

Функциональная модель устройства измерения сопротивления заземления с использованием непреднамеренных процессов

О. Г. Евдокимова

*Петербургский государственный университет путей
сообщения Александра I*
evdokimovaog_kf@mail.ru

И. В. Корытцев

*Петербургский государственный университет путей
сообщения Александра I*
johnmacray@internet.ru

Аннотация. В статье рассмотрены этапы синтеза функциональной модели устройства для автоматического и автономного измерения сопротивления заземлителя, способного использовать токи непреднамеренных процессов, возникающих в цепях заземления в результате атмосферных электрических явлений, переходных процессов близлежащего коммутационного и силового оборудования (реле, электродвигатели), а также при появлении блуждающих токов, источником которых может быть контактная сеть электротранспорта или утечка тока в землю при обрыве силового кабеля. Основной задачей моделируемого устройства является мониторинг заземления защищаемого технологического комплекса объекта на наличие указанных токов непреднамеренных процессов и их использование для расчета величины сопротивления заземления по закону Ома.

Ключевые слова: методы измерения, автоматизация измерений сопротивления заземления, устройство для автоматического измерения сопротивления заземления, заземлитель, заземление

I. ВВЕДЕНИЕ

Соединение токопроводящих элементов электроустановки или оборудования с заземляющим устройством, предназначенное для защиты от опасного действия электрического тока путём снижения напряжения прикосновения до нормируемого безопасного значения, принято называть защитным заземлением. В электросвязи заземление также выполняет рабочую функцию.

Измерение сопротивления заземляющего устройства (ЗУ) – один из этапов осуществления контроля за безопасностью и работоспособностью объекта, технологического комплекса. Заземляющее устройство – это система проводников, предназначенная для электрического соединения токопроводящих частей электроустановок (и не только) и среды растекания электрического тока (грунт, вода и т. д.). ЗУ необходимо для обеспечения безопасного пути протекания тока при замыкании на землю. Оно предотвращает возникновение опасных потенциалов на металлических конструкциях, оборудовании, трубах и других элементах, с которыми может контактировать человек. Сопротивление заземления определяет эффективность работы заземляемых устройств железнодорожной автоматики и связи [1], так слишком высокое сопротивление может привести к возникновению опасных напряжений. Защитное действие заземления основано на двух принципах:

1) уменьшение до безопасного значения разности потенциалов между заземляемым проводящим объектом и другими проводящими предметами, имеющими естественное заземление;

2) отвод тока утечки при контакте заземляемого проводящего объекта с фазным проводом. В правильно спроектированной системе появление тока утечки приводит к немедленному срабатыванию защитных устройств.

Таким образом, сопротивление заземляющего устройства как один из ключевых параметров, определяющих условия безопасной эксплуатации электрооборудования должен находиться под тщательным мониторингом.

На сегодняшний день в условиях быстрой трансформации общества и промышленности и бурного внедрения цифровых технологий во многие повседневные процессы существует тренд цифровизации и автоматизации различных бытовых и промышленных операций. Универсальная цифровая форма данных, как достаточно точный эквивалент изначальным аналоговым параметрам, дает возможность эффективного хранения, обработки и передачи этих данных для последующего анализа и принятия решений. Вышесказанное особенно актуально для организации безопасности персонала, работающего с электрооборудованием.

Актуальность автоматизации процесса измерения сопротивления заземления заключается в возможности уменьшить погрешность получаемых данных измерений (относительно ручного способа) и соответственно повысить уровень электробезопасности людей.

В данной работе предполагается синтезировать функциональную схему устройства для автоматического и автономного измерения сопротивления заземлителя, способного использовать в качестве измерительных токи непреднамеренных процессов. Данные процессы возникают в цепях заземления в результате атмосферных электрических явлений (удары молнии), переходных процессов близлежащего коммутационного и силового оборудования (реле, электродвигатели) а также при появлении блуждающих токов, источником которых может быть контактная сеть электротранспорта или утечка тока в землю при обрыве силового кабеля. Основной задачей устройства измерения величины сопротивления заземлителя является постоянный мониторинг цепи заземления защищаемого здания/технологического комплекса на наличие

указанных токов непреднамеренных процессов и их использование для расчета величины сопротивления заземления по закону Ома $R=U/I$.

II. СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ

1) Метод амперметра-вольтметра. Данный метод различается реализацией схемы измерения на трех- и четырехпроводный.

- Трехпроводный метод применяется при отсутствии необходимости в высокой точности полученных значений, а также, как правило, при сопротивлении заземлителя более 5 Ом.
- Четырехпроводный метод применяется для получения более точных значений сопротивления. Схемы измерений для трехпроводного и четырехпроводного методов представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

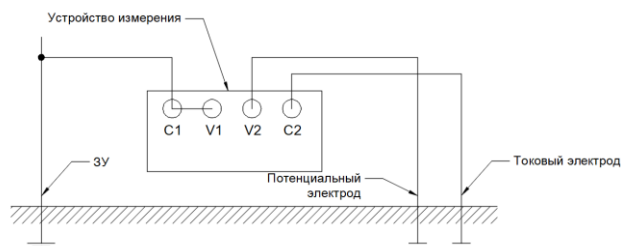


Рис. 1. Схема измерения сопротивления заземления трехпроводным методом

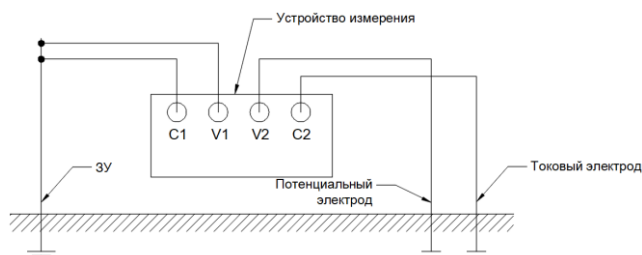


Рис. 2. Схема измерения сопротивления заземления четырехпроводным методом

Помимо указанных выше различий в виде разницы в точности получаемых величин сопротивления каждый метод обладает своими преимуществами. Преимуществом трехпроводного метода является меньшее количество проводов, необходимых для организации измерений, так как клеммы C1 и V1 (C – current, V – voltage соответственно) соединены перемычкой и используют один провод для подключения к цепи ЗУ (рис.1), а также простота реализации. Однако недостатком является сильная зависимость результатов измерения от сопротивления этого провода, соединяющего устройство измерения и устройство заземления. При этом на концах измеряющего ток провода (соединение от клеммы C1 до ЗУ на рис. 1) образуется разность потенциалов, которая вносит погрешность в измерения. По этой причине данный метод используется для измерения показателя сопротивления ЗУ, значение которого априори выше 5 Ом.

Для устранения недостатка трехпроводного метода и для увеличения точности получаемой величины сопротивления используется четырехпроводный метод, основным отличием которого является наличие

отдельного провода для измерения потенциала на ЗУ (соединение от клеммы V1 до ЗУ на рис. 2). При этом, по этому проводу течет пренебрежимо малый ток (<1 мА), практически не влияющий на результаты измерения.

К преимуществам указанных выше методов измерения можно отнести возможность их использования практически для любых систем электроснабжения. Недостатком – необходимость отключения заземляющего устройства от электроустановок на время проведения измерений, а также влияние блуждающих токов на их точность. Также, не всегда есть возможность установки токового и потенциального электродов, например, в условиях сильного промерзания грунта или отсутствия подходящего места установки в условиях городской или промышленной застройки. К тому же, не всегда есть возможность отключения электрооборудования от ЗУ на время измерений.

1) Безэлектродный метод измерения сопротивления заземления

Указанные выше недостатки частично решаются применением безэлектродного метода измерения сопротивления заземления. Схема измерения безэлектродного метода представлена на рис. 3, где $R_{ЗУ}$ – измеряемое сопротивление заземляющего устройства. R_1, R_2, R_n – другие ЗУ, подключенные параллельно.

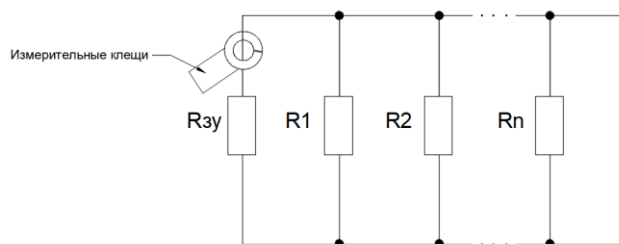


Рис. 3. Схема измерения сопротивления заземления безэлектродным методом

Суть проведения измерений данным методом заключается в подаче на ЗУ от измерительного генератора переменного тока заданного напряжения с частотой, отличающейся от частоты тока сети. Сила тока измеряется измерительными клещами с фильтром, настроенным на частоту выходного тока измерительного генератора. Так как значение напряжения в цепи ЗУ известно, то измерив силу тока можно найти сопротивление заземления по закону Ома. Однако, несмотря на высокую технологичность и простоту использования, данный метод не отличается высокой точностью измерения по сравнению с грамотным проведением замеров классическим методом амперметра-вольтметра. Также, к минусам безэлектродного метода относится возможность применения только в ТТ и TN системах с ячеистым заземлением. Для обычных систем TN потребуется установка перемычки между нейтралью и заземлением, что приведет к вынужденному отключению питания на объекте.

Для исключения вышеперечисленных недостатков при проведении измерений сопротивления заземляющих устройств указанными популярными методами, в данной работе исследуется синтез устройства, измеряющего сопротивление ЗУ с помощью протекающих в нем токов

непреднамеренных процессов. Отличительными особенностями данного метода будет максимальная автоматизация и автономность работы измерительного прибора, не нуждающегося в подключении измерительного генератора для подачи тока в цепь ЗУ и оператора для установки измерительных клещей или иного вспомогательного оборудования. Также, перспективное внедрение разрабатываемого устройства позволит организовать постоянный мониторинг величины сопротивления ЗУ, что значительно повышает уровень электробезопасности людей в защищаемом здании или технологическом комплексе.

III. МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Известны структурные схемы автоматических измерителей сопротивления заземления [3,4], отличающиеся принципом регистрации событий, также разработан метод автоматического измерения сопротивления [5].

Разработку функциональной модели, а в далее и синтез устройства будем вести, взяв за основу устройство [4]. Для реализации функционала блоков делителя, блока преобразования, блока сравнения и блок вывода информации предполагается использовать вычислительные ресурсы микроконтроллера, являющегося центральным управляющим блоком всего устройства. Блоки гальванической развязки, а также датчики тока и напряжения планируется реализовать выносными периферийными модулями. Функциональная схема автоматического измерителя сопротивления заземления, которую возможно использовать в системе мониторинга параметров объектов инфраструктуры, приведена схема на рис. 4.

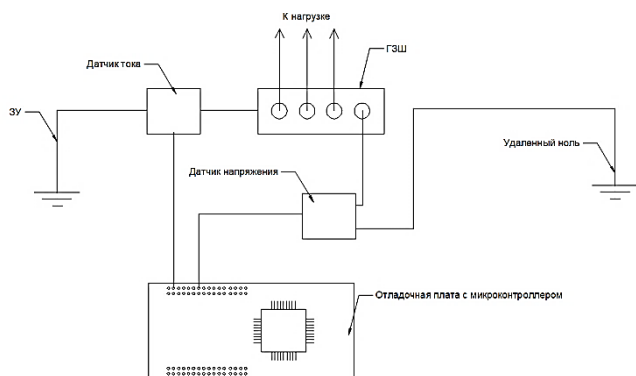


Рис. 4. Функциональная схема автоматического измерителя сопротивления заземления

В соответствии с функциональной схемой (рис. 4) описать работу устройства можно следующим образом. Основным операторским блоком является микроконтроллер, на входы аналого-цифрового преобразователя (АЦП) которого поступают сигналы с датчиков тока и напряжения. Блоки гальванической развязки для защиты цепей управления на данной схеме не продемонстрированы, так как функционально они объединены в одном блоке совместно с датчиком. Для получения величины тока, протекающего по цепи ЗУ –

главной шины заземления (ГЗШ) предполагается использовать датчик тока, основанный на эффекте Холла. Датчик напряжения сравнивает потенциалы на ГЗШ и на удаленном от ЗУ «нуле», формируя величину напряжения на ЗУ. Далее, на основании данных с датчиков, микроконтроллером рассчитывается мгновенное значение текущего сопротивления заземления, пересчитывается в стационарную форму и записывается во внутреннюю память, позволяя полученное значение передать по сети или провести иные вычислительные операции. Питание микроконтроллера и периферийного оборудования может осуществляться как от автономного источника питания (аккумулятора), так и от сети здания/технологического комплекса.

К достоинствам данной схемы измерения сопротивления ЗУ можно отнести:

1. Автономность. Все процессы сбора, обработки, формирования и передачи данных автоматизированы;
2. Отсутствие необходимости отключения ЗУ от защищаемого оборудования;
3. Постоянный характер измерений;
4. Возможность организации статистики и последующего детального анализа состояния заземляющего устройства.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что данное устройство позволит вести как периодические измерения сопротивления ЗУ, так и постоянный мониторинг его текущего состояния с возможностью хранения измеренных значений и составления анализа текущего состояния цепи заземления. Также, для реализации предложенного метода измерения нет необходимости временно отключать ЗУ от защищаемого оборудования, что повышает безопасность людей, работающих с электрооборудованием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Евдокимова О.Г. Повышение эксплуатационных показателей заземлителей устройств автоматики и связи/ Автоматика, связь, информатика. 2022. № 7. С. 8–11
- [2] Евдокимова О.Г. Шишигин С.Л. Куценко С.М. Мешков Б.А. Анализ методов измерения сопротивления заземлителей устройств автоматики и связи // Автоматика, связь, информатика. 2023. №4. С. 27-30 DOI: 10,34649/AT.4.4.002
- [3] Пасков А.Ю., Педанов М.В., Толмачев В.Д. Устройство для измерения сопротивления заземления №140217 Российская Федерация; заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная фирма Московского института энергобезопасности и энергосбережения "Приборы Мосгосэнергонадзора". №140217; заявл. 24.12.2013; опубл. 10.05.2014.
- [4] №2736073 Российская Федерация / Костроминов А.М., Костроминов А.А., Ложкин Р.О., Шишигин С.Л. Устройство для измерения сопротивления заземления; заявл. 11.03.2020; опубл. 11.11.2020
- [5] Борисова Н.С, Костроминов А.А., Ложкин Р.О. Метод и устройство автоматического мониторинга сопротивления заземления // СПБНТОРЭС: Труды ежегодной НТК. 2021. №1. С. 214-216.