходит скалывание инородного слоя; появляются трещины, в которые проникает металл, образуя проводящие контактные точки. По мере увеличения давления, число контактных точек и проводящая поверхность увеличиваются. При наличии скольжения между контактами образование трещин облегчается, так как при этом появляются касательные напряжения, и происходит срез. Чем толще плёнка, тем труднее проникновение металла в трещины.

Рассмотрев действительную поверхность электрического контакта, можно сделать вывод о его структуре. Контактная поверхность, воспринимающая давление, состоит из трёх участков: первый хорошо проводит ток – металлический контакт; второй имеет квазиметаллический контакт – участок, покрытый тонкой плёнкой, не представляющей значительного сопротивления току; третий плохо проводит или совсем не проводит электрического тока (покрыт мономолекулярными плёнками).

При рассмотрении электрического контакта с точки зрения надёжности, наиболее важным параметром является переходное сопротивление – R_k . Если сопротивление R_k контакта не увеличивается со временем, то это говорит о надёжности контактного соединения, то есть способности длительно выполнять возложенные на него функции без ухудшения его эксплуатационных показателей.

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Чтобы объяснить смысл переходного сопротивления, обратимся к рисунку 3.

Пусть известно сопротивление (омическое) R_1 участка АВ проводника длиной l . Если этот проводник разрезать перпендикулярно оси по линии L-L, и получившиеся торцевые поверхности после обработки соединить в месте первоначального среза так, чтобы появился контакт, то измерение сопротивления участка R_2 проводника той же длины l покажет, что оно превышает омическое сопротивление R_1 участка АВ на некоторую величину R_K , определяемую выражением $R_2 - R_1 = R_K$. Разность сопротивлений называется переходным сопротивлением контакта R_K .

Таким образом, переходное сопротивление возникает в месте сочленения двух проводников при протекании тока от одного проводника к другому. Описанные выше свойства электрических контактов объясняют как происходит протекание тока и возникновение переходного сопротивления. В первую очередь, большое влияние оказывает возникновение плёнок на поверхности контактного соединения. Сопротивление плёнок $R_{пл}$ в контактных соединениях аппаратов высокого напряжения (ВН) обычно является незначительным вследствие больших давлений. Однако с величиной $R_{пл}$ приходится считаться при малых давлениях, что имеет место в некоторых аппаратах ВН (разъединители, блок-контакты, выключатели и др.). Сопротивление плёнок – сложная зависимость. Например, плёнка толщиной 1 нм очень хорошо пропускает электрический ток благодаря туннельному эффекту. Опытным путём установлено, что различные непроводящие плёнки покрывают, приблизительно, 75 % площади контура, воспринимаемого усилия сжатия. Второе, не менее важное обстоятельство, состоит в том, что при сжатии двух проводников, обращённых друг к другу плоскими гранями, касание происходит не по всей плоскости, а только отдельными площадками, расположенными по плоскостям в соответствии с микрогеометрией сдавливаемых граней. При этом картина протекания тока резко изменится, так как ток должен пройти не через всё сечение, а лишь

									Лист
									15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.269.00 ПЗ ВКР				

через его часть, и по сравнению со сплошным проводником будет использовано не всё поперечное сечение, то есть сопротивление протекания тока возрастает. Величина этого сопротивления, появляющегося в результате стягивания линий тока к истинной площадке соприкосновения, называется сопротивлением стягивания R_C . Таким образом, сопротивление контакта может быть представлено как сумма сопротивлений R_C и посторонних слоёв плёнок [3]

$$R_K = R_C + R_{пл} \quad (2)$$

Сопротивление плёнок может меняться в процессе эксплуатации в очень широких пределах. Сопротивление стягивания зависит, в первую очередь, от материала контактов, числа площадок соприкосновения и силы сжатия. Поэтому существование чисто металлического контакта представить довольно проблематично.

Рассмотрим влияние различных факторов на переходное сопротивление контактов. Значение переходного сопротивления зависит от многих факторов, главные из которых – микрорельеф, усилие сжатия и материал контактной поверхности. На рисунке 2.2 показана кривая зависимости переходного сопротивления R при увеличении усилия сжатия или контактного давления.

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

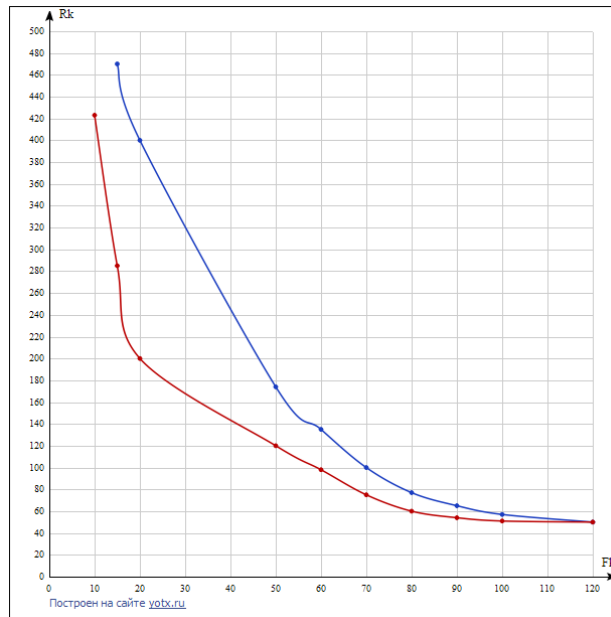


Рисунок 2.2 - Зависимость переходного сопротивления от силы нажатия, где кривая 1 – синяя, кривая 2 – красная

Первоначально сопротивление резко снижается в связи с быстрым ростом числа точек и площадок контактирования. Дальнейшее увеличение давления приводит к замедленному снижению сопротивления, так как интенсивность деформации неровностей материала снижается. Начиная с некоторого критического усилия переходное сопротивление остаётся практически неизменным. При снятии контактного давления сопротивление контакта возрастёт по кривой 2, которая идёт несколько ниже кривой 1. Разный ход кривых объясняется наличием остаточных деформаций отдельных бугорков (выступов), по которым происходило контактирование. Зависимость сопротивления контакта от приложенной силы является сложной и может быть найдена лишь для частного случая – точечного контакта, образованного сферой и плоскостью или двумя цилиндрами с одинаковыми радиусами. Под действием силы F_k , направленной по прямой, соединяющей центры кривизны, первоначальное точечное касание перейдёт в касание по круглой площадке с радиусом a . Давление распределяется по контактной площадке

неравномерно. наибольшее давление имеет место в центре площадки, где оно

130302.2018.269.00 ПЗ ВКР

в 1,5 раза больше среднего давления; у краёв площадки давление равно нулю. При достаточно большой силе можно принять, что давление по всей площадке одинаково и равно твёрдости материала контактов:

$$F_K = \sigma_T a(3),$$

где σ_T - твёрдость материала контактов по Бринеллю[7].

Зависимость сопротивления линейного и плоского контактов от давления не может быть представлена аналитически, поскольку число и размеры контактных точек неизвестны. Установлено, что сопротивление плоского контакта зависит от удельного сопротивления и твёрдости металла и от обработки поверхности и силы, приложенной к контактными частям. Важно, что сопротивление контакта не зависит от кажущейся поверхности соприкосновения. Соприкосновение точечного контакта, при прочих равных условиях, меньше линейного и плоскостного. При росте силы F_K сопротивление точечного контакта снижается незначительно по сравнению с линейным, и, особенно, плоскостным. Это нетрудно объяснить, так как увеличение сжимающей электроды силы вызывает увеличение числа контактных точек, а не их геометрических размеров. Следует отметить, что при одной и той же величине F_K переходное сопротивление одного и того же контакта при каждом замыкании может быть разным и отличаться в достаточно широких пределах: в больших - при малом давлении и меньших - при больших (более 100 Н). Объясняется это тем, что число и размер площадок контактирования при каждом замыкании могут быть различными. Зависимость переходного сопротивления от давления для свежезачищенных контактов согласно эмпирической формуле Н.Е. Лысова [6] имеет вид:

$$R_K = \frac{k}{(0,1F_K)^m} \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

Где m и k – коэффициенты, приведенные на рисунке 2.2

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Тип контакта	Материал	k	m
Торцевой контакт (торцы цилиндра)	медь - медь	49,6	0,39
	медь- латунь	203	0,50
	латунь – латунь	226	0,373
Пальцевый самоустанавливающийся контакт (без гибких связей).	медь - латунь	123	0,183
	латунь – латунь	192	0,306
Один сегмент розетки без гибкой связи. Диаметр расточки сегмента меньше диаметра стержня	медь - медь	25,4	0,332
	медь- латунь	67,7	0,372
	латунь – латунь	95,5	0,136

Рисунок 2.2 - Значения коэффициентов m и k для эмпирической формулы Н.Е.Лысова

На величину переходного сопротивления контактов может влиять величина протекающего через него тока. Очевидно, это связано с повышением пластичности материала контактов при увеличении нагревания их током. В случае контактных соединений, где давление может достигать многих тонн, токи, при которых R_k начинает спадать, достигают очень большой величины.

Рассмотрим зависимость переходного сопротивления R_k от протекающего тока, представленную на рисунке 2.3.

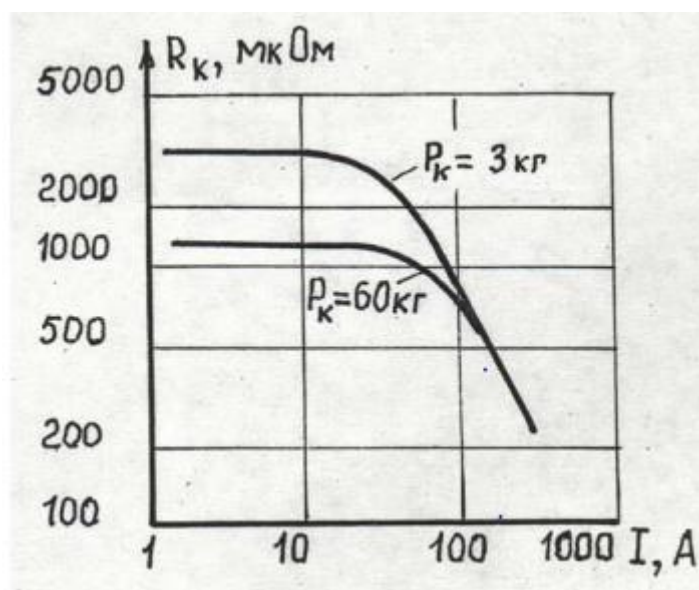


Рисунок 2.3. - Зависимость переходного сопротивления контактов от тока при разных давлениях

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Теперь же, после рассмотрения всех параметров электрического контакта можно сделать выводы о влиянии различных параметров и процессов на состояние электрического контакта.

1. Контактное соединение зависит от материала и его плёнки, образующейся в следствие окислов.
2. Контактное соединение зависит от контактного нажатия.
3. Контактное соединение зависит от состояния контактной поверхности.
4. Состояние контактного соединения зависит от действительной контактной поверхности.

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА

На сегодняшний день существует несколько способов контроля состояния электрического контакта. Состояния контактного соединения можно рассмотреть тремя способами: визуальным контролем, тепловизионными исследованиями, так как при увеличении переходного сопротивления увеличивается нагрев контактного соединения, и измерение переходного сопротивления. Так же, уже возникшую аварийную ситуацию, связанную с ощутимым ухудшением состояния контакта, может устранить дуговая защита.

Рассмотрим подробнее все имеющиеся способы.

Наиболее простым решением проблемы, конечно, является регулярный профилактический ремонт и осмотр оборудования. Но в условиях удаленности оборудования, это может стать весьма затруднительным мероприятием. Гораздо продуктивнее использовать для этого методы, связанные с измерением переходного сопротивления или исследованием тепловизором.

Одним из способов является использовать микроомметра.

Микроомметр – измерительный прибор, предназначенный для измерения омического сопротивления. Его главное отличие от омметра – возможно измерения низких напряжений: менее 1мОм.

При использовании микроомметра, переходное сопротивление послужит погрешностью, так как оно повлияет на показания прибора в точках измерения. Чтобы избежать этого, метод четырёхпроводного подключения.

Сущность метода состоит в том, что используются две пары проводов: по одной паре на измеряемый объект подаётся заданный ток, с помощью другой

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.269.00 ПЗ ВКР				21

- Возможно передачи данных на ПК
- Разные режимы работы

Наравне с другими методами, возможно применение системы трансформаторов напряжения.

Трансформатор напряжения — электротехническое устройство в сетях электроснабжения, который посредством электромагнитной индукции преобразует одну величину переменного напряжения в другую величину переменного напряжения, той же частоты без изменения её передаваемой мощности. преобразования электрической мощности для питания различных устройств, а для гальванической развязки цепей высокого напряжения (6 кВ и выше) от низкого (обычно 100 В) напряжения вторичных обмоток.

Используется в измерительных цепях, преобразуя высокое напряжение линий электропередач генераторов в удобное для измерения низковольтное напряжение.

Кроме того, применение трансформатора напряжения позволяет изолировать низковольтные измерительные цепи защиты, измерения и управления от высокого напряжения, что, в свою очередь, позволяет использовать более дешёвое оборудование в низковольтных сетях и удешевляет их изоляцию.

Так как трансформатор напряжения не предназначен для передачи через него мощности, основной режим работы трансформатора напряжения — режим холостого хода.

Измерительный трансформатор напряжения по принципу выполнения мало отличается от силового понижающего трансформатора. Он состоит из стального сердечника, набранного из пластин листовой электротехнической стали, первичной обмотки и одной или двух вторичных обмоток. В результате изготовления должен быть достигнут необходимый класс точности: по амплитуде и углу. Трехфазные трансформаторы напряжения с

	выведенными нулевыми	выводами	выполняются на пятистержневом		Лист
			130302.2018.269.00 ПЗ ВКР		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23

магнитопроводе, чтобы при коротком замыкании на стороне высокого напряжения суммарный магнитный поток замыкался по стали сердечника (при замыкании по воздуху возникает большой ток, приводящий к перегреву трансформатора). Трёхфазные трансформаторы с трёхстрельным магнитопроводом исходя из вышеуказанных причин не имеют внешних нулевых выводов и не применяются для регистрации «замыканий на землю». Чем меньше нагружена вторичная обмотка трансформатора напряжения (то есть чем ближе режим к режиму холостого хода либо, другими словами, чем больше сопротивление цепи вторичной обмотки), тем фактический коэффициент трансформации K_t ближе к номинальному значению. Это особенно важно при подключении ко вторичной цепи измерительных приборов, так как коэффициент трансформации влияет на точность измерений. В зависимости от нагрузки один и тот же трансформатор напряжения может работать в разных классах точности: 0,5; 1; 3.

Применение трансформаторов напряжения для контроля состояния контакта состоит в методе падения напряжений. при помощи приборов, непосредственно измеряющих величину электрического сопротивления (микроомметра). Ток в электрической цепи при этом не превышает $1/3$ номинального тока контактов.

Сопротивление контактов измеряется в той среде, в которой они нормально работают, т. е. перед измерениями контакты смазывают трансформаторным маслом.

У контактов с несколькими разрывами измеряют сначала переходное сопротивление для каждого разрыва в отдельности, затем общее сопротивление всей системы последовательно соединенных контактов. Это позволяет определить дефектное соединение, которое можно и не выявить, если измерять переходное сопротивление всей системы контактов в целом.

Так как переходное сопротивление контакта зависит от многих причин (материала, формы, площади контакта, силы контактного нажатия и др.),

~~величина переходного сопротивления не нормируется, но разброс~~

									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.269.00 ПЗ ВКР				

измеренных значений для одного и того же контакта должен быть не более 30%. За величину переходного сопротивления контакта принимают наибольшую величину не менее чем из трех измеренных величин.

Как показал опыт эксплуатации, переходное сопротивление единичного контакта, измеренное микроомметром, находится в пределах 10—20 мкОм. Измеряют переходные сопротивления контактов регулирующих устройств при их ревизии, но поскольку избиратель проверяют независимо от ревизии контактора, то измерение сопротивлений их контактов выполняется отдельно.

Сопротивление контактов избирателя измеряется до заливки регулирующего устройства трансформаторным маслом, когда доступ к контактам свободен. Измерения производят на каждом контакте поочередно, переводя подвижные контакты избирателя с одной ламели на другую при работе ручным приводом. Такой способ контроля позволяет также визуально наблюдать за характером работы контактной системы.

Рассмотрим так же вариант послеаварийный вариант контроля состояния контакта – дуговую защита. Дуговая защита, в отличие от других методов, не может контролировать состояние, а является последним рубежом защиты, то есть срабатывает после аварии.

Дуговая защита — особый вид быстродействующей защиты от коротких замыканий, основанный на регистрации спектра света открытой электрической дуги.

Значительную опасность для комплектных распределительных устройств (КРУ) напряжением 6-10 кВ представляют внутренние короткие замыкания (КЗ), сопровождаемые электрической дугой (ЭД). Температура электрической дуги может достигать значений порядка 7000 ... 12000 °С за время менее одного периода промышленной частоты.

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Электрическая дуга воздействует на элементы конструкции КРУ, вызывая повреждения различной степени тяжести, а в случае отсутствия адекватных и своевременных мер по её ликвидации неминуемо приводит к их разрушению. Опыты, проведенные в научно-исследовательском центре испытаний высоковольтной аппаратуры (НИЦ ВВА), показывают, что открытая электрическая дуга в изолированных отсеках КРУ приводит к повреждению изоляции (как правило, это проходные изоляторы). Степень ущерба зависит от типа изоляционного материала, величины тока КЗ и времени его протекания.

Необходимо отметить, что требования и методы испытаний дугостойкости элементов оборудования КРУ, требования к быстрдействию и типу дуговой защиты, сегодня не регламентированы. В существующих директивных (Приказы РАО «ЕЭС России» от 01.07.98 N 120 «О мерах по повышению взрывопожаробезопасности энергетических объектов» и от 29.03.2001 N 142 "О первоочередных мерах по повышению надежности работы РАО «ЕЭС России») и нормативных («Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей», 15-я редакция, п. 5.4.19) документах существуют лишь требования о необходимости наличия быстродействующей защиты от дуговых коротких замыканий внутри шкафов КРУ.

На рисунке 3.1 показана схема устройства дуговой защиты

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

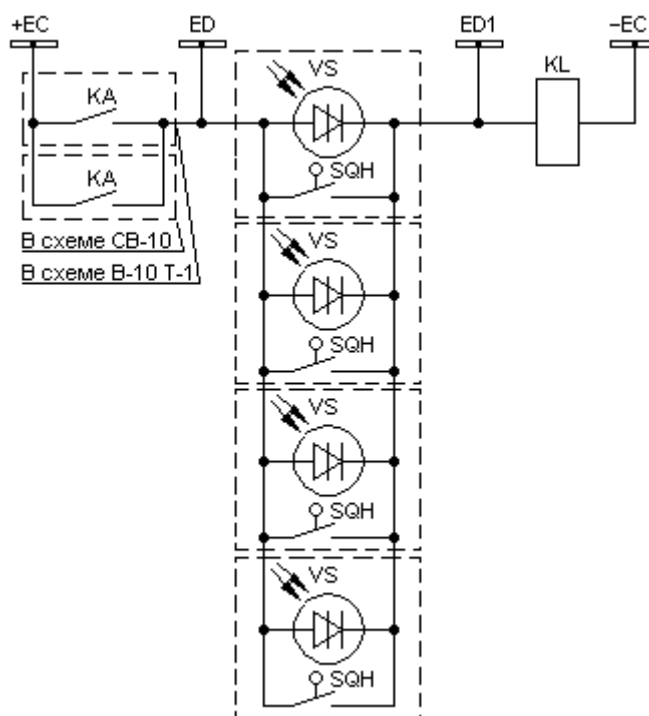


Рисунок 3.1 – Схема устройства дуговой защиты

Наиболее же действенным методом контроля состояния контактного соединения является тепловизор.

Тепловизор — устройство для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности. Распределение температуры отображается на дисплее как цветная картинка, где разным температурам соответствуют разные цвета. Изучение тепловых изображений называется термографией.

Все тела, температура которых превышает температуру абсолютного нуля излучают электромагнитное тепловое излучение в соответствии с законом Планка. Спектральная плотность мощности излучения (функция Планка) имеет максимум, длина волны которого на шкале длин волн зависит от температуры. Положение максимума в спектре излучения сдвигается с повышением температуры в сторону меньших длин волн (закон смещения Вина). Тела, нагретые до температур окружающего нас мира (-50..+50 градусов Цельсия) имеют максимум излучения в среднем инфракрасном диапазоне (длина волны 7..14 мкм). Для технических целей интересен также

диапазон температур до сотен градусов, излучающий в диапазоне 3..7 мкм. Температуры около тысячи градусов и выше не требуют тепловизоров для наблюдения, их тепловое свечение видно невооружённым глазом.

Применение тепловизора в электроснабжении заключается в контроле излишнего нагрева токоведущих частей. По закону Джоуля-Ленца, проводники выделяют количество теплоты, равное квадрату тока, помноженному на сопротивление и температуру. В связи с возникновением переходного сопротивления, на электрическом контакте может наблюдаться излишний нагрев, который будет зафиксирован тепловизором.

Наибольшую пользу тепловизор для электрооборудования принесёт при диагностике высоковольтного силового оборудования – стоимость компонентов такой системы довольно высока, и важнее сохранить её в рабочем состоянии. Предотвратив выход из строя силовых трансформаторов, трансформаторов тока, автотрансформаторов, масляных выключателей, высокочастотных заградителей, конденсаторов связи и т.п., обеспечивается экономия средств, которые пришлось бы затратить на ремонт.

Функционал недорогого тепловизора базового уровня с диапазоном измеряемых температур до +500°C позволит решать следующие задачи:

- Технический осмотр контактных элементов и коммуникационных устройств с высоким рабочим напряжением.
- Проверка состояния проводки и электросетей.
- Контроль правильной работы электроагрегатов, установок и машин.

На рисунке 3.2 показано распределение температуры на экране тепловизора в действующей электроустановке.

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28



Рисунок 3.2 – Распределение температуры на экране тепловизора

Для работы на объектах, где присутствует высокое напряжение, а также для проверки состояния высоковольтных линий электропередач лучше всего подходят профессиональные тепловизоры с высоким разрешением ИК-датчика, оснащённые телеобъективом. Такие приборы обеспечивают эффективный дистанционный контроль, позволяя выполнять тепловизионную съёмку с больших расстояний. Стоимость таких приборов несомненно больше, однако использовать их вполне целесообразно из-за широкого применения данного устройства в обслуживании электроустановок. Основными преимуществами тепловизора являются широта использования, работа в режиме реального времени и отсутствие необходимости снятия напряжения. На сегодняшний день тепловизоры только начинают широко использоваться в сетевых компаниях нашей страны, но к сожалению не все компании могут позволить себе приобретение такого дорогого устройства.

4 ОПЫТНОЕ НАХОЖДЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА

Для обоснования принципа работы прототипа устройства разработана методика измерения сопротивления, и получение зависимости между температурой и величиной сопротивления.

Целью опыта является нахождение зависимости температуры болтового контактного соединения двух медных шин от переходного сопротивления этого контактного соединения.

Согласно ГОСТ 8024-90, рабочая температура болтовых контактных соединений электрооборудования из меди без покрытия на открытом воздухе не должна превышать 75 градусов по Цельсию, допустимое превышение температуры над эффективной температурой окружающего воздуха не должно превышать 35 градусов по Цельсию, а температура данных соединений при аварии не должна превышать 140 градусов по Цельсию, так как при превышении данных предельных значений возможна потеря различных физических свойств и разрушение элементов вследствие ускоренной коррозии.

Несмотря на наличие ГОСТ, регулирующего параметр состояния электрического контакта, переходное сопротивление не нормируется, несмотря на то что несомненно состояние контакта можно оценить измерением этого сопротивления. Тем не менее, при выполнении опыта согласно данному ГОСТ, необходимо соблюсти указанные требования, для снижения влияния некоторых факторов.

Приведем условия, указанные в ГОСТ 8024-90:

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

- Испытанию на нагрев подвергают полностью собранный аппарат с новыми контактами, установленными в эксплуатационном положении (вертикальном, горизонтальном и др.), при котором возможен наибольший нагрев его частей.
- Перед испытаниями измеряют общее и (или) по элементам сопротивление токоведущего контура, если значение сопротивления этих элементов установлено в конструкторской документации.
- Допускается не испытывать на нагрев аппараты, прошедшие испытания на ресурс по механической стойкости или на механическую износостойкость, если сопротивление токоведущего контура и (или) отдельных его элементов не превышает норм, установленных в конструкторской документации.
- Аппарат испытывают током, равным номинальному (наибольшему рабочему первичному - для трансформаторов тока).
- Материал временных подсоединений, их сечение и расположение, характеристика поверхности (окрашена и др.), наличие теплоизоляции или отвода тепла должны быть приведены в протоколе испытаний
- Нагрев аппарата при испытании следует продолжать до достижения установившегося теплового режима.

Для проведения исследования использовались тепловизор Fluke Ti400, микроомметр БСЗ-010-1 и источник тока. Приведем каталожные данные тепловизора и микроомметра, использованных при исследовании

Таблица 4.1 – Каталожные данные микроомметра БСЗ-010-1

Параметр	Значение

Диапазон измеряемых сопротивлений	100 нОм - 1 Ом
Основная приведенная погрешность, %, не более	0,1 - 0,2

Продолжение таблицы

Измерительный ток, А, не более	3,0
Длина входных кабелей, м	15
Диапазон рабочих температур, °С	от -5 до +40
Питание прибора от сети частотой 50 Гц, В	220
Потребляемая мощность, Вт, не более	90
Габаритные размеры, мм	340x295x152
Вес, кг, не более	6

Таблица 4.2 – Каталожные данные тепловизора Fluke Ti400

Характеристики	
Температура:	
Диапазон измеряемых температур (не калибруется ниже -10 °С)	от -20 °С до +1200 °С (от -4 °F до +2192 °F)

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Погрешность измерения температуры	± 2 °С или 2 % (при номинальной температуре 25 °С, выбирается большее значение)
-----------------------------------	---

Продолжение таблицы

Экранная компенсация фоновой температуры	Да
Экранная подстройка пропускания	Да
Качество изображений	
Частота обновления изображения	Частота обновления 9 Гц или 60 Гц, в зависимости от модели
ИК-разрешение	320 x 240 (76,800 пикселей)
Тепловая чувствительность (NETD)	$\leq 0,05$ °С при температуре объекта 30 °С (50 мК)
Всего пикселей, тыс.	76,800
Спектральный диапазон ИК	от 7,5 до 14 мкм (длинноволновый)
Фотокамера видимого диапазона	Для промышленного применения, 5,0 мегапикселя
Стандартный тип инфракрасных объективов	
Поле зрения	24 ° x 17 °
Пространственная разрешающая способность (IFOV)	1,31 мрад
Минимальное расстояние	15 см

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР				33

фокусировки	
-------------	--

Ход работы: в начале работы было измерено переходное сопротивление болтового соединения при помощи микроомметра БСЗ-010-1 до подачи тока на шины, то есть при температуре помещения. Затем с помощью источника тока был подан ток на шины, для того чтобы на контактном соединении появился нагрев. При достижении определенного значения тока на шинах, источник тока отключался, и было произведено измерение сопротивления контакта до его остывания. Так же температура фиксировалась при помощи тепловизора. Затем, для определения влияния переходного сопротивления, контакт ослаблялся. Ослабление болтового соединения приводит к увеличению переходного сопротивления, и последующему нагреву. Данные шаги были повторены для получения нескольких значений и последующего построения графической зависимости.

Сведем полученные опытные данные в таблицу 4.3

Таблица 4.3 – Зависимость переходного сопротивления болтового контактного соединения от температуры

R_k , мкОм	t , °С
150	20
154	25
163	63
180	85

Полученные данные не соответствуют ГОСТ-8024-90, так как превышена рабочая температура болтовых контактных соединений электрооборудования из меди без покрытия на открытом воздухе. Однако, опыт подтверждает что изменение переходного сопротивления связано с состоянием контактного соединения, и ведет к излишнему нагреву контакта. Неудовлетворительные результаты могли быть вызваны погрешностью при измерениях, загрязнением электрического контакта.

На рисунке 4.1 построена графическая зависимость температуры от сопротивления электрического контакта.

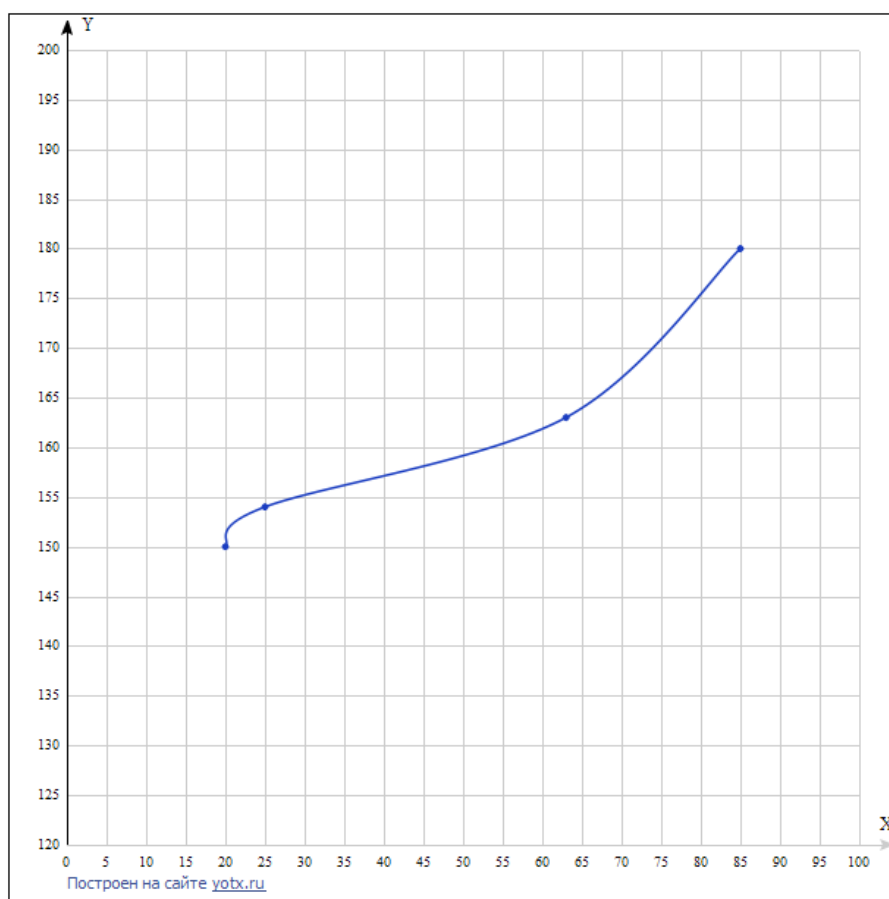


Рисунок 4.1 – Зависимость переходного сопротивления болтового контактного соединения от температуры.

5 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА

5.1 Выбор оборудования для устройства

Выбор оборудования производится в результате технических испытаний, которые должен пройти каждый аппарат, перед установкой и иметь соответствующий сертификат и стандарт качества, в зависимости от необходимой надёжности устройства с учётом цены и возможности установки.

Для разработки предложенного прототипа устройства потребуется выбрать и установить контроллер и датчик, а также разработать корпус устройства.

Наметим несколько вариантов данных устройств, и выберем наиболее подходящие по критериям функционала, стоимости и сложности в эксплуатации.

5.1.1 Выбор контроллера

Микроконтроллер — микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами.

Типичный микроконтроллер сочетает на одном кристалле функции процессора и периферийных устройств, содержит ОЗУ и (или) ПЗУ.

По сути, это однокристалльный компьютер, способный выполнять

относительно простые задачи.

130302.2018.269.00 ПЗ ВКР

Лист

36

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Использование в современном микроконтроллере достаточного мощного вычислительного устройства с широкими возможностями, построенного на одной микросхеме вместо целого набора, значительно снижает размеры, энергопотребление и стоимость построенных на его базе устройств.

В промышленности это чаще всего устройства промышленной автоматики — от программируемого реле и встраиваемых систем до ПЛК, систем управления станками

В то время как 8-разрядные микропроцессоры общего назначения полностью вытеснены более производительными моделями, 8-разрядные микроконтроллеры продолжают широко использоваться. Это объясняется тем, что существует большое количество применений, в которых не требуется высокая производительность, но важна низкая стоимость. В то же время, есть микроконтроллеры, обладающие большими вычислительными возможностями, например, цифровые сигнальные процессоры, применяющиеся для обработки большого потока данных в реальном времени (например, аудио-, видеопотоков).

Программирование микроконтроллеров чаще всего осуществляется при помощи языка C++. Помимо этого языка программирования реже используются Fort, Basic и различные интерпретаторы. Преимущество заключается в простоте использования данных языков, как наиболее простых как в логике, так и в синтаксисе. Некоторые контроллеры снабжаются средами программирования, распространяемыми вместе с контроллерами, например Arduino IDE.

Так же микроконтроллеры снабжены обилием портов для передачи сигнала, что практически сводит к нулю проблемы, связанные с передачей сигнала. Наиболее часто используемые интерфейсы: UART, I²C, SPI, CAN, USB, IEEE 1394, Ethernet;

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Не лишены микроконтроллеры и одной важной функции: возможно присоединения дополнительных плат, наделяющих микроконтроллер дополнительным функционалом. Дополнительные платы помогают решить широкий спектр сложностей в применении, например подключение к локальной сети и интернету или геолокации.

Наметим следующие виды контроллеров и сравним по предложенным характеристикам: Arduino nano, ESP 8266, Raspberry Pi Zero, TEENSY.

Сведем в таблицу 5 краткие характеристики предложенных микроконтроллеров.

Таблица 5.1 – Краткие характеристики микроконтроллеров

	Arduino nano ATMega 328	ESP8266	Raspberry Pi Zero	TEENSY
Размер, см * см	1,85*4,2	1,7*2,4	6,5*3,0	1,7*3,5
Ураб, В	5	3,3	До 5	3,3; 5
Кол-во входов и выходов	22	22	5	21
ОЗУ, Кб	2	2	512000	64
Флеш-память, Кб	32	4096	-	256

При сравнении характеристик был отброшен микроконтроллер Raspberry Pi Zero: самый мощный из выборки. Он является наиболее дорогим, и не имеющим в функционале возможности подключения к сети интернет, требуемой для передачи сигнала от разрабатываемого устройства. Сравнительные характеристики оставшихся трёх микроконтроллеров примерно равны, однако из-за простоты, большого количество готовых

библиотек и возможности установки дополнительных расширительных плат был выбран микроконтроллер Arduino nano ATМega 328.

Минусами данного контроллера являются зависимость от электромагнитных помех (потребуется дополнительное экранирование при эксплуатации разрабатываемого прототипа) и незащищенность от влаги.

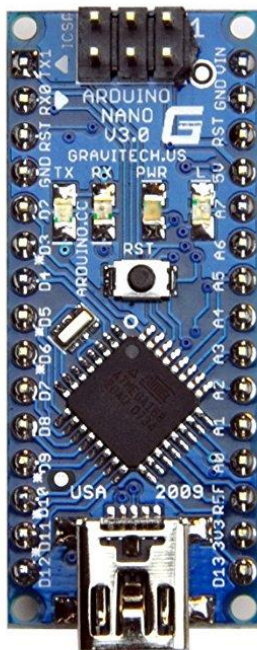


Рисунок 5.1 – Микроконтроллер типа Arduino nano ATМega 328

						Лист
						лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	39

5.1.2 Выбор датчика

Датчиком в данном случае будет являться инфракрасный термометр для удаленного измерения.

Наметим следующие модели основных датчиков для измерения температуры инфракрасным методом: Devantech TPA81 8x1 Thermopile, Panasonic Grid-EYE, Melexis MLX90620, Melexis MLX90614.

Сравним характеристики предложенных термометров, и сведем данные в сравнительную таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Сравнительные характеристики ИК-термометров для удаленного измерения

	Devantech TPA81 8x1 Thermopile	Panasonic Grid-EYE	Melexis MLX90620	Melexis MLX90614
Диапазон рабочих температур, t °C	+4...+100	-20...+100	-20...+300	-70... +382.2
Погрешность, t °C	2	3	1.5	0.02

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Дальность измерений, м	2	Нет точных данных	Нет точных данных	Нет точных данных
Размеры, см*см	4,3*2,1	12,6*9,0	6,0*4,2	6,1*3,2

Вышеперечисленные датчики являются основными датчиками, используемыми для бесконтактного измерения температуры. Все приведенные датчики по умолчанию экранированы от электромагнитных помех, что позволяет использовать их в различных электроустановках. Первые три датчика являются матричными, то есть в основе лежит матрица чувствительных к дальнему инфракрасному диапазону элементов, что позволяет снимать полноценную картину дальнего инфракрасного спектра без физического смещения самих датчиков, однако перед нами стоит задача измерения температуры в одной точке, поэтому оптимальным в данной ситуации является Melexis MLX90614. Относительно аналогов данный датчик имеет и наиболее широкий диапазон температур объекта измерения.

5.1.3 Разработка корпуса устройства

Для прототипа корпус устройства будет произведен методом печати на 3D-принтере, соответственно выбор будет сделан между пластиками, используемыми при таком виде печати.

Для материала корпуса был выбран пластик типа ABS и пластик типа HIPS(ударопрочный полистерол).

АБС-пластик (акрилонитрилбутадиенстирол, химическая

формула $(C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z$ — ударопрочная				Лист
13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР				41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

техническая термопластическая смола на

основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом (название пластика образовано из начальных букв наименований мономеров).

Пропорции могут варьироваться в пределах: 15—35 % акрилонитрила, 5—30 % бутадиена и 40—60 % стирола.

Свойства:

- Непрозрачный (хотя есть и прозрачная модификация — MABS) материал желтоватого оттенка. Окрашивается в различные цвета.
- Нетоксичность в нормальных условиях
- Долговечность в отсутствии прямых солнечных лучей и ультрафиолета
- Стойкость к щелочам и моющим средствам
- Влагостойкость
- Маслостойкость
- Кислотостойкость
- Теплостойкость 103 °С (до 113 °С у модифицированных марок)
- Широкий диапазон эксплуатационных температур (от -40 °С до +90 °С)
- Растворяется в сложных эфирах, кетонах, 1,2-дихлорэтане, ацетоне, этилацетате.
- Плотность 1.02-1.06 г/см³

Свойства HIPS-пластика во многом схожи, но есть некоторые различия

- Материал не поглощает влагу, лучше переносит условия внешней среды, не подвержен разложению. Долше хранится в открытом состоянии без упаковки.
- Мягкий, лучше поддается механической постобработке.

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

- Легкость и низкое водопоглощение позволяют при соблюдении определенных условий создать не тонущий в воде объект.
- Неокрашенный HIPS имеет ярко-белый цвет, что дает ему эстетические преимущества. Матовая фактура визуальнo сглаживает слои и шероховатости печати.

Из него производится пластиковая посуда. Еще более важно то обстоятельство, что он безвреден для людей и животных и является неканцерогенным.

Оба данных пластика позволяют выдерживать температуры до 180-200 °С и выдерживают воздействие солнечного излучения. Необходимо упомянуть, что для достижения необходимых характеристик корпуса из обоих видов пластиков нуждаются в закалке при температуре 110-140 °С и обработке ацетоном или D-лимоненом соответственно для устранения микротрещин и шероховатостей.

Использование ABS-пластика так же обуславливается отличными механическими свойствами, долговечностью и низкой стоимостью этого материала.

Однако применение пластика типа HIPS упрощается более низкой стоимостью и устойчивостью к влажности.

Выберем для разработки корпуса ударопрочный полистирол(HIPS-пластик).

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.2 Принцип работы устройства непрерывного анализа состояния контакта

После выбора оборудования и обоснования опасности различных факторов, перейдем к разработке устройства непрерывного анализа состояния электрического контакта. Так как, ослабление контакта, его загрязнение, или повышение переходного сопротивления приводят к его нагреву, предлагается оценивать состояние контактного соединения при помощи инфракрасного термометра.

Конструкция устройства будет состоять из следующих частей:

микропроцессор Arduino nano ATmega 328, инфракрасный термометр удалённого измерения Melexis MLX90614, корпус из HIPS-пластика, и теплопроводящая пластина.

Теплопроводящая пластина необходима для снижения влияния поверхности, с которой будет производиться измерение температуры: устройство может измерять температуры с различных поверхностей, и чтобы избежать сложностей с учётом материала, его теплопроводных свойств, и качества лакокрасочного покрытия, предлагается использовать именно пластину из металла с хорошими теплопроводными свойствами.

На рисунке 5.2 представлена упрощенная схема устройства.

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

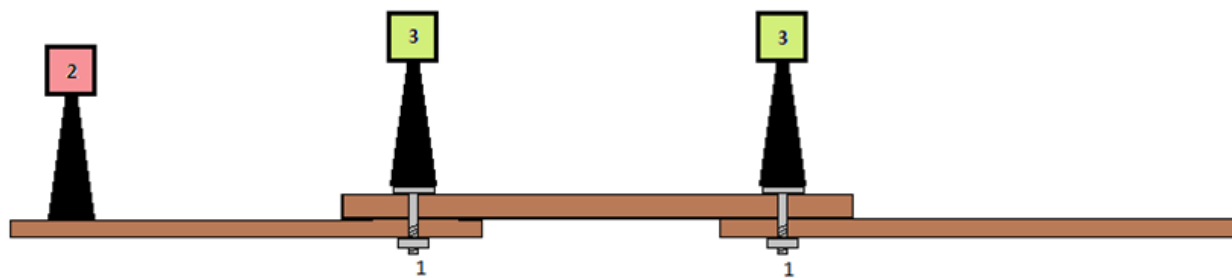


Рисунок 5.2.- Упрощенная схема устройства

На рисунке 14 цифрами обозначены: 1 – болтовое контактное соединение шин, 2 – датчик коррекции, 3 – датчик анализа.

Датчики анализа точно, исходя из функционала термометра, измеряют температуру в заданных точках. При помощи микроконтроллера, показания термометра сравниваются с показаниям датчика коррекции, и при превышении критического значения разницы температур, можно сделать вывод об осязательном ухудшении состояния электрического контакта. Так как функционал микроконтроллера типа Arduino весьма широк, возможна передача сигнала при помощи Wi-Fi модуля на частоте 5ГГц(стандарт связи IEEE 802.11.n) на АСДУ для информирования дежурного персонала об ухудшении состояния электрического контакта, и необходимости принятия мер по устранению возможной аварийной ситуации.

Опытный прототип не лишен недостатков. К недостаткам можно отнести:

Слабая защищенность микроконтроллера к электромагнитным помехам

Шероховатость корпуса устройства, вызванная печатью на 3D-принтере

Слабая устойчивость к влаге

Необходимость учёта влияния освещенности естественным освещением

					130302.2018.269.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		45

5.3 Перспективы развития

Предложенное устройство, несмотря на обилие достоинств, имеет и недостатки, необходимые для рассмотрения при проектировании серийных промышленных образцов. При разработке необходимо учесть надежность данного устройства, увеличить степень защиты, и уменьшить влияние электромагнитных помех. В случае успешного учёта всех параметров, устройство может быть допущено в эксплуатацию в электроустановках всех классов напряжения, что несомненно увеличит надёжность того или иного электрического аппарата, и поможет избежать опасных аварийных ситуаций, таких как возгорание или взрыв электрооборудования.

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом проведенной работы является разработка методика вычисления переходного сопротивления электрического контакта, нахождение зависимости температуры от переходного сопротивление. Выбрано оборудования для прототипа разрабатываемого устройства.

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Библиографический список

1. “Правила устройства электроустановок ПУЭ” издание седьмое, утв. Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204.
2. “Справочник по проектированию электрических сетей под редакцией Д.Л. Файбисовича”, издание 4-е.
3. Учебно-методическое пособие по дисциплине “Тяговые и трансформаторные подстанции для студентов специализаций: 101801 – “Электроснабжение железных дорог” и 101802 – “Компьютерные технологии в электроснабжении ”. – Самара: СамИИТ, 2001.- 51 с.
4. Электрический справочник в 3-х т. Т.2. Электротехнические устройства. Под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. – М.: Энергоиздат, 1981.- 640 с.
5. <http://elektrik.info/main/school/449-perehodnoe-kontaktное-soprotivlenie.html> - переходное сопротивление
6. Хольм Р. Электрические контакты.-М.: Изд-во иностр.лит,1961.- 464 с. 2.
7. Бойченко В.И., Дзекцер Н.Н. Контактные соединения токоведущих шин. -Л.: Энергия, 1978.- 144 с. 3.
8. Мерл В. Электрические контакты.- М-Л.: Госэнергоиздат, 1962.- 72 с. 4.
9. Бредихин А.Н., Хомяков М.В. Электрические контактные соединения.- М.: Энергия, 1980.- 168 с.
- 10.<http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano> - Каталожные данные Arduino Nano
- 11.<https://losst.ru/luchshie-analogi-arduino> - Аналоги Arduino Nano
- 12.<https://www.melexis.com/en/product/mlx90614/digital-plug-play-infrared-thermometer-to-can> - Каталожные данные ИК-термометра MLX 90614
- 13.http://3dtoday.ru/wiki/FDM_materials/ - Обзор пластиков для 3D-принтера
- 14.<https://solarbotics.com/product/40370/> - Характеристики Devantech TPA81 8x1Thermopile
- 15.<https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/overview> - Характеристики контроллера ESP8266

					13.03.02.2018.280.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48