

Метод и устройство автоматического мониторинга сопротивления заземления

Н. С. Борисова

Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I
natasha-1198@mail.ru

А. А. Костроминов

Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I
alkostrom@gmail.com

Р. О. Ложкин

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
mrgomanspb@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены методы и средства измерения сопротивлений заземлений, основанные на применении автономных источников энергии либо сети переменного тока. В качестве альтернативы предложен метод использования непреднамеренных искусственных и природных электромагнитных процессов, создающих токи в заземлителях. Рассмотрен возможный вариант реализации предложенного метода для построения системы автоматического мониторинга сопротивлений заземления.

Ключевые слова: методы измерения заземления; мониторинг сопротивления заземления; аналого-цифровой преобразователь; электронные оптические трансформаторы

I. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Заземление электрооборудования широко используется с целью защиты людей от поражения током в случае повреждения его изоляции [1].

Для измерений сопротивления заземления традиционно применяется метод «амперметра и вольтметра», с помощью которого искомое значение определяется как частное от деления измеренного значения напряжения на величину тока. С целью проведения измерений собирается электрическая цепь, включающая в себя заземляющее устройство, токовый электрод, потенциальный электрод, с помощью которого определяется падение напряжения во время протекания электрического тока по заземлителю. Для данного метода характерна простота применения, но и невысокая точность полученных измерений [1]. Потенциальный и токовый электроды должны располагаться на максимально большом расстоянии от заземляющего устройства, а между вспомогательными электродами и заземляющим устройством не должно быть металлических конструкций. Данные ограничения, например, в городских условиях учесть достаточно сложно, так как в земле могут находиться различные фундаменты, кабельные трассы, другие заземлители, что негативно сказывается на точности результатов, полученных при измерениях.

Известен способ измерения сопротивления заземления с использованием калиброванного резистора [2]. Этот способ подразумевает отсутствие токового измерительного электрода, что позволяет повысить точность результатов измерений благодаря отсутствию мешающего влияния находящихся в земле протяжённых металлоконструкций. В данном методе заземлитель временно отключается от электрооборудования и подключается к фазному проводу трёхфазной электрической сети напряжением до 1000 В с нулевым защитным проводом, при этом ток в заземлитель подаётся через калиброванный резистор, а двумя вольтметрами измеряются фазное напряжение между линейным и нулевым проводами и падение напряжения на калиброванном резисторе. С помощью простейших вычислений, использующих закон Ома, определяется сопротивление заземления [2].

Несомненным положительным свойством данного метода является отсутствие необходимости использовать вспомогательные электроды в процессе измерения, однако он не обладает универсальностью, поскольку ограничен в применении только в сетях с напряжением до 1000 В с глухозаземлённой нейтралью, в то время как нетяговые потребители железнодорожной автоматики и связи имеют внутренние сети электропитания, изолированные от земли.

Общим существенным недостатком рассмотренных вариантов измерения сопротивлений защитных заземлений, использующих метод «амперметра – вольтметра», является необходимость отключения заземлений от электрообъектов на период проведения измерений.

Известен безэлектродный метод измерения сопротивления заземления, исключающий необходимость установки дополнительных электродов для проведения измерений. Данный метод не применим для заземляющих устройств систем автоматики, телемеханики и связи, поскольку для измерений необходимо создать замкнутый контур для протекания электрического тока через

заземлитель, что потребует наличия еще одного заземлителя для проведения измерений.

Таким образом, известные методы и средства измерения сопротивления заземления обладают недостатками, актуализирующими разработку предложений по их устранению.

II. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ

В основе предлагаемого метода измерения сопротивления заземления лежит использование электромагнитных процессов любого происхождения (атмосферных в виде молний; переходных процессов, возникающих в электрических сетях при их коммутации; утечки через изоляцию и т. п.), обуславливающих протекание тока через заземлитель. Ток от непреднамеренных источников энергии создает падение напряжения на заземлителе и, с использованием метода «амперметр-вольтметр», является активным источником информации о величине сопротивления заземления.

Поскольку участия человека при этом не требуется, появляется возможность осуществлять автоматический мониторинг фактического состояния заземлителей, контролируя их сопротивление. При обнаружении системой мониторинга увеличивающееся во времени сопротивление заземления и достижения сопротивления заданной предельно допустимой величины (либо внезапному скачкообразному возрастанию сопротивления, например, при обрыве цепи заземления) автоматически формируется тревожный сигнал обслуживающему персоналу, указывающий на появлении неисправности заземления.

Чтобы оценить характер потока импульсных токовых процессов на одной из крупных железнодорожных станций в системе электрической централизации стрелок и сигналов был проведен эксперимент с применением токовых клещей. В результате этого эксперимента фиксировались десятки импульсов в час, предположительно создаваемых коммутационными процессами при управлении станционными стрелками и сигналами.

Система автоматического мониторинга сопротивления заземления представлена на рисунке и включает в себя 12 функциональных блоков. Рассмотрим их назначение и работу.

Как отмечалось выше, источником энергии для осуществления измерений служат непреднамеренные электромагнитные процессы, в частности, молниевые токи.

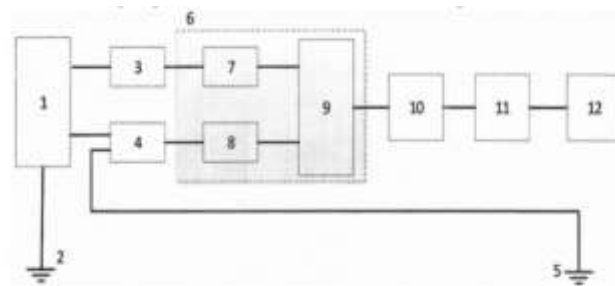


Рис. 1. Функциональная схема системы автоматического мониторинга сопротивления заземления

При значительных токах, протекающих по шине заземления 1 и заземлителю 2, возникает высокое кондуктивное напряжение, что необходимо учитывать при выборе датчика для измерения тока через заземлитель и падения напряжения на нём. Поэтому для обеспечения нормальной работы измерительных средств устройство содержит блоки гальванической развязки 3 и 4 для датчика тока 7 и датчика напряжения 8, использующего делитель 9. Устройства 7, 8 и 9 с функциональной точки зрения образуют блок измерений 6.

Измерение тока, протекающего по заземляющему устройству электроустановки, осуществляется при помощи датчика тока 7. Измерение напряжения, под которое попадает заземляющее устройство электроустановки, осуществляется при помощи датчика напряжения 8. Полученное в делителе 9 отношение мгновенного напряжения и тока является мгновенным сопротивлением заземления. Нормируемым параметром является сопротивление заземления на промышленной частоте. Поэтому необходимо внести поправки, учитывающие частотные свойства грунта, для определения стационарного сопротивления. Для этого информация из делителя 9 попадает на вход блока преобразования 10, который можно реализовать с использованием микропроцессоров. В блоке преобразования 10 происходит перерасчет мгновенного значения сопротивления заземления в стационарное. После определения стационарного сопротивления заземления информация с выхода блока преобразования 10 поступает в блок сравнения 11, где происходит соотнесение полученного значения с нормативным значением сопротивления заземления. В блоке вывода информации 12 происходит накопления необходимых статистических данных и отображение полученных результатов [3].

Выбор точки расположения удаленного электрода 5, отображающей нулевой потенциал относительно потенциала на заземлителе, зависит от реальных технических условий на местности, но расстояние от него до заземлителя 2 должно превышать характерные геометрические размеры этого заземляющего устройства желательнее более чем в 10 раз, так как сопротивление заземляющего устройства определяется сопротивлением растекания тока в грунте, влияние которого может повлиять на точность измерения [4].

Реализация блока гальванической развязки для тока и самого датчика тока возможна при использовании электронного оптического трансформатора тока с гибким чувствительным элементом, оснащённым аналогово-цифровым преобразователем (АЦП). АЦП оцифровывает полученный аналоговый сигнал и отправляет преобразованный дискретный сигнал в вычислительный комплекс. Так как внутренние и внешние части оптического трансформатора соединены оптическим кабелем, обеспечивается разделение этих частей, что гарантирует безопасность обслуживающего персонала в случае случайных непреднамеренных воздействий. Применение оптических методов измерения тока позволяет получать результаты измерений в цифровом виде, что является необходимым условием для системы удалённого автоматического мониторинга. В блок электроники оптических трансформаторов тока для долговременной работы встроена система онлайн-диагностики, с помощью которой производится считывание температуры, которая измеряется оптоволоконным термометром. Полученные значения используются блоком электроники для обеспечения температурной компенсации, что исключает погрешность, связанную с изменением температуры окружающего воздуха [5].

Технически реализовать блок гальванической развязки напряжения и датчик напряжения возможно посредством применения емкостного электронного делителя напряжения (ДНЕЭ), который оснащён АЦП.

Важно подчеркнуть, что нормируемые параметры сопротивления заземления определяются на промышленной частоте. По этой причине необходимо внести поправки, которые будут отображены в блоке преобразования 10, реализуемом с помощью микропроцессорной техники.

В заключение отметим, что предложенные метод и его реализация имеют возможность функционального расширения. Так, результаты измерений молниевых импульсных токов и напряжений позволяют накапливать статистику реальных их значений, что позволяет более точно осуществлять выбор молниезащитных средств. В случае возникновения утечек переменного тока в сети питания данная система мониторинга зафиксирует это событие и своевременно известит обслуживающий персонал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бургсдорф В.В., Якобе А.И. Заземляющие устройства. М.: Энергоатомиздат, 1987. 400 с.
- [2] Пат. РФ №2208232 / Е.В. Халин, Д.С. Стребков, С.И. Коструба. Способ измерения сопротивления заземлителя и устройство для его осуществления; Опубл. 10.07.2003. Бюл. № 19.
- [3] Пат. РФ № 2736073 / А.М. Костроминов, А.А. Костроминов, Р.О. Ложкин, С.Л. Шишигин. Устройство для измерения сопротивления заземления; Опубл. 11.11.2020. Бюл. № 32.
- [4] Пат. РФ № №140217 / А.Ю. Пасеков, М.В. Педанов, В.Д. Толмачёв. Устройство для измерения сопротивления заземления; Опубл. 10.05.2014. Бюл. № 13.
- [5] Найдёнов А.Д. Оптические трансформаторы тока // Вестник науки и образования. Часть 1. 2020. №8(86). С. 3–4.